

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**СБОРНИК КОНКУРСНЫХ  
НАУЧНЫХ РАБОТ  
СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

**Часть I**

**Брест 2016**

УДК 624;628;+338:339

**Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов.**

**Рецензент:** к.т.н., профессор, зав. кафедрой ГиТК П.В. Шведовский

В сборнике представлены статьи по проблемам строительства и архитектуры, водохозяйственного строительства, информационных систем и машиностроения, отражающие результаты научных исследований и представленные на Республиканский конкурс научных работ студентов и магистрантов вузов Республики Беларусь.

Издаётся в 2 частях. Часть 1.

ISBN 978-985-493-374-0 (ч.1)

ISBN 978-985-493-373-3

**Редакционная коллегия:** главный редактор: к.ф-м.н., доцент В.С. Рубанов  
зам. главного редактора: к.т.н., профессор Шведовский П.В.  
зам. главного редактора: к.т.н., профессор Муравьёв Г.Л.  
зам. главного редактора: к.э.н., доцент В.С.Кивачук

**Члены редколлегии:** к.т.н., доцент Кандыбо С.Н.  
к.т.н., доцент Монтик С.В.  
к.т.н., доцент Шешко Н.Н.  
ст. преподаватель Войцехович Л.Ю.  
ст. преподаватель Хомицкая Т.Г.

УДК 624;628;+338:339

ISBN 978-985-493-374-0 (ч.1)

ISBN 978-985-493-373-3

© Издательство БрГТУ, 2016

# **ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

УДК 621.311.25

*Агеевец Н.А., Олешко В.В.*

*Научный руководитель: м.т.н., старший преподаватель Янчилин П.Ф.*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КОНДИЦИОНЕРА**

Кондиционирование воздуха — это автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха на определенном уровне для обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, для ведения технологических процессов, обеспечение сохранности ценностей культуры.

Автоматизированные системы кондиционирования воздуха поддерживают заданные параметры воздуха в помещении независимо от изменений параметров окружающей среды.

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, которые называются системой кондиционирования воздуха (СКВ).

СКВ снабжаются средствами:

- для очистки воздуха от бактерий, запаха, пыли;
- для подогрева, охлаждения, увлажнения, осушения;
- для перемещения, распределения, авторегулирования параметров воздуха, регулирования газового состава;
- средствами дистанционного управления и контроля.

Требуемые параметры воздуха должны выдерживаться в рабочей зоне. Рабочая зона — это объём помещения высотой до 2 метров.

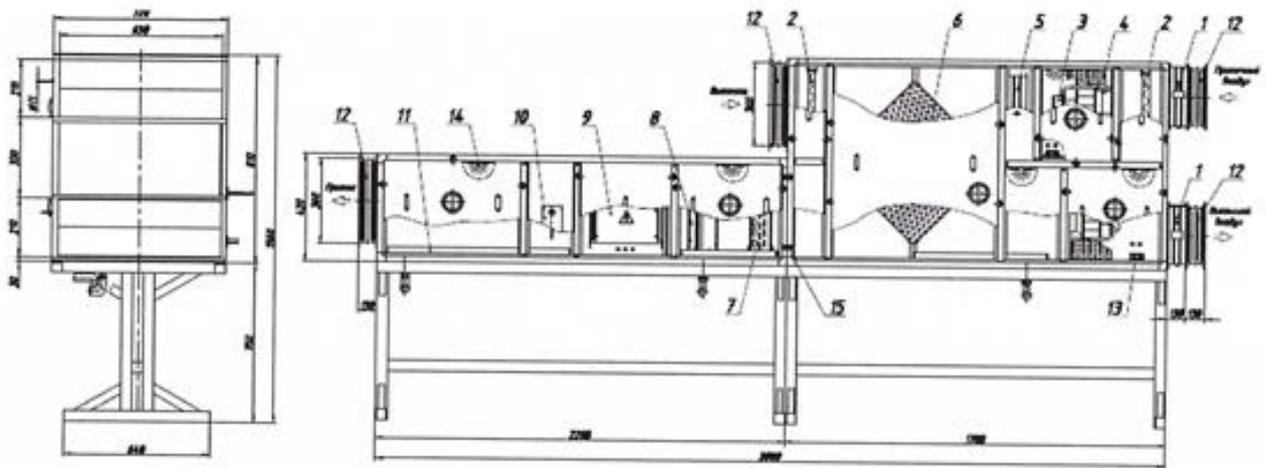
По принципу расположения кондиционеры подразделяются на:

- Центральные. Расположены вне обслуживаемого помещения и поддерживают параметры в одном большом или в нескольких зонах этого помещения. СКВ снабжаются извне холодом (фреон, холодная вода), теплом (горячая вода, пар хладагент) и электричеством для приводов вентиляторов, насосов и т. д.;
- Местные. Устанавливаются непосредственно в обслуживаемом помещении (достоинства: простота установки и монтажа; стоимость ниже, чем центральных кондиционеров).

При эксплуатации вентиляционных установок в жилых домах или производственных помещениях в целях экономии затрачиваемых средств необходимо еще на этапах проектирования предусматривать установку энергосберегающего оборудования, называемого приточно-вытяжными вентиляционными системами с применением процессов рекуперации тепловой энергии.

Кондиционер представляет собой каркасную металлическую конструкцию блочного типа, установленную на сварной раме, из труб квадратного сечения. Каркас выполнен из алюминиевого профиля. На каркас крепятся панели, выполненные из стальных оцинкованных листов, заполненные теплоизоляционным материалом. Зона обслуживания кондиционера - слева по ходу движения приточного воздуха. На стороне зоны обслуживания расположены съёмные панели (двери) для доступа к функциональным элементам кондиционера. К блоку теплообмена с теплообменником пластинчатый (общим для приточного и вытяжного канала) присоединяются последовательно блок воздухоподготовки приточного канала.

Все исследования проводились на лабораторном стенде «Центральный промышленный кондиционер КЦ-ТК-1,6-6/3» (производство «Альтернатива») в лаборатории университета.



**Рисунок 1 – Центральный промышленный кондиционер КЦ-ТК-1,6-6/3**

В состав кондиционера входят следующие функциональные элементы:

- клапаны воздушные (1);
- фильтры воздушные (2);
- вентиляторы (3) с ограждением (4);
- клапан воздушный теплообменника и обводного канала (5);
- теплообменник пластинчатый (6);
- испаритель фреоновый (7);
- каплеуловитель (8);
- доводчик электрический (9);
- распределитель паровой (10);
- поддоны с сифоном с обратным клапаном (11);
- вставки гибкие соединительные (12);
- коробки распределительные (13);
- светильники (14).

В данной работе мы сравним технические данные (таблица 1), которые предоставила нам фирма-производитель, с экспериментальными данными, полученными в результате проведенных опытов на лабораторном стенде «Центральный промышленный кондиционер КЦ-ТК-1,6-6/3» (производство «Альтернатива»).

**Таблица 1– Технические данные кондиционера**

<b>Диагональный пластинчатый утилизатор</b>			
<b>Нагрев:</b>			
	аэродинамическое сопротивление	101 Па	<b>Приточный воздух</b>
вход	температура	-21°С	
	влажность	90%	
выход	температура	4,5°С	
	влажность	10%	
	аэродинамическое сопротивление	110 Па	<b>Вытяжной воздух</b>
вход	температура	22°С	
	влажность	50%	
выход	температура	5,1°С	
	влажность	88%	
	КПД	59,3%	
	Производительность утилизации	12,82 кВт	

Продолжение таблицы 1

<b>Охлаждение:</b>				
	аэродинамическое сопротивление	117 Па	<b>Приточный воздух</b>	
вход	температура	30°C		
	влажность	40%		
выход	температура	25°C		
	влажность	53%		
	аэродинамическое сопротивление	115 Па	<b>Вытяжной воздух</b>	
вход	температура	20°C		
	влажность	50%		
выход	температура	25°C		
	влажность	37%		
	КПД	49,5%		
	Производительность утилизации	2,5 кВт		
<b>Теплообменник охладитель</b>				
	Холодопроизводительность	6,82		
	Расход воздуха	1500 м3/ч		
	Скорость воздуха	3,37 м/с		
	Аэродинамическое сопротивление	130 Па		
вход	температура	30°C		
	влажность	40%		
выход	температура	20°C		
	влажность	64%		
<b>Электрический нагреватель</b>				
вход	температура	4,5°C		
выход	температура	16,5°C		
	Расход воздуха	1500 м3/ч		
	Тепловая производительность	6,03 кВт		
<b>Паровой увлажнитель</b>				
вход	влажность	4%		
выход	влажность	42%		
	Производительность	7,96 кг/ч		

Рекуператор — теплообменник поверхностного типа для использования теплоты отходящих газов, в котором теплообмен между теплоносителями осуществляется непрерывно через разделяющую их стенку.

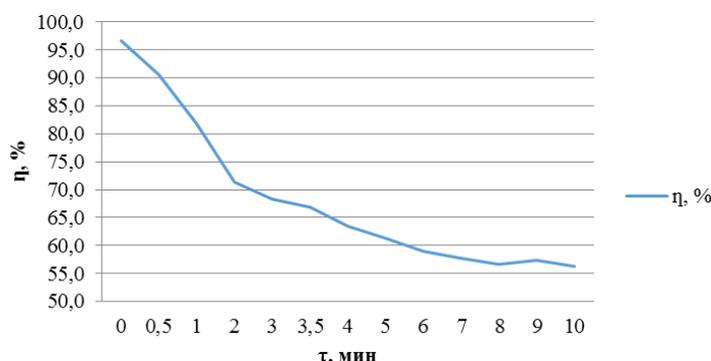
Пластинчатый теплообменник является самым распространенным из применяемых, из-за его низкой стоимости и небольших размеров. Он применяется в системах с небольшими расходами воздуха, где необходимо предотвратить риск перетока вытяжного и приточного воздуха.

Таблица 2– Данные измерений рекуператора

Рекуператор													
Время, τ, мин	0	0,5	1	2	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
Tн, °C	2	2	2	2	2	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4
Tпр, °C	16,3	15,5	14,1	12,5	11,9	11,5	11	10,6	10,2	9,9	9,7	9,6	9,5
φ, %	-	-	34,5	36,2	37,4	39	39,9	41,2	42,1	42,6	43,5	43,8	44
Tвыт, °C	16,8	16,9	16,8	16,7	16,5	16,3	16,3	16,2	16,2	16	15,9	15,7	15,8
Tрек, °C	14,6	13,6	12,1	10,3	9,6	9,1	8,7	8,2	7,8	7,5	7,4	7,4	7,2
η, %	96,6	90,6	81,8	71,4	68,3	66,9	63,4	61,4	58,9	57,6	56,6	57,3	56,3

Видно, что T<sub>пр</sub> на первоначальном этапе опыта значительно уменьшается, но затем мы видим, что перепад температур с каждым измерением всё мень-

ше. Это можно объяснить тем, что кондиционер до начала исследований находился вне рабочего состояния, в результате чего его элементы были нагреты внутренним воздухом, вследствие чего  $T_{пр}$  и была изначально больше, но после начала выравниваться, что объясняется работой рекуператора в нормальном режиме.



**График 1 – зависимость изменения КПД рекуператора от времени**

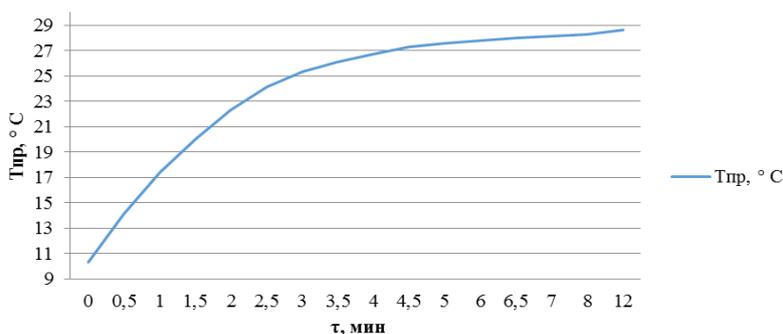
По графику 1 видно, что в начале исследования коэффициент полезного действия рекуператора высок (96,6 %), это можно объяснить тем же, что было сказано ранее. На 7 минуте опыта мы видим, что рекуператор начал работать в оптимальном режиме.

Калорифер — прибор для нагревания воздуха в помещении, выполненный из медных трубок с алюминиевым оребрением, по которым циркулирует теплоноситель.

По графику 2 видно, что на первоначальном этапе опыта приточный воздух обладает высокой влажностью и низкой температурой, но затем влажность резко уменьшается, а температура увеличивается. Этот резкий перепад можно объяснить тем, что мы проводили данный эксперимент сразу, после исследования рекуператора, в котором приточный воздух охлаждался, а влажность приточного воздуха увеличивалась. Но далее заметно, что параметры приточного воздуха выравниваются, это говорит о том, что калорифер начинает работать в нормальном режиме.

**Таблица 3 – Данные измерений калорифера**

Калорифер																
Время, τ, мин	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	6,5	7	8	12
$T_{н}, ^\circ C$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7
$T_{пр}, ^\circ C$	10,3	14,1	17,4	20	22,3	24,1	25,3	26,1	26,7	27,3	27,6	27,8	28	28,1	28,3	28,6
φ %	41,9	33,6	27,9	24,1	20,9	18,8	17,4	16,7	16,2	15,7	15,3	15,2	15,2	15,2	15,1	15,2
$T_{выт}, ^\circ C$	15,7	15,6	15,8	15,9	16,3	16,8	17,1	17,3	17,5	17,8	18,1	18,4	18,7	18,8	19	19,3
φ %	-	-	37,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	-	-
Трек, °C	7,2	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,4	7,6	7,6	7,6	7,8	7,8	8,0	8,1	8,1	8,3



**График 3 – Зависимость изменения температуры притока от времени**

Увлажнение воздуха осуществляется с помощью пароувлажнителя. Пар, вырабатываемый в пароувлажнителе при нагреве воды, по паропроводам поступает в распределитель паровой. Распределитель представляет собой трубу из нержавеющей стали с отверстиями для выхода пара. Приточный воздух, насыщенный влагой, подается в обслуживаемое помещение.

В ходе исследования пароувлажнителя мы измеряем лишь изменение влажности в приточном воздухе. По данным фирмы-производителя, на входе в пароувлажнитель влажность воздуха – 4 %, а на выходе – 40 % (при нормальной работе пароувлажнителя), по данным, полученным опытным путём: на входе влажность приточного воздуха – 19,8 %, а на выходе – 30,5 %. По графику видно, что на 8 минуте пароувлажнитель начинает работать в нормальном режиме, а до этого он работал на прогревание внутренних поверхностей камеры.

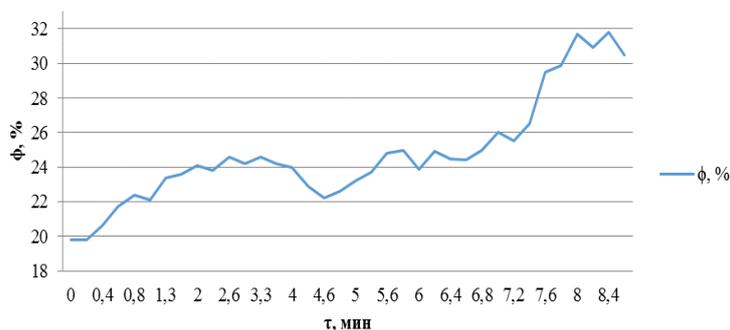


График 4 – Зависимость изменения влажности от времени

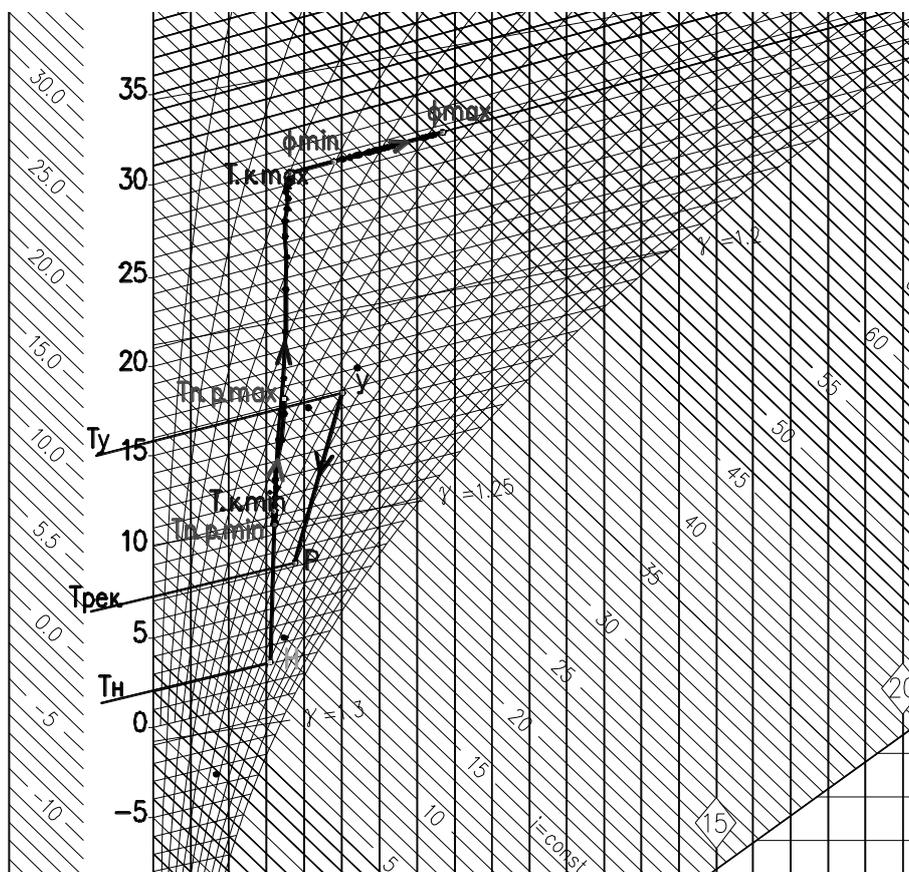


Рисунок 2 – Процессы изменения состояния влажного воздуха на I-d диаграмме

Все полученные данные по изменению состояния воздуха в элементах центрального промышленного кондиционера мы отобразили на I-d диаграмме (рис. 1), где точка Н – наружный воздух, У – удаляемый воздух,  $\varphi_{\min, \max}$  – максимальное и минимальное значение относительной влажности (в пароувлажнителе),  $T_{k.\min, k.\max}$  – минимальное и максимальное значение температуры в калорифере,  $T_{p.\min, p.\max}$  – минимальное и максимальное значение температуры в рекуператоре.

Можно сделать вывод, что данные полученные экспериментально, очень близки к «идеальным», то есть экспериментальная установка, проверяемая в данном опыте, работает эффективно, что в свою очередь делает возможным её использование.

При улучшении конструкции установки, а также её более точной сборке, можно добиться более эффективной работы центрального промышленного кондиционера. Использование таких установок необходимо для автоматического поддержания в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха на определенном уровне для обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, для ведения технологических процессов, обеспечение сохранности ценностей культуры. Однако для того, чтобы добиться более эффективной работы центрального кондиционера, так же необходима его «грамотная» эксплуатация.

УДК 69.003+677.0

*Луковец А.О.*

*Научный руководитель к.т.н., доцент: Шпендик Н.Н.*

## **ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ТКАНЕЙ ИЗ КРАПИВЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Одной из самых ярких тенденций в мире моды современности можно смело называть эко-одежду. Экологической одеждой можно назвать все предметы гардероба, которые пошиты из натурального или же экологически чистого сырья без применения химикатов, образования отходов, которые могут загрязнять окружающий мир. Эко одежду еще иногда называют этичной одеждой, потому что изготавливают ее в полном соответствии со всеми законами природы, с соблюдением баланса интересов животных и человека. Подбирая вещи, мало кто задумывается об их вреде для организма. Чаще людей интересуют мода и эстетические критерии, чем натуральность тканей, отсутствие токсичных красителей. В результате безответственное отношение к гардеробу приводит к серьезным недомоганиям. У человека нарушается теплообмен или внезапно появляются сыпь на теле, зуд и даже непрекращающийся насморк.

Впервые об искусственных волокнах заговорили в 1900 году, когда группа британских исследователей провела синтез продуктов переработки нефти и получила из них полимеры. Эти вещества стали основным химическим компонентом в производстве синтетических материалов для пошива одежды. Такие вещи долговечные и выглядят ярче, чем модели, изготовленные из сырья растительного и животного происхождения. Обычно подобные изделия привлекают покупателей низкой ценой. Но кроме внешнего вида, важно оценить их безопасность для всех членов семьи.

Главное условие для производства экоодежды – это абсолютная натуральность. Культуры, из которых делают ткань для такой одежды, выращивают без использования пестицидов, тяжелой техники. Полученную ткань не

красят химическими красителями и не отбеливают. Чтобы окрасить ткань, берут только те вещества, которые разрешены к использованию в этичной текстильной области. Все они имеют натуральное происхождение. Они не оказывают негативного воздействия на экосистемы, окружающую среду и организм человека. Именно поэтому эко-одежда сейчас представляет собой привлекательные модные модели и яркие, оригинальные этические аксессуары.

Всемирно известная натуральная ткань – это ткань из хлопка. Но выращивание хлопка наносит огромный вред окружающей среде. Около четверти всех пестицидов, используемых в мире, применяется на плантациях хлопка, истощая почву, загрязняя воздух и водоемы. Кроме этого, хлопок растет только в определенном климате, его приходится перевозить на огромные расстояния.

Стабильной популярностью у людей пользуется одежда из льна, которая обладает не только практичностью и долговечностью, безупречным внешним видом, но и целебными свойствами, благодаря чему оказывает оздоравливающий эффект на тех, кто её носит. Из льняной ткани можно делать самые разные модели, которые неизменно соответствуют тенденциям мировой моды.

Ткани для эко-одежды можно делать из крапивы, точнее, из специального ее вида – рами (он совсем не жжется). Одежда из такой ткани имеет удивительную выносливость, повышенную износостойкость, антисептические, терморегулирующие и антистатические свойства. Она отличается и специфическим глянцевым блеском, который становится только ярче после очередной стирки. Одежду из рами считают незаменимой в условиях города. В таблице 1 приведена сравнительная характеристика волокон из различного сырья. Анализ хорошо известных волокон показывает, что волокна из крапивы обладают весьма конкурентоспособными свойствами по сравнению с другими широко используемыми волокнами.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика волокон

Внешний вид и свойства волокон	Название волокна			
	крапива	лён	хлопок	шёлк
Цвет	светло-серый	светло-серый	белый	белый
Блеск	матовый	резкий	матовый	не очень резкий
Длина	500-1000 мм	250-1000 мм	6-52 мм	700-800 мм
Толщина	тонкое волокно	тонкое волокно	средняя	очень тонкое волокно
Извилистость	прямое	прямое	слабая	прямое
Мягкость	средняя	средняя	большая	большая
Гладкость	волокно гладкое	волокно гладкое	волокно пушистое	волокно гладкое
Прочность	высокая	высокая	средняя	высокая
Упругость	большая	большая	малая	средняя

Республика Беларусь обладает оптимальными климатическими условиями для выращивания крапивы, особенно в условиях изменяющегося климата с теплыми зимами и продолжительным вегетационным периодом. К тому же

крапива является для нашей страны обыкновенным сорняком, который произрастает практически повсеместно, к сожалению, данный сорт крапивы даёт волокна зеленоватого оттенка, поэтому для производства тканей лучше использовать крапиву южных сортов. Этот вид крапивы необходимо выращивать специально, как техническую культуру. При этом не потребуются применение каких-либо пестицидов и химикатов. Производство ткани из крапивы практически не оказывает вредного воздействия на окружающую среду, также это безотходное производство, так как в любом случае органическое сырьё всегда можно использовать для различных целей. С точки зрения «зеленой» экономики это абсолютно экологическое производство.

Технологический процесс производства тканей из крапивы очень схож с процессом производства тканей из льна. Он включает в себя следующие стадии: обминание, трепание, ошмыгивание, чесание, изготовление пряжи, производство холста. Обработку тресты начинают с обминания ее в специальных мялицах. От того, насколько добросовестно размяты стебли, зависит качество пряжи. Чтобы удалить из обмятой тресты кострику — деревянные части стебля, разломанные на мелкие кусочки, — ее треплют. Особенно трудно отделяются от повесма вещества, находящиеся между волокнами в верхнем слое стебля. Их можно окончательно разрушить и удалить способом ошмыгивания. Подготовленные к чесанию волокна называют мычками. Крапивные, а также конопляные мычки состоят из длинных, средних и коротких волокон. Чем длиннее волокна, тем тоньше и длиннее пряжа. Из пряжи производят холст.

Цена эко-одежды заслуживает отдельного внимания. Изготовление такой одежды требует значительных технологических затрат, человеческих ресурсов, поэтому цена на одежду значительная, но не предельная. Производство изделий из ткани крапивы может быть весьма эффективным делом. В таблице 2 представлены основные экономические показатели такого производства у небольшой фирмы со штатом в 9 человек.

Таблица 2 – Сводная таблица основных экономических показателей

Показатели	План на первый месяц
Годовой товарооборот	228 млн
Численность работников предприятия	8 шт
Валовый доход	228 млн
Издержки производства и обращения	114 млн
Фонд оплаты труда	80 млн
Валовая прибыль	116 млн
Чистая прибыль	88 млн
Рентабельность, %	38,6 %

Расчетная рентабельность такого производства составила 38,6 %, что является хорошим экономическим показателем.

К тому же крапива широко используется в медицинских и косметологических целях. Этот факт можно использовать в качестве сопутствующего производства.

### Заключение

В условиях сложившейся экономической ситуации необходимо использовать принципиально новые подходы в развитии промышленного комплекса нашей страны. Производство продукции на основе местной сырьевой базы всегда являлось выгодным. Предложенный нами вариант производства одежды из крапивной ткани уже опробован в европейских странах, такая одежда

пользуется популярностью. Климатические условия нашей страны также позволяют выращивать крапиву на сырьё. К тому же технология производства ткани из крапивы схожа с технологией производства ткани из льна, а значит, на существующих льнозаводах Республики Беларусь, например Пружанский льнокомбинат, используя уже имеющееся оборудование, можно производить ткань из такого доступного сырья, как крапива.

#### **Список цитированных источников**

1. Об охране окружающей среды: Закон Республики Беларусь, 26 ноября 1992 г., № 1982-XII в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2006.

2. О государственной экологической экспертизе: Закон Республики Беларусь 9 ноября 2009 г. № 54-3 // Консультант Плюс : Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2006.

3. О порядке проведения государственной экологической экспертизы: постановление Совета Министров Республики Беларусь, от 19 мая 2010 г. №755 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2004. – № 69. – 5/14142.

4. Об утверждении нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном населенных пунктов и мест массового отдыха на селения: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 186 от 30 декабря 2010 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2004. – № 69. – 5/14142.

5. Об утверждении классов опасности загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, порядка отнесения загрязняющих веществ к определенным классам опасности загрязняющих веществ: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 21 декабря 2010 г. № 174 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2004. – № 69. – 5/14142.

6. Инструкция о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими эксплуатацию источников вредного воздействия на окружающую среду: утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 01.02.2007 г. № 9 - Минск : Дикта, 2004.

7. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. – Мн., 2002. – 292 с.

8. Шамякін, І.П. Прырода Беларусі / І.П. Шамякін // Беларуская энцыклапедыя у 5- т. / - Мн.: БелСЭ, 1983. – Т.І.

9. Гідрометеоцэнтр [Электронны рэсурс]: Справочник по климату. – Электронные данные – Минск.

УДК 378.14(07)

**Матюх К.О.**

**Научный руководитель: старший преподаватель кафедры НГиИГ**

**Матюх С.А.**

## **ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Цель данной работы - изучение построения линий среза и перехода при выполнении графических работ с использованием графического редактора КОМПАС-график.

Любая машина, прибор состоят из деталей, соединенных между собой. Детали могут отличаться друг от друга по форме, размерам и технологическому процессу их изготовления. Одни детали изготавливают из листового материала, другие из сортаментного и фасонного проката или изделий-заготовок путем механической обработки, третьи получают литьем, горячей штамповкой. В машиностроении все чертежи строят по способу ортогонального проецирования, который дает полные сведения о форме предмета благодаря применению нескольких изображений (проекций). Способ прямоугольного проецирования отличается простотой построения и удобством измерений.

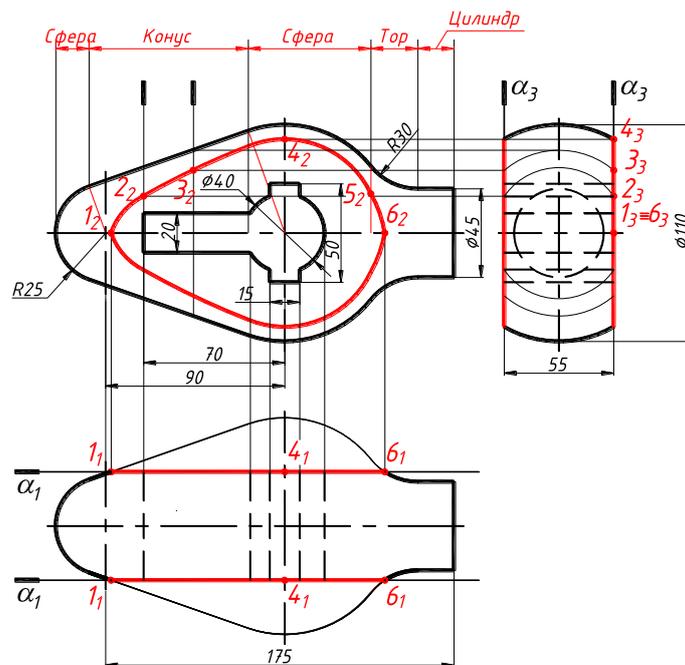
Для быстрого внедрения и освоения новой техники существенное значение приобретает умение правильно читать чертежи. Прочитать современный чертеж изделия (детали, сборочной единицы) – значит получить полное представление о форме, размерах и технических требованиях. Применение графического редактора КОМПАС-график при выполнении графических работ линии среза и перехода имеет ряд преимуществ - это возможность быстро, эффективно и с достаточной точностью выполнять чертежи деталей на базе трёхмерного моделирования.

Многие детали различных механизмов и машин (станины, головки шатунов, рычаги, вилки, рукоятки и др.) имеют срезы одной или несколькими параллельными плоскостями. Кривая линия, получающаяся при пересечении тел вращения (цилиндр, сфера, тор, конус и др.) плоскостью, называется линией среза.

При выполнении построений, прежде всего, устанавливают границы заданных поверхностей вращения. Разграничение участков элементарных поверхностей позволяет определить характер отдельных участков линий среза и правильно выбрать количество и расположение вспомогательных секущих плоскостей, необходимых для построения промежуточных точек на линии среза. На чертеже границами поверхностей вращения являются линии касания или пересечения элементарных поверхностей. Построенные границы элементарных поверхностей можно рассматривать и как линии пересечения поверхности вращения плоскостями, перпендикулярными оси - профильными плоскостями.

При пересечении конической поверхности образуются различные сечения. Плоскость, проходящая параллельно оси, пересекает цилиндр по образующим. В зависимости от расположения секущей плоскости прямой круговой конус может пересекаться по окружности, эллипсу, параболе, гиперболе. Кривые пересечения тора с плоскостью, параллельной оси имеют общее название – кривые Персея. Вид кривых зависит от расстояния секущей плоскости до оси тора.

При выполнении чертежей, содержащих линии среза, тела располагают так, чтобы плоскость среза, а следовательно, и линия среза были параллельны фронтальной плоскости проекций. При таком расположении проекция линии среза на главном виде будет иметь натуральный вид, а на видах слева и сверху ее проекциями окажутся отрезки прямых – следы секущих плоскостей. При выполнении построений устанавливают границы заданных поверхностей вращения и определяют элементарные поверхности — сфера, конус, тор и цилиндр, а также определяют характерные точки линии среза (рис. 1).



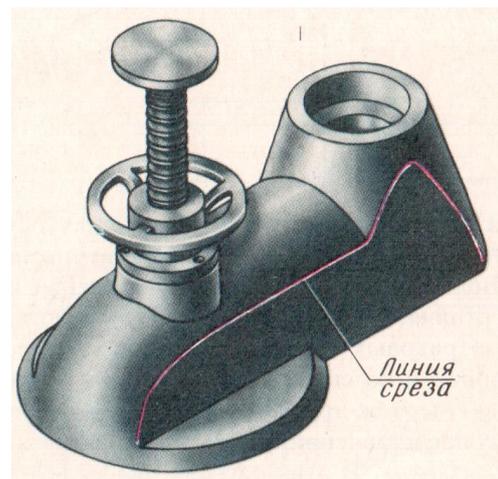
**Рисунок 1**

Точное построение линий среза на производственных чертежах требуется в редких случаях, и часто изображают с упрощениями. Однако эта классическая задача, предусмотренная программой курса «Инженерная графика», содействует развитию навыков конструирования.

Шатун двигателя внутреннего сгорания соединяет поршень двигателя с коленчатым валом и во время работы двигателя передаёт все усилия от поршня на коленчатый вал и, наоборот, от коленчатого вала к поршню (рис. 2). На рис. 3 изображен стол прибора для испытания твердости металла, боковая поверхность этой детали получается при сечении поверхностей (сфера, цилиндр и конус) плоскостью.



**Рисунок 2**



**Рисунок 3**

Форма большинства наиболее сложных и ответственных оригинальных деталей приборов и машин образована комбинацией различных тел, расположенных в пространстве так, что их поверхности пересекаются между собой. Поэтому важным этапом конструирования таких деталей является определе-

ние границ элементарных поверхностей, которыми и являются линии их взаимного пересечения [1]. На чертежах деталей машин линии пересечения и линии перехода различных поверхностей встречаются очень часто. Иногда эти линии являются сложными лекальными кривыми, для построения которых необходимо найти определённое количество точек. На чертежах линии пересечения поверхностей изображаются сплошной основной линией. В местах сопряжения поверхностей литых и штампованных деталей нет четкой линии пересечения. Воображаемая линия пересечения называется линией перехода и условно изображается на чертежах сплошной тонкой линией.

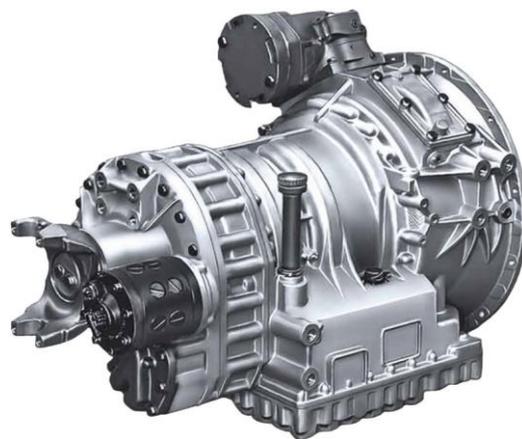
В технике встречается много деталей, имеющих отверстия цилиндрической, прямоугольной, треугольной или смешанной формы. Линии пересечения отверстий с поверхностями определяются теми же методами, что и построение линий пересечения геометрических тел. В каждом случае отверстие можно рассматривать как тело, проходящее через данную деталь. Линия пересечения цилиндра с отверстием, являющимся комбинацией четырехугольной призмы и двух полуцилиндров, - форма шпоночной канавки.

Рассматривая геометрические составляющие, из которых состоят детали, следует помнить о том, что внешние и внутренние формы большинства предметов образуются сочетанием нескольких, часто различных по характеру, поверхностей [3]. При выполнении графической работы «Линии перехода» для нахождения точек линий перехода (пересечения) двух поверхностей нужно выбирать наиболее рациональный способ решения.

Крестовины - составная часть карданного шарнира, поставляются как самостоятельное изделие или в сборе с игольчатыми подшипниками (рис.4). Коробка передач (трансмиссия, коробка переключения передач, коробка скоростей, КП) - агрегат различных промышленных механизмов (например, станков) и трансмиссий механических транспортных средств (рис. 5).



**Рисунок 4**



**Рисунок 5**

С помощью графической системы КОМПАС-график, используя изученные методы начертательной геометрии, возможно эффективно и быстро строить линии среза и перехода при изучении инженерной графики. На современном этапе использование графического пакета КОМПАС-график эффективно в конструкторском проектировании, машиностроении, радиоэлектронике, проектировании различного оборудования. Важным моментом является также широкое внедрение КОМПАС-график в учебный процесс, что позволяет минимизировать временные затраты на адаптацию будущих специалистов в условиях реального производства.

### **Список цитированных источников:**

1. Бабулин, Н.А. Построение и чтение машиностроительных чертежей: учебник / Н.А. Бабулин – 12-е изд., доп. – М.: Высш.шк., 2005. – 453 с.: ил.
2. Герасимов, А.А. Самоучитель Компас 3D - СПб.: Питер, 2014. – 304 с.
3. Геометрические построения, виды, разрезы, сечения, аксонометрия, линии среза и перехода: методическое пособие по инженерной графике к выполнению заданий на темы: для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения / Н.И. Кондратчик, В.А. Морозова, С.А. Матюх. – Брест, 2013. Ч.1. – 60 с.

УДК 550.4 (476)

**Поворотная Ю.С.**

**Научный руководитель: к.т.н. Волчек Ан.А.**

## **ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ БЕЛАРУСИ И ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЕ**

Целью настоящей работы является изучение качества поверхностных вод Беларуси и оценка степени их загрязнения по основным показателям.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Республика Беларусь обладает достаточно большим количеством водных объектов и не испытывает дефицита в воде. На территории находится 20800 рек. Самыми крупными являются Днепр, Березина, Припять, Сож, Неман, Птичь, Западная Двина, Щара, Свислочь, Друть, Виляя, Ясельда, Березина и Случь. Однако в настоящее время существует проблема качества вод. В гидрохимическом режиме рек Беларуси происходят изменения, причем не всегда в лучшую сторону.

Существует большое количество путей загрязнения водных объектов. Возникновение загрязняющих веществ может быть природного и техногенного характера. Безусловно, антропогенная нагрузка оказывает более сильное влияние на состояние окружающей среды. Высокую опасность несут сбросы несанкционированных объемов загрязненных вод с предприятий либо недостаточно очищенные воды, в которых превышены предельно допустимые концентрации загрязнителей. Сельское хозяйство и животноводство также оставляют свой след. Химикаты, защищающие урожай от вредителей, азотные, калийные и фосфорные удобрения вместе с поверхностным стоком попадают в реки и водоемы. С птицефабрик и животноводческих ферм в воды попадают антибиотики, продукты жизнедеятельности животных, остатки комбикормов, а также осевшие молекулы метана. Особую опасность представляют собой выбросы и сбросы на предприятиях химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли, а также при производстве медицинских препаратов и биологически активных добавок. Вещества на этих производствах могут быть токсичны, имеют свойство накапливаться в водах, почве и в живых организмах. Повышенные меры контроля за деятельностью предприятий и лимитирование сбросов помогают бороться с этим источником загрязнения. На современном этапе необходима постоянная оценка качества поверхностных вод и прогноз изменения гидрохимического режима рек на ближайшие десятилетия.

### **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В исследовании использовались данные Государственного водного кадастра Республики Беларусь за период с 1994 по 2014 гг. Были проанализированы изменения по основным гидрохимическим показателям: содержание в воде аммоний-иона, взвешенных частиц, растворенного кислорода, нефти и нефтепродуктов, нитритов, фосфатов, бихроматная окисляемость, индекс загрязнения вод (ИЗВ), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>).

В Беларуси для водных объектов различного назначения устанавливается предельная допустимая концентрация химических веществ (ПДК) с помощью

основного стандарта качества поверхностных вод. Для определения степени загрязнения воды используют оценку качества воды при помощи комплексного показателя – индекса загрязнения воды (ИЗВ). По этому показателю выделяют 7 степеней загрязнения поверхностных вод.

Для оценки изменений в гидрохимическом режиме рек в использовались стандартные статистические методы, в том числе линейные тренды. Их значимость определялась коэффициентами корреляции. В некоторых случаях также использовались нелинейные тренды. Оценка изменения временных рядов оценивалась градиентом изменения ( $\alpha$ ), т. е. величиной численно равной коэффициенту регрессии ( $a$ ), умноженному на 10 лет ( $\alpha = a \cdot 10$  лет). Значимость коэффициента корреляции установлена на 5 %-м уровне ( $r_{кр} = 0,576$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Способы определения качества природных вод

Индекс загрязненности вод – это комплексный показатель. При его расчете учитывают содержание растворенного кислорода, легкоокисляемых органических веществ, азота аммонийного, азота нитритного, фосфора, фосфатов и нефтепродуктов. Величина критерия ИЗВ нормирована, и эта норма является экспертной оценкой; в зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяются на классы (табл. 1).

Таблица 1 – Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения вод

Оценка качества воды	Значение ИЗВ	Классы вод
Чистая	$\leq 0,30$	I
Относительно чистая	0,31 – 1,00	II
Умеренно загрязненная	1,01 – 2,50	III
Загрязненная	2,51 – 4,00	IV
Грязная	4,01 – 6,00	V
Очень грязная	6,01 – 10,00	VI
Чрезвычайно грязная	>10,00	VII

Данная система оценки качества воды является наиболее распространенной из-за ее относительной простоты, несмотря на очевидные недостатки.

Санитарно-гигиеническим нормативом качества вод является предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ. Под ПДК понимается такая концентрация химических элементов и их соединений, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений. Ниже приведены предельно допустимые концентрации исследуемых в работе веществ.

Таблица 2 – Показатели качества воды и нормативы ПДК химических веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов

Показатели и ингредиенты	Критерии ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
Растворённый кислород	в зимний (подледный) период – не менее 4 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> в летний период - не менее 6 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
БПК полн.	не более 3,0 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Азот аммонийный	0,39
Азот нитритный	0,024
Фосфаты	0,066 (по Р)
Нефтепродукты	0,05

## Качество поверхностных вод

Загрязнение воды аммоний-ионом на территории Беларуси наблюдается с 2006 по 2014 год на реках Западная Двина, Полота, Щара, Уша, Мухавец, Березина, Плисса, Свислочь, Припять и Ясельда. Предельно допустимая концентрация превышена в 1,5-3 раза. На Березине в период с 2006 по 2010 годы концентрация аммиака в 3-5 раз выше ПДК. Максимальное превышение допустимого уровня загрязнения было зафиксировано в 2006 и 2007 году на реке Свислочь (10 км ниже г. Минска) и составило более 4 мг/л при норме 0,39 мг/л. В 1997 году отдельные очаги загрязнения аммиаком были на реке Днепр, Березина и Свислочь. Периодически после 2006 года и до нынешнего времени фиксируются очаги загрязнения аммонием на реках Неман, Россь, Виляя, Сож, Горынь и в водохранилищах Осиповичское и Солигорское.

При анализе значений бихроматной окисляемости было обнаружено более 40 % случаев превышения ПДК. Самые загрязненные органическими и неорганическими веществами реки – это Мухавец, Березина, Припять, Ясельда, Горынь и водохранилища Вилейское и Солигорское. Достаточно загрязнены реки Западная Двина, Неман, Виляя, Щара, Свислочь, Плисса. Самой чистой рекой по этому показателю является Днепр.

За исследованный период по показателю биологического потребления кислорода выявлены загрязнения на реках Неман, Мухавец, Свислочь, Ясельда, Горынь и в водохранилищах Заславское, Осиповичское и Солигорское. Незагрязненными реками по БПК являются реки Западная Двина, Полота, Сож, Ипать и озеро Нарочь. В 33 случаях из 42 отмечается отрицательное значение градиента. Это означает, что данный показатель идет на снижение практически на всех створах рек.

Наименьшее количество взвешенных частиц в реках Березина, Сож, Ипать и в озере Нарочь. Самые мутные воды в реках Неман, Уша, Свислочь, Припять и Ясельда. Также высокий уровень содержания взвесей в водохранилищах Осиповичское и Солигорское. В 66 % створов наблюдается положительная динамика уровня загрязнения взвешенными веществами.

Результаты проведенного анализа по индексу загрязненности вод показывают, что на всех исследуемых створах наблюдается снижение значений ИЗВ в поверхностных водах. Об этом свидетельствует отрицательное значение градиента. Среднемноголетнее значение в большинстве случаев (66,6%) соответствует третьему классу качества воды – умеренно загрязненные. В эту категорию попали реки Западная Двина, Россь, Уша, Мухавец, Днепр, Березина, Плисса, Ипать, Припять, Ясельда, Горынь, а также водохранилища Осиповичское и Солигорское. На реке Свислочь ниже Минска наблюдается наибольшее загрязнение. На этом участке 4 класс качества – загрязненная вода. В оставшихся случаях (33,3 %) вода относительно чистая. К относительно чистым относятся реки Лидея, Щара, Виляя, Сож, озера Лукомльское и Нарочь, а также водохранилища Вилейское и Заславское.

Анализ уровня кислорода в воде отображен в таблице 5. Отрицательное значение градиента указывает на снижение уровня кислорода. Среднемноголетнее значение в большинстве случаев колеблется от 7,0 до 9,5 мг O<sub>2</sub> на литр. Наименьшее значение имеет створ реки Ясельды 6,7 мг O<sub>2</sub> на литр. Недостаток растворенного кислорода был выявлен в реке Березина в 2010 году, в реке Ясельда в 2007, на реке Плисса в период с 2011 по 2014 годы, а также в Солигорском водохранилище в 1996 году.

Загрязненность вод нефтепродуктами в период с 1994 года по 1999 наблюдалась повсеместно. Отдельные очаги загрязнения выявлены на реках Западная Двина, Виляя, Уша и Днепр с 2003 по 2006 год, а также на реке

Свислочь с 2002 по 2012 год. Наблюдается постепенное снижение количества нефтепродуктов в поверхностных водах.

Сильные загрязнения фосфатами наблюдаются на реках Россь, Уша, Мухавец, Днепр, Березина, Свислочь, Припять, Ясельда, Горынь и в Осиповичском водохранилище. Незначительные загрязнения были выявлены на реках Неман, Полота, Сож, Ипать и в Солигорском водохранилище. Значения градиента положительные, но крайне малы. Это свидетельствует о незначительном увеличении концентраций фосфатов в воде.

Таблица 3 – Показатели ИЗВ по створам рек Беларуси

Река-створ	$\frac{\alpha}{r}$	Сред- нее $C_v$	Река-створ	$\frac{\alpha}{r}$	Сред- нее $C_v$
р.З.Двина 0,5 км выше пгт. Сураж	$\frac{-0,073}{0,881}$	$\frac{0,855}{0,566}$	р.Днепр 0,5 км ниже г. Орши	$\frac{-0,072}{0,726}$	$\frac{1,198}{0,468}$
р.З.Двина 2,0 км ниже г. Витебска	$\frac{-0,074}{0,894}$	$\frac{0,960}{0,494}$	р.Днепр 2,0 км ниже г. Шклова	$\frac{-0,055}{0,777}$	$\frac{1,011}{0,373}$
р.З.Двина 1,5 км ниже г. Полоцка	$\frac{-0,071}{0,836}$	$\frac{1,006}{0,478}$	р.Днепр 25,6 км ниже г. Могилева	$\frac{-0,060}{0,764}$	$\frac{1,087}{0,388}$
р.З.Двина 15,5 км ниже г. Новополоцка	$\frac{-0,058}{0,852}$	$\frac{1,017}{0,354}$	р.Днепр 2,0 км ниже г. Быхова	$\frac{-0,055}{0,639}$	$\frac{1,052}{0,458}$
р.З.Двина 5,5 км ниже г. Верхнедвинска	$\frac{-0,071}{0,857}$	$\frac{1,017}{0,459}$	р.Днепр 5,6 км ниже г. Речицы	$\frac{-0,060}{0,802}$	$\frac{1,231}{0,301}$
р.Полота в черте г. Полоцка	$\frac{-0,061}{0,847}$	$\frac{1,021}{0,384}$	р.Днепр 8,5 км ниже гп. Лоева	$\frac{-0,044}{0,663}$	$\frac{1,250}{0,233}$
оз. Лукомльское 8,0 км З от г. Новолукомль	$\frac{-0,065}{0,767}$	$\frac{0,801}{0,595}$	р.Березина 5,9 км ниже г. Борисова	$\frac{-0,051}{0,718}$	$\frac{1,217}{0,286}$
р.Неман 0,6 км ниже г. Столбцы	$\frac{-0,047}{0,840}$	$\frac{0,930}{0,300}$	р.Березина 1,9 км ниже г. Бобруйска	$\frac{-0,048}{0,679}$	$\frac{1,251}{0,070}$
р.Неман 5,3 км ниже г. Мосты	$\frac{-0,070}{0,737}$	$\frac{0,949}{0,588}$	р.Березина 2,7 км ниже г. Светлогорска	$\frac{-0,060}{0,757}$	$\frac{1,310}{0,299}$
р.Неман 10,6 км ниже г. Гродно	$\frac{-0,063}{0,895}$	$\frac{1,002}{0,375}$	р.Плисса 0,8 км ниже г. Жодино	$\frac{-0,030}{0,399}$	$\frac{1,288}{0,277}$
р.Лидея 3,1 км ниже г. Лиды	$\frac{-0,046}{0,769}$	$\frac{0,957}{0,314}$	р.Свислочь 10,0 км ниже г. Минска	$\frac{-0,144}{0,456}$	$\frac{3,980}{0,442}$
р.Щара 2,1 км ниже г. Слонима	$\frac{-0,053}{0,826}$	$\frac{0,947}{0,354}$	р.Свислочь в черте с. Свислочь	$\frac{-0,079}{0,571}$	$\frac{1,557}{0,512}$
р.Россь 16,7 км ниже г. Волковыска	$\frac{-0,048}{0,713}$	$\frac{1,260}{0,255}$	р.Сож 4,0 км ниже г. Кричева	$\frac{-0,041}{0,741}$	$\frac{0,873}{0,327}$
р.Виля 0,5 км ниже г. Вилейки	$\frac{-0,056}{0,766}$	$\frac{0,888}{0,469}$	р.Сож 13,7 км ниже г. Гомеля	$\frac{-0,051}{0,767}$	$\frac{1,074}{0,307}$
р.Виля 6,0 км СВ г. Сморгонь	$\frac{-0,037}{0,595}$	$\frac{0,886}{0,349}$	р.Ипать 1,7 км ниже г. Добруша	$\frac{-0,036}{0,567}$	$\frac{1,063}{0,290}$
р.Уша 0,7 км ниже г. Молодечно	$\frac{-0,009}{0,087}$	$\frac{1,509}{0,346}$	р.Припять 3,5 км ниже г.Пинска	$\frac{-0,043}{0,482}$	$\frac{1,400}{0,326}$
оз. Нарочь в черте п. Нарочь	$\frac{-0,028}{0,782}$	$\frac{0,540}{0,352}$	р.Припять 1,0 км ниже г.Мозыря	$\frac{-0,061}{0,870}$	$\frac{0,936}{0,412}$
вдхр. Вилейское в черте г. Вилейки	$\frac{-0,048}{0,758}$	$\frac{0,906}{0,374}$	р.Ясельда 0,5 км ниже г. Березы	$\frac{-0,064}{0,640}$	$\frac{1,457}{0,363}$
вдхр. Заславское, ГЭС Гонолес	$\frac{-0,043}{0,632}$	$\frac{0,855}{0,410}$	р.Горынь 0,5 км ниже г. Речицы	$\frac{-0,059}{0,817}$	$\frac{1,086}{0,357}$
р.Мухавец 1,7 км ниже г. Кобрин	$\frac{-0,057}{0,727}$	$\frac{1,203}{0,332}$	вдхр. Осиповичское 15 км на СЗ от г. Осиповичи	$\frac{-0,061}{0,563}$	$\frac{1,684}{0,332}$
р.Мухавец в черте г. Бреста	$\frac{-0,043}{0,720}$	$\frac{1,040}{0,275}$	вдхр. Солигорское 7,0 км на ЮЗ от г. Солигорска	$\frac{-0,076}{0,689}$	$\frac{1,282}{0,482}$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе исследования было выявлено снижение концентрации отдельных загрязняющих веществ. В 67 % качество поверхностных вод относится к категории умеренно загрязненных. На основании показаний градиента наибольшие улучшения наблюдаются по содержанию аммоний-иона, фосфатов и по показателю бихроматной окисляемости. Отрицательная динамика в бассейне Западной Двины наблюдается по количеству нефтепродуктов, растворенного кислорода и взвешенным частицам. В бассейне реки Неман снижается количество аммоний-иона, взвешенных частиц, нитритов и фосфатов. Улучшаются показатели бихроматной окисляемости и биохимического потребления кислорода. В бассейне Днепра наблюдается отрицательная динамика количества нефтепродуктов и нитритов в воде. По остальным показателям динамика положительная.

### **Список цитированных источников**

1. Ландшафтные воды в условиях техногенеза: монография / О.В. Кадацкая [и др.]. – Минск: Бел. наука, 2005. – 347 с.
2. Раткович, Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. – М.: Наука, 2003. – 352 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат. – Т. 5. – ч.1. – 1966. – 718 с.; – ч. II. – 1966. – 621 с.
4. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2005 год). – Минск: ЦНИИКИВР, 2006. – 106 с.
5. Пашкевич, В.И. Влияние осушительных мелиораций на формирование химического состава грунтовых вод// Формирование подземных вод под влиянием антропогенных факторов/ Сб. научн. ст./ Под А. В. Кудельского. – Минск: Наука и техника, 1990. – С. 73 – 86.
6. Бохонко, В.И. Формирование русел рек и экологическое состояние их водосборов / В.И. Бохонко, Ю.М. Корчоха. – Минск: БГЭУ, 2001. – 160 с.
7. Природная среда Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова. Минск: ООО «БИП – С», 2002. – 352 с.
8. Рэкі і каналы // Беларуская энцыклапедыя. — Т. 18, ч. 2: Беларусь. — С. 47-49.
9. Государственный водный кадастр Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/gvk> – Дата доступа: 15.12.2015.

УДК 628.162, УДК 628.316

**Сковбель Т.С., Войтеховская К.Н.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент, профессор. Житенев Б.Н.,  
доцент Андреюк С.В.**

## **МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БРЕСТСКОГО РЕГИОНА НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ**

Целью настоящей работы является исследование шахтных колодцев и водозаборных скважин на наличие нитратов, усиление внимания к проблеме загрязнения подземных вод азотсодержащими веществами.

### **Введение**

В настоящее время одной из важнейших проблем в природоохранной деятельности является загрязнение подземных вод нитратами. Очистка воды от нитрат-ионов в настоящее время все чаще является насущной необходимостью.

Нитраты - это соли азотной кислоты, наличие которых, как правило, вызвано поступлением в воду хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, а также стоков воды с сельскохозяйственных угодий, обрабатываемых азотсодержащими удобрениями, и с атмосферными осадками. Источники попадания азото-

содержащих соединений в систему грунтовых вод: естественные (почвенный азот, атмосферные осадки, богатые азотом биологические отложения) и антропогенные (азотные удобрения, животноводческие фермы, места сброса хозяйственных и промышленных стоков, дренажные воды септических бассейнов).

Азотсодержащие вещества чаще воздействуют на человека через воду. Их присутствие резко ухудшает качество природной питьевой воды, ее органолептические и бактериологические показатели. По мнению некоторых исследователей, с употреблением загрязненной воды может быть связано от 30 до 50 % случаев новообразований. При поступлении больших доз нитритов в организм человека наблюдается накопление метгемоглобина. При количествах метгемоглобина в крови до 25 % отмечается частичное кислородное голодание тканей, при 65-70 % - наступает смерть. Наиболее часто подвергаются заболеванию метгемоглобинемией дети грудного возраста.

Поступление нитратов в организм человека происходит с потреблением продуктов питания и воды. Считается, что до 70-80 % нитратов, поступающих в организм первоначально, содержится в продуктах питания растительного происхождения, доля нитратов водного происхождения обычно существенно меньше. Однако установлено, что нитраты воды в среднем в 1,5 раза токсичнее нитратов, содержащихся в растительной пище. В случае повышенного содержания нитратов в воде именно они составляют основную часть нитратной нагрузки на организм человека. Реальная нагрузка существенно зависит от характера питания и количественного содержания нитратов в воде и достигает в ряде случаев 500-600 мг/чел в сутки. Для взрослого человека допустимая суточная доза нитратов принята 300-325 мг/чел. Для детей - рассчитывается исходя из 5 мг нитратов на 1 кг массы тела. Эта доза иногда превышает и может приводить к неблагоприятным для здоровья населения последствиям.

Подземные воды более чем в 70 % разведанных месторождений Республики Беларусь не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству природных вод, обладают высокой коррозионной активностью и поэтому без предварительной очистки и стабилизационной обработки не могут быть использованы для целей питьевого водоснабжения. Интенсивная хозяйственная деятельность в бассейнах рек неизбежно приводит к загрязнению подземных вод, о чем свидетельствуют результаты обобщения данных режимных наблюдений и геолого-гидрологических съемок. Вполне очевидно, что хозяйственное освоение новых водных объектов должно тесно интегрироваться с охраной экосистем, координироваться на местном, государственном и межгосударственных уровнях. Водное хозяйство является одной из базовых отраслей, успешное функционирование которой обеспечивает основу стабильного и устойчивого развития хозяйственного комплекса страны.

Брестская область, обладая значительными ресурсами пресных вод, в то же время, в сфере водопотребления имеет тот же круг проблем, что и во многих других регионах республики.

При кажущемся водном благополучии области, с точки зрения количественной обеспеченности, хозяйственная деятельность все чаще вносит свои поправки в качество водных объектов, что необходимо учитывать на перспективу. Длительность протекания процессов загрязнения обусловила и значительную глубину его проникновения в горизонт грунтовых вод, а нередко и в более глубокие напорные водоносные горизонты. Наиболее интенсивное загрязнение охватывает толщу до 10-15 м, что весьма актуально для сельской местности и приусадебных участков, но нередко и на глубинах 40-50 м фиксируются концентрации нитратов, превышающие уровень предельно допустимой (45 мг/л по содержанию нитратов).

Загрязнение подземных вод сохраняется многие годы, поскольку здесь слабый водообмен и отсутствуют необходимые условия для самоочистки. Эти воды в свою очередь являются долговременным источником загрязнения поверхностных стоков.

### Методика исследований

К существующим методикам определения нитратов водных растворах относятся потенциометрический метод определения нитрат-ионов (ГОСТ 23268.9 – 78) и колориметрический метод с фенолдисульфокислотой (ГОСТ 18826 – 73). Колориметрический метод основан на реакции между нитратами и фенолдисульфоновой кислотой с образованием нитропроизводных фенола, которые со щелочами образуют соединения, окрашенные в желтый цвет. Чувствительность метода 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Потенциометрический метод основан на прямом определении нитрат-ионов с использованием ионоселективного электрода. Метод позволяет определять нитрат-ионы в минеральных водах любой минерализации при содержании их от 10 до 70 мг/дм<sup>3</sup> с относительной ошибкой 10%. Работая с этим методом, мы выполнили калибровку, для чего нам потребовалось приготовить 6 растворов с различной концентрацией KNO<sub>3</sub> (калия азотнокислого) (табл.1). Взвешивание реактивов производили с погрешностью не более 0,001г. После градуировки электрода и графического построения градуировочной прямой (рис.1) при требуемой температуре приступили к измерениям неизвестной концентрации ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Перед началом работы электрод, который находился в растворе для вымачивания, тщательно отмывается дистиллированной водой и исследуемым раствором, затем помещается в исследуемый раствор. Электрод сравнения погружается только на время измерения. Полученные данные занесли в Таблицу 2.

В рамках собственных исследований нитратного загрязнения подземных вод Брестского региона, в таблице 2 представлены выявленные превышения предельно допустимой концентраций нитратов в воде водозаборных скважин и шахтных колодцев на приусадебных участках в городской, сельской местности и в пригородной зоне

Таблица 1 – Результаты измерений потенциалов электродов

№ раствора	Потенциал электрода, мВ	Массовая концентрация нитратов, мг/л	Логарифм	Значения рNO <sub>3</sub>
1	286	1,24	0,09	4,7
2	249,00	6,20	0,79	4
3	191,00	62,00	1,79	3,02
4	135,00	620,00	2,79	2,05
5	81,00	6200,00	3,79	1,13
6	40,00	62000,00	4,79	0,35

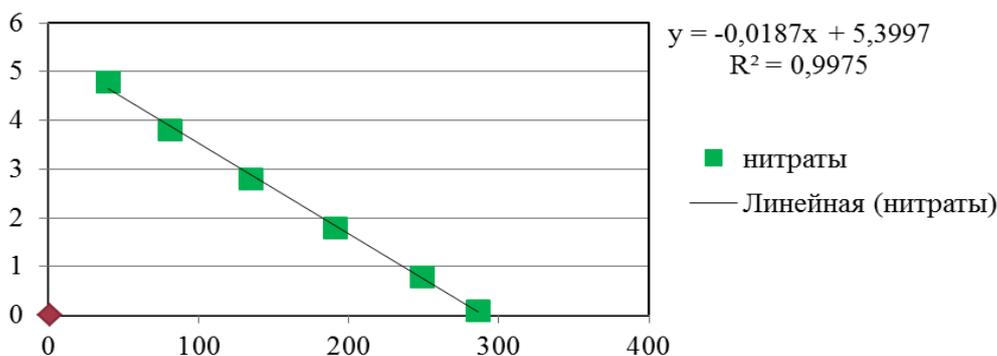


Рисунок 1 – Градуировочный график

Таблица 2 – Выявленные превышения предельно допустимой массовой концентрации нитратов в воде водозаборных скважин и шахтных колодцев Брестского региона в 2015-2016 гг.

№ пробы	Источник водоснабжения			Содержание нитратов, мг/л
	Местоположение	Тип	Глубина, м	
1	Г. Брест, р-н Катин Бор, ул. Космонавтов	Скважина	8	<b><u>102</u></b>
2	Брестский р-н, пос. Муховец, ул. Богданчука	Скважина	9	0,32
3	Брестская обл., Жабинковский р-н, д. Нагораны	Шахтный колодец	10	8,37
4	Брестская обл., Каменецкий р-н, д. Чемери	Скважина	8	16,6
5	Брестский р-н, д. Тельмы-2	Скважина	7	<b><u>61</u></b>
6	Г. Брест, р-н Новые Задворцы, ул. Новоселов	Скважина	11	45,32
7	Брестская обл., Кобринский р-н, д. Магдалин, ул. Новоселов	Шахтный колодец	6	<b><u>247</u></b>
8	Г. Брест, ул. Дружная	Скважина	5	<u>52,14</u>
9	Гродненская обл., г.п. Вороново, ул. Семашко, д. 14	Шахтный колодец	8	<b><u>102</u></b>
10	Гродненская обл., Вороновский р-н, д. Бояры, ул. Озерная, д. 58	Скважина	15-25	<u>49,09</u>
11	Брестский р-н, д. Чернавчицы	Скважина	7	13,10
12	Брестская обл., Каменецкий р-н, д. Сосны	Шахтный колодец	10	<b><u>59,14</u></b>
13	Брестская обл., Каменецкий р-н, д. Чемери-1, ул. Вишневая 53	Шахтный колодец	8	<u>51,98</u>
14	Брестский р-н, д. Закий	Скважина	8-9	<b><u>206,16</u></b>
15	Брестский р-н, д. Закий	Шахтный колодец	5-6	<u>47,69</u>
16	Брестская обл., Жабинковский р-н, д. Бусли	Шахтный колодец	7-8	<u>51,98</u>
17	Брестская обл., Дрогиченский р-н, д. Головчицы, ул. Гогаля, д.36	Скважина	40	1,23
18	Брестская обл., Ивацевичский р-н, д. Воля, 79	Шахтный колодец	2,5	<b><u>159,22</u></b>
19	Брестская обл., Дрогиченский р-н, д. Головчицы, ул. Гогаля, д.36	Шахтный колодец	6	43
20	г. Брест, Катин Бор, скважина №2	Скважина	9	3,16
21	Брестская обл., д.Прилуки	Скважина	9,5	0,99
22	г. Брест, д.Непли, ул. Лесная 2/Б	Шахтный колодец	5	<b><u>197,5</u></b>
23	г. Брест, СТ «Заозерное» уч. №300	Шахтный колодец	5	<b><u>128,4</u></b>
24	Брестская обл., Каменецкий р-н, д. Радость, д. 34	Шахтный колодец	6	<u>52</u>

По данным проведенного нами опробования, в 24 колодцах и скважинах на территории Брестской области содержание нитратов в воде составило в среднем 70,8 мг/дм<sup>3</sup>. Это почти в 2 раза превышает уровень ПДК, установленный для питьевых вод – 45 мг/дм<sup>3</sup>. Так же исследования показали, что содержание нитратов в подземных водах уменьшается с увеличением глубины.

#### **Заключение**

В общей сложности в водах 70 % опробованных колодцев и скважин содержание нитратов превышало уровень ПДК. Это дает основание констатировать,

что именно нитратное загрязнение грунтовых вод делает проблему сельского водоснабжения одной из острейших экологических проблем Беларуси.

Увеличение и накопление азотсодержащих соединений в природных водах нашей республики и за ее пределами требует, как снятия антропогенных нагрузок, так и улучшения качества питьевой воды путем применения прогрессивных и экономичных методов водоподготовки.

#### **Список цитированных источников**

1. Экологический бюллетень. 2013 г. – Минск, 2014. Редактор: В.Ф. Логинов, Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь.

2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, гос. науч. учр-е «Инс-т природопользования нац. Академии наук Беларуси». – Минск : Белтаможсервис, 2010. – 150 с.

3. Майский, В.В. Фармакология и рецептура: учебник для уч-ся мед. училищ / В.В. Майский [и др.]. – М.: Медицина, 1986.

4. Ильницкий, А.П. Канцерогенные вещества в водной среде / А.П. Ильницкий [и др.]. – М.: Наука, 1993.

5. СанПиН 10-124 РБ 99. Санитарные правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Минздрав РБ. – Минск, 1999.

6. Качество питьевых подземных вод в сельских населенных пунктах Беларуси // Информационный бюллетень. - Мн.: БелНИЦ «Экология». – 1997. - № 5(12) – 22 с.

УДК 628.16.08/09

**Сук Е.В.**

**Научный руководитель: профессор Житенёв Б.Н.**

### **ФУЛЬВАТЫ И ГУМАТЫ ЖЕЛЕЗА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ, МЕТОДЫ ИХ УДАЛЕНИЯ**

Целью настоящей работы является оценка совместного влияния массовых концентрации (МК) коагулянта  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  и флокулянта полиакриламида (ПАА) на процесс удаление железоорганических комплексов (ЖОК) воды при различных значениях активной реакции среды.

#### **Введение**

Наличие железа в природных водах связано с широким распространением этого элемента в природе. Железо составляет 4,56 % массы всей земной коры. Именно поэтому избыточное железо присутствует повсеместно, охватывая почти все источники водоснабжения. Даже такие низкие концентрации, как  $0,3-0,4 \text{ мг/дм}^3$ , могут вызвать появление пятен на сантехнике и ткани, брак в производстве. Более высокие концентрации придают воде характерный металлический привкус. При движении воды по трубам соединения железа осаждаются на стенках, что приводит к снижению площади живого сечения, увеличению гидравлического сопротивления и уменьшению срока эксплуатации. Для того чтобы обеспечить выполнение требований СанПиН 10-124 РБ 99 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества", требуется проводить очистку природной воды от соединений железа. Одной из причин, обуславливающих сложность решения этой проблемы, является многообразие форм существования соединений железа в природной воде. На территории

Брестского региона расположены пять наиболее крупных болот и большие площади заболочены, а болота являются основными источниками гуминовых веществ. В подземных водах, имеющих подпитку из лесных озер и болот, металлы, в том числе и железо, могут находиться в составе прочных комплексов с гуминовыми кислотами и фульвокислотами.

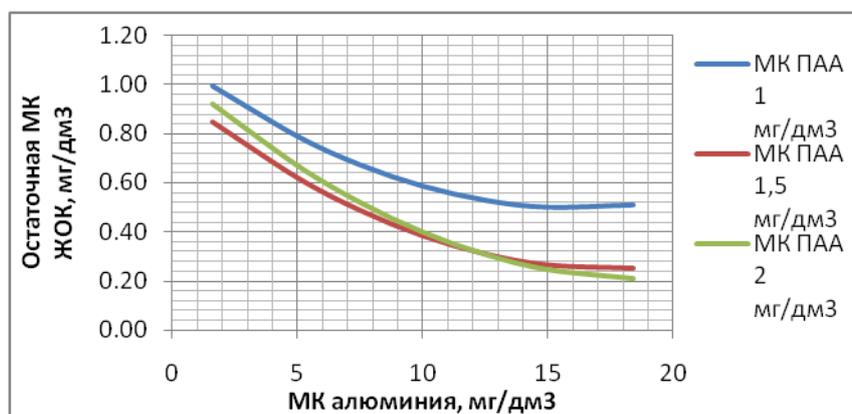
При использовании традиционных технологических схем обезжелезивания – упрощенная (глубокая) аэрация – фильтрование, находящиеся в воде ионы железа могут окисляться до  $Fe^{3+}$ , однако процессу гидролиза во многом мешают гуминовые кислоты, образующие с  $Fe^{3+}$  стабильную систему Fe-ГК, что делает данные методы обезжелезивания малоэффективными.

Анализ работ [1, 2, 3] показал, что соединения железа с гуминовыми веществами обладают низкой коагуляционной способностью из-за защитного действия органических веществ. Окисление такой воды кислородом и озоном приводит к окислению железа до трехвалентного состояния, которое остается в растворе и не коагулирует. Только при повышении pH начинается процесс коагуляции комплексов железа с гуминовыми веществами, что связано со снижением защитного действия органических веществ.

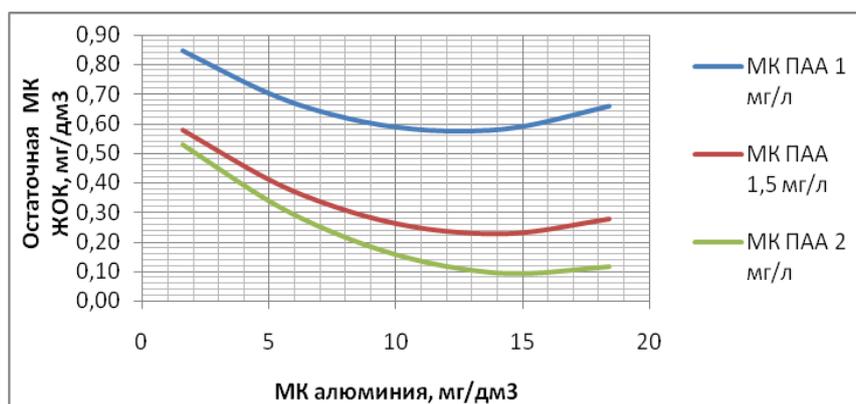
### Методика исследований

В данной работе в качестве объекта исследования была выбрана вода из р. Мухавец, типичной для нашего региона. Величина перманганатной окисляемости ( $12,8 \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$ ) и концентрация железа ( $2,6 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ) свидетельствуют о наличии ЖОК. Аэрирование с последующим фильтрованием не снижало массовую концентрацию железа. Исследовалось влияние МК алюминия и ПАА которые изменялись путем введения коагулянта  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  и флокулянта [4] при различных значениях активной реакции среды, которая регулировалась введением 0,1N растворов NaOH и HCl. МК железа определялась, после 30 минут отстаивания по стандартной методике ГОСТ 4011-72 «Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа» с применением сульфосалициловой кислоты. В качестве функции отклика принята остаточная МК железа связанного в органические комплексы, которая определялась по методике [5].

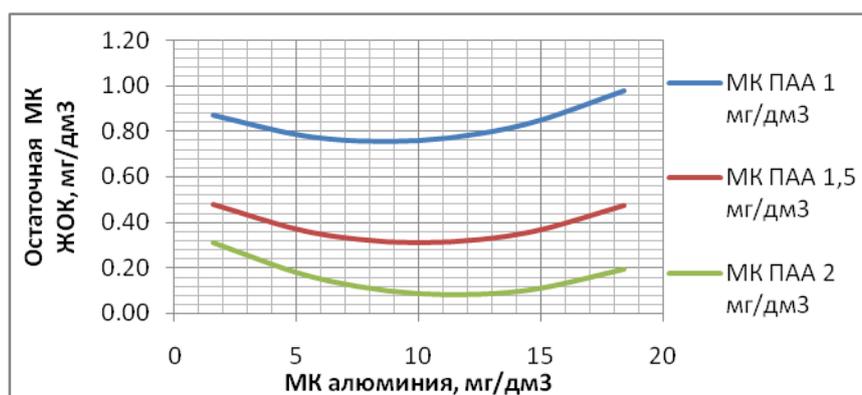
Массовая концентрация железа определялась с использованием спектрофотометра СФ-830 с кварцевой кюветой (с длиной оптического пути 10 мм). Анализировались спектры исследуемой воды до и после обработки при длине волны 430 нм. По результатам спектрофотометрических исследований оценивался эффект снижения общей МК железа и МК железа, связанного в органические комплексы.



**Рисунок 1 – Влияние МК алюминия на удаление ЖОК при различных МК ПАА и активной реакции среды равной 6**



**Рисунок 2 – Влияние МК алюминия на удаление ЖОК при различных МК ПАА и активной реакции среды равной 7**



**Рисунок 3 – Влияние МК алюминия на удаление ЖОК при различных МК ПАА и активной реакции среды равной 8**

Из рис. 1-3 видно, что МК алюминия в пределах от 1,6 мг/дм³ до 12 мг/дм³ наиболее интенсивно снижает остаточную МК ЖОК в воде р. Мухавец. Так, остаточная МК железа 0,3 мг/дм³, соответствующая требованиям СанПиН 10-124 РБ 99, достигается:

- при pH=6, МК алюминия равной 13 мг/дм³ и МК ПАА – 1,5-2 мг/дм³;
- при pH=7, указанная величина достигается МК алюминия равной 8 мг/дм³ и МК ПАА 1,5 мг/дм³ или МК алюминия 6 мг/дм³ и МК ПАА – 2 мг/дм³. Наибольшая эффективность удаления ЖОК достигается при МК алюминия 15 мг/дм³ и МК ПАА – 2 мг/дм³ и составила 0,1 мг/дм³
- при pH=8 усилилось влияние МК ПАА на эффект удаления ЖОК, так при МК алюминия равной 10 мг/дм³ и МК ПАА 1; 1,5 и 2 мг/дм³ остаточная МК ЖОК составила 0,76; 0,32 и 0,08 мг/дм³ соответственно.

### **Заключение**

На основании априорной информации, установлена возможность удаления железоорганических комплексов коагулированием. Для интенсификации этого процесса были проведены исследования по совместному влиянию массовой концентрации коагулянта ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ), флокулянта (полиакриламид  $[-CH_2CH(CONH_2)-]_n$ ) и активной реакции среды на остаточную массовую концентрацию железоорганических комплексов. Установлены оптимальные параметры, при которых достигается:

- наибольший эффект удаления железоорганических комплексов – 97 % при МК алюминия 10 мг/дм³, ПАА – 2 мг/дм³ и pH=8;

- остаточная МК железа  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ , соответствующая требованиям Сан-ПиН10-124 РБ 99, достигнута при МК алюминия 10 и  $15 \text{ мг/дм}^3$  и активной реакции среды равной 6,5 и 5,8 соответственно и МК ПАА –  $1,5 \text{ мг/дм}^3$

#### **Список цитированных источников**

1. Сериков, Л.В. Коллоидные системы подземных вод Западно-Сибирского региона / Л.В. Сериков, Л.Н. Шиян, Е.А. Тропина // Изв.ТПУ. – Томск, 2006. – № 6. – С. 309.
2. RamuneAlbrektiene. The removal of iron-organic complexes from drinking water using coagulation process/ RamuneAlbrektiene, MindaugasRimeika, ErnestaLubyte//The 8th International Conference. – Vilnius, 2011
3. Тропина, Е.А. Аппаратурно-технологическая система получения питьевой воды из подземных источников Западно-Сибирского региона / Е.А. Тропина // ТПУ – Томск, 2007.
4. ТКП 45-4.01-31-2009 (02250) Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования/Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009.
5. Сериков, Л.В. Патент 2216019 РФ МКИ7 G01N 31/22, 33/18, 21/78 Способ определения железа в воде // Л.В. Сериков, Е.А. Тропина, Л.Н. Шиян № 2002121705, заявл 06 08 2002, опубл 10 11 2003 Бюл № 31

УДК 331.04

**Супрунюк В.А.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Концевич П.С.**

### **СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЮ ГОРОДА БРЕСТА**

Целью настоящей работы является разработка методов и путей решения экологической проблемы города, связанной с вредными выбросами автотранспорта.

Предмет исследования – экология города Бреста.

Объект исследования – автомобильный транспорт.

Количество автотранспорта на Земле с каждым годом только возрастает и нетрудно спрогнозировать экологическую обстановку через пару десятков лет. Для этого нужно уже сейчас искать пути решения данной проблемы, т. к. потом уже может быть поздно.

В результате накопления различных загрязнений в атмосфере, в первую очередь фреонов, происходит разрушение озонового слоя, который предохраняет земную поверхность от солнечной радиации. Загрязнения, поступающие в атмосферу, с осадками возвращаются на Землю и попадают в водоемы и почву.

Сточными водами предприятий промышленности и агропромышленного комплекса загрязняются реки, озера и моря. Считается, что в водоемы попадает свыше 500 тыс. различных веществ. Тяжелые металлы – ртуть, цинк, медь, кадмий, попавшие в водоем, активно поглощаются животными и рыбами, которые или сами погибают, или отравляют людей, использующих их в пищу [1].

В настоящее время уменьшение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами, выделяемыми промышленными предприятиями и ав-

томобильным транспортом, является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Загрязнение воздуха оказывает вредное воздействие на человека и окружающую среду. Материальный ущерб, вызываемый загрязнением воздуха, трудно оценить, однако даже по неполным данным он достаточно велик. Автомобиль не роскошь, а средство передвижения. Без автомобиля в настоящее время немыслимо существование человечества. При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт стал самым неблагоприятным экологическим фактором в охране здоровья человека и природной среды в городе. Таким образом, автомобиль становится конкурентом человека за жизненное пространство [2].

В управлении Госавтоинспекции УВД Брестского облисполкома проходила пресс-конференция. Обсуждали проблему пробок на улицах Бреста, и было озвучено, что в области зарегистрировано 720 тысяч автомобилей, в Бресте – 150 тысяч.

Прикинув, что в Бресте 320 тысяч населения, получаем, что на двух брестчан в городе одна машина. Это очень много. Однако это общий автопарк. А сколько машин в личной собственности? Цифра трёхгодичной давности Белгосстата такая: на Брестчине – 402 тысячи личных автомобилей. Правда, есть и другие цифры, по всей видимости, основанные на других методиках. Например, в феврале 2014 ООН пересчитала владельцев машин во всем мире. США занимают по количеству автовладельцев первое место в мире – 780 на каждую тысячу граждан. Беларусь там занимала 63-е место (109 автомобилей на 1000 человек).

Для того, чтобы сохранить человечеству автомобиль, необходимо если не исключить, то свести к минимуму вредные выбросы. Работы в этом направлении ведутся во всем мире и дают определенные результаты. Автомобили, выпускаемые в настоящее время в промышленно развитых странах, выбрасывают вредных веществ в 10–15 раз меньше, чем 10–15 лет тому назад. Во всех развитых странах происходит ужесточение нормативов на вредные выбросы при работе двигателя. В 2000 г. введены более строгие нормы. Происходит не только количественное ужесточение норм, но и их качественное изменение. Так, вместо ограничений по дымности введено нормирование твердых частиц, на поверхности которых адсорбируются опасные для здоровья человека ароматические углеводороды и в частности, канцерогенный бенз(а)пирен. Постоянно расширяется список веществ, содержание которых должно находиться под контролем.

Таблица 1 – Состав выхлопных газов [3]

Компоненты выхлопного газа	Содержание по объему, %		Примечание
	Двигатели		
	бензиновые	дизели	
Азот	74,0 - 77,0	76,0 - 78,0	нетоксичен
Кислород	0,3 - 8,0	2,0 - 18,0	нетоксичен
Пары воды	3,0 - 5,5	0,5 - 4,0	нетоксичны
Диоксид углерода	5,0 - 12,0	1,0 - 10,0	нетоксичен
Оксид углерода	0,1 - 10,0	0,01 - 5,0	токсичен
Углеводороды неканцерогенные	0,2 - 3,0	0,009 - 0,5	токсичны
Альдегиды	0 - 0,2	0,001 - 0,009	токсичны
Оксид серы	0 - 0,002	0 - 0,03	токсичен
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0 - 0,04	0,01 - 1,1	токсична
Бензопирен, мг/м <sup>3</sup>	0,01 - 0,02	до 0,01	канцероген

Пути и способы решения рассматриваемой проблемы.

Основные пути снижения экологического ущерба от транспорта заключаются в следующем:

1. Рациональная организация дорожного движения.

Перед тем как проехать «спящий полицейский», водитель притормаживает, но двигатель работает. Затем он набирает скорость и увеличивает нагрузку двигателя. Этот процесс приводит к выбросу вредных веществ в атмосферу в 3–5 раз больше, чем на обычных улицах. Средняя скорость проезда искусственной неровности на участке 150 метров составляет 20–25 км/ч. В сравнении с городской скоростью (60 км/ч) суммарное количество вредных выбросов при медленном движении увеличивается в 12 раз. Просчитано, что нагрузка на подвеску во время преодоления одного «спящего полицейского» равна проезду 60 километров по ровной дороге. И это ещё неполный перечень факторов, которые доказывают, что необходимо либо снижать количество искусственных неровностей, либо искать им альтернативу.

2. Ужесточение контроля выброса вредных веществ автомобилем при прохождении Государственного технического осмотра.

Я предлагаю вводить систему штрафов за превышение допустимых показателей вредных выбросов. Это значит, что автомобиль не сможет пройти техосмотр, пока не устранит эту проблему в своём транспортном средстве. Например, если в Европе, показатель вредности автомобиля не должен превышать 130 г/км, то для Беларуси и конкретно Бреста этот показатель можно для начала установить на уровне не выше 230 г/км. Чтобы водитель также начал следить за токсичностью своего авто. В дальнейшем данный показатель можно уменьшать, что поможет улучшить, уже итак плачевную ситуацию в экологической чистоте окружающей среды города Бреста.

3. Присваивание экологического класса авто.

В настоящее время существует разделение авто по экологическим стандартам. Пример такого – Правила ЕЭК ООН (Евро-1 и Евро-2), но в Беларуси в реальности большинство транспортных средств подходят по нормативам, разве что, под стандарт Евро-0. Я предлагаю ввести классификацию транспортных средств как личного пользования, так и других ТС работающих в различных организациях и сферах жизни общества. По данной классификации автомобилю будет присваиваться экологический класс. Например: (А-самый экологически «чистый», В-менее «чистый», С... и т. д.). Данный класс будет ограничивать движение авто по дорогам Беларуси. Это будет действовать примерно как регулировщик движения. Так, например, автомобиль класса «А» может двигаться где ему угодно, тогда как автомобилю класса «D» будет запрещено въезжать в центр города или на оживлённые улицы, где находится много людей.

4. Рациональная организация грузоперевозок.

Всем конечно знакома картина, когда всякие фуры, грузовики или целые автопоезда с разной продукцией движутся по центральным улицам города с дымком на пол-улицы, тем самым выбрасывая большое количество вредных веществ в атмосферу (особенно на оживлённых улицах). Своим присутствием такие авто не редко создают аварийные ситуации на дорогах улиц с итак уже очень интенсивным движением. А если такой автомобиль ещё и станет где-нибудь в центре города в каком-нибудь маленьком магазинчике, то займёт он, как правило, не меньше одной полосы для движения. Я предлагаю ввести

промежуточные склады на окраинах города, что ограничит въезд в город большегрузной техники. Это сократит расходы на топливо и уменьшит время в пути, т. к. не нужно ехать через весь город по всем светофорам и стоять в пробках. Такие промежуточные склады будут получать грузы от большегрузных авто, а затем на более экологически чистом транспорте развозить продукцию по магазинам, например, города Бреста. Для перевозки по городу можно предложить автомобили, как пример, с новыми прототипами двигателей созданных на базе ОАО «ММЗ» 2009-2010 г., нового семейства дизельных двигателей повышенного технического уровня с улучшенными экологическими и технико-экономическими показателями в диапазоне мощностей: внедорожная техника – от 75 до 715 л.с.; автомобильные – от 122 до 350 л. с. Двигатели автомобильных модификаций с 01.01.2010 г. по заявке потребителей будут поставляться в соответствии международным экологическим стандартам Евро-4. Одновременно продолжают работы по достижению выпускаемыми двигателями уровня экологической безопасности Евро-5.

#### 5. Оптимизация движения городского транспорта.

Пассажиropеревозки в городе тоже можно подвергнуть изменениям. В городе Минске уже почти везде есть отдельные полосы для общественного транспорта, тогда как в Бресте их просто нет. Я считаю, что они просто необходимы, т. к. автобусам и троллейбусам совсем не обязательно ехать в общей колонне или стоять в общей пробке с легковыми автомобилями частного пользования. Такие полосы позволяют лучше организовать транспортный поток, и общественный транспорт начнёт быстрее перемещаться по городу, не “застревая” в пробках, а значит, люди начнут пересаживаться со своих личных автомобилей на автобусы и троллейбусы и т. д., т. к. передвигаться по городу станет намного проще, чем на собственном авто, которое может застрять в пробке. Это и позволит немного снизить вредные выбросы, потому что почти в каждом личном ТС, передвигающемся по городу, находится, как правило, 1-2 человека, а количество вредных выбросов одного авто в среднем составляет 150 г/км, тогда как автобус в среднем может вместить в себя 30 человек и выбросы его составят примерно 300 г/км. Простая математика – одна единица общественного транспорта может заменить 10-15 автомобилей. Дело в том, что большинство водителей покупают автомобили, не имея в них острой необходимости, т. к. например, до работы идти 200 метров, а ближайший магазин в 5-ти минутах ходьбы и за город выезжаешь раз в полгода. Из всего этого следует, что нужно привлекать людей к езде на общественном транспорте. Нужно создать более комфортные условия для перевозки пассажиров, увеличить количество опытных водителей (т. к. иногда кажется, что водитель перевозит металлолом, а не пассажиров, постоянно, резко тормозя, а потом ещё резче разгоняясь с места).

#### 6. Разработка альтернативных энергоисточников.

Каждые полтора года количество электроэнергии, вырабатываемой в мире с помощью солнечных батарей, вырастает вдвое. Продажи автомобилей с гибридными силовыми установками растут в геометрической прогрессии. Повышается спрос на биотопливо, а технологии его производства прогрессируют – сегодня в ход идут уже не только сельскохозяйственные культуры, но и отходы сельхозпроизводства, например банальная солома. Т. к. Беларусь является страной с очень большим сельскохозяйственным потенциалом, то в перспективе мы можем так же заняться разработкой такого топлива.

7. Дожигание и очистка органического и неорганического топлива.

В 1997 году «Редкинский катализаторный завод» представил катализаторы очистки выхлопных газов автомобилей, которые были признаны лучшими, и крупная партия была изготовлена для оснащения автотранспорта г. Москвы.

Как вариант, Беларусь могла бы также сделать упор на покупку и внедрение таких установок. Как уже замечено ранее, первоначальные затраты будут велики, но это может оказаться выгоднее разработки проекта по созданию экологически чистых авто с нуля. Такие установки, ввиду высокой стоимости для индивидуального владельца авто, можно пока установить вначале на транспорт с самой высокой токсичностью. А уже когда учёные и производители найдут способ снизить стоимость таких каталитических установок, их смогут легко устанавливать и обслуживать и владельцы своего личного транспорта.

8. Введение (модификация) двигателей, использующих альтернативные виды топлива.

Три года назад решением Совета Евразийской экономической комиссии был принят Закон Республики Беларусь от 23.12.2013 г. № 98 «О внесении изменений в единую Товарную номенклатуру внешнеэкономической деятельности Таможенного союза и Единый таможенный тариф Таможенного союза в отношении отдельных видов моторных транспортных средств с электрическим двигателем», в соответствии с которым установлен «нулевой» взнос за растаможивание электрокаров. С тех пор количество электрокаров на территории Беларуси увеличилось с некоторых штук до нескольких десятков. Однако вышеупомянутый Закон — единственная белорусская правовая норма, предоставляющая льготы владельцам экологически чистых электромобилей в Беларуси.

Казалось бы, нет ничего проще — заменить дизельное топливо и бензин водородом, который можно получить из разного сырья (в частности, простым электролизом воды), и конец всем экологическим бедам! К тому же донедавнего времени водородомобили, среди которых не только модели Honda и Toyota (в т. ч. Toyota Mirai), но и, например, Mercedes В-класса и кроссовер Hyundai ix35 FuelCell, распространялись исключительно по лизинговым схемам и после реализации пилотных проектов возвращались производителям — для дальнейшего рассмотрения нюансов эксплуатации водородных машин.

9. Экономические инициативы по управлению автомобильным парком в стране.

В Беларуси очень много старых, иногда даже «древних» автомобилей, которые уже необходимо сдать на металлолом. Люди не могут себе позволить новое авто, которое бы обеспечило меньшее влияние на экологию. А значит необходимо мотивировать людей на покупку новых автомобилей и создавать все условия для этого.

#### **Список цитированных источников**

1. Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учебное пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 1998.

2. Куров, Б.М. Как уменьшить загрязнение окружающей среды автотранспортом? // Россия в окружающем мире. - Аналитический ежегодник. 2000 г.

3. Амбарцумян, В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носов, В.И. Тагасов. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 1999.

УДК 378.14(07)

*Цеван А.В., Антонович А.А.*

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры НГи ИГ  
Шевчук Т.В.*

## **ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЁРТОК СЛОЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВОЗДУХОВОДОВ**

Цель данной работы – проанализировать методы построения развёрток сложных соединений воздуховодов.

На современном этапе создатели современных графических систем непрерывно совершенствуют методы построения развёрток соединений воздуховодов, стремятся ко всё большей унификации и параметризации при создании чертежей.

Новая подсистема «Интех-Duct», входящая в систему САПР «Интех-Раскрой», производит формирование карты раскроя и управляющей программы для последующей обработки этих деталей из листа. Однако программное обеспечение «Интех-Duct» тесно интегрировано с САПР «Интех-Раскрой», поэтому не может являться универсальным. Цена систем ЧПУ такого класса слишком высока для нашего рынка.

Расширились возможности для построения развёрток типовых деталей в графическом комплексе Техтран. Механизм, использованный для построения развёрток, позволяет оперативно расширять набор типовых деталей, а также создавать произвольные элементы с самыми разнообразными характеристиками.

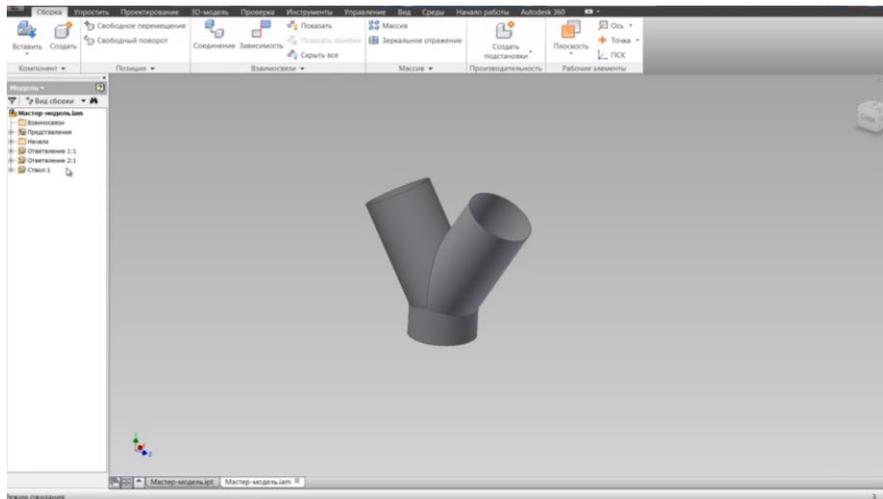
Однако в связи с тем, что в процессе гибки листа происходит деформация его внешней и внутренней поверхностей, возникает необходимость внесения в расчеты поправки по отношению к номинальным размерам, что приводит к увеличению времени проектирования, усложнению расчётов.

На базе трёхмерных моделей выполняется построение развёрток в графическом редакторе КОМПАС-график. С помощью данной графической системы возможно эффективно строить развёртки сложных элементов воздуховодов методами начертательной геометрии [2], однако КОМПАС-график не обладает рядом преимуществ проектирования по сравнению с графическим редактором Autodesk INVENTOR, возможности которого рассматриваются в настоящей работе.

Модели деталей и изделий, создаваемые в среде Inventor, представляют собой их точные цифровые 3D прототипы, позволяющие всесторонне изучать поведение изделий ещё в процессе их разработки: анализировать геометрию, проводить инженерные расчеты. Использование технологии цифровых прототипов значительно сокращает потребность в опытных образцах, даёт возможность выявления ошибок на различных стадиях проектирования и позволят сэкономить время и средства еще до запуска изделия в производство.

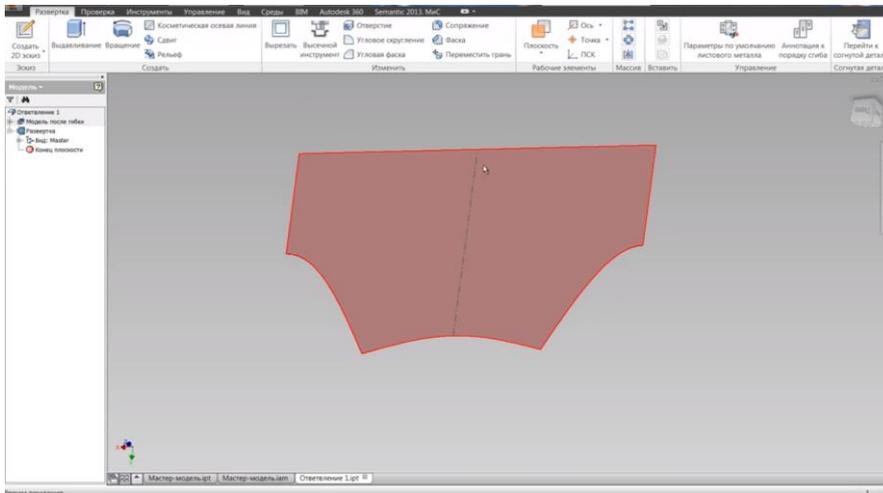
Сходными возможностями обладает и российский продукт КОМПАС-график, широко внедрённый в отечественную промышленность, однако его возможности не предусматривают автоматического построения развёртки трёхмерной модели. Средствами КОМПАС-график возможно построение развёрток только листового тела. Autodesk Inventor имеет более мощное «ядро», позволяет преобразовывать модели-оболочки в листовое тело с дальнейшим построением развёрток автоматически.

Рассмотрим построение развёртки воздуховода в виде Y-образного тройника в среде Autodesk Inventor. Выполняем оболочку воздуховода, задавая толщину металла (рисунок 1). Далее преобразовываем модель в листовое тело. Делим деталь плоскостями на три отдельных части и разъединяем их.



**Рисунок 1 – Построение модели Y-образного тройника**

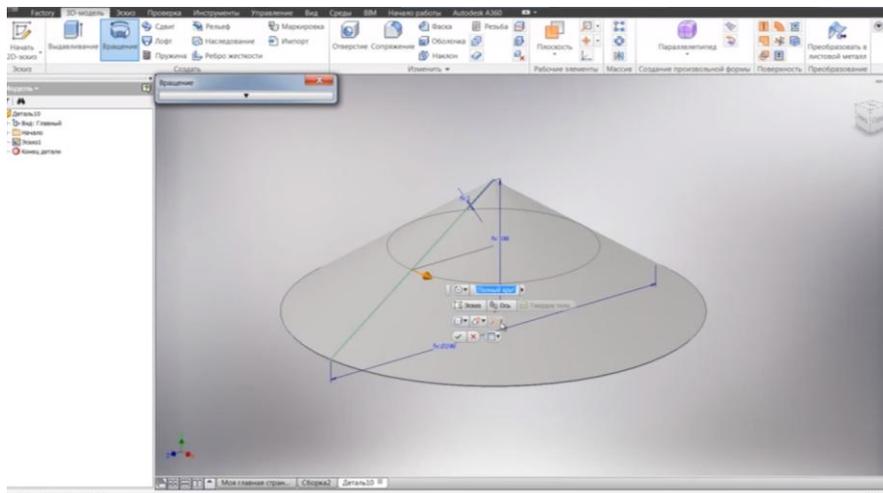
Для каждой части выполняем развёртку с помощью функции «Разрыв», задавая толщину листового металла, и автоматически получаем развёртку (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Развёртка детали**

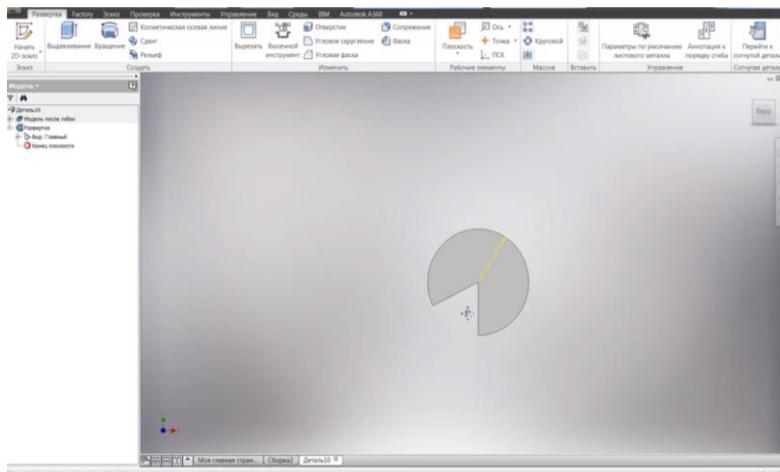
Рассмотрим построение развёртки крышного зонта.

Создаём эскиз. Вводим ось вращения, задаём толщину металла и строим плоскость купола крышного зонта. Командой «вращение» создаём купол (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Создание купола**

По готовому куполу делаем развёртку. Для этого на поверхности детали проводим сечение. Командой «развёртка» выполняем итоговый чертёж (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Развёртка купола**

Таким образом, в ходе создания развёрток деталей можно убедиться, что Autodesk Inventor предоставляет инструменты проектирования на основе правил и средства автоматизации, ускоряющие процесс и позволяющие концентрироваться на реализации проектного замысла, а не на моделировании геометрии вручную. Специализированный функционал позволяет существенно ускорить проектирование деталей из листового материала.

При выборе системы САПР, применимой для различных отраслей промышленности, в том числе и для проектирования воздухопроводов, рассматривается ряд критериев. Основными критериями выбора будут функциональные возможности системы, интерфейс и удобство использования, локализация, системные требования и совместимость с периферийным оборудованием. По данным критериям Autodesk Inventor значительно опережает существующие графические комплексы. Функциональные возможности позволяют проектировать сложные детали и достаточно крупные изделия. Эти системы уже весьма популярны как на мировом, российском и белорусском рынках. С их помощью готовят и анализируют виртуальные модели изделий, создают программы для станков с ЧПУ. Они удобны в использовании, наглядно представляют будущее изделие.

В Республике Беларусь один из наиболее важных критериев - локализация. У Autodesk Inventor русскоязычный интерфейс. Кроме того, важна возможность выпуска документации в соответствии с ЕСКД, а также в соответствии с мировыми стандартами: ISO (международный), ANSI (американский), DIN (немецкий), так как многие из наших предприятий работают с зарубежными коллегами и заказчиками.

Autodesk Inventor обеспечивает максимальное соответствие своих продуктов современным требованиям интерфейса и операционной системе Windows, а также высокую совместимость с другими программными продуктами и периферийным оборудованием.

Autodesk Inventor — это еще одна ступень, повышающая эффективность создания разверток, ускоряющая процесс технологической подготовки заготовительного производства. Это еще один путь к минимизации затрат на изготовление дорогостоящих фасонных частей конструкций воздухопроводов.

### **Список цитированных источников:**

1. Гордон, В.О. Курс начертательной геометрии. – М.: Высшая школа, 2000. – 272 с.
2. Цеван, А.В. Развёртки воздухопроводов. От теории к практике: сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов / А.В. Цеван, Д.С. Артющик, Т.В. Шевчук. БрГТУ. – Брест, 2015.
3. Банах, Д. Autodesk Inventor / Д. Банах, Т. Джонс, А.Дж. Каламейя. – Лори, 2006. – 421 с.
4. Концевич, В.Г. Твёрдотельное моделирование в Autodesk Inventor. — Киев, М.: ДиаСофтЮП, 2008. – 267 с.
5. Левковец, Л. Autodesk Inventor. Базовый курс на примерах / Л. Левковец, П. Тарасенков. - СПб.:БХВ-Петербург, 2008. – 612 с.

УДК 55.5(476)

**Шпока Д.А.**

**Научный руководитель: д.г.н., профессор Волчек А.А.**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕЛЕЙ И СИЛЬНОГО СНЕГОПАДА ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

### *Введение*

Нередко в Беларуси отмечаются метели и сильные снегопады, которые иногда могут стать опасными метеорологическими явлениями (ОМЯ) и нанести материальный вред реальному сектору экономики. Например, на территории Беларуси 15.03.2013 г. пришел циклон «Хавьер» со шквальным ветром (до 25 м/с), метелями и снежными заносами. За сутки 15 марта на территории Брестской области работники МЧС извлекли из снежных заносов 82 транспортных средства, в которых находились 260 человек, в том числе 37 детей. На трассе М1 Брест-Минск-граница РФ образовался затор из машин на 40 км (с 210-го по 250-й км). Без электричества осталось 94 населенных пункта, а на восстановлении электроснабжения были задействованы 96 аварийных бригад. На ликвидацию аварийных последствий урагана предприятиями ЖКХ области 15 марта было создано 107 аварийных бригад общей численностью 649 человек.

Около 50 % от общего числа метелей, отмечающихся в Беларуси, возникают при перемещении циклонов и ложбин с запада на восток, 25% метелей связано с перемещением циклонов с северо-запада и севера на юг, 25% - с выходом юных циклонов к северу.

Таким образом, возникает необходимость в изучении метелей и сильного снегопада на территории Беларуси.

### *Исходные данные и методы исследования*

Основой для анализа метелей и сильного снегопада послужила статистическая информация метеорологических ежемесячников ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 1975-2013 гг. по метеорологическим станциям Беларуси и в справочнике по стихийным гидрометеорологическим явлениям [1, 2].

Временные ряды количества дней в году с гололедно-изморозевыми явлениями исследовались с помощью стандартных статистических методов. Пространственная изменчивость числа дней с явлениями оценивалась путем их картографирования.

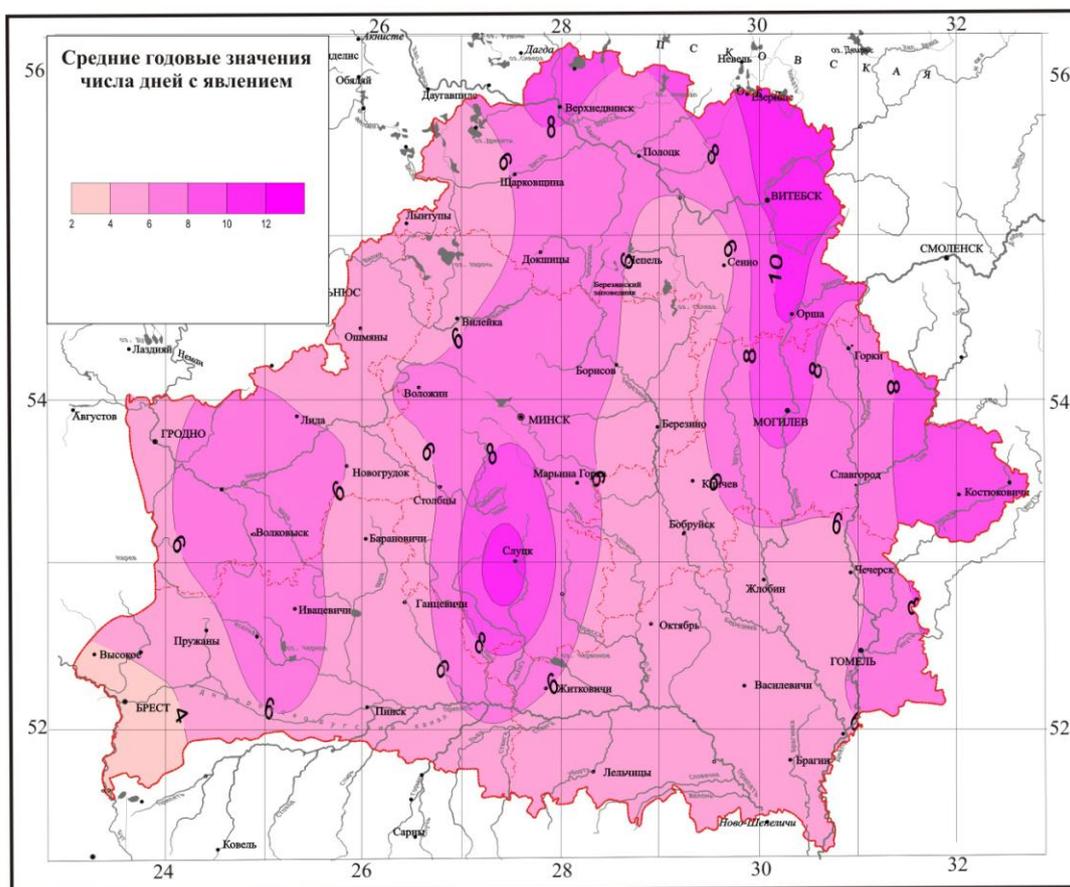
### Обсуждение результатов

**Метель** - перенос снега над поверхностью земли ветром достаточной силы. Метель становится ОМЯ тогда, когда скорость ветра усиливается до 15 м/с и более и имеет продолжительность не менее 12 часов.

**Сильный снегопад** – продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта.

Среднее количество дней с метелями, приходящихся на 1 метеостанцию в году, почти за 40-летний период составляет около 6.

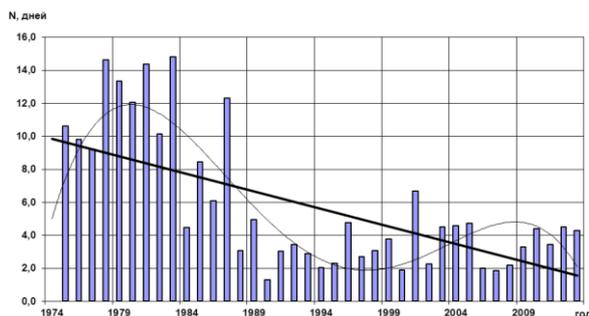
Чаще всего метели наблюдаются на северо-востоке и востоке, вторичный максимум повторяемости метелей ограничен Новогрудской и Минской возвышенностями, Копыльской грядой и приходится на Новогрудский, Кареличский, Столбцовский и Несвижский административные районы. Подобная закономерность отмечалась и до 1970-х годов XX в. (рисунок 1). Наибольшее число дней с метелями (25– 30) отмечается на северо-востоке и в районе возвышенностей, на юге 10– 15 дней. Наибольшее число дней с метелями отмечалось на севере (50– 60), в центральной части – 35– 45, на юге – 20–30 дней с метелями.



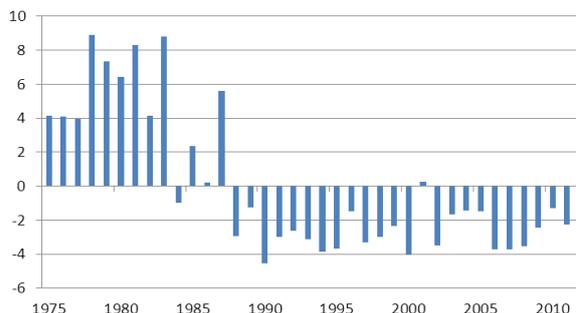
**Рисунок 1 – Пространственное распределение среднего годового числа дней с метелью в Беларуси**

Временные особенности распределения числа дней с метелями имеют следующие особенности. На вторую половину 70-х – начало 80-х гг. приходится максимальное количество дней с метелями (около 11 дней), а на начало 90-х годов – минимальное количество дней с метелями (около 3 дней). Такой ход метелей связан с тем, что с 1988 года началось современное потепление климата, наиболее выраженное в холодное время года (рисунки 2-3). В декабре регистри-

руется около 2 дней с метелями, наибольшее количество отмечалось в 1981 г. – 6 дней, в 1984 г. – 4, в 1975 г. – 4 дня с метелями. На январь–февраль приходится около 80 % всех дней с метелями.



**Рисунок 2 – Хронологический ход средних годовых значений количества дней с метелями**



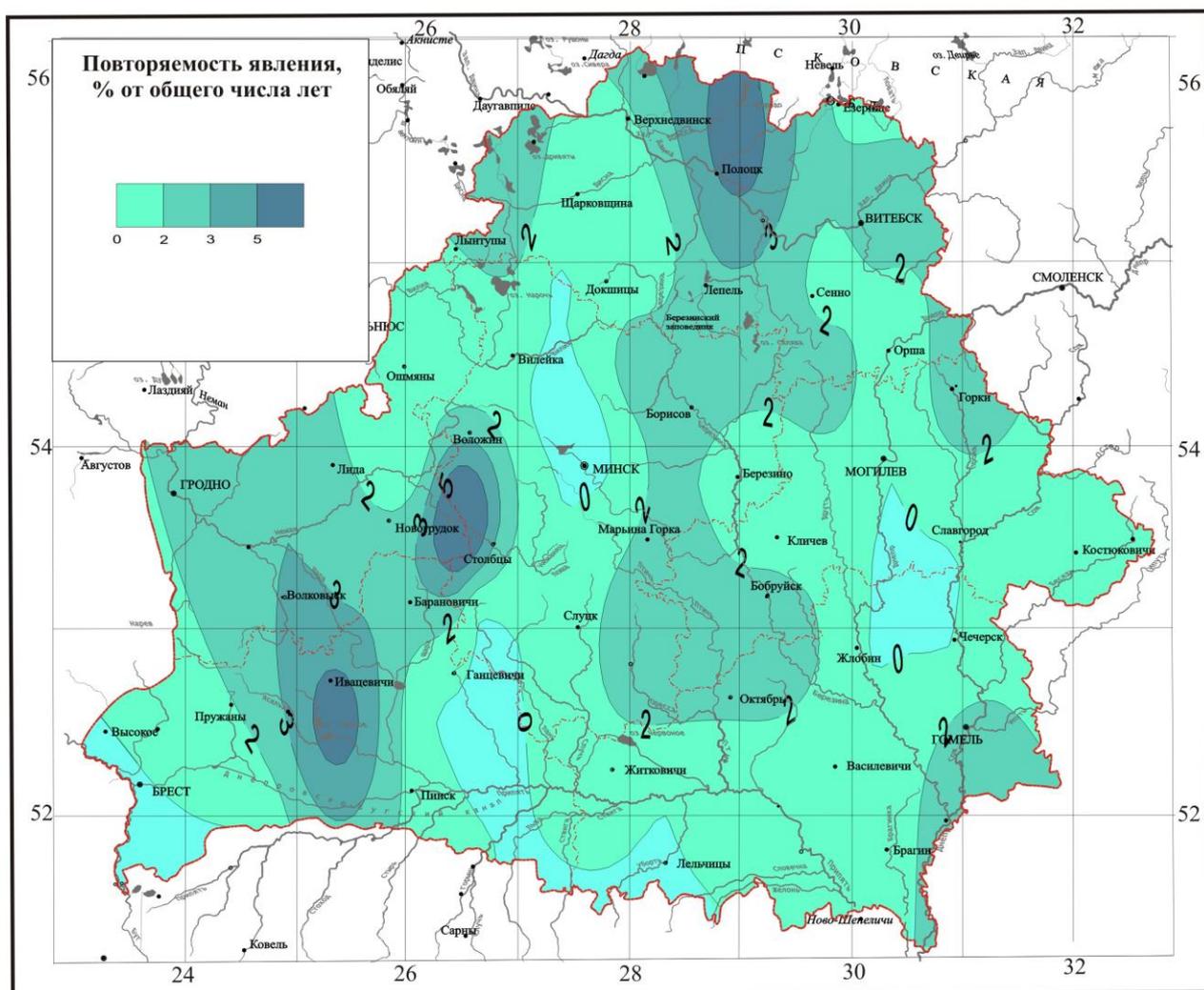
**Рисунок 3 – Отклонение среднего годового количества дней с метелью от нормы**

Географическое распределение метелей зависит от различных факторов, таких, как высота местности, лесистость территории, наличие населенных пунктов. Влияние высоты местности на увеличение метелей за год составляет 16 % на каждые 100 м подъема местности [3]. На севере и в центральной части Беларуси на возвышенной части наблюдается около 8-9 дней с метелями, на равнинной – около 6 дней. На территории Белорусского Полесья отмечается около 5 дней с метелями. В районах, где лесистость не превышает 20-25 % отмечается около 10 дней с метелями, территории, где лесистость больше, значительно реже подвержены метелям, на этой территории отмечается около 4-6 дней и менее, хотя четкой зависимости от лесистости территории не просматривается. Наибольшее количество дней с метелями приходится на крупные города, где при интенсивном перемещении воздуха происходит как выпадение снега, так и срывание снега с поверхности снежного покрова.

**Сильная метель** - перенос снега над поверхностью земли сильным ветром, возможно в сочетании с выпадением снега, приводящий к ухудшению видимости и заносу транспортных магистралей [4]. Метели как ОМЯ по территории Беларуси проходят в среднем 1 раз в 3-4 года [2]. Чаще всего метели как ОМЯ отмечаются в холодное время года, в основном с декабря по февраль. На январь-февраль приходится 80 % всех явлений. В Витебской, Минской, Гродненской и Могилевской областях отмечается в 9-10 % от общего числа дней с явлением по пункту. Чаще всего метели наблюдаются в Новогрудке – в 6 годах из 24 лет обобщения, в Орше и Пинске – в 5 годах из 24 лет обобщения. Анализ цикличности колебания метелей показал, что наибольшее количество дней с метелями отмечается в январе (1 раз в 2, 6-7 лет), в марте (1 раз в 3, 7-9 лет), в декабре (1 раз в 2 года), в целом по году – 1 раз в 5 лет.

**Сильный снегопад** – продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта [4].

Пространственное распределение сильного снегопада имеет следующие особенности. Чаще всего сильные снегопады проходят в западной части Беларуси, особенно на Новогрудской возвышенности, и на севере. Реже – на юге, в т.ч. на территории Брестского, Припятского, Мозырского Полесья (рисунок 4).



**Рисунок 1 – Пространственное распределение повторяемости сильного снегопада на территории Беларуси, % лет**

Сильный снегопад отмечается в среднем 1 раз в 10 лет по всей территории. Чаще сильный снегопад отмечается в Витебской области с периодичностью 1 раз в 6 лет, в Гродненской области – 1 раз в 8–9 лет, в Гомельской области – в среднем 1 раз в 12 лет. В Минской, Могилевской и Брестской областях сильные снегопады – явление достаточно редкое, в среднем 1 раз в 17–18 лет. В Минской области (Борисов, Марьина Горка, Слуцк), в Могилевской области (Горки, Бобруйск) сильный снегопад отмечался 1 раз за последние 35 лет, в Брестской области только в Пружанах сильный снегопад отмечался в 2 года из 35 лет обобщения.

Внутригодовое распределение числа дней с сильным снегопадом имеет следующие особенности. Сильные снегопады отмечаются с ноября по март, в отдельные годы - в апреле и октябре. В октябре сильный снегопад отмечается в Могилевской области в 50 % от общего числа дней, в ноябре сильный снегопад отмечается в Могилевской, Гомельской и Витебской областях (50, 33 и 14 % от общего числа дней с явлением соответственно), в декабре – в Гомельской и Витебской областях. В январе сильный снегопад наблюдается в Минской, Брестской и Гродненской областях. В феврале сильные снегопады отмечаются только в Витебской области в 29 % от общего числа дней с данным явлением. В Гродненской, Гомельской и Витебской областях отмечаются сильные снегопады в

марте (33, 29 и 20 % от общего числа дней с явлением). В апреле сильные снегопады не наблюдаются в Могилевской и Гомельской областях.

#### **Заключение**

Таким образом, выполненный анализ показал, что наблюдается уменьшение количества дней с метелями. Пространственные особенности распространения метелей имеют долготный характер. Чаще всего метели проходят по северу и северо-востоку Беларуси (около 13 дней), реже отмечаются по югу (около 3 дней). Сильный снегопад чаще всего проходят по западной части республики. Метели наблюдаются с декабря по февраль, сильные снегопады - с ноября по март, в отдельные годы – в апреле и октябре. Географическое распространение метелей и сильного снегопада зависит от высоты местности, лесистости территории и такой «преграды», как город. Отмечается влияние высоты местности на увеличение выпадающих осадков. Сильные снегопады чаще отмечаются на возвышенной территории, а на равнинной – реже.

#### **Список цитированных источников**

1. Метеорологический ежемесячник/ Мин-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Бел. Республ. гидрометеорол. центр. Климатич. Кадастр Респ. Бел. – Ч. 2, № 1-13. – Минск. – 1975-2008.

2. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ, ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М.А. Гольберга – Минск : Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», 2002. – 132 с.

3. Читанава, Р.Б. Региональные проявления современного изменения климата в Грузии / Р.Б. Читанава, Г.И. Кордзахия, Р.Ш. Месхия // Известия РАН. Сер. географическая. – 2008. – № 4. – С. 105–108.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений в процессе. Общие требования = Бяспека ў надзвычайных сітуацыях. Маніторынг і прагназіраванне небяспечных метэаралагічных з’яваў і працэсаў. Агульныя патрабаванні ; СТБ 1406–2003 (ГОСТ Р 22.1.07–99, MOD). – Введ. 01.01.04. – Минск : Госстандарт ; Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2003. – 19 с.

УДК 693.22.004.18

**Яковец А.А., Климук Д.С.**

**Научный руководитель: к.г.н., доцент Шпендик Н.Н.**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОТКРЫТЫХ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ПОПУЛЯЦИИ БОБРОВ**

Территория Белорусского Полесья в 80-х годах прошлого столетия подверглась массовым мелиорациям. Мелиорировано около 1 млн 200 тыс. га земель. На территории Белорусского Полесья были проведены осушительные или осушительно-увлажнительные мелиорации, в связи с этим большая часть территории покрыта сетью открытых каналов с гидротехническими сооружениями на них. На сегодняшний день существует много проблем с эксплуатацией мелиоративных систем, и все они сводятся к ненадлежащей работе именно открытых каналов и связанных с ними гидротехнических сооружениях. Пониженный уровень воды в каналах способствует их заилению и зарастанию. В последние годы этот факт активно используется бобрами. Они засе-

ляют участки каналов с высокой растительностью, которые являются хорошей кормовой базой для них. Бобры создают свои подпорные сооружения на каналах.

Проблема высокой численности бобров в нашей стране уже обсуждается несколько лет. На сегодняшний день их популяция насчитывает около 62 тыс. особей. Особый урон водохозяйственному строительству они наносят путём устройства плотин, которые создают запруды, подтапливают территорию, также разрушают существующие дамбы, засоряют гидротехнические сооружения.

К началу XIX в. речной бобр находился на грани уничтожения. В этот период бобра взяли под охрану, что привело в последующем к росту его численности. Первый промысловый сезон в Беларуси на бобра был открыт в 1963 г. В этот год было добыто 270 зверей. Численность бобра в тот период оценивалась в 25 тыс. особей. Вплоть до 1990-х гг. его количество оставалось достаточно стабильным: 28-30 тыс. особей. Добыча составляла 1,5-2 тысячи, или около 5-7% от общей численности грызуна. В дальнейшем численность популяции несколько снизилась - к середине 1990-х до уровня 20 тыс. особей.

Однако к концу 90-х наметился стабильный рост. На тот момент времени зверь уже не считался ценным, охотники не видели смысла охотиться за ним ни ради шкурки, ни ради струи, ни ради мяса. Именно с конца 1990-х гг. бобры начали интенсивное освоение нетипичных для их обитания биотопов - мелиоративных систем. В отдельных регионах здесь сконцентрировано до 60% численности животных. Надо отметить, что рост численности бобра характерен не только для Беларуси. Проблема регулирования численности актуальна и для стран Балтии, и для соседней Польши. Так, в Литве сегодня называется цифра в 110 тыс. особей, в Латвии - 70 тысяч.

Прямой ущерб от деятельности чрезмерно расплодившегося грызуна – повреждение в процессе жизнедеятельности древесных насаждений, уничтожение древесины, в том числе и деловой. Наиболее вредное воздействие бобра – разрушение и порча дамб, дорог, под которыми они копают норы. Об удивительной строительной способности бобров написано немало. Трудно найти другой такой вид животных, который не просто соорудил бы себе жилище, но приспособлял и изменял окружающий ландшафт.

Бобровые постройки разнообразны по внешнему виду и функциональному назначению: норы, коблы, хатки, полухатки, каналы, навесы-крыши, плотины, открытые логова и др. Но все это разнообразие можно свести к четырем основным видам: норы, хатки, каналы, плотины, причем тип постройки зависит исключительно от окружающих условий.

Хатки сооружают бобры, живущие в любой части ареала на низких заболоченных берегах, с близкими грунтовыми водами, где рытье нор невозможно. Варьируется только состав строительного материала. Свод хатки имеет толщину около 30–40 см и может выдержать вес нескольких человек. Его непросто разобрать даже с помощью инструментов. Внутри хатка представляет собой камеру высотой 40–50 см и шириной 1 м. На дне камеры устраивается логово, выстланное древесными щепками, прутиками, шерстью, сухой травой.

Бобр строит хатки только в том случае, если нет условий для строительства норы. Как правило, это бывает на низких, заболоченных берегах. Простейшая бобровая нора представляет собой прямолинейный подземный ход, который начинается ниже уровня воды, углубляется в берег и заканчивается расширенной камерой, где зверь устраивает логово. Вход в нору расположен

на глубине до 2 м, обычно под нависшими над водой ветками или под корнями прибрежного дерева. Если уровень воды в водоеме сильно понижается, бобры делают новый вход ниже первоначального, но обязательно в воде. Иногда, правда, вода так быстро спадает, что бобр не успевает выкопать новый вход и пользуется старым над водой. Нора от воды очень полого поднимается вверх, поэтому в нижней части она затоплена водой. Подземное расширение, где бобр делает логово, представляет собой камеру около 1 м в диаметре и высотой до 40 см.

Во многих местах обитания бобров, кроме описанных нор и хаток, имеется еще система каналов, служащих путями сообщения между жильем и местом жировок. Первичной формой бобрового канала является обычная тропа, проложенная на болотистой почве. От постоянного передвижения она постепенно углубляется и, если почва достаточно влажная, наполняется водой. Дальше дело за бобрами. Они их углубляют, расширяют путем рытья. Ширина таких каналов примерно 0,5 м, глубина же достигает 70 см и достаточна не только для плавания, но и для ныряния. Особенно активно бобры роют новые, а также углубляют и расширяют старые каналы и канавы во второй половине лета, когда уровень воды сильно понижается.

Другим типом сложных бобровых сооружений являются возводимые ими плотины в пересыхающих или сильно мелеющих водоемах, на канавах, речках с целью удержания необходимого уровня воды. Плотины всегда возводятся ниже по течению, чем места заготовок пищи и расположения жилья. Место для плотины выбирается почти всегда самое узкое или укрепленное. При повреждении плотины последняя упорно возводится вновь и чинится, если это необходимо. Это проводится бобрами из года в год, так как наносимый течением ил задерживается плотиной, откладываясь постоянно на дне, глубина водоема становится меньше, а уровень воды выше, из-за чего плотину приходится постоянно наращивать. Скорость, с которой работают бобры, поразительна. Они могут восстановить полутораметровую плотину за одну ночь. А это означает, что простое разрушение бобровых плотин – это нерациональный подход к решению вышеуказанной проблемы.

Нельзя упускать тот факт, что мелиоративная сеть не обслуживается должным образом, зарастает, а для бобров это — дополнительная кормовая база. Кормовая база является одной из самых весомых причин заселения бобрами неестественных антропогенных зон. Научные исследователи данного вида проблемы утверждают, что именно изменяя рацион питания бобра, можно решить проблему массового заселения и разрушения технических сооружений.

Бобр – типичный растительноядный грызун. Поедает как травянистый, так и древесный корм, как наземные, так и водные и полуводные растения. Бобры активно добывают пищу в течение всего года. Летом бобры питаются в основном травянистыми растениями, у которых поедают сначала листья, верхушки побегов, а затем стебли и корни. Из древесной растительности в это время бобры поедают молодые побеги деревьев и кору деревьев, поваленных с осени. Пищу бобров составляют те растения, которые растут вблизи поселений. Походы дальше 100 м бывают только осенью во время заготовки кормов. Самым любимым «блюдом» у бобров являются молодые веточки ивы, меньше – осины, черемухи, которые бобры срезают примерно на высоте 20–25 см от основания и пучками переправляют ко входу в жилище. Там ветки погру-

жают в воду срезанным концом к грунту и уминают в дно водоема. Таким способом запасается до 2 кубометров древесины.

Крупные деревья особенно усиленно бобры начинают подгрызать осенью, когда настает пора заготавливать корм на зиму, а в коре скапливаются большие запасы питательных веществ. Хотя местные условия и запасы тех или иных кормовых растений и могут сказаться на пищевых предпочтениях бобров, наиболее любимым для них деревом почти повсеместно является осина и разные виды ив. В некоторых районах, где по берегам произрастают тополя, эти деревья также могут оказаться среди наиболее предпочитаемых. Часто бобры валят и березы, особенно в северных лесах, где осин мало. Белую бересту бобры не едят и поедают только коричневый камбийный слой. В Центральной Беларуси довольно часто отмечается подгрызание дуба, черемухи и рябины, хотя, по сведениям других исследователей, например германских, эти древесные породы там бобры не трогают, но довольно часто едят ясень. По наблюдениям учёных, наши бобры едят ольху очень неохотно. Для них это вынужденный корм. Редко в Беларуси грызут и хвойные деревья. Причем сосна повреждается чаще, чем елка. А смолистая кора и даже древесина поедается бобрами в лечебных целях.

Бобр - преимущественно сумеречно-ночное животное. Проведенное изучение динамики газоэнергетического обмена и сердечной деятельности показали, что во все сезоны года четко выражены две фазы подъема и спада. Наиболее высокий пик потребления кислорода наблюдается ночью, между 1—2 ч.

Как было отмечено ранее, проблема бобрового строительства отмечается и за рубежом Беларуси. Вопрос о бобрах остро стоит в Латвии, Литве, Северной Америке, России, Польше.

В вышеперечисленных странах были разработаны следующие мероприятия по решению проблемы заселения бобрами мелиоративных и ирригационных систем:

- Самый простой, но малоэффективный способ борьбы с подтоплениями – отлов и переселение в другие места обитания. Так как это достаточно трудоёмкое и требующее достаточно большого количества времени мероприятие.

- Принудительное понижение уровня воды на бобровых поселениях путем вмешательства в конструкции бобровых плотин. Проще говоря, в плотине делается желоб, куда монтируется длинная труба из металлической сетки. Уровень воды понижается лишь до такого уровня, вследствие чего, подтопление участков будет ликвидировано.

- Увеличение квот на ведение охотничьего хозяйства на бобра.

В Республике Беларусь органами Минприроды так же был разработан комплекс защитных мероприятий от последствий строительства бобров:

- Снижение или предотвращение ощутимого ущерба от затопления путем:

- а) понижения и стабилизации уровня воды в бобровых прудах с помощью встроенных в плотину перфорированных асбестоцементных или дощатых труб (Laramie, 1963) или фашин из трех 3—5-метровых жердей, обмотанных перфорированным толем (Arner, 1963);

- б) ограждения проточных дорожных труб проволочной сетью (Laramie, 1963);

- в) ограждения дорожных насыпей от строительства нор со стороны канав отрезками проволочных плетений;

- г) снижением и последующей стабилизацией уровня пруда путем встроения в плотину фашин или перфорированных труб длиной 4—6 м, применяя специальную технологию;

- д) огораживая дорожные трубы и насыпи проволочным плетением;

- С 1 сентября по 31 января Правилами ведения охотничьего хозяйства и охоты на него разрешена охота ружейным и безружейным способами. При разрушении бобровых нор и хаток в период с 1 октября по 1 июня одновременно проводится изъятие бобра речного, обитающего в данных норах и хатках. В этот период разрушение нор и хаток без изъятия бобра запрещено.

- Сформированы специальные патрули, которые следят за состоянием деревьев вблизи бобровых поселений.

- В соответствии с Кодексом Республики Беларусь «О земле» (ст.89), мероприятия по охране земель, включая их защиту от водной эрозии, подтопления, заболачивания и т. д., должны осуществлять землепользователи в границах предоставленных им земельных участков. Что касается борьбы с поселениями бобра речного, согласно Закону Республики Беларусь «О животном мире», можно производить регулирование его распространения и численности без изъятия из среды обитания путем ликвидации построенных плотин, разрушением «бобровых хат», ликвидации кормовой базы (уборка на законном основании древесно-кустарниковой растительности).

### **Заключение**

Основными задачами, решение которых позволило бы изменить и усовершенствовать стратегию управления популяцией бобра и рационального использования его ресурсов, снижения негативных последствий жизнедеятельности данного вида являются:

- Совершенствование методов учета бобровых поселений и определение численности бобра в разрезе различных станций его обитания (на землях лесного фонда, сельхозугодиях, мелиорированных землях и т. д.);

- Уточнение допустимой (оптимальной) численности бобра во взаимосвязи с изменяющимися экологическими условиями;

- Применение на практике более действенных методов снижения численности бобра на тех экосистемах, где его негативное влияние наиболее существенно, в частности, на мелиоративных каналах;

- Развитие производства по переработке бобровой продукции;

- Насажение прибрежной территории мелиоративных каналов и ирригационных сооружений древесными насаждениями, наименее предпочитаемыми данным видом животных;

- Комплексный уход и обслуживание искусственных сооружений, препятствующий зарастанию и развитию дополнительной кормовой базой.

### **Список цитированных источников**

1. Проблемы ближнего зарубежья – 2015: экология и строительство [Электронный ресурс].- текстовые дан.-Минск: Комлев И.Н., 2015

2. Бобры – 2005: экология, строительство, сельское хозяйство [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (1 Мб). – Минск: Комлев И.Н., 2005.

3. Скоробогатов, Е.А. Особенности строительной деятельности бобра / Е.А. Скоробогатов, А.Е. Скоробогатов. – Минск: Асар, 2012. – 121 с.

# **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

## ПОДХОД К СОБЫТИЙНОМУ ОПИСАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ

**Введение.** Среди факторов, определяющих развитие элементной базы, можно выделить: а) моделирующие программы, выполняющие расчет кристалла СБИС в целом, допускающие параллельную обработку данных, а также разработка аппаратных средств моделирования; б) упрощение способов формирования входных данных с целью их автоматизации с использованием графики на рабочих станциях, а также баз данных; в) совершенствование библиотек элементов, получение параметров моделей транзисторов из моделирующих устройства программ, связанных с программами, моделирующими процессы, а также возможность их простого согласования с экспериментальными данными; г) смешанное моделирование: менее точное — логическое моделирование и более точное — моделирование приборов.

**Событийное моделирование.** Программы, моделирующие электронные схемы и позволяющие, как и программы логического моделирования, находить решения относительно путей передачи сигнала, называются также «временными» моделирующими программами. С их помощью можно производить обработку данных со скоростью на два порядка выше, чем при использовании стандартных средств. Это позволяет применить их при моделировании переходных процессов в логических МОП-схемах. Основным принцип этих средств состоит в том, что они базируются на итерационном методе Гаусса — Зейделя.

Для узловой выходной точки МОП-вентиля составляется узловое уравнение. В частности, если к выходному узлу подключена линейная заземленная емкость и потенциал узловой точки равен  $v$ , а сумма токов, втекающих в узел, равна  $g$ , то это уравнение принимает следующий вид:

$$C dv / dt + g(v) = 0 \quad (1)$$

Воспользовавшись формулой интегрирования Эйлера с обратной подстановкой и положив, что  $dv / dt = u_{n+1} - u_n / h$ ,  $dv / dt = u_{n+1} - u_n / h$ , уравнение (1) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} (1/h) \{ C_{11}(v_{n+1,1} - v_{n,1}) + \dots + C_{1q}(v_{n+1,q} - v_{n,q}) \} + g_1(v_{n+1,1}, \dots, v_{n+1,q}) &= 0 \\ (1/h) \{ C_{21}(v_{n+1,1} - v_{n,1}) + \dots + C_{2q}(v_{n+1,q} - v_{n,q}) \} + g_2(v_{n+1,1}, \dots, v_{n+1,q}) &= 0, \quad (2) \\ (1/h) \{ C_{q1}(v_{n+1,1} - v_{n,1}) + \dots + C_{qq}(v_{n+1,q} - v_{n,q}) \} + g_q(v_{n+1,1}, \dots, v_{n+1,q}) &= 0 \end{aligned}$$

где  $v_{n,1} \sim v_{n,q}$  — известные величины, и поэтому (2) в матричном виде можно представить как

$$[L + D + U]v_{n+1} = b, \quad (3)$$

где  $L$ ,  $U$  — нижняя и верхняя треугольные матрицы, не содержащие дополнительных элементов;  $D$  — диагональная матрица.

Во временных моделирующих программах используется аппроксимация, в соответствии с которой при поиске решений уравнения (3) в последовательности от  $U_{n+1,k}$  к  $V_{n+1,q}$  используют или метод Гаусса — Зейделя, считая величину  $U \cdot V_{n+1}$  известной, или модифицируя только  $D \cdot V_{n+1}$ . Вместе с тем, при использовании метода Гаусса — Зейделя уравнение (3) решают повторно вплоть до того момента, когда оно начинает сходиться, а в случае временных моделирующих программ уравнение (3) решают по одному разу для каждого момента времени. Если система (2) содержит нелинейные уравнения, то их приводят к линейной форме, а затем последовательно решают только по одному разу. Уравнения (2) составлены для пути передачи сигналов, и, если диагональные элементы матрицы Якоби для уравнения (3) имеют достаточно большую величину, рассматриваемое приближение можно считать достаточно близким.

При этом, «плавающая» емкость между точками на выходах вентиля должна быть меньше, чем заземленная емкость в точке выхода каждого вентиля. Для временного моделирования характеристики МОП-транзисторов хранятся в виде таблиц (в форме  $i_{ds} = f(v_{gs}, v_{ds})$  и  $v_{nop} = g(v_{bs})$ ). Используются также модели базовых вентилях, что упрощает и ускоряет обработку.

**Модель МОП-транзистора.** Описывается уравнениями (4), (5), где проходящий через канал ток определяется, исходя из количества носителей, рассчитываемого как разность заряда, наводимого в полупроводнике в соответствии с законом Гаусса, и пространственного заряда.

$$i_d = \beta \left[ (v_{gs} - v_{nop}) v_{gs} - \frac{1}{2} v_{ds}^2 \right], \quad (4)$$

$$i_d = (\beta/2) (v_{gs} - v_{nop})^2, \quad (5)$$

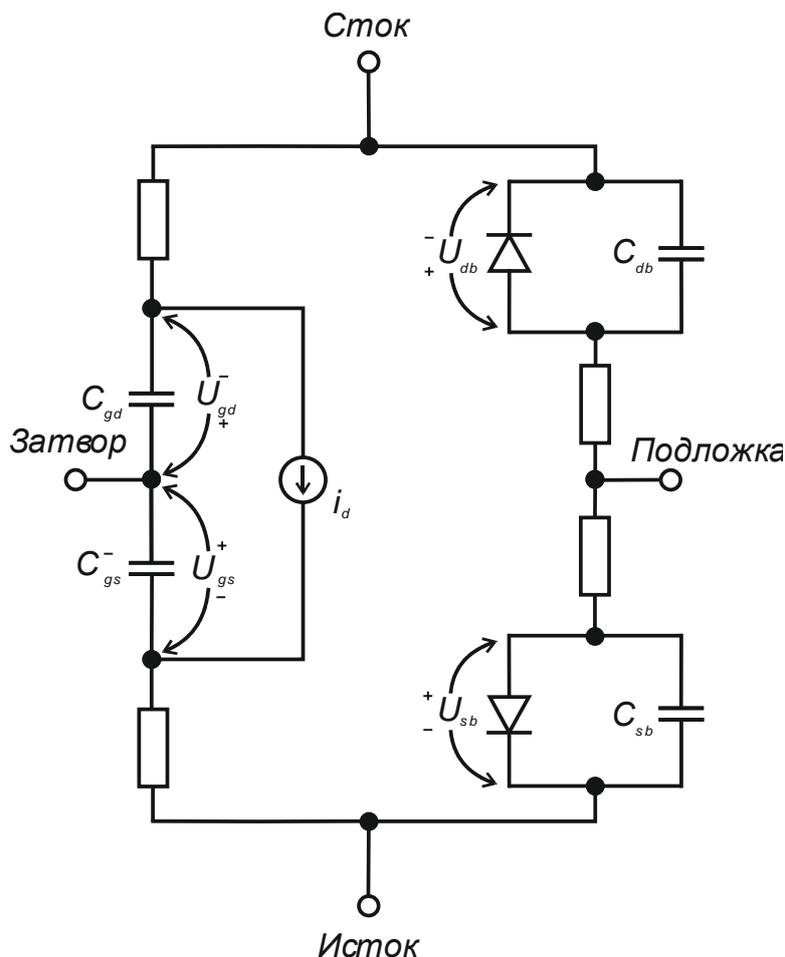
где  $\beta = Z_{\mu} C_0 / L$ ;  $Z$  — ширина канала;  $\mu$  — эффективная подвижность носителей;  $C_0$  — емкость оксидной пленки на единицу площади;  $L$  — длина канала. Для расчета МОП-транзисторов важны четыре параметра: длина канала, ширина канала, толщина оксидной пленки и активная проводимость канала. Выражение (4) для области триодных характеристик, (5) — для области насыщения.

Используется приближение «постепенного» канала, т. е. считается, что напряженность поля в направлении, перпендикулярном каналу, достаточно велика по сравнению с напряженностью поля в направлении канала.

Собственная проводимость в области насыщения может быть отображена посредством модели Шихмана—Ходжеса, согласно которой можно приближенно считать, что

$$i_d = i_{d_{max}} (1 + \lambda v_{ds})$$

где  $\lambda$  — постоянная. Введя в эту модель напряжение между электродами, а также емкости переходов подложка—сток и подложка—исток и включенные навстречу друг другу диоды, можно получить схему, показанную на рис. 1.



**Рисунок 1 – Модель МОП-транзистора**

Для этой схемы справедливы следующие выражения:

$$i_d = (\beta / 2) (F_1 - F_2) (1 + \lambda |v_{gs} - v_{gd}|),$$

$$F_1 = \begin{cases} 0, & v_{gs} < v_{nор} \\ (v_{gs} - v_{nор})^2, & v_{gs} \geq v_{nор} \end{cases},$$

$$F_2 = \begin{cases} 0, & v_{gd} < v_{nор} \\ (v_{gd} - v_{nор})^2, & v_{gd} \geq v_{nор} \end{cases}.$$

**Заключение.** Данная модель является наиболее простой из моделей, позволяющих отобразить основные особенности работы МОП-транзистора.

На базе описанной модели может быть реализована двумерная версия расчета задачи по методу конечных элементов (МКЭ) в математической системе Mathcad.

Операции МКЭ могут быть использованы для разработки инструментария для построения базовых моделей расчета уравнений, описывающих процессы в кремниевых структурах.

### Список цитированных источников

1. Абрамов, И.И. Численное моделирование элементов интегральных схем / И.И. Абрамов, В.В. Харитонов; под ред. А.Г. Шашкова – Мн.: Высш.шк., 1990. – С. 224.
2. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1986. – С. 247.
3. Mathcad 6.0 Руководство пользователя. – М., Мир, 1996. – С. 658.

УДК 002:372.8

**Борисюк И.Г., Минько Н.А.**

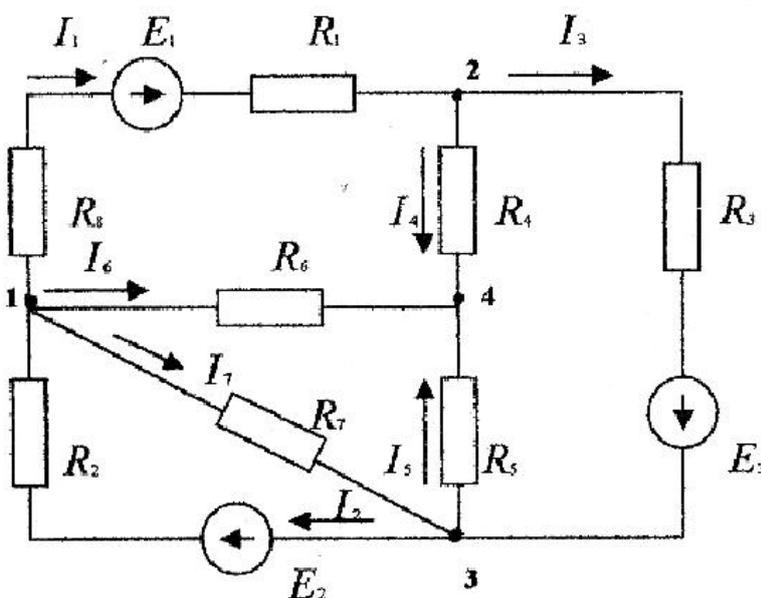
**Научный руководитель: зав. кафедрой Парфомук С.И.**

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННЫХ И ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Целью настоящей работы является разработка программы в системе программирования Delphi, которая по созданной электрической схеме будет динамически рассчитывать напряжения и токи в ветвях с помощью метода узловых напряжений.

Метод узловых напряжений основан на применении первого закона Кирхгофа и закона Ома для источников цепи. Сущность метода сводится к определению узловых напряжений относительно некоторого базисного узла [1, 2]. Если принять потенциал базисного узла равным нулю, то напряжение между остальными узлами и базисным узлом будут равны потенциалам этих узлов. Поэтому данный метод называют также в цепях постоянного тока методом узловых потенциалов. Зная узловые напряжения ветвей, по закону Ома легко определить токи ветвей.

Поясним на примере электрической схемы, представленной на рис.1:



**Рисунок 1 – Пример электрической цепи**

Узел 4 принимаем за базисный. Неизвестные узловые напряжения  $U_{14}, U_{24}, U_{34}$ ; напряжения  $U_{12}, U_{13}, U_{23}$  определим через напряжения  $U_{14}, U_{24}, U_{34}$ :

$$U_{12} = U_{14} - U_{24}; U_{13} = U_{14} - U_{34}; U_{23} = U_{24} - U_{34}.$$

На основании метода узловых напряжений составляем систему уравнений:

$$\begin{aligned} U_{14}g_{11} - U_{24}g_{12} - U_{34}g_{13} &= I_{11}; \\ -U_{14}g_{21} + U_{24}g_{22} - U_{34}g_{23} &= I_{22}; \\ U_{14}g_{31} - U_{24}g_{32} - U_{34}g_{33} &= I_{33}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $g_{11} = \frac{1}{R_1 + R_8} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_2}$ ;  $g_{22} = \frac{1}{R_1 + R_8} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$ ;  $g_{33} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_2}$  – собственные узловые проводимости узлов;  
 $g_{12} = g_{21} = \frac{1}{R_1 + R_8}$ ;  $g_{13} = g_{31} = \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_2}$ ;  $g_{23} = g_{32} = \frac{1}{R_3}$  – проводимости ветвей, соединяющих узлы;  $I_{11} = -E_1 \frac{1}{R_1 + R_8} + E_2 \frac{1}{R_2}$ ;  $I_{22} = E_1 \frac{1}{R_1 + R_8} + E_3 \frac{1}{R_3}$ ;  $I_{33} = E_3 \frac{1}{R_3} + E_2 \frac{1}{R_2}$  – узловые токи узлов.

Решая систему уравнений (1), определяем узловые напряжения  $U_{14}, U_{24}, U_{34}$ , по ним – напряжения  $U_{12}, U_{13}, U_{23}$ . По напряжениям ветвей находим токи ветвей на основании закона Ома. Например, ток

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{13}}{R_2} = \frac{E_2 - (U_{14} - U_{34})}{R_2}.$$

Для автоматизации поставленной задачи использована система программирования Delphi. Разработанная программа позволяет производить расчёт параметров цепей переменных и постоянных напряжений и токов. Решение задачи состоит из 3-х этапов:

1. Построение схемы. Первый этап осуществляется с помощью панели элементов, расположенной в верхней части формы (рис. 2). Выбранные элементы можно поворачивать, соединять, перемещать и т. п.

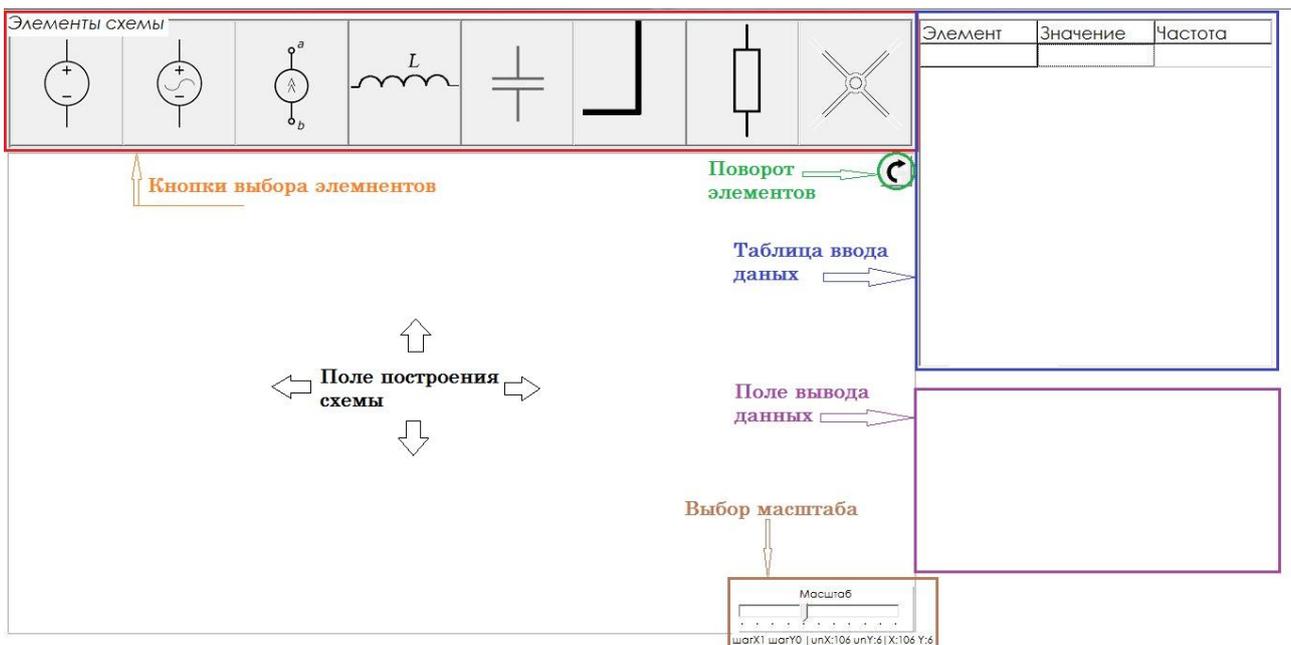


Рисунок 2 – Построение электрической схемы

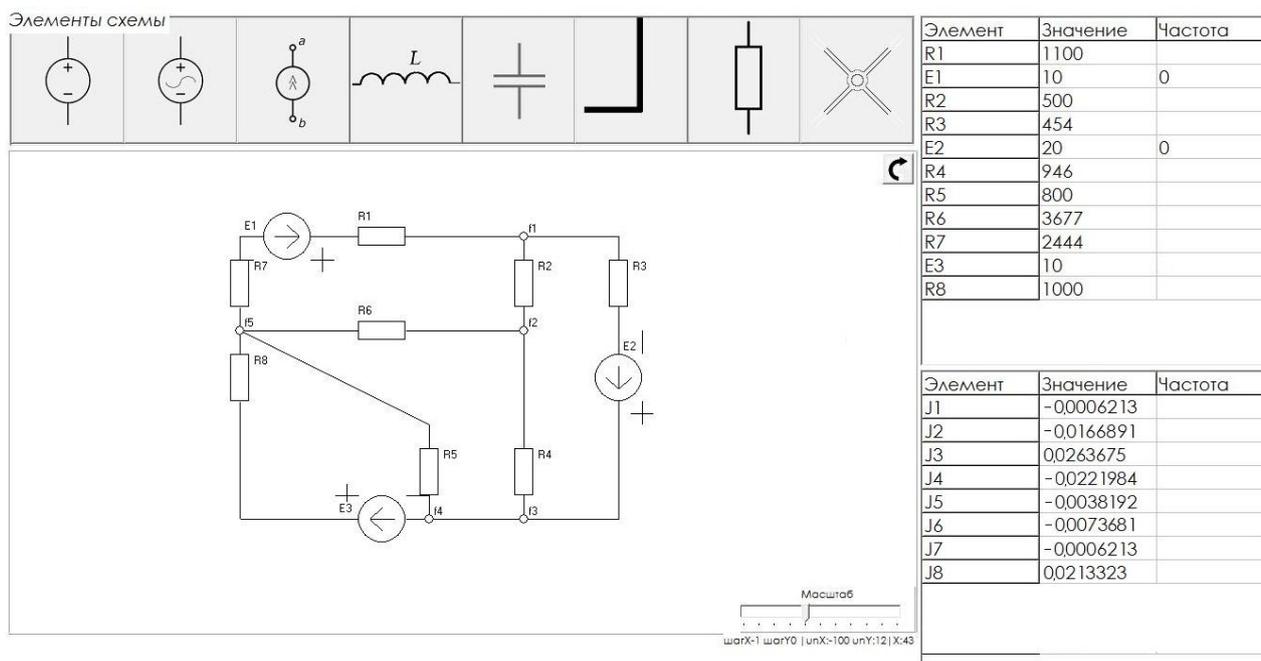
2. Ввод исходных данных. К построенным элементам добавляют данные с помощью таблицы, расположенной в правой верхней части формы.

Доступны следующие виды сокращений ввода и единиц измерения: Pt=10<sup>15</sup> (пета); T=10<sup>12</sup> (тера); G=10<sup>9</sup> (гига); M=10<sup>6</sup> (мега); K=10<sup>3</sup> (кило); m=10<sup>-3</sup> (мили); mk=10<sup>-6</sup> (микро); n=10<sup>-9</sup> (нано); p=10<sup>-12</sup> (пико); f=10<sup>-15</sup> (фемто); R – Омы (Ом); L – Генри (Гн); F – Фарад (Ф).

Пример ввода: 124 mkF=124\*10<sup>-6</sup> Ф= 0,000124 Фарад.

3. Расчёт и вывод токов ветвей и узловых потенциалов. Вывод осуществляется во второй таблице, расположенной в правой нижней части формы.

На примере (рис. 3) на резисторе R1 протекает ток J1, равный - 0,0006213 Ампер.



**Рисунок 3 – Пример расчета**

Аналитический расчет для примера, показанного на рис.1, полностью совпадает с решением, полученным в программе, что демонстрирует корректную работу автоматизированной системы.

На данном этапе программа находится в разработке и в дальнейшем планируется усовершенствование интерфейса и добавление новых возможностей программы, а именно: расчет цепи не только постоянного, но и переменного тока; построение потенциальной диаграммы; вывод потенциалов узлов в форме.

#### Список цитированных источников

1. Матханов, П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи. – М.: Высш.шк., 1990.

2. Крылов, В.В. Основы теории цепей для системотехников: Учебное пособие для вузов – М.: Высш.шк., 1990.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ГОРОДЕ**

В современном мире, население городов и населенных пунктов стремительно увеличивается, следовательно, растёт их площадь. Застраиваются новые жилые районы, появляются бизнес-центры и другие объекты. На фоне всего этого возникает проблема добраться с одного конца города в другой. Для её решения создаются новые автобусные и троллейбусные маршруты и строятся новые остановочные пункты. В нашем городе насчитывается около 60 маршрутов, включая экспериментальные и заказные автобусы. За счет этого информирование людей об изменениях в расписании становится непростой задачей. Для этого используются газеты, а так же объявления на различных интернет ресурсах.

С ростом высоких технологий растёт роль интернета и влияние его на жизнь любого человека. Для облегчения жизни пользователей создаётся множество Интернет-ресурсов.

Так и создание мобильного приложения, способного дать ответ на вопрос: “Как лучше добраться из пункта А в пункт Б?”, должно сильно облегчить жизнь простым горожанам.

Да и использование Интернет-ресурса для решения поставленной задачи автоматически облегчает решение других подзадач, таких как постоянное обновление базы данных с маршрутами и возможность обращения к данному ресурсу с помощью устройств на любой ОС.

Конечно, имеются и свои минусы, такие как необходимость пользователю иметь доступ в интернет и постоянное подключение к интернету. А иметь доступ в интернет из любой точки города с любого устройства в любой момент времени пока не представляется возможным.

Так, приняв во внимание все плюсы и минусы данного подхода к решению поставленной задачи, был разработан Интернет-ресурс “kogda.by”. Сайт предоставляет возможность ознакомиться с расписанием движения любого автобусного маршрута и так же имеет возможность вывода времени отправки данного маршрута с данной остановки.

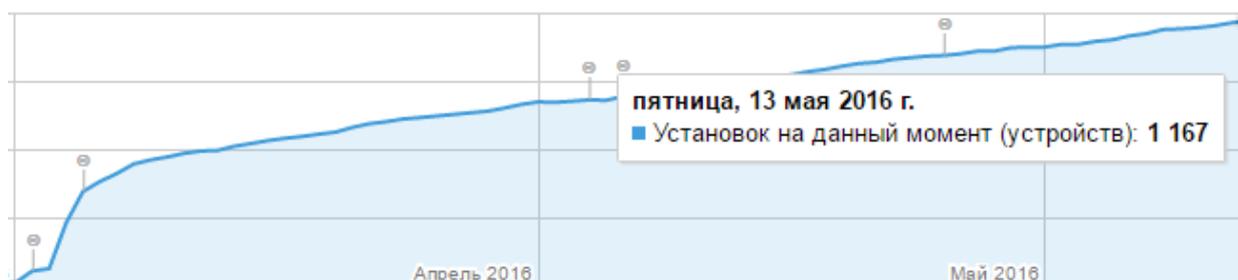
Однако поставленная задача была решена не полностью. Отсутствует возможность выбора конечного пункта движения и поиска оптимального маршрута. Да и путь решения задачи через создание Интернет-ресурса хоть и может решить данную проблему, но впоследствии требует наличия постоянного непрерывного интернет-соединения для работы.

Поэтому было решено создать мобильное приложение, способное выполнять заданные функции и главное - быть доступным в любой момент времени.

Было разработано приложение для операционной системы Android. Которое позволяет искать маршруты с пересадкой и без, а так же имеется возможность просмотра расписания по остановкам в интерактивном виде, когда приложение показывает ближайшие автобусы, которые приедут на остановку. Приложение работает как с подключением к интернету, так и автономно. При наличии интернета приложение автоматически проверяет наличие новой версии приложения и расписания. Так же в перспективе задумано добавить в

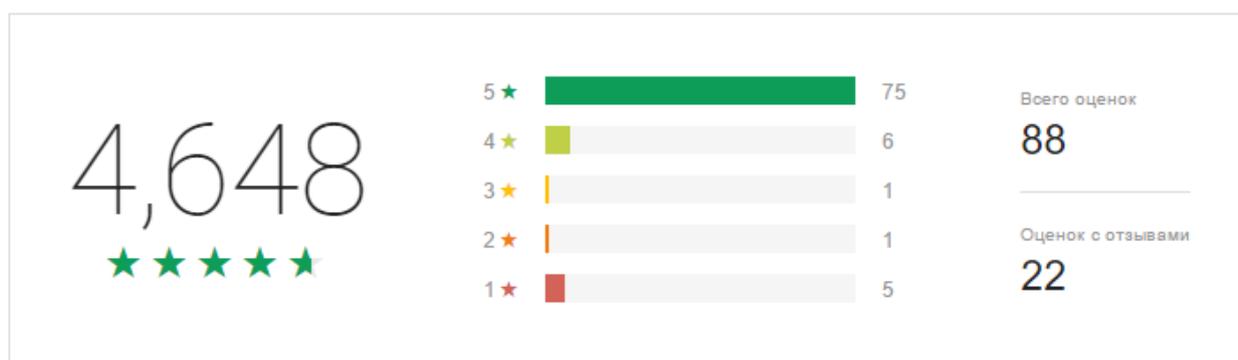
приложение возможность работы с картами и выбором остановок не из списка, а просто нажав на точку на карте.

Эта разработка была опубликована с помощью сервиса Google Play под названием "Расписание автобусов Брест". За 3 месяца публикации мы имеем более тысячи активных пользователей и более 80 положительных оценок, общая оценка пользователей составляет 4.66 баллов из 5. Приложение пользуется спросом и каждый день появляются новые пользователи.

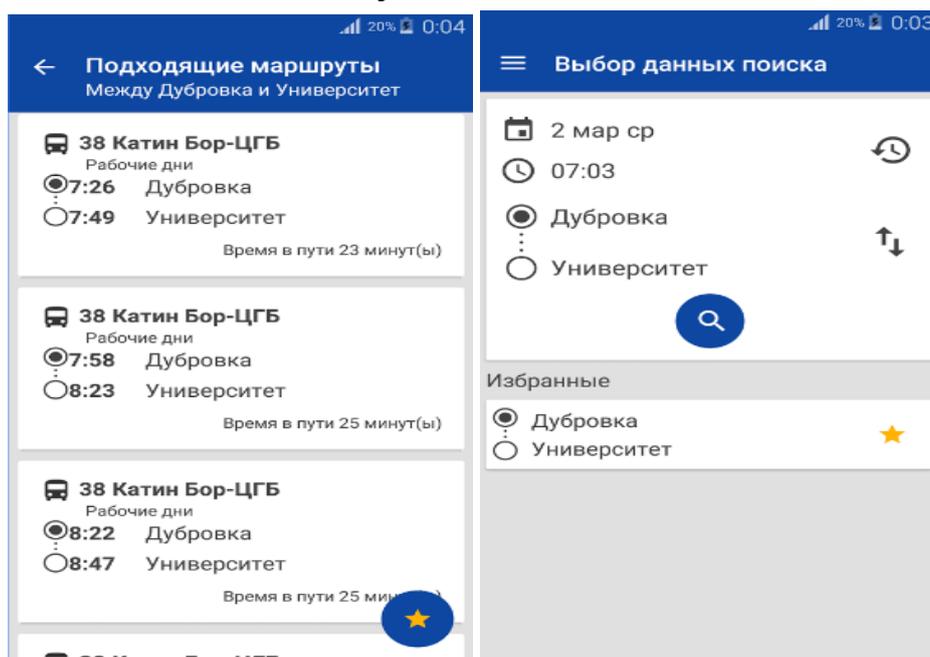


**Рисунок 1 – График установок**

## ОЦЕНКИ



**Рисунок 2 – Оценки**



**Рисунок 3 – Интерфейс приложения**

Так же ведется разработка аналогичного мобильного приложения под операционной системой windows. Это так же увеличит число активных пользователей и облегчит выбор маршрутов. Приложение так же будет размещено в Windows Store и будет в свободном доступе.

Разработки в направлении улучшения транспортной ситуации всегда будут актуальными и востребованными. Так что приложения так же будут дорабатываться и в зависимости от располагаемых ресурсов будут увеличиваться их возможности.

#### **Список цитированных источников**

1. Арак, А.О. Развитие и эффективность пассажирских перевозок. - Таллин, 1981.
2. Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. – М.: Транспорт, 1997.
3. Спирин, И.В. Городские автобусные перевозки. - М.: Транспорт, 1991.

УДК 656.13.05

***Донготаров И.А.***

***Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.***

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ. ПРОЕКТ "ИНФОБУС"**

Пассажирский транспорт является одним из основных элементов социальной инфраструктуры города, обеспечивающим немаловажную потребность его жителей. Следовательно, надежная и эффективная работа общественного транспорта для города является важнейшим показателем социально-политической и экономической стабильности. Из чего мы можем сделать вывод, что повышение не только количественных, но и качественных показателей работы общественного транспорта являются крайне важными задачами. Для решения которых существует немало возможных путей и самым распространённым вариантом является метро, которое обладает рядом минусов, самым главным из которых является огромная стоимость. Таким образом мы приходим к идее внедрить некие иные системы, которые позволят добиться как минимум аналогичного эффекта, но при этом будут иметь меньшие затраты.

Поскольку электрокар закреплён на монорельс и вследствие этого не нуждается в программном создании пути своего следования, остаются лишь вопросы управления скоростями, точками остановки электрокаров и реакцией на светофорные объекты.

Для регулирования и поддержки дистанции на пути следования электрокары оборудованы с двух сторон бесконтактными датчиками, позволяющими получить сигнал при приближении другого электрокара спереди или сзади и соответственно увеличить или сбавить скорость движения. Помимо датчиков, электрокар оборудован бортовым компьютером, необходимым для получения беспроводных сигналов о маршрутах от станции и передачи сигналов о состоянии работы от электрокара.

Так же на каре присутствуют три приёмника точечного инфракрасного сигнала. Их необходимость обусловлена тем, что принцип работы системы предполагает, что кар будет получать постоянно три вида кодированного сигнала и

иметь пять состояний в случае отсутствия других электрокаров в опасной близости или же светофорных сигналов. Возможные состояния кара описаны на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Состояния работы электрокара “Инфобус”**

Управление сменами состояния электрокара будут осуществлять передатчики точечного инфракрасного сигнала, посылающие единичный сигнал, а точнее их комбинации, дающие следующие выходные сигналы. В момент получения сигнала помимо смены состояния электрокар отправляет сигнал о смене состояния диспетчеру. В случае получения каких-либо других комбинации электрокар никак не реагирует.



**Рисунок 2 – Получение сигнала: “110”**

Ранее упоминалось, что состояние “остановка” срабатывает только в случае обнуления специального счётчика. Данный счётчик по сути и является маршрутом кара, т. к. он указывает не только на какой остановке остановится, но и в какой позиции. Наличие именно трёх датчиков обусловлено тем, что каждая из команд должна быть уникальна и не хранить внутри себя другую комбинацию. Правила управления в формульном виде описаны в формулах 1-5.

$$S_t = \sum_{i=1}^3 S_i = 5 \wedge F_{i\bar{n}\bar{o}} = -0 \rightarrow F_{i\bar{n}\bar{o}} = F_{i\bar{n}\bar{o}} - 1, \quad (1)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^3 S_i = 5 \wedge F_{i\bar{n}\bar{o}} = 0 \rightarrow U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} = 0 \wedge F_{\bar{n}\bar{i}\bar{n}\bar{o}} = "Stop", \quad (2)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^3 S_i = 5 \rightarrow U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} \approx U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} \min \wedge F_{\bar{n}\bar{i}\bar{n}\bar{o}} = "SpeedDown", \quad (3)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^3 S_i = 6 \rightarrow U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} \approx U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}} \max \wedge F_{\bar{n}\bar{i}\bar{n}\bar{o}} = "SpeedUp", \quad (4)$$

где  $i$  – номер сигнала;  
 $S_t$  - общий сигнал;  
 $F_{i\bar{n}\bar{o}}$  - счётчик остановки;  
 $U_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}\bar{a}}$  - скорость электрокара;  
 $F_{\bar{n}\bar{i}\bar{n}\bar{o}}$  - состояние.

Состояние “SpeedDown” представляет из себя постепенное понижение скорости электрокара и поддерживается до того момента, пока скорость не станет равной минимально допустимой или произойдет переключение.

Состояние “SpeedUp” работает аналогично, только в сторону повышения скорости.

Состояние “Stop” предполагает остановку электрокара, отправку сигнала диспетчеру, ожидание загрузки (примерно 20-30 секунд) и разгон до минимальной допустимой скорости.

Работа системы так же предполагает получения сигналов от светофорных объектов. Перед прохождением наземных перекрестков электрокар получает сигнал сбавить скорость после прохождения он получает обратный сигнал. Это обусловлено принципом взаимодействия со светофорными объектами, заключающемся в передаче периодического сигнала “111” и необходимостью в запасе небольшого расстояния для комфортного торможения. Работа данного сигнала описана формулами 5– 6.

$$S_i = \sum_{i=1}^3 S_i = 7 \rightarrow U_{\text{зад}} = 0 \wedge F_{\text{зад}} = \text{"StopRed"} \quad , \quad (5)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^3 S_i = 0 \wedge F_{\text{зад}} = \text{"StopRed"} \rightarrow U_{\text{зад}} \approx U_{\text{зад}}^{\text{min}} \wedge F_{\text{зад}} = \text{""} \quad . \quad (6)$$

Состояние “StopRed”, порождаемое сигналом “111”, предполагает остановку электрокара и в момент его отключения разгон до минимальной допустимой скорости. Состояние так же поглощает в себя состояние “SpedDown”, поскольку срабатывание второго никак не повлияет на работу первого.

Алгоритм работы системы управления:

1. Имеется матрица корреспонденций графа М размера nXn, каждый элемент Mij которой равен числу пассажиров, желающих отправиться с i-й на j-й станцию.

2. Во время работы алгоритма матрица обходится по строкам справа на лево, т. е. i изменяется от 1 до n, j изменяется от n до 1. При прохождении элемента его значение Mij прибавляется к Vm – набор пассажиров в m-й электрокар, равному количеству пассажиров, собранных этим вагоном, и значение суммы сравнивается с V – общим числом мест вагона и в таблицу маршрутов заносится значение n в ячейку строки k+n в случае, если она свободна, иначе k+n-1, и j-го столбца.

4. Обход выполняется до тех пор, пока текущее количество пассажиров меньше допустимого количества: Vm < V.

5. Если Vm=V, высылается вагон. Если Vm>V, то из Vm вычитается V и высылается вагон, а разница между Vm и V становится равна текущему значению Mij.

6. После отправления Vm электрокара алгоритм продолжает работу, начиная с текущего Mij и Vm+1.

7. В случае проверки крайнего левого элемента строки алгоритм переходит на следующую строку.

8. Чтобы сделать работу вагона более оптимизированной, алгоритм дополнительно проверяет Vm, в случае остановки аналогичным образом алгоритм начиная с Mjn, где j номер текущей остановки, исходя из таблицы маршрутов, но с условием, что n>j.

### **Список цитированных источников**

1. Афанасьев, М.Б. Организация дорожного движения / М.Б. Афанасьев, Г.И. Клишковштейн. – М.: Транспорт, 1992. – 312 с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы «ATMEL» - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
3. Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – Москва: Транспорт, 1981. – 256 с.

УДК 656.13.05

***Забродский К.В.***

***Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.***

## **СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОМОЩИ НА ДОРОГАХ**

Транспорт играет чрезвычайно важную роль в жизнедеятельности человека. Современное общество просто не может представить жизнь без средств передвижения. И поэтому стремится с каждым днем развивать эту отрасль, как с научной, так и с практической стороны. Быстрый темп жизни и стремительный рост населения привели к тому, что количество личных автомобилей во всем мире увеличилось с 1980 по сегодняшний день на 84%. В связи с этим возросло количество ДТП. Вождение транспортными средствами – дело не тяжёлое, но очень монотонное.

На сегодняшний день существуют прототипы практически любого вида беспилотного транспорта. Активно внедряются в жизнь и заменяют людей военные и промышленные роботизированные транспортные устройства. Наука не стоит на месте, и уже сейчас становятся актуальными беспилотные легковые автомобили, грузовики, роботизированная авиация, водные транспортные средства, мотоциклы и даже велосипеды.

В последние годы наблюдается рост интереса среди ученых и производителей автотранспорта к беспилотным автомобилям, способным перемещаться по дорогам без участия человека. По сравнению с машинами, управляемыми человеком, автономные обладают большей скоростью реакции на изменение дорожной ситуации и не подвержены влиянию человеческого фактора: усталости, психическое состояние и пр. Использование качественных систем автономной навигации позволит уменьшить количество ДТП и человеческих жертв, снизит стоимость транспортировки товаров, позволит экономить время, затрачиваемое сейчас на вождение транспортных средств. Даже при наличии водителя автономная система может взять управление на себя, в случае, например, если водителю станет плохо. Такие системы разрабатываются на основе платформ, конструктивно сходных с современными автомобилями и не свойственных другим робототехническим конструкциям.

Среди широкого диапазона проблем транспортировки, более или менее успешно разрешимых посредством интеллектуальной транспортной системы (ИТС), проблема обеспечения безопасности на дорогах несомненно самая значимая. Создание ИТС предполагает организацию транспортного взаимодействия между участниками потока.

Оценка покрытия и оптимальное размещение анизотропных датчиков, формирующих сенсорную сеть, все еще остается недостаточно изученным.

Мы рассмотрим несколько подходов, которые могут быть применены к такому типу задач.

Есть несколько типичных сценариев трафика, которые могут привести к потенциальным несчастным случаям, и они демонстрируют, как этих потенциальных несчастных случаев можно было бы избежать, если бы транспортные средства, включенные в эти ситуации, были бы оборудованы датчиками и имели возможности обмениваться данными с другими автомобилями:

Сельская местность с однополосным трафиком

Автострада: Въезд и выезд

Углы улиц

Перекрестки

Волновой низкочастотный радар может использоваться для обнаружения препятствий на расстоянии или других механизмов. Это может обнаружить цели даже во время активных условий и одновременно измерить расстояние до цели и его относительную скорость. Общая изотропная модель обнаружения датчиков может быть описана как (1):

$$p(d) = \frac{K}{d^k}, \quad (1)$$

где  $K$  – является испускаемой энергией,  $k$  – коэффициент затухания и  $d$  – является расстоянием между датчиком и объектом. Распознающая мощность таких датчиков может быть выражена как обычно с распределенными функциями, как показано в уравнении (2). Распознающая модель следует за распределением Гаусса со средним значением  $\mu$  и различие  $\sigma$ .

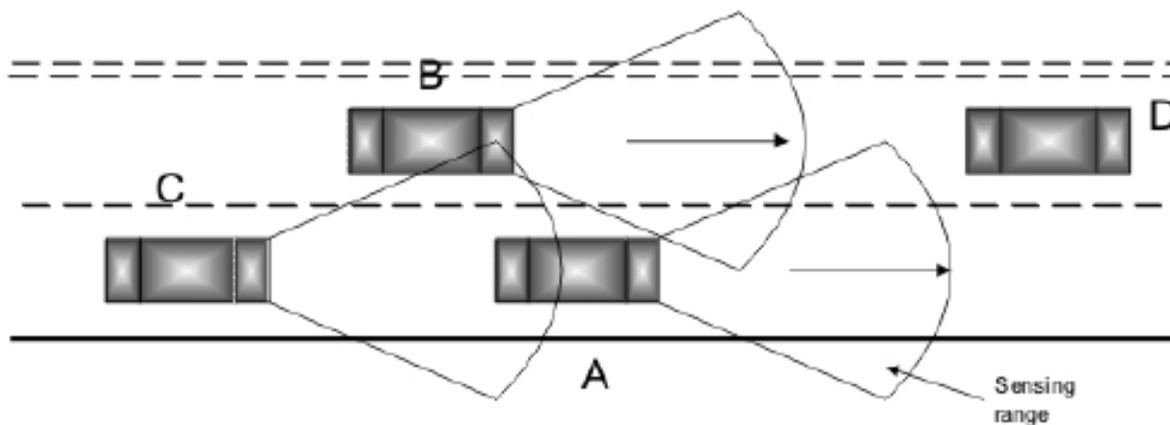
$$p(d | \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(d-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (2)$$

Это поочередно увеличивает вероятность обнаружения любых других датчиков или препятствий или другие механизмы без датчиков, которые могут быть в той области. Следовательно, это приводит к полному увеличению обнаруживающей способности датчиков в той области (3).

$$p = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3), \quad (3)$$

где  $p$  - общая вероятность обнаружения и  $p_1$ ,  $p_2$ , и  $p_3$  - вероятности обнаружения отдельным датчиком.

В вышеупомянутой схеме обнаружения расстояние между двумя датчиками/механизмами очень важно. В случае, когда коммуникационная схема V2I возможна, дополнительная дорожная инфраструктура базировалась на датчиках, которые могут быть использованы, чтобы увеличить получающуюся вероятность обнаружения. Однако большинство датчиков, таких как камеры, направленные микрофоны, радары и т. д., анизотропны. И их зона охвата может быть описана скорее как сектор, чем круговая область (Рис. 1). Это делает сетевые задачи оценки покрытия намного более сложными.



**Рисунок 1 – Анизотропная схема обнаружения препятствий**

#### **Список цитированных источников**

1. A DSS approach to urban traffic management
2. An integrated traffic-driving simulation framework Design, implementation, and validation
3. Learning in groups of traffic signals
4. Chapter 11 ITS and Traffic Management

УДК 004.514.62

**Маркина А.А.**

**Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент**

### **ТЕСТИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ОФИСНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Подход к автоматизированному мониторингу кровяного давления пользователя ЭВМ

Состав тестовых заданий можно разделить на следующие группы:

- операции форматирования и разметки заранее набранного текста, выполняемые средствами текстового процессора;
- формирование ячеек электронной таблицы и работа с ними в табличном процессоре;
- рисование заданных фигур и примитивных изображений в растровом графическом редакторе.

В исследовании приняло участие около 30 студентов IT-специальностей в возрасте 18–23 лет, т. е. пользователи с хорошим опытом работы как с MFI, так и с традиционными панелями. Тестирование выполнялось отдельно для приложений с интерфейсом, перегруженным виджетами, и для приложений со средней визуальной загрузкой панелей. В качестве типовых интерфейсов для тестирования были отобраны три варианта:

- MFI (высоконагруженный интерфейс - приложения пакета MS Office 2007, средненагруженный - Paint из Windows 7);
- классическая панель сверху экрана (приложения LibreOffice);

- боковая панель (высоконагруженный интерфейс - боковая панель LibreOffice 5.x с отключенной верхней панелью, средненагруженный - свободный графический редактор Pinta, реализующий типовые операции аналогично MFI-прототипу).

Тестирование включало сначала выполнение ознакомительных заданий во всех приложениях, а затем других вариантов заданий в режиме мониторинга.

Среди заданий, выполняемых в текстовом процессоре, можно отметить следующие типовые операции:

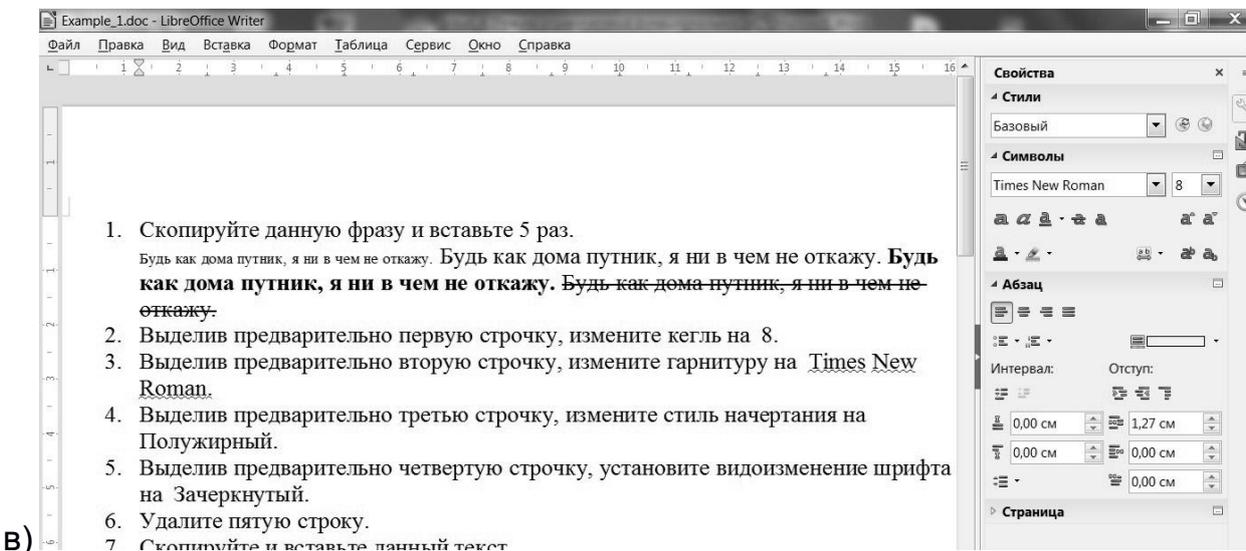
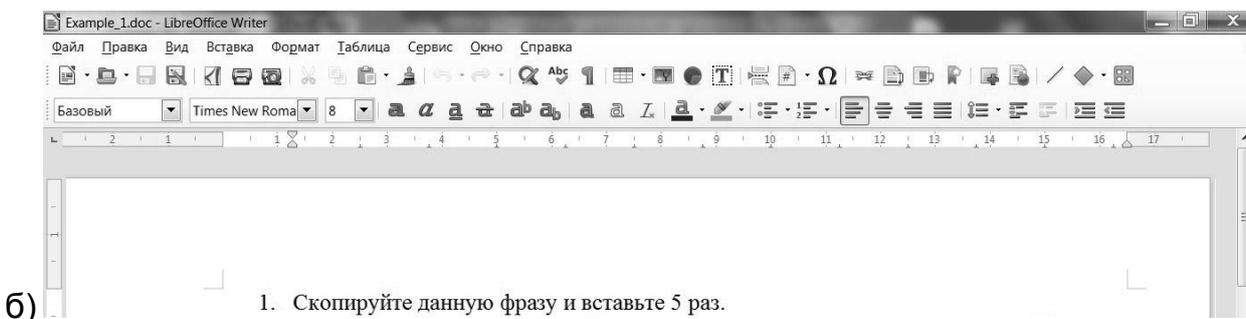
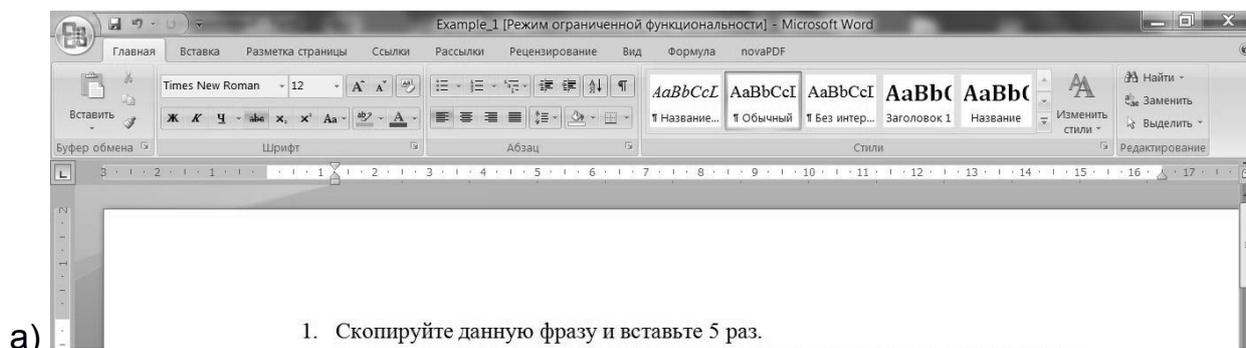
- копирование фрагментов через буфер обмена (выполняется кнопками на инструментальной панели либо пунктами контекстного меню);
- изменение стиля текста и гарнитуры шрифта (элементами панели) и его начертания (диалогом настройки шрифта), еще кегль, видоизменение;
- удаление выделенного фрагмента текста;
- выделение цветом, работа с маркированными и нумерованными списками (элементами панели);
- регулировка параметров абзаца (отступов, интервалов, количества колонок);
- вставка таблиц.

Задания, выполняемые в табличных редакторах, включали в себя:

- копирование фрагментов через буфер обмена (выполняется кнопками на инструментальной панели либо пунктами контекстного меню);
- однотипное заполнение ячеек с помощью параметров автозаполнения;
- изменение формата ячеек элементами панели или диалогом настройки свойств ячейки;
- работа с функциями, используя диалог работы с функциями;
- изменение свойств границ таблицы, с помощью элементов панели, либо с помощью контекстного меню (=Ъ));
- построение различных графиков и диаграмм (элементы панели)
- удаление выбранного текста. %).

Задания были специально подобраны таким образом, чтобы максимально задействовать инструментальную панель. При этом соблюдалось равенство возможностей тестируемых приложений (отсутствовала ситуация, когда один пакет требовал бы для выполнения задания заведомо более длинную цепочку действий, чем остальные). Однако на практике возникали ситуации, когда подопытный в состоянии ступора выбирал крайне неэффективный способ решения задачи, включавший, например, обход всех выпадающих списков главного системного меню с поиском нужного пункта (вместо его выбора на инструментальной панели или вызова диалога). Подобные крайние ситуации не исключались, поскольку они чего-то там тоже характеризуют, вот :)

Часть офисных пакетов была заведомо исключена из тестирования по причине невозможности выполнения в них всех тестовых заданий. Так, пакет ONLYOFFICE, представляющий теоретический интерес как единственный офисный пакет под GNU/Linux, сочетающий в себе открытый исходный код и MFI-подобный интерфейс, не вошел в тестирование из-за отсутствия поддержки некоторых вариантов видоизменения шрифта, встроенных в задания, а также более грубой настройки отступов абзаца.



**Рисунок 1 — Высоконагруженные интерфейсы: MFI, MS Office 2007 (а); классическая верхняя панель, LibreOffice 5.x (б); боковая панель LibreOffice 5.x с отключенной верхней панелью (в)**

### Список цитированных источников

1. Гоманова, Е. Применение модели периферического зрения в GUI / Е. Гоманова, Д. Костюк // Сетевые решения. – №6. – 2007. – С. 34 – 39.
2. Костюк, Д.А. Модуль инструментальной оценки состояния пользователя / Д.А. Костюк, О.О. Латий // Открытые технологии: сб-к материалов одиннадцатой Международной конференции разработчиков и пользователей свободного программного обеспечения Linux Vacation / Eastern Europe 2015, Гродно, 25–28 июня 2015 г. – Брест: Альтернатива, 2015. – С. 91–95.
3. Костюк, Д.А. Инструментальная оценка состояния пользователя в задаче сравнения интерфейсов офисных приложений / Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // XII конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов. – Калуга, 16-18 октября 2015г.М.: Альт Линукс, 2015. – С.8–12

## **МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

### **Введение**

В последние годы наблюдается активизация использования индивидуальных измерительных приборов, способных обмениваться данными с компьютером, – таких как пульсометры и развлекательные энцефалографы. Хотя эти устройства и не ориентированы на научные цели, они могут предоставить достаточно точные данные о физическом и эмоциональном состоянии пользователя. Ниже представляется результат авторской разработки, нацеленной на создание программно-аппаратной системы приборной оценки удобства использования ПО персонального компьютера на основе анализа таких данных.

Основная часть ПО написана на C++ и Qt, в настоящее время скомпилирована для двух платформ: GNU/Linux и MS Windows.

### **1. Выбор СУБД**

В ходе разработки приложения рассматривались три свободно распространяемые системы управления базами данных: мощная встраиваемая система **SQLite**, самая распространённая на текущий момент СУБД **MySQL**, и наиболее развитая серверная СУБД **PostgreSQL**.

SQLite - легко встраиваемая в приложения база данных, базируется на файлах, а потому она предоставляет довольно широкий набор инструментов для работы с ней, по сравнению с сетевыми СУБД. При работе с этой СУБД обращения происходят напрямую к файлам (в эти файлы хранятся данные), вместо портов и сокетов сетевых СУБД. Именно поэтому SQLite очень быстрая, а также мощная благодаря технологиям обслуживающих библиотек. К ее минусам можно отнести отсутствие многопользовательского доступа и низкую производительность при записи больших объемов данных (разрешен только один процесс записи в промежуток времени).

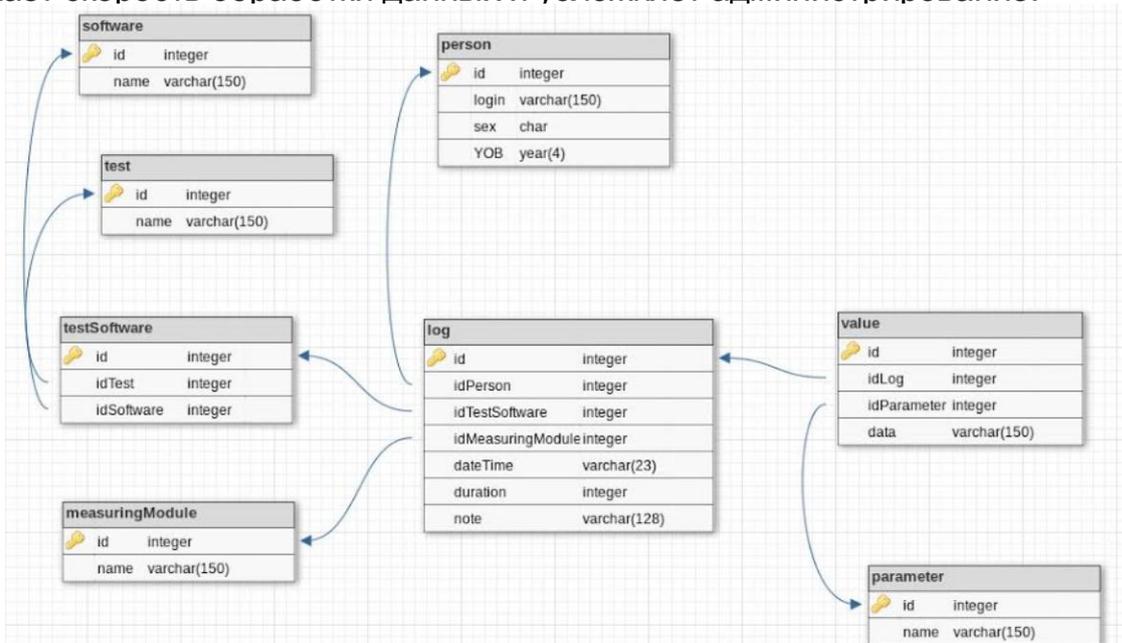
PostgreSQL является самой профессиональной из всех трех рассмотренных нами СУБД. Она свободно распространяемая и максимально соответствует стандартам SQL. От других СУБД PostgreSQL отличается поддержкой востребованного объектно-ориентированного к базам данных наряду с классическим реляционным подходом. Благодаря мощным технологиям PostgreSQL имеет высокую производительность и масштабируемость. Параллельность достигнута не за счет блокировки операций чтения, а благодаря реализации управления многовариантным параллелизмом (MVCC). PostgreSQL очень легко расширять собственными процедурами и модулями расширения. К минусам можно отнести невысокую производительность при простых операциях чтения и не самую высокую популярность.

MySQL - самая распространенная полноценная серверная СУБД. MySQL очень функциональная, свободно распространяемая СУБД. Несмотря на то, что в ней не реализован весь функционал языка SQL, MySQL предлагает довольно много инструментов для разработки приложений. Так как это серверная СУБД, приложения для доступа к данным, в отличие от SQLite, работают со службами MySQL. Также среди преимуществ можно отметить простоту установки и использования, большое количество функций, обеспечивающих безопасность по умолчанию, то что MySQL легко работает с большими объемами данных и легко масштабируется, а также значительную производительность (достигаемую в т. ч. за счет упрощения некоторых стандартов).

На основе вышеизложенного была выбрана реляционная СУБД MySQL. В качестве подсистемы таблиц СУБД был выбран вариант InnoDB, который входит во все стандартные сборки для различных операционных систем. Основным отличием InnoDB от других подсистем низкого уровня MySQL является наличие механизма транзакций и внешних ключей.

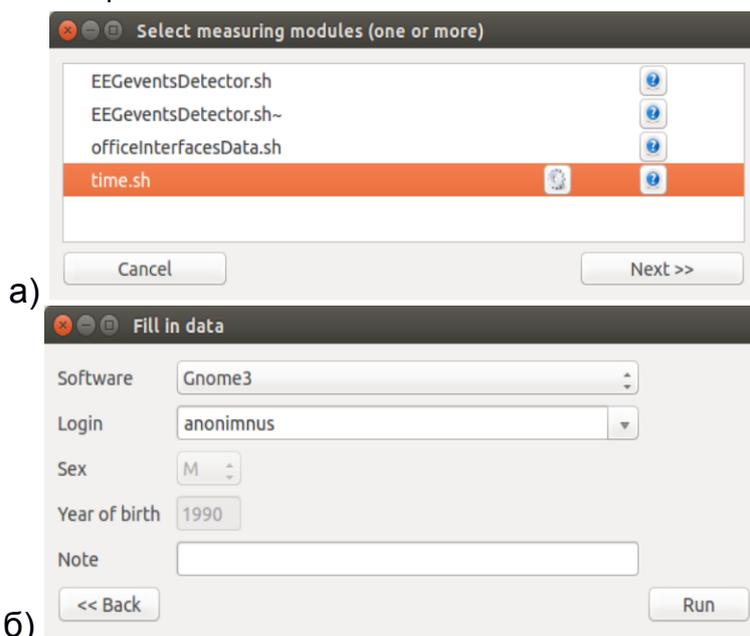
## 2. Структура хранения данных

При проектировании базы данных была разработана структура таблиц и связей, представленная на рисунке 1. Данная база является реляционной и приведена к третьей нормальной форме схем отношений, что является достаточным в большинстве случаев и не приводит к избыточности таблиц, что в свою очередь снижает скорость обработки данных и усложняет администрирование.



**Рисунок 1 – Структура хранения данных**

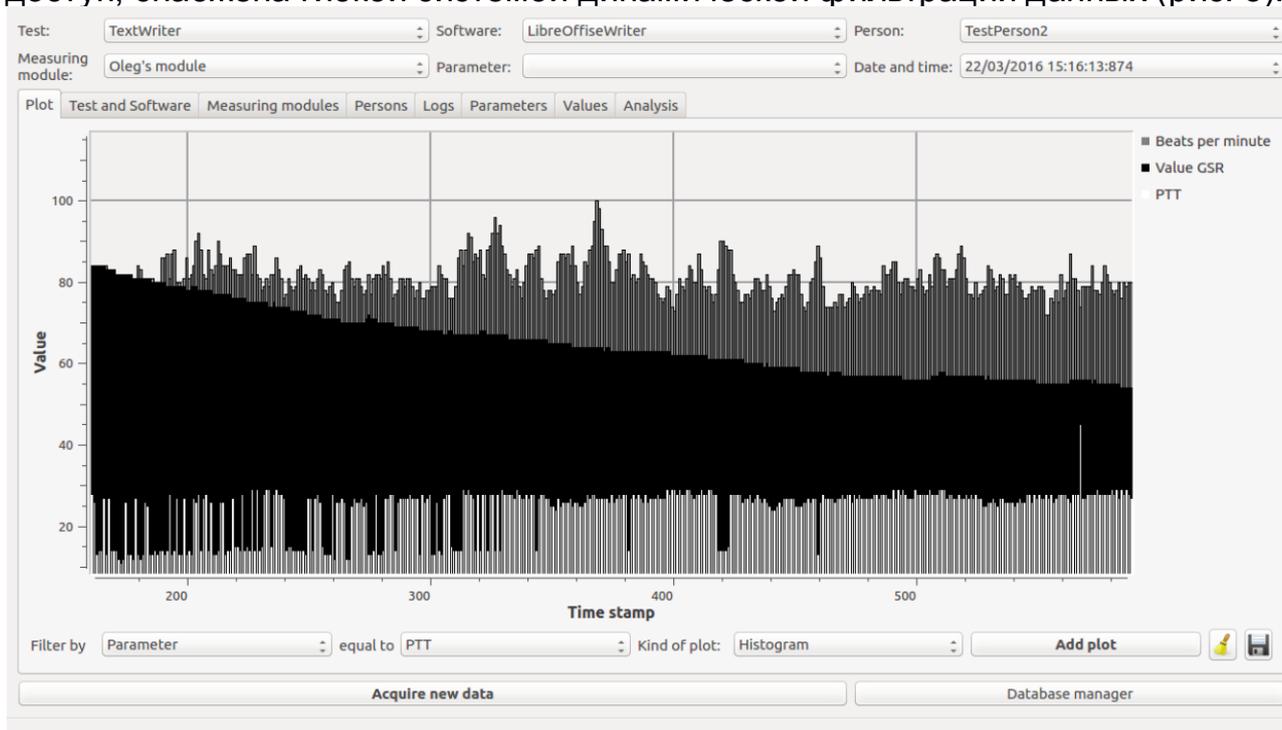
Связи между таблицами организованы внешними ключами типа «один ко многим». Это позволяет организовать каскадное удаление и изменение данных в дочерних таблицах.



**Рисунок 2 – Выбор измерительных модулей (а) и заполнение данных об эксперименте (б)**

База данных хранит результаты тестирования эргономики ПО, собираемые одновременно с нескольких компьютеров. Для этого на каждом компьютере, участвующем в тестировании, должна быть запущена копия клиентского приложения. В задачи этого приложения входит сбор данных от определенных измерительных модулей (соответствующих надетым на пользователя датчикам) и запуск выбранного пользователем модуля тестирования ПО. Список доступных измерительных модулей (рис. 2-а) и модулей тестирования определяется клиентским приложением автоматически; по окончании сеанса тестирования полученные от измерительных модулей данные заносятся в пару таблиц `parameter` и `value` (по причине того, что набор измеряемых модулями параметров заранее не известен). Сведения о выбранных измерительных модулях и модуле тестирования, а также информация о пользователе и ПО, с которым он работал в ходе данного эксперимента (рис. 2-б), помещаются в таблицу `log` вместе с отметкой времени, длительностью эксперимента и опциональным текстовым комментарием. Если какая-либо из перечисленных сущностей ранее не участвовала в экспериментах и потому отсутствует в базе данных, сведения о ней помещаются в соответствующую таблицу (`person` для пользователей, `software` для тестируемого ПО, `test` для тестового модуля, и `measuringModule` для измерительных модулей). Также с целью нормализации была введена промежуточная сущность `testSoftware`, связывающая между собой тестируемое ПО и тестовый модуль, который его запускает и контролирует процесс работы.

В результате работы серверная база данных накапливает значительное количество измерений. Программная оболочка, позволяющая выполнять к ним доступ, снабжена гибкой системой динамической фильтрации данных (рис. 3).



**Рисунок 3 – Диалог доступа к результатам измерений**

Фильтрация организована с помощью объемного SQL-запроса глубокой степени вложенности, с подзапросами, охватывающими все сущности базы данных. Выполнение такого запроса ресурсоемко, и для ускорения его обработки была реализована схема индексирования, представленная в следующей таблице, также иллюстрирующей преимущества выбранного решения по сравнению с вариантом, использующим только первичные ключи связей таблиц.

Таблица 1 – Сравнение эффективности обработки запроса в зависимости от использования индексов базы данных

Таблица БД	Без индексирования на стороне сервера			С индексированием на стороне сервера		
	Число записей, пройденных при выборке	Доступные к использованию ключи	Используемые ключи	Число записей при выборке	Доступные к использованию ключи	Используемые ключи
person	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
test	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
software	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
measuringModule	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
person	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
test	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
software	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
measuringModule	1	PRIMARY	NULL	1	PRIMARY	NULL
log	1	PRIMARY	PRIMARY	6	PRIMARY, idPerson, idTest, idSoftware, idMeasuringModule	idPerson
parameter	156	NULL	NULL	6	idLog	idLog
log	1	PRIMARY	PRIMARY	13	PRIMARY, idPerson, idTest, idSoftware, idMeasuringModule	NULL
value	102753	NULL	NULL	313	logColumn	logColumn

### Список цитированных источников

1. Костюк, Д.А. Инструментальная оценка состояния пользователя в задаче сравнения интерфейсов офисных приложений / Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // XII конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов. – Калуга, 16-18 октября 2015г.М.: Альт Линукс, 2015. – С.8–12

2. Журавский, В.В. Программно-аппаратная система для сравнительных исследований эргономики программного обеспечения / В.В. Журавский, Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы Международной научной конференции. Минск, БГУИР, 29 октября 2015 г. – С. 252–253.

3. Латий, О.О. Инструментальная оценка эффективности пользовательского взаимодействия с интерфейсом офисных пакетов // Современные проблемы математики и вычислительной техники : сборник материалов IX Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, Брест, 19-21 ноября 2015 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: В.С. Рубанов (гл.ред.) [и др.]. - Брест: БрГТУ, 2015. - С. 47-49.

## ПОЛУЧЕНИЕ НОРМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕОРЕМЫ

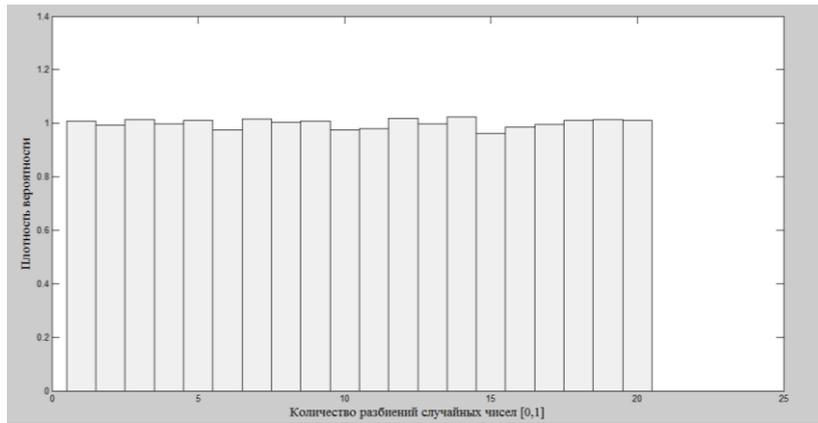
Нормальный закон распределения встречается в природе довольно часто, поэтому для него разработаны различные методы моделирования. Актуальность темы исследования заключается в том, что в настоящее время с помощью нормального закона распределения возможно изучение широкого круга явлений и проведение анализа характеристик различных сложных систем. Новизна работы состоит в разработке методов получения нормально распределенных псевдослучайных чисел в программной среде MatLab. Вопрос о получении чисел с нормальным законом распределения изучался с конца XIX века, когда в теории вероятностей возникло направление исследований, получившее название «пределные теоремы теории вероятностей». В этом направлении, начало которого было положено нашими соотечественниками П.Л. Чебышевым, А.А. Марковым и А.М. Ляпуновым, по сей день ведутся интенсивные исследования.

Пределные теоремы теории вероятностей можно разбить на две большие группы. Первая группа основана на «законе больших чисел», формулирующем условия, при которых совокупное действие большого числа случайных факторов приводит к результату, почти не зависящему от случая. Вторая группа теорем связана с выяснением вопроса о распределении сумм большого числа случайных величин. В них выясняется, какие законы распределения может иметь сумма случайных величин, если число слагаемых неограниченно увеличивается, и какие условия при этом нужно наложить на сами величины. В частности, центральная предельная теорема (ЦПТ) посвящена установлению сумм, при которых возникает нормальный закон распределения.

В данной работе для получения нормально распределенных чисел из равномерного распределения используется ЦПТ, согласно которой требуется сложить случайные числа с любым, но одним и тем же законом распределения (в нашем случае – равномерным), нормализовать их и перевести в необходимый диапазон нормального распределения [1]. Алгоритм формирования равновероятно распределенных псевдослучайных чисел с повышенной разрядностью и периодом генерации до  $2^{53}$ , используемый в данной работе, разработан профессором Омского государственного технического университета В.Л. Хазаном [2], реализация алгоритма подробно описана ранее [3]. Для их формирования необходимо задать два параметра: начальное случайное число и разрядность двоичного числа. Для примера исследуем  $k = 70\,000$  псевдослучайных чисел из диапазона  $[0,1]$ , полученных с помощью данного алгоритма при начальном случайном числе  $X_0=33$  и разрядности двоичного числа  $N=53$ . Для построения гистограммы плотности распределения псевдослучайных чисел воспользуемся следующим алгоритмом, реализованным с помощью программной среды Matlab:

```
% X    - псевдослучайные числа
% M    - частота появления чисел на заданном
        интервале (задает высоту каждого столбца)
% M1   - значения плотности вероятности
% k    - количество псевдослучайных чисел
```

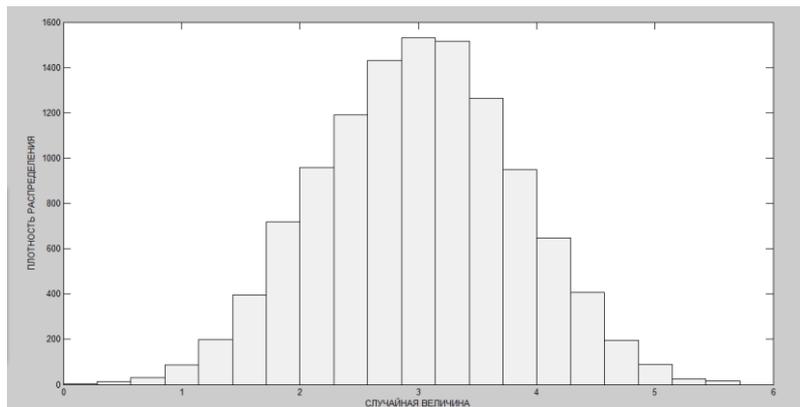
```
M=hist(X,20);
M1=M/k*20;
bar(M1,1);
```



**Рисунок 1 – Гистограмма относительных частот для 70 000 равномерно распределенных псевдослучайных чисел (по оси абсцисс – номер интервала)**

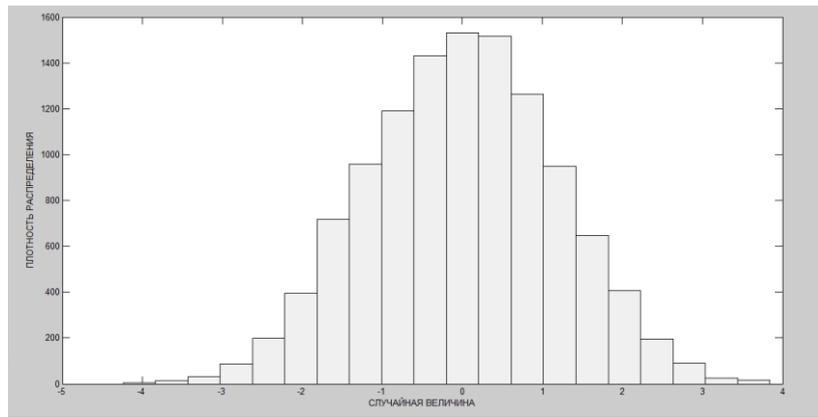
Далее воспользуемся формулой ЦПТ и будем складывать полученные случайные числа группами по  $n$  чисел:  $V = \sum_{i=1}^n X_i$ . Согласно ЦПТ, числа  $V$  образуют массив значений, распределенный по нормальному закону. Эти числа тем лучше описывают нормальный закон, чем больше параметр  $n$ . На практике  $n$  принимают равным 6 или 12. Поскольку математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение для исходных псевдослучайных чисел составляют, соответственно  $m_x = 0,5$  и  $\sigma_x = \sqrt{1/12}$ , закон распределения чисел  $V$  имеет математическое ожидание  $m_v = n/2$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_v = \sqrt{n/12}$ . Такое распределение, очевидно, является смещенным относительно стандартного нормального распределения. Нормализация распределения к стандартному закону со значениями  $m = 0$  и  $\sigma = 1$  выполняется по формуле  $V' = (V - m_v) / \sigma_v$ .

Для целочисленного деления массива на группы чисел примем  $k = 70\,002$  и  $n=6$ . После преобразования равномерного закона распределения путем сложения случайных чисел получили смещенный и усеченный нормальный закон распределения с минимальным и максимальным значениями случайной величины  $V_{MIN} \cong 3 \cdot 10^{-10}$  и  $V_{MAX} = 5,7364$  (гистограмма представлена на рисунке 2).



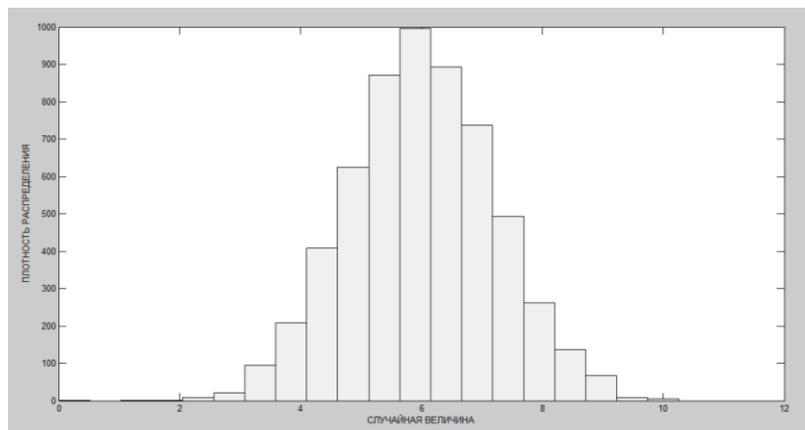
**Рисунок 2 – Смещенная гистограмма 11 667 псевдослучайных чисел с нормальным распределением плотности вероятности**

После нормализации полученного распределения значения левой и правой границ усечения приняли значения:  $V'_{MIN} = -4,2426$  и  $V'_{MAX} = 3,8699$  (рисунок 3).



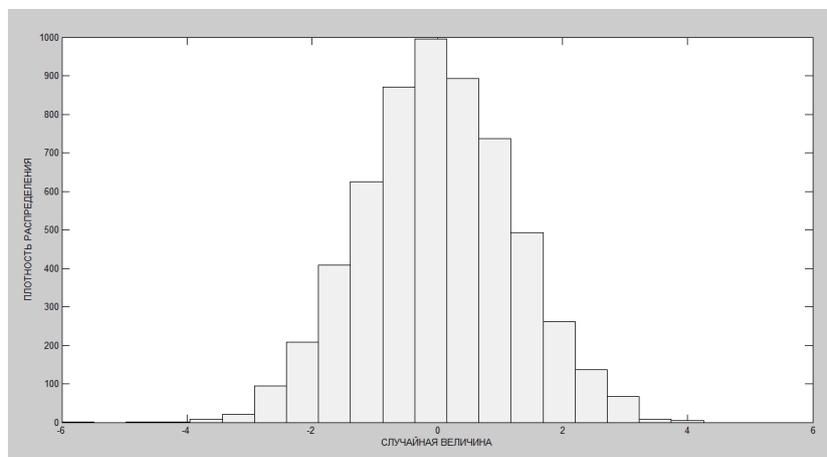
**Рисунок 3 – Нормализованная гистограмма 11 667 псевдослучайных чисел с нормальным распределением плотности вероятности**

При сложении  $k = 70\,008$  равномерно распределенных чисел группами по  $n=12$  чисел получили смещенный нормальный закон распределения с параметрами усечения случайной величины:  $V_{MIN} \cong 4,5 \cdot 10^{-6}$  и  $V_{MAX} = 10,4363$  (рисунок 4)



**Рисунок 4 – Смещенная гистограмма 5 834 псевдослучайных чисел с нормальным распределением плотности вероятности**

Нормализованное распределение имеет следующие границы усечения:  $V'_{MIN} = -6,0$  и  $V'_{MAX} = 4,4367$  (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Нормализованная гистограмма 5 834 псевдослучайных чисел с нормальным распределением плотности вероятности**

Результаты, полученные для различного размера  $n$  групп складываемых чисел, взятых из начального массива одинакового размера  $k$ , сведены в таблицу.

Таблица – Параметры усечения нормализованного распределения псевдослучайных чисел

Параметр усечения	Значение границы усечения при размере $n$ группы складываемых чисел			
	$n=6$	$n=12$	$n=18$	$n=24$
$V'_{MIN}$	- 4,2426	- 6,0	- 7,2910	- 7,6720
$V'_{MAX}$	3,8699	4,4367	4,4033	4,5971

Анализ приведенных данных показывает, что с увеличением числа  $n$  размах нормализованного распределения возрастает, что дает основания утверждать об улучшении получаемого нормального распределения при увеличении количества суммируемых равномерно распределенных чисел. При этом, однако, пропорционально уменьшается количество  $k/n$  нормально распределенных чисел, что может считаться недостатком данного метода с точки зрения снижения периода генерации такой псевдослучайной последовательности. Поэтому, в качестве продолжения исследований, необходимо провести сравнительную оценку других методов получения нормально распределенных чисел, например, метода Бокса-Мюллера, который, в отличие от метода суммирования, не дает усечения распределения получаемой случайной величины.

#### Список цитированных источников

1. Васильев, К.К. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 170 с.
2. Хазан, В.Л. Математические модели дискретных каналов связи декаметрового диапазона радиоволн: учебное пособие / В.Л. Хазан. – Омск: ОмГТУ, 1998. – 106 с.
3. Меньших, Т.Ю. Генераторы псевдослучайных чисел для криптографической защиты канала связи / Т.Ю. Меньших / Соврем. пробл. математики и выч. техники: матер. IX Республ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 19-21 ноября 2015 г. – Брест: БрГТУ, 2015. – С.31-34.

УДК 004.4

**Меньших Т.Ю.**

**Научный руководитель: Дереченник С.С., к.т.н., доцент**

## РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ МАТЛАВ МЕТОДА БОКСА-МЮЛЛЕРА ПОЛУЧЕНИЯ НОРМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

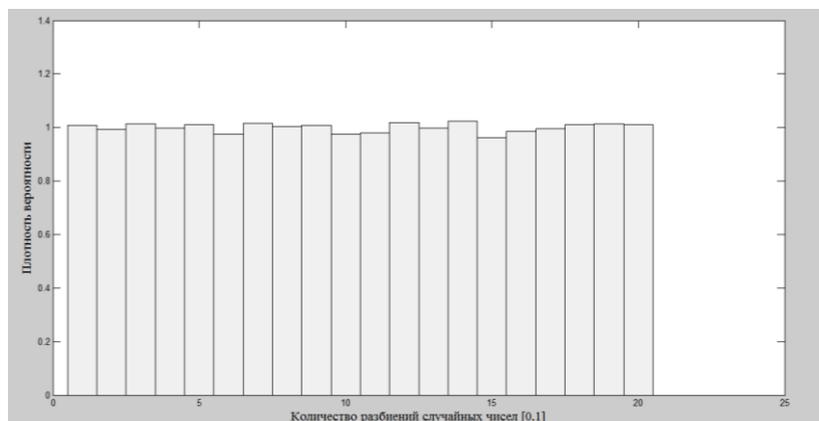
В настоящее время существует несколько способов получения нормального закона распределения с помощью математического моделирования. Начиная с конца XIX века, в теории вероятностей ввели понятие центральной предельной теоремы (ЦПТ), которая посвящена установлению сумм равномерно распределенных случайных величин для реализации нормального закона распределения. Чтобы получить нормальный закон распределения чисел с помощью ЦПТ, требуется сложить случайные числа с любым законом распре-

деления (в нашем случае – равномерный закон распределения), нормализовать их и перевести в нужный диапазон нормального распределения [1]. Основным недостатком данного метода является требование достаточно большого числа равномерно-распределенных чисел для получения одного случайного числа, распределенного по нормальному закону, и усечение максимального и минимального случайного значения этих чисел. Позже, в 1958 году, Д. Бокс и М. Мюллер предложили новый метод моделирования стандартных нормально распределенных случайных величин.

Новизна работы состоит в программной разработке метода Бокса-Мюллера для получения нормально распределенных псевдослучайных чисел с помощью программной среды MatLab. В работе приведены результаты анализа получения нормального закона распределения с помощью центральной предельной теоремы и методом Бокса-Мюллера, проведены сравнительные испытания, сделаны выводы по качеству и целесообразности использования каждого из методов.

В отличие от методов, основывающихся на центральной предельной теореме, метод Бокса-Мюллера не дает усечения минимального и максимального значения случайной величины. Алгоритм формирования псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения, используемый в данной работе, разработан профессором Омского государственного технического университета В.Л. Хазаном и подробно описан ранее [2]. Для его формирования необходимо знать два параметра: начальное случайное число и разрядность двоичного числа. Для примера исследуем 70 000 псевдослучайных чисел при начальном случайном числе  $X_0=33$  и разрядности двоичного числа  $N=53$ , полученных с помощью данного алгоритма. Для построения гистограммы плотности распределения 70 000 псевдослучайных чисел воспользуемся следующим алгоритмом, реализованным с помощью программной среды MatLab:

```
% X - псевдослучайные числа
% M - частота появления чисел на заданном
      интервале (задает высоту каждого столбца)
% M1 - значения плотности вероятности
% I - количество псевдослучайных чисел
M=hist(X,20);
M1=M/I*20;
bar(M1,1);
```



**Рисунок 1 – Гистограмма относительных частот для 70 000 равномерно распределенных псевдослучайных чисел (по оси абсцисс – номер интервала)**

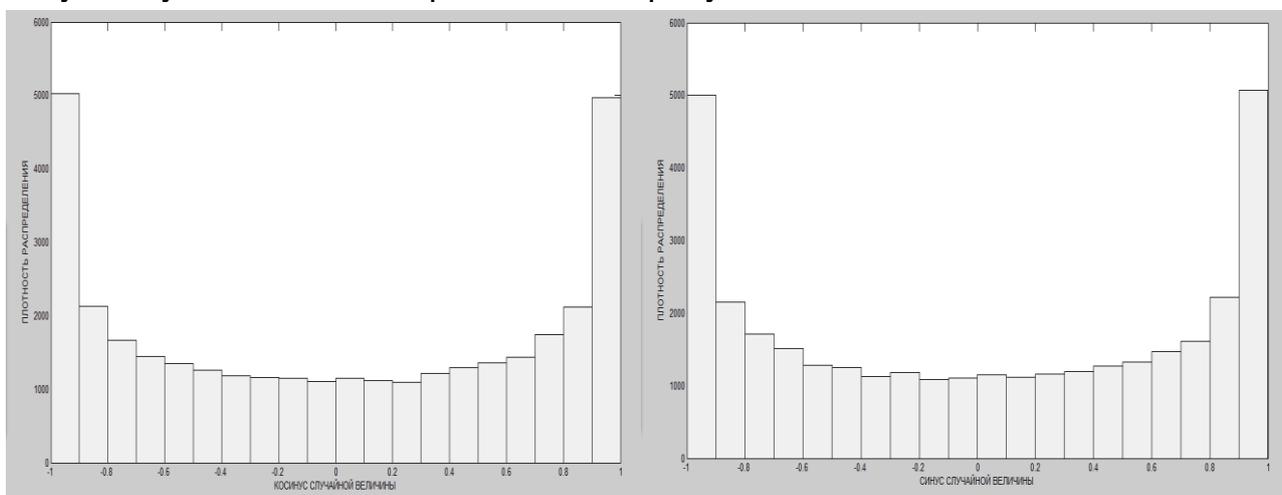
Далее воспользуемся формулами преобразования Бокса-Мюллера, в которой используются две независимые равномерно распределенные на интервале  $[0,1]$  псевдослучайные величины  $X_1$  и  $X_2$ :

$$V = \cos(2\pi X_1) \sqrt{2 \ln\left(\frac{1}{X_2}\right)}, \quad (1)$$

$$V = \sin(2\pi X_1) \sqrt{2 \ln\left(\frac{1}{X_2}\right)}. \quad (2)$$

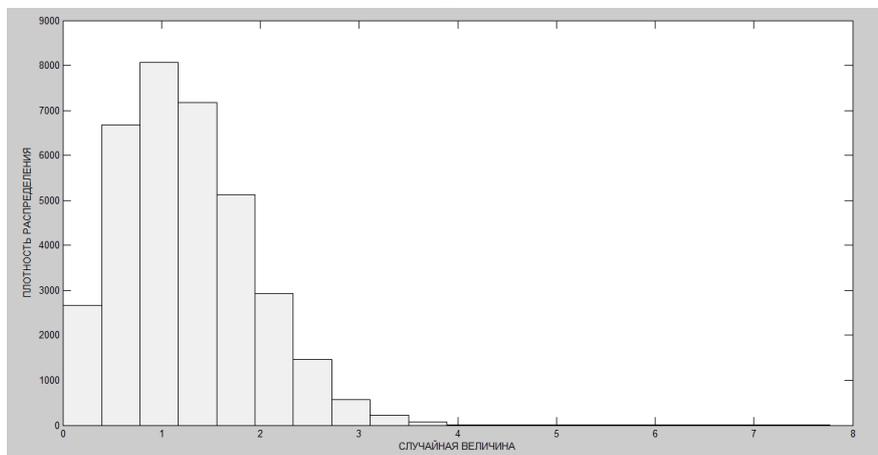
Для получения двух псевдослучайных чисел  $X_1$  и  $X_2$  зададим начальные случайные числа  $X_{01} = 33$  и  $X_{02} = 34$ .

Согласно преобразованию Бокса-Мюллера числа  $X_1$  являются значением угла для косинуса и синуса и «растянуты» на интервале от 0 до  $2\pi$ . Поэтому 70000 псевдослучайных чисел равномерного распределения будут тоже равномерно распределены, только на интервале  $[0, 2\pi]$ . Гистограммы косинуса и синуса случайных чисел приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Гистограммы косинуса (слева) и синуса (справа) 35 000 псевдослучайных чисел с равномерным распределением плотности вероятности на интервале  $[0, 2\pi]$**

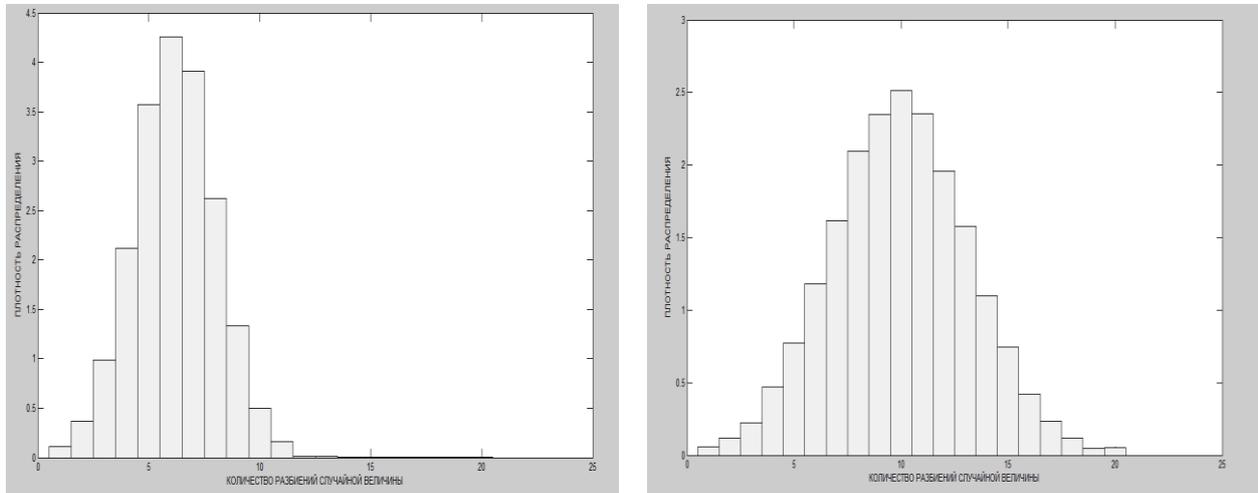
С помощью формулы  $\sqrt{2 \ln\left(\frac{1}{X_2}\right)}$  из равномерного закона распределения чисел на интервале  $[0,1]$  получим рэлеевский закон распределения. Гистограмма распределения для 70000 псевдослучайных чисел показана на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Гистограмма 70 000 псевдослучайных чисел с рэлеевским законом распределения плотности вероятности**

Для нахождения величины с нормальным законом распределения необходимо перемножить полученные значения косинуса или синуса и величин с рэлеевским распределением, т. е. воспользоваться формулами (1) и (2) для нахождения  $\nu$ . Получим нормализованный закон нормального распределения чисел, то есть со значениями  $m = 0$ ,  $\sigma = 1$ .

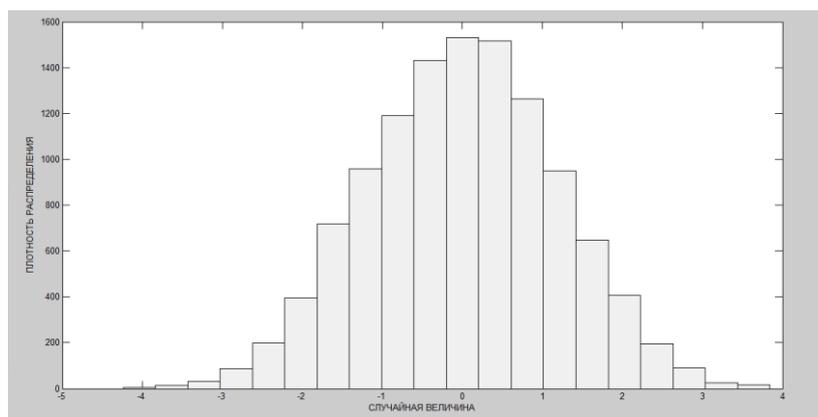
Гистограммы полученного распределения изображены на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Гистограммы 35 000 псевдослучайных чисел для косинуса (слева) и синуса (справа) с нормальным законом распределения плотности вероятности, реализованная методом Бокса-Мюллера**

Метод Бокса-Мюллера не дает усечения минимального и максимального значений случайных величин. Чтобы наглядно это показать, реализуем метод суммирования равномерно распределенных чисел и сравним полученные значения.

Для удобства возьмем 70 002 чисел для  $n=6$ . После преобразования равномерного закона распределения путем сложения по 6 случайных чисел получим нормализованный закон распределения, тогда усечение имеет значения минимума  $\min=-4.2426$  и максимума  $\max=3.8699$ .



**Рисунок 5 – Нормализованная гистограмма 11 667 псевдослучайных чисел с нормальным распределением плотности вероятности**

Из графиков нормализованного нормального распределения для одинакового количества равномерно распределенных чисел видно, что для метода Бокса-Мюллера усечения не происходит. Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица – Значения разности минимального и максимального нормально распределенных случайных чисел методом Бокса-Мюллера и с использованием ЦПТ

	Значения разности максимального и минимального случайных чисел, метод Бокса-Мюллера	Значения разности максимального и минимального случайных чисел, ЦПТ, n=6
Значение разности	10.8538	8.1125

На практике возможен вариант, когда одно максимальное или минимальное значение для метода Бокса-Мюллера дают худшие результаты по сравнению с ЦПТ. Чтобы избежать данного явления, необходимо увеличивать выборку чисел, но в любом случае разностные значения максимального и минимального числа для метода Бокса-Мюллера больше. По данным проведенного эксперимента можно сделать выводы, что для получения методом Бокса-Мюллера удовлетворительных результатов при формировании значений величин, распределенных по нормальному закону, требуется достаточное количество равномерно распределенных случайных чисел. Метод суммирования дает усечения максимального и минимального значений случайных величин для 70 002 равномерно распределенных чисел.

#### Список цитированных источников

1. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 170 с.
2. Меньших, Т.Ю. Генераторы псевдослучайных чисел для криптографической защиты канала связи // Современ. пробл. математики и выч. техники: матер. IX Республ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 19-21 ноября 2015 г. – Брест: БрГТУ, 2015. – С.31-34.

УДК 519.2

**Мисиюк М.А., Онищук К.В.**

**Научные руководители: к.т.н., доцент Махнист Л.П., к.ф.-м.н., доцент Каримова Т.И.**

### О НЕКОТОРЫХ МОМЕНТАХ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Показательное (экспоненциальное) распределение [1] – непрерывное распределение вероятностей случайной величины  $X$ , задаваемое плотностью

$$p(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < 0, \\ l e^{-lx}, & \text{если } x \geq 0, \end{cases}$$

где  $l$  ( $l > 0$ ) параметр распределения. Статистический смысл параметра  $l$  состоит в следующем:  $l$  есть среднее число событий на единицу времени, то есть  $1/l$  есть средний промежуток времени между двумя последовательными событиями. Показательное распределение часто встречается в теории массового обслуживания и теории надежности. Например, экспоненциальное распределение имеют случайные величины: время ожидания при техническом обслуживании; продолжительность телефонных разговоров, ежедневно регистрируемых на телефонной станции; срок службы радиоэлектронной аппаратуры.

Показательное распределение обладает свойством отсутствия последействия: для любых  $x > 0$ ,  $y > 0$  выполняется равенство

$$P(X > x + y | X > y) = P(X > x),$$

где  $P(X > x + y | X > y)$  – условная вероятность события  $X > x + y$  при условии  $X > y$ .

Действительно,

$$\begin{aligned} P(X > x + y | X > y) &= \frac{P(X > x + y)}{P(X > y)} = \frac{1 - P(X < x + y)}{1 - P(X < y)} = \frac{1 - F(x + y)}{1 - F(y)} = \\ &= \frac{1 - (1 - e^{-l(x+y)})}{1 - (1 - e^{-ly})} = \frac{e^{-l(x+y)}}{e^{-ly}} = e^{-lx} = 1 - (1 - e^{-lx}) = 1 - F(x) = 1 - P(X < x) = P(X > x). \end{aligned}$$

Это свойство называется также марковским свойством.

Моментом  $n$ -го порядка [2] ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  относительно числа  $a$  называется математическое ожидание  $M((X - a)^n)$ .

Начальным моментом  $n$ -го порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно числа  $a = 0$ ) называется  $a_n = M(X^n)$ . Заметим, что  $a_0 = 1$ ,  $a_1 = M(X)$ .

Центральным моментом  $n$ -го порядка случайной величины  $X$  (относительно центра распределения, т. е. числа  $a = M(X)$ ) называется  $m_n = M((X - M(X))^n)$ . Очевидно, что  $m_0 = 1$ ,  $m_1 = 0$ ,  $m_2 = D(X)$ .

Факториальным моментом  $n$ -го порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  относительно числа  $a$  называется математическое ожидание  $M((X - a)(X - a - 1)\dots(X - a - n + 1))$ .

Начальным факториальным моментом  $n$ -го порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно числа  $a = 0$ ) называется  $a_{[n]} = M(X^{[n]}) = M(X(X - 1)\dots(X - n + 1))$ . Заметим, что  $a_{[0]} = 1$ ,  $a_{[1]} = M(X)$ .

Центральным факториальным моментом  $n$ -го порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно центра распределения, т. е. числа  $a = M(X)$ ) называется

$$m_{[n]} = M((X - M(X))^{[n]}) = M((X - M(X))(X - M(X) - 1)\dots(X - M(X) - n + 1)).$$

Заметим, что  $m_{[0]} = 1$ ,  $m_{[1]} = 0$ ,  $m_{[2]} = D(X)$ .

Для начальных моментов  $n$ -го порядка показательного распределения выполняется:

$$\begin{aligned} a_n = M(X^n) &= \int_0^{+\infty} l e^{-lx} x^n dx = - \int_0^{+\infty} x^n d(e^{-lx}) = - x^n e^{-lx} \Big|_0^{+\infty} + \int_0^{+\infty} e^{-lx} d(x^n) = \\ &= - \left( \lim_{x \rightarrow +\infty} x^n e^{-lx} - 0^n e^{-l \cdot 0} \right) + n \int_0^{+\infty} x^{n-1} e^{-lx} dx = \frac{n}{l} \int_0^{+\infty} l e^{-lx} x^{n-1} dx = \frac{na_{n-1}}{l}. \end{aligned}$$

Пользуясь полученной рекуррентной формулой, найдем некоторые начальные моменты. Учитывая, что  $a_0 = \int_0^{+\infty} l e^{-lx} dx = 1$ , получим  $a_1 = \frac{1}{l} \Psi_0 = \frac{1}{l}$ ,

$$a_2 = \frac{2}{l} a_1 = \frac{2}{l} \frac{1}{l} = \frac{2}{l^2}, \quad a_3 = \frac{3}{l} a_2 = \frac{3}{l} \frac{2}{l^2} = \frac{6}{l^3}, \quad a_4 = \frac{4}{l} a_3 = \frac{4}{l} \frac{6}{l^3} = \frac{24}{l^4},$$

$$a_5 = \frac{5}{l} a_4 = \frac{5}{l} \frac{24}{l^4} = \frac{120}{l^5}, \quad a_6 = \frac{6}{l} a_5 = \frac{6}{l} \frac{120}{l^5} = \frac{720}{l^6}, \dots$$

Таким образом, начальные моменты  $n$ -го порядка определяются соотношением  $a_n = \frac{n!}{l^n}$ .

Математическое ожидание показательного закона распределения  $MX = a_1 = \frac{1}{l}$ .

Найдем формулу для вычисления центральных моментов  $n$ -го порядка.

$$m_n = M((X - M(X))^n) = \int_0^{+\infty} l e^{-lx} \left(x - \frac{1}{l}\right)^n dx = \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} l e^{-lt} t^n dt = \frac{1}{e^{-\frac{1}{l}}} \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} l e^{-lt} t^n dt.$$

К полученному интегралу применим теорему интегрирования по частям.

$$m_n = e^{-\frac{1}{l}} \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} l e^{-lt} t^n dt = -e^{-\frac{1}{l}} \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} t^n d(e^{-lt}) = -e^{-\frac{1}{l}} t^n e^{-lt} \Big|_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} + e^{-\frac{1}{l}} \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} e^{-lt} d(t^n) =$$

$$= -e^{-\frac{1}{l}} \lim_{x \rightarrow +\infty} t^n e^{-lt} - \frac{1}{l} e^{-\frac{1}{l}} + e^{-\frac{1}{l}} n \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} t^{n-1} e^{-lt} dt =$$

$$= -e^{-\frac{1}{l}} \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{t^n}{e^{lt}} + \frac{(-1)^n}{l^n} + \frac{n}{l} e^{-\frac{1}{l}} \int_{-\frac{1}{l}}^{+\infty} l e^{-lt} t^{n-1} dt = \frac{(-1)^n}{l^n} + \frac{nm_{n-1}}{l}.$$

Следовательно,  $m_1 = -\frac{1}{l} + \frac{m_0}{l} = -\frac{1}{l} + \frac{1}{l} = 0$  (так как  $m_0 = 1$ ),

$$m_2 = \frac{1}{l^2} + \frac{2m_1}{l} = \frac{1}{l^2}, \quad m_3 = -\frac{1}{l^3} + \frac{3m_2}{l} = -\frac{1}{l^3} + \frac{3}{l} \frac{1}{l^2} = \frac{2}{l^3},$$

$$m_4 = \frac{1}{l^4} + \frac{4m_3}{l} = \frac{1}{l^4} + \frac{4}{l} \frac{2}{l^3} = \frac{9}{l^4}, \quad m_5 = -\frac{1}{l^5} + \frac{5m_4}{l} = -\frac{1}{l^5} + \frac{5}{l} \frac{9}{l^4} = \frac{44}{l^5},$$

$$m_6 = \frac{1}{l^6} + \frac{6m_5}{l} = \frac{1}{l^6} + \frac{6}{l} \frac{44}{l^5} = \frac{265}{l^6}, \dots$$

Так как имеет место представление  $m_n = \frac{a_n}{l^n}$ , то

$$m_n = \frac{(-1)^n}{l^n} + \frac{nm_{n-1}}{l} = \frac{(-1)^n}{l^n} + \frac{n}{l} \frac{a_{n-1}}{l^{n-1}} = \frac{(-1)^n + na_{n-1}}{l^n} \text{ и, следовательно, значения } a_n \text{ удовлетворяют рекуррентному соотношению } a_n = na_{n-1} + (-1)^n.$$

Учитывая, что центральные моменты  $n$ -ого порядка  $m_n$  связаны с начальными моментами соотношением [2]  $m_n = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m a_{n-m} a_1^m$ , получим

$$m_n = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m a_{n-m} a_1^m = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m \frac{(n-m)!}{l^{n-m}} \frac{1}{l^m} = \frac{1}{l^n} \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m (n-m)! =$$

$$= \frac{1}{l^n} \sum_{m=0}^n (-1)^m \frac{n!}{m!} = \frac{1}{l^n} \frac{n!}{0!} - \frac{1}{l^n} \frac{n!}{1!} + \frac{1}{l^n} \sum_{m=2}^n (-1)^m \frac{n!}{m!} = \frac{1}{l^n} \sum_{m=2}^n (-1)^m \frac{n!}{m!}.$$

Из этого соотношения также можно получить, что

$$m_n = \frac{1}{l^n} \sum_{m=2}^n (-1)^m \frac{n!}{m!} = \frac{1}{l^n} \sum_{m=2}^{n-1} (-1)^m \frac{n!}{m!} + \frac{1}{l^n} (-1)^n \frac{n!}{n!} =$$

$$= \frac{n}{l} \frac{1}{l^{n-1}} \sum_{m=2}^{n-1} (-1)^m \frac{(n-1)!}{m!} + \frac{(-1)^n}{l^n} = \frac{nm_{n-1}}{l} + \frac{(-1)^n}{l^n}.$$

Тогда, дисперсия  $m_2 = D(X) = \frac{1}{l^2} \sum_{m=2}^2 (-1)^m \frac{2!}{m!} = \frac{1}{l^2} \frac{2!}{2!} = \frac{1}{l^2} = \frac{1}{l^2}$  (среднее

квадратичное отклонение  $s(X) = \sqrt{D(X)} = \frac{1}{l}$ ),

$$m_3 = \frac{1}{l^3} \sum_{m=2}^3 (-1)^m \frac{3!}{m!} = \frac{1}{l^3} \frac{3!}{2!} - \frac{3!}{3!} = \frac{1}{l^3} (3-1) = \frac{2}{l^3},$$

$$m_4 = \frac{1}{l^4} \sum_{m=2}^4 (-1)^m \frac{4!}{m!} = \frac{1}{l^4} \frac{4!}{2!} - \frac{4!}{3!} + \frac{4!}{4!} = \frac{1}{l^4} (12-4+1) = \frac{9}{l^4},$$

$$m_5 = \frac{1}{l^5} \sum_{m=2}^5 (-1)^m \frac{5!}{m!} = \frac{1}{l^5} \frac{5!}{2!} - \frac{5!}{3!} + \frac{5!}{4!} - \frac{5!}{5!} = \frac{1}{l^5} (60-20+5-1) = \frac{44}{l^5}, \dots$$

$$m_6 = \frac{1}{l^6} \sum_{m=2}^6 (-1)^m \frac{6!}{m!} = \frac{1}{l^6} \frac{6!}{2!} - \frac{6!}{3!} + \frac{6!}{4!} - \frac{6!}{5!} + \frac{6!}{6!} = \frac{1}{l^6} (360-120+30-6+1) = \frac{265}{l^6}.$$

**Замечание.** Центральные моменты  $n$ -ого порядка можно рассчитывать по формуле  $m_n = \frac{a_n}{l^n}$ , где значения  $a_n$  удовлетворяют рекуррентному соотношению  $a_n = na_{n-1} + (-1)^n$ ,  $a_0 = 1$ .

Действительно,

$$a_n = \sum_{m=2}^n \frac{(-1)^m n!}{m!} = \sum_{m=2}^{n-1} \frac{(-1)^m n!}{m!} + \frac{(-1)^n n!}{n!} = n \sum_{m=2}^{n-1} \frac{(-1)^m (n-1)!}{m!} + (-1)^n = na_{n-1} + (-1)^n.$$

Например,  $a_3 = 3a_2 + (-1)^3 = 3 \cdot 1 - 1 = 2$ ,  $a_4 = 4a_3 + (-1)^4 = 4 \cdot 2 + 1 = 9$ ,  $a_5 = 5a_4 + (-1)^5 = 5 \cdot 9 - 1 = 44$ ,  $a_6 = 6a_5 + (-1)^6 = 6 \cdot 44 + 1 = 265$ , ...

Число  $!n = \sum_{m=0}^n \frac{(-1)^m n!}{m!}$  называется субфакториалом числа  $n$ . Следовательно,  $a_n = !n$ . Тогда центральные моменты  $n$ -ого порядка можно рассчитывать по формуле  $m_n = \frac{!n}{l^n}$ .

Заметим, что *нормированный момент*  $n$ -го порядка равен  $\frac{m_n}{s^n} = !n$  – суб-факториалу натурального числа  $n$ .

Тогда, коэффициент асимметрии  $A = \frac{m_3}{s^3} = a_3 = 2$  и эксцесса коэффициент (эксцесс – скалярная характеристика островершинности графика плотности вероятности унимодального распределения)  $E = \frac{m_4}{s^4} - 3 = a_4 - 3 = 9 - 3 = 6$ .

$$\text{Коэффициент вариации } V(X) = \frac{s(X)}{M(X)} = 1.$$

Так как для медианы  $M_e X$  показательного закона распределения выполняется

$$\begin{aligned} \int_0^{M_e X} l e^{-lx} dx &= -e^{-lx} \Big|_0^{M_e X} = -e^{-l M_e X} + e^{-l \cdot 0} = -e^{-l M_e X} + 1 = 0,5 \text{ и} \\ \int_{M_e X}^{+\infty} l e^{-lx} dx &= -e^{-lx} \Big|_{M_e X}^{+\infty} = -\left( \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-lx} - e^{-l M_e X} \right) = \\ &= -\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{e^{lx}} + e^{-l M_e(X)} = e^{-l M_e(X)} = 0,5, \end{aligned}$$

то  $e^{-l M_e X} = 0,5$  или  $-l M_e X = \ln 0,5 = -\ln 2$ .

Следовательно,  $M_e X = \frac{\ln 2}{l}$  – *медиана* показательного распределения.

С другой стороны, для медианы распределения со строго монотонной функцией распределения  $F(x)$  выполняется  $M_e(X) = F^{-1}(0,5)$ , а квантиль  $x_p$  порядка  $p$  удовлетворяет соотношению  $x_p = F^{-1}(p)$ . Так как функция распределения  $F(x) = 1 - e^{-lx}$ , то  $F^{-1}(x) = -\frac{\ln(1-x)}{l}$  и медиана

$x_{1/2} = M_e(X) = \frac{\ln 2}{l}$ , а квантиль  $x_p$  порядка  $p$  удовлетворяет соотношению  $x_p = F^{-1}(p) = -\frac{\ln(1-p)}{l}$ .

### Список цитированных источников

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
2. Зеневич, Е.А. Моменты распределения вероятностей / Е.А. Зеневич, Н.В. Фомина (научные руководители: Л.П. Махнист, Т.И. Каримова) // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. – Брест : Из-во БрГТУ, 2012. – Ч. 1. – С. 68–72.
3. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука, 1977. – 831 с.

## ПРОСТАЯ СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ТОЧНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР

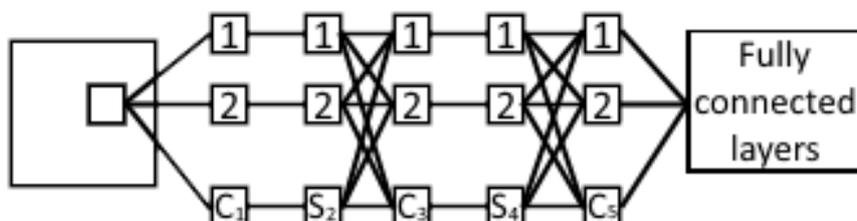
### 1. ВВЕДЕНИЕ

В течение последнего десятилетия технологии машинного обучения занимают ведущую роль в области искусственного интеллекта [1]. Это подтверждают последние достижения в области обработки изображений, видео, речи, естественного языка, больших объемов данных и их визуализации и т. д. [1-5]. Эти достижения прежде всего связаны с новой парадигмой в области машинного обучения, в особенности с глубоким обучением и глубокими нейронными сетями [2, 5-13]. Однако во многих существующих приложениях важной проблемой являются ограниченные вычислительные мощности, которые не позволяют использовать глубокие нейронные сети. Поэтому дальнейшее развитие упрощенной архитектуры является достаточно важной задачей. В особенности следует отметить, что для многих существующих приложений упрощенная архитектура может показать точность, сопоставимую с сетями глубокого доверия.

В статье рассматривается сверточная нейронная сеть для распознавания рукописных цифр. Мы предлагаем упрощенную архитектуру сверточных нейронных сетей, которая позволит классифицировать рукописные цифры с точностью, большей, чем обычные сверточные сети архитектуры LeNet5. Мы покажем, что с помощью простой нейронной сети могут быть получены лучшие результаты классификации.

### 2. СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ

Сверточная нейронная сеть является дальнейшим развитием многослойного персептрона и неокогнитрона и широко используется для обработки изображений [14, 15]. Нейронные сети такого рода инвариантны к сдвигам и искажениям входного сигнала. Сверточная нейронная сеть объединяет три подхода, а именно области локального восприятия, общие веса и субдискретизирующее пространство [16, 17]. Использование локального восприятия позволяет извлечь примитивные изображения. Общая структура сверточной сети показана на Рис. 1.



**Рисунок 1 – Основная структура сверточной нейронной сети**

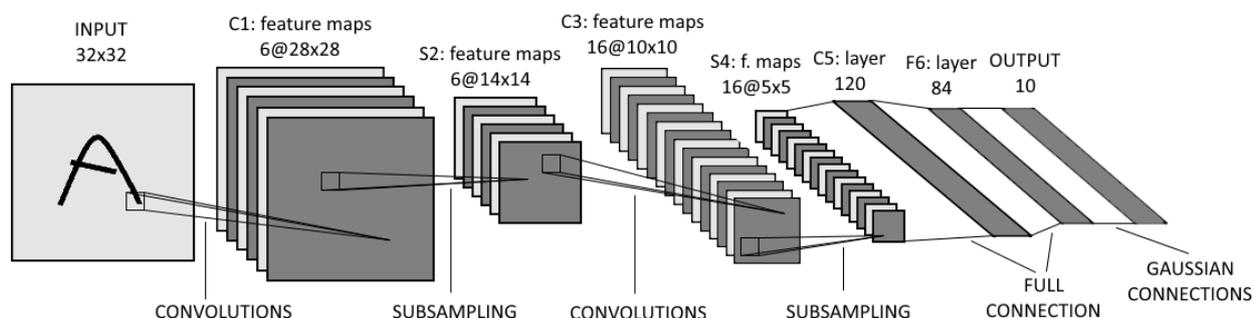
Сверточный слой состоит из множества карт признаков, где нейроны каждой карты содержат одни и те же наборы весов и порогов. В результате, для каждой карты признаков, нейроны выполняют одни и те же операции в различных частях изображения. Методика скользящего окна используется для обхода изображения. Поэтому, если размер окна  $r \times r$  (область восприятия), то каждый нейрон сверточного слоя связан с  $r^2$  элементами соответствующей

области восприятия. Каждой области восприятия во входном пространстве сопоставляется специальный нейрон в каждой карте признаков.

Как уже было сказано, нейроны каждой выходной карты содержат некоторый набор весов и порогов. В результате, из одного и того же изображения можно извлечь множество различных признаков. В последствии, эти признаки объединяются следующим слоем, слоем пулинга, для уменьшения размерности карт. Данный слой называется субдискретизирующим и выполняет локальное усреднение или максимизацию различных областей изображения. Для этого в каждой карте признаков сверточного слоя выбираются неперекрывающиеся области размером  $k \times k$ . Данные области отображаются в один нейрон соответствующей карты субдискретизирующего слоя. Следует отметить, что каждая карта сверточного слоя связана лишь с соответствующей картой в пулинговом слое. Каждый нейрон слоя пулинга является результатом вычисления среднего или максимального значения  $k^2$  нейронов в сверточном слое. Число карт признаков в слое пулинга будет таким же, как и в сверточном слое.

Таким образом, сверточная нейронная сеть представляет собой сочетание сверточных и субдискретизирующих слоев, которые выполняют нелинейные иерархические преобразования пространства входных образов. Последний блок сверточной нейронной сети является многослойным персептроном, SVM или другим классификатором.

Рассмотрим традиционную сверточную нейронную сеть (LeNet5) для классификации рукописных цифр (Рис. 2) [16, 17]. Входное изображение имеет размер  $32 \times 32$  пикселя. Скользящее окно размерности  $5 \times 5$  обрабатывает изображение и выделяет сегменты изображений, которые входят в слой  $C_1$  нейронной сети. Слой  $C_1$  это сверточный слой с 6-тью картами признаков, где каждая карта содержит  $28 \times 28$  нейронов. Слой  $S_2$  это субдискретизирующий слой с 6-тью картами признаков размерности  $14 \times 14$  и ядром  $2 \times 2$ . Слой  $C_3$  является сверточным слоем с 16-тью картами признаков и ядром  $5 \times 5$  для каждой карты. Размерность каждой карты признаков  $10 \times 10$ . Связи между слоями  $S_2$  и  $C_3$  не полносвязные [17]. Слой  $S_4$  является субдискретизирующим слоем с 16-тью картами признаков и ядром  $2 \times 2$  для каждой карты признаков. Размерность карт признаков данного слоя  $5 \times 5$ . Каждое поле восприятия размером  $5 \times 5$  соотносится со 120 нейронами следующего слоя  $C_5$ . Поэтому слой  $C_5$  представляет собой сверточный слой со 120 нейронами. Следующий слой  $F_6$  и выходной слой являются полносвязными.

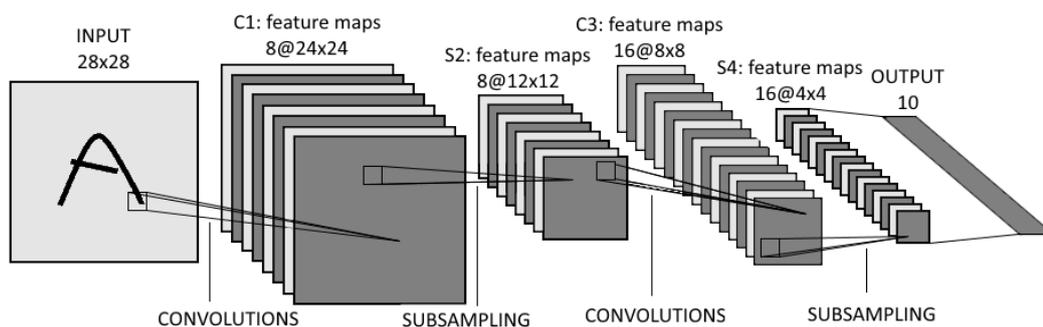


**Рисунок 2 – Архитектура LeNet5**

### 3. УПРОЩЕННАЯ СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ

В данной секции мы предложим сверточную нейронную сеть с более простой архитектурой в сравнении с LeNet5. Упрощенная сверточная нейронная сеть для распознавания рукописных цифр отображена на Рис. 3. Данная сеть

состоит из сверточного слоя ( $C_1$ ), субдискретизирующего слоя ( $S_1$ ), сверточного слоя ( $C_3$ ), субдискретизирующего слоя ( $S_4$ ) и сверточного слоя ( $C_5$ ). Сверточный слой  $C_1$  имеет 8 карт признаков размерности  $24 \times 24$  нейрона и ядро обхода  $5 \times 5$ . Субдискретизирующий слой  $S_2$  содержит 8 карт признаков размерности  $12 \times 12$  для каждой карты признаков и ядро  $2 \times 2$ . Слой  $C_3$  это сверточный слой с 16-тью картами признаков размерности  $8 \times 8$  и ядром обхода  $5 \times 5$ . Слой  $C_2$  и  $S_3$  полносвязные, в сравнении с традиционной сетью LeNet5. Слой  $S_4$  это субдискретизирующий слой с 16-тью картами признаков размерности  $4 \times 4$  и ядром  $2 \times 2$ . Последний слой  $C_5$  является выходным слоем, содержащим 10 нейронов и выполняющим классификацию. Как мы видим, основные отличия следующие: 1) мы удаляем 2 последних слоя LeNet5; 2) слой  $S_2$  и  $C_3$  полносвязные; 3) сигмоидная функция активации используется во всех сверточных слоях. Для обучения сети используется групповое обучение.



**Рисунок 3 – Архитектура упрощенной сверточной нейронной сети**

**Таблица 1 – Сверточные сети**

Classifier	Preprocessing	Test error rate (%)
Convolutional net LeNet-1	Subsampling to $16 \times 16$ pixels	1.7
Convolutional net LeNet-4	None	1.1
Convolutional net LeNet-4 with K-NN instead of last layer	None	1.1
Convolutional net LeNet-4 with local learning instead of last layer	None	1.1
Convolutional net LeNet-5, [no distortions]	None	0.95
Convolutional net LeNet-5, [huge distortions]	None	0.85
Convolutional net LeNet-5, [distortions]	None	0.8
Simplified convolutional net, [no distortions]	None	0.71
Convolutional net Boosted LeNet-4, [distortions]	None	0.7

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для того, чтобы показать эффективность данной методики, мы обучили сеть для распознавания рукописных цифр, используя базу данных MNIST. База данных MNIST содержит изображения размерности  $28 \times 28$  пикселей в оттенках серого, набор данных для обучения из 60 000 изображений и набор данных для тестирования из 10 000 изображений. Мы использовали алгоритм обратного распространения ошибки для сверточной нейронной сети без каких-либо модификаций. Размерность группового обучения 50; альфа изменялся от 0.8 до 0.0001. Результаты экспериментов представлены в Таблице 1. Как вы можете видеть, ошибка тестирования составила 0.71% при использовании сверточной сети упрощенной архитектуры. Лучшим результатом сверточной сети LeNet5 без использования distortions является 0.95 %. Таким образом, использование сверточной нейронной сети упрощенной архитектуры с алгоритмом обратного рас-

пространения ошибки позволило достичь более высокой точности распознавания в сравнении с традиционной архитектурой для сверточных сетей.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматривается сверточная нейронная сеть для распознавания рукописных цифр. Мы предлагаем сверточную нейронную сеть с упрощенной архитектурой, которая позволяет распознавать рукописные цифры с более высокой точностью в сравнении с традиционной сверточной нейронной сетью LeNet5. Мы показали, что простая сверточная нейронная сеть способна снизить ошибку тестирования до 0.71% на базе данных MNIST.

## 6. ССЫЛКИ

[1] LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G. E. *Deep Learning Nature*, Vol. 521, pp 436-444. (2015)

[2] Golovko, V. *From neural networks to intelligent systems: selected aspects of training, application and evolution IV*. Golovko // *Limitations and future trends in neural computation*. – Amsterdam: IOS press, 2003. – chapter 12. – P. 219-243.

[3] Dziomin, U. *A Multi-Agent Reinforcement Learning Approach for the Efficient Control of Mobile Robots* / U. Dziomin, A. Kabysh, R. Stetter and V. Golovko // in book *Advanced in Robotics and Collaborative Automation*. – River Publishers, 2015. – P. 123-146.

[4] Golovko, V. *Towards Automatic Epileptic Seizure Detection in EEGs based on Neural Networks and Largest Lyapunov Exponent* / V. Golovko, S. Artsiomenka, V. Kisten, V. Evstigneev // *International Journal of Computing*. – 2015. – 14 (1). – 36-47.

[5] Hinton, G. E., Osindero, S., Teh, Y. *A fast learning algorithm for deep belief nets*. *Neural Computation*, 18, 1527-1554 (2006)

[6] Hinton, G. *Training products of experts by minimizing contrastive divergence*. *Neural Computation*, 14, 1771-1800 (2002)

[7] Hinton, G., Salakhutdinov, R. *Reducing the dimensionality of data with neural networks*. *Science*, 313 (5786), 504-507 (2006)

[8] Hinton, G. E. *A practical guide to training restricted Boltzmann machines*. (Tech. Rep. 2010-000). Toronto: Machine Learning Group, University of Toronto (2010)

[9] Bengio, Y. *Learning deep architectures for AI*. *Foundations and Trends in Machine Learning*, 2(1), 1-127 (2009)

[10] Bengio, Y., Lamblin, P., Popovici, D., Larochelle, H. *Greedy layer-wise training of deep networks*. In B. Scholkopf, J. C. Platt, T. Hoffman (Eds.), *Advances in neural information processing systems*, 11, pp. 153-160. MA: MIT Press, Cambridge (2007)

[11] Golovko, V.A. *Learning Technique for Deep Belief Neural Networks* / V. Golovko, A. Kroshchanka, U. Rubanau, S. Jankowski // in book *Neural Networks and Artificial Intelligence*. – Springer, 2014. – Vol. 440. *Communication in Computer and Information Science*. – P. 136-146.

[12] Golovko, V. *From multilayer perceptron to deep belief neural networks: training paradigms and application* / in book *"Lectures on neuroinformatics"*, Moscow, 2015, P. 47-84.

[13] Golovko, Vladimir. *A New Technique for Restricted Boltzmann Machine Learning*/Vladimir Golovko, Aliaksandr Kroshchanka, Volodymyr Turchenko, Stanislaw Jankowski, Douglas Treadwell // *Proceedings of the 8th IEEE International Conference IDAACS-2015, Warsaw 24-26 September 2015*. – Warsaw, 2015 –P.182-186.

[14] Fukushima K. *Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position*//*Biological Cybernetics*,36:193-202,1980.

[15] LeCun Y., Boser B., Denker J., Henderson R., Howard R., Hubbard W. and Jackel L. *Backpropagation applied to handwritten zip code recognition*. *Neural computation*, 1(4):541-551,1989.

[16] LeCun Y., Haffner P., Bottou L. and Bengio Y. *Object recognition with gradient-based learning*. In *shape, Contour and Grouping in Computer Vision*, p.319-345, Springer, 1999.

[17] LeCun Y., Bottou L., Bengio Y. and Haffner P. *Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition*. *Proceedings of the IEEE*, 86(11):2278-2324, November 1998

УДК 681.3

*Наливко Д.В.*

*Научный руководитель: Глущенко Т.А.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ НА ГРАФАХ С ПОМОЩЬ 2-3 КУЧ

### Цель работы

1. Сравнительный анализ наиболее используемых структур данных для работы с очередями с приоритетом.

2. Реализация эффективной структуры данных для работы с очередями с приоритетом и применение этой структуры данных для оптимизации алгоритмов на графах

### Вступление

В программировании часто возникает задача обработки данных в определенном порядке, например, в порядке возрастания приоритета. Приоритет элемента может определяться, к примеру, по времени его поступления в очередь на обработку. В случае, если элементы в очереди должны следовать согласно времени поступления, то реализуется очередь, построенная на списке по принципу FIFO (First In, First Out — «первым пришёл — первым ушёл»).

В общем случае, приоритет задается не порядком вхождения, а значением функции приоритета. К примеру, у нас есть игровой сервер. Если сервер заполнен, желающие играть будут вынуждены стоять в очереди и ждать, пока кто-то не выйдет. Однако существуют так называемые VIP игроки, которые могут зайти без очереди (иногда бывает несколько уровней VIP). Как мы видим, в данной ситуации в первую очередь важен не столько порядок вхождения, сколько уровень VIP (приоритет). и, следовательно, FIFO список не может быть применен для обработки данной задачи. Для решения таких задач используются очереди с приоритетом. Дадим определение очереди с приоритетом.

Очередь с приоритетом – это очередь, в которой порядок элемента определяется его приоритетом, как функцией, зависящей от определенных параметров. FIFO очередь можно рассматривать как частный случай очереди с приоритетом. Очереди с приоритетом должны эффективно выполнять следующие операции:

1. Вставка элемента;
2. Получение приоритетного элемента;
3. Извлечение приоритетного элемента из очереди;
4. Изменение ключа элемента;
5. Слияние двух очередей в одну.

### Основные подходы к реализации очереди с приоритетом

Очереди с приоритетом реализуются при помощи куч. Дадим определение кучи.

Куча — это специализированная структура данных типа дерево, которая удовлетворяет свойству кучи: если  $B$  является узлом-потомком узла  $A$ , то  $ключ(A) \geq ключ(B)$ . Из этого следует, что элемент с наибольшим ключом всегда является корневым узлом кучи.

Рассмотрим варианты реализации куч и дадим оценку эффективности выполнения указанных выше операций для различных видов куч.

Самый простой способ реализации кучи — использование бинарного дерева, хранимого в массиве. Корень хранится в элементе с индексом 0, и для

любого элемента с индексом  $i$  и его потомки хранятся в элементах с индексами  $2i + 1$  и  $2i + 2$ . Куча, реализованная по вышеописанному принципу, называется бинарной.

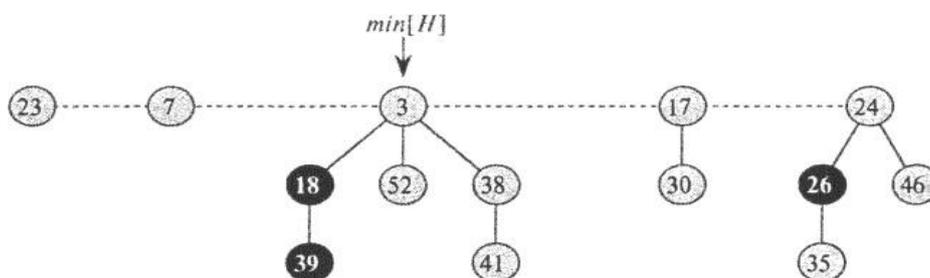
Бинарная куча эффективно реализует все основные операции кроме одной – слияния двух куч. Слияние производится путем поочередного удаления всех элементов из одной кучи и вставки в другую, что асимптотически медленно и выполняется в общем случае за время  $O(n \cdot \log(n+m))$ . Следует отметить, что существуют реализации операции слияния и за линейное время.

Как мы покажем ниже, бинарная куча проигрывает по быстродействию операций вставки и изменения ключа по сравнению с другими рассматриваемыми структурами данных

Несомненным плюсом этой структуры данных является то, что она легко реализуется и занимает меньший объем памяти относительно других куч.

Рассмотрим следующий вариант реализации очереди с приоритетом – кучу Фибоначчи.

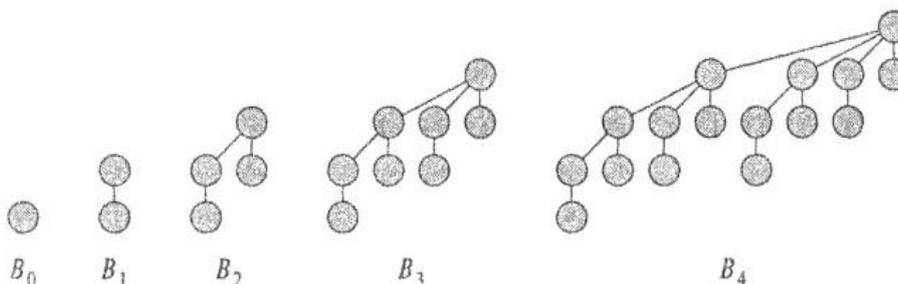
**Куча Фибоначчи** — набор деревьев Фибоначчи, которые объединены в неупорядоченный циклический двусвязный список (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Пример кучи Фибоначчи**

**Дерево Фибоначчи** — биномиальное дерево, где у каждой вершины удалено не более одного ребенка.

**Биномиальное дерево** — дерево, определяемое рекурсивно для каждого  $k = 0, 1, 2, \dots$  следующим образом:  $B_0$  — дерево, состоящее из одного узла;  $B_k$  состоит из двух биномиальных деревьев  $B_{k-1}$ , связанных вместе таким образом, что корень одного из них является дочерним узлом корня второго дерева. На рисунке 2 приведены примеры построения биномиальных деревьев.



**Рисунок 2 – Примеры биномиальных деревьев**

В целом асимптотические оценки выполнения указанных операций у кучи Фибоначчи лучше, чем у бинарной кучи, но она сложнее в реализации по сравнению с бинарной кучей.

И укажем на существенный недостаток кучи Фибоначчи: наличие большой скрытой константы в асимптотической оценке операции извлечения минимума. В случае, если мы часто добавляем элементы в кучу, но редко удаляем,

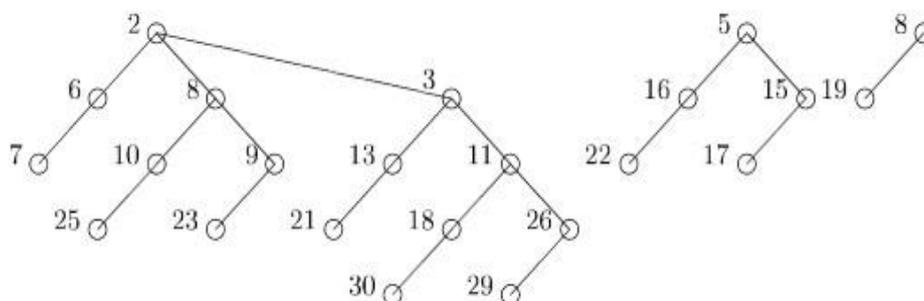
время работы будет увеличено. Эта ситуация обусловлена тем, что Фибоначчиева куча балансируется только при операциях удаления. При частой вставке куча вырождается в линейный список, что существенно замедляет удаление и балансировку.

Решение указанной проблемы было предложено Tadao Takaoka в 1999 году и заключалось в построении кучи на основе 2-3 деревьев. При этом, по оценкам автора, прирост в быстродействии операций может составлять до 20% по сравнению с кучами Фибоначчи.

Рассмотрим **2-3 кучу**.

**2-3 куча** — это массив 2-3 деревьев, обладающих свойствами куч (родитель больше(меньше) всех своих детей).

**2-3 дерево** — это сбалансированное дерево, каждый узел которого может иметь как два, так и три сына.



**Рисунок 3 – Пример 2-3 кучи**

Балансировка производится не только во время удаления минимума, но и при добавлении вершины.

Вставка производится путем слияния двух деревьев. При этом сливать можно только деревья одинаковой высоты.

Извлечение минимума производится путем поиска его в массиве деревьев, удаления корня и вставки всех поддеревьев удаляемого в кучу.

Слияние производится перемещением всех деревьев из одной кучи в другую и не зависит от количества вершин в куче.

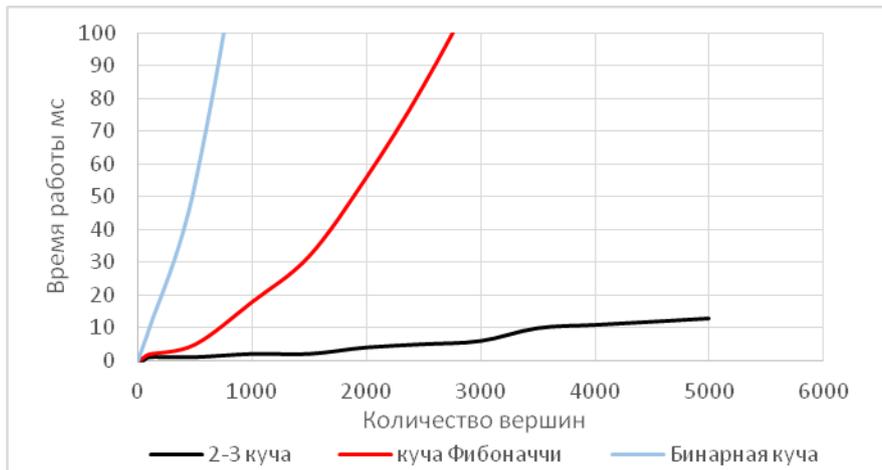
Таким образом, 2-3 куча обладает примерно такой же асимптотикой, что и Фибоначчи, за исключением того, что скрытые константы меньше.

Приведем сравнение рассматриваемых куч по асимптотике для указанных ранее операций, данные представлены таблицей 1.

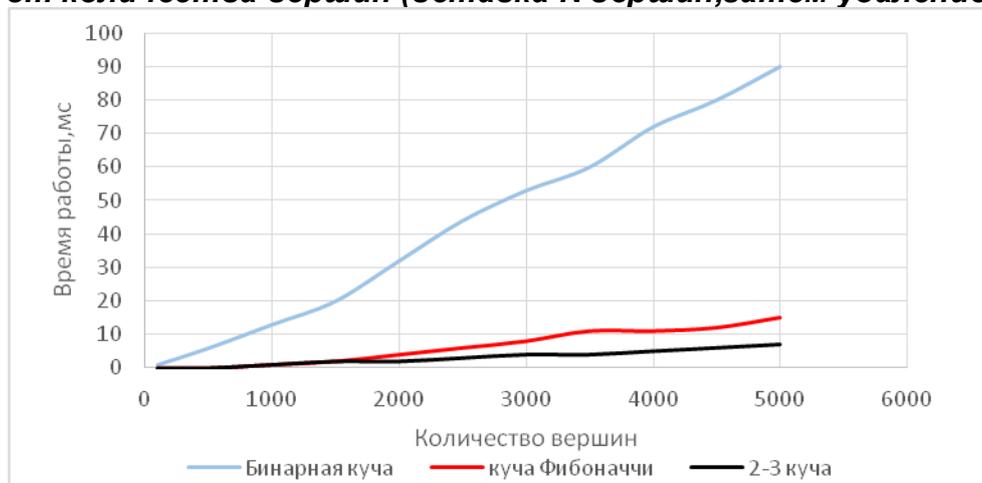
Таблица 1 – Сравнение временных оценок рассмотренных куч

Операции	Бинарная куча	Фибоначчиева куча	2-3 куча
Вставка	$O(\log N)$	$O(l)$	$O(1)$
Слияние	$O(N)$	$O(1)$	$O(1)$
Поиск минимума	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
Извлечение минимума	$O(\log N)$	$O(\log N)$	$O(\log N)$
Изменение ключа	$O(\log N)$	$O(1)$	$O(1)$

Рассмотрим зависимость времени выполнения операций вставки-удаление от количества вершин для рассматриваемых куч. Была проведена программная реализация трех куч и оценка времени работы операций для каждой из куч в зависимости от количества вершин (элементов) в куче. Полученные результаты представлены графиками.



**График 1 - Зависимость времени выполнения вставки-удаления от количества вершин (вставка N вершин, затем удаление)**



**График 2 - Зависимость времени выполнения вставки-удаления от количества вершин (N раз вставка-удаление по одной вершине)**

Из графиков видно, что время выполнения указанных операций у 2-3 кучи меньше, чем у бинарной кучи и кучи Фибоначчи, и оно не так существенно зависит от количества вершин, как у двух других куч. В целом, по результатам эксперимента, 2-3 куча является более оптимальным вариантом реализации очереди с приоритетом, чем другие вышеперечисленные кучи.

### Оптимизация алгоритмов

Применение 2-3 кучи позволяет оптимизировать те алгоритмы на графах, в которых производится выборка лучшего решения из множества всех решений на данной итерации в порядке, заданном некоторой функцией приоритета, например: алгоритм Дейкстры, алгоритм Краскала, алгоритм ближайшего соседа (решение задачи Комивояжера), алгоритм Эдмонса-Карпа и т. д. Некоторые из алгоритмов в ходе работы были реализованы с использованием различных куч и был проведен анализ результатов.

Покажем для примера как можно с помощью 2-3 кучи оптимизировать алгоритм Дейкстры для поиска кратчайшего пути в графе.

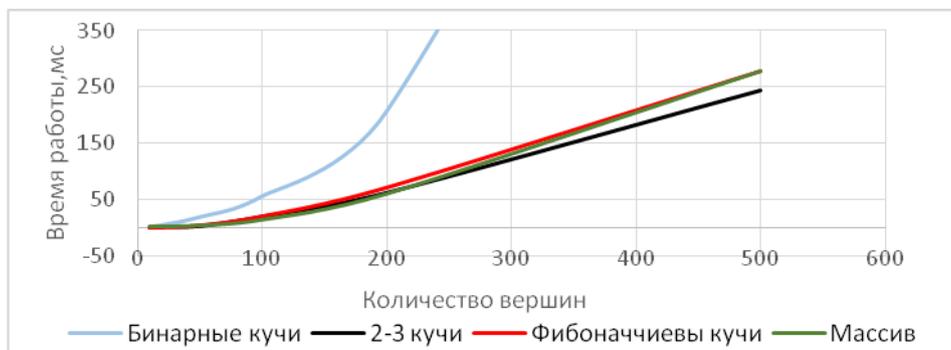
Будем хранить в куче минимальный путь для каждой вершины. На каждом шаге будем извлекать минимум из кучи, модифицировать, и вставлять заново. Тогда асимптотика изменится с  $O(n^2)$  до  $O(n \cdot \log n)$  при использовании куч Фибоначчи, а замена их на 2-3 кучи позволит уменьшить скрытую константу и, как следствие, даст ещё больший прирост скорости. Приведем листинг алгоритма Дейкстры.

```

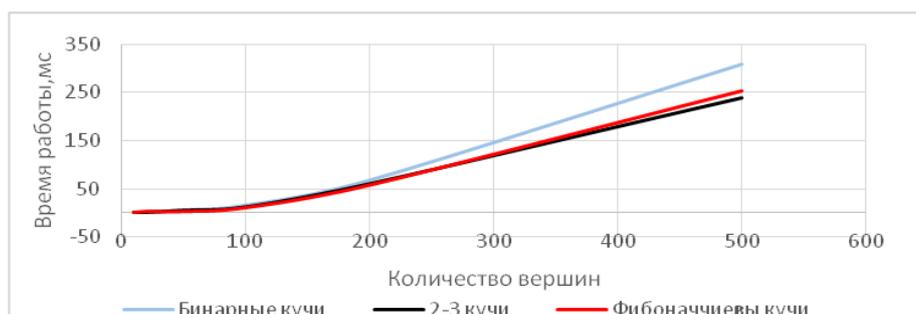
void Dijkstra(vector<vector<pair<int, int>>> g, int start)
{
    vector<int> d(g.size(), INF), p(g.size());
    d[start] = 0;
    Heap<int> q;
    HeapNode<int>* temp;
    q.insert(0, start);
    while (!q.isEmpty())
    {
        temp = q.extract();
        int v = temp->value(), cur_d = temp->key();
        if (cur_d > d[v])
        {
            continue;
        }
        for (size_t j = 0; j < g[v].size(); ++j)
        {
            int to = g[v][j].first,
                len = g[v][j].second;
            if (d[v] + len < d[to])
            {
                d[to] = d[v] + len;
                p[to] = v;
                q.insert(d[to], to);
            }
        }
    }
}

```

Полученные результаты представлены на графиках 3, 4.



**График 3 - Зависимость скорости работы алгоритма Дейкстры от количества вершин плотного графа**



**График 4 - Зависимость скорости работы алгоритма Дейкстры от количества вершин разреженного графа**

Анализируя полученные результаты, можно говорить о том, что Бинарные кучи можно эффективно использовать только для разреженных графов, в то время как кучи Фибоначчи и 2-3 кучи эффективно работают на любых графах. При этом на плотных графах выигрыш в скорости работы алгоритма для 2-3 куч составляет порядка 12% по сравнению с кучами Фибоначчи. Для разреженных графов разница в скорости работы алгоритма не столь существенна, тем не менее, и тут 2-3 куча дает выигрыш в скорости.

### **Заключение**

Данная работа продемонстрировала возможность оптимизации целого класса алгоритмов на графах. Использование для этих целей 2-3 куч улучшило временные показатели работы алгоритма Дейкстры, как для плотных, так и для разреженных графов. Таким образом, 2-3 кучи являются наиболее оптимальным вариантом очереди с приоритетом для реализации алгоритмов на графах

### **Список цитированных источников**

1. Tadao Takaoka. Theory of 2-3 Heap — Cocolon (1999).
2. Дасгуспа, С. Алгоритмы / С. Дасгуспа, Х. Пападимитриу, У. Вазирани. – МЦНМО, 2014 С.113-116.
3. С.А. Crane. Linear lists and priority queues as balanced binary trees. — Computer Science Dept, Stanford Univ. (1972).
4. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. — М.: МЦНМО, 2005. — С. 539-579.

УДК 621.316.9.001

**Никитин С.А.**

**Научный руководитель: доцент Ворсин Н.Н.**

## **ГЕНЕРАТОР АРКАДЬЕВА-МАРКСА С НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ ВОЗДУШНЫМИ РАЗРЯДНИКАМИ**

Целью настоящей работы является уточнение представлений о физических процессах в генераторах высоковольтных импульсов Аркадьева – Маркса.

Предмет исследования – накопительная и коммутационная цепь генератора – множительная колонна, использующая неуправляемые искровые разрядники.

Генератор Аркадьева-Маркса является едва ли не самым популярным источником

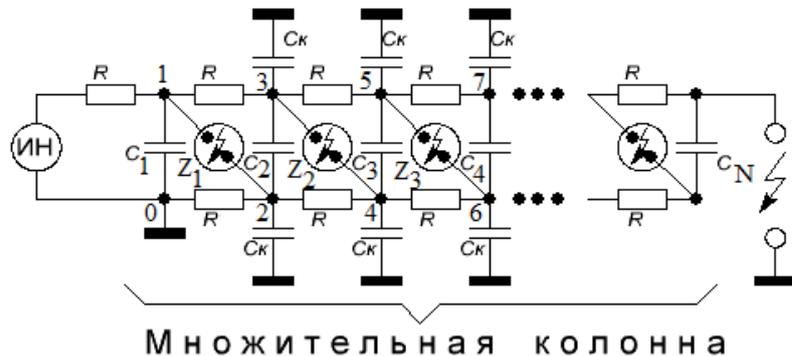
высоковольтных импульсов, применяемым в различных физических и технических установках. Теория функционирования генераторов этого типа разработана очень подробно и излагается даже в учебных пособиях [1]. Однако известные нам публикации в явной или неявной форме относятся к случаям применения управляемых искровых разрядников, когда процессы накопления электроэнергии и передачи ее в нагрузку четко разграничены по времени. Если в качестве коммутаторов используются неуправляемые разрядники, то процессы накопления энергии и коммутации оказываются рассинхронизированы, что коренным образом изменяет функционирование генератора.



**Рисунок 2 – Экспериментальный макет генератора**

Исследование процесса работы генератора проводилось на основе экспериментального макета, внешний вид которого показан на рисунке 1. Опыты с ним дают результаты, существенно отличающиеся от описанных в литературных источниках [2 -4]. Эти отличия состоят в следующем. 1. Высоковольтные импульсы на выходной клемме множительной колонны, которые отмечаются «молнией» между выходными шаровыми электродами, возникают хаотично со средней частотой, значительно меньшей, чем частота срабатывания разрядников. 2. Межкаскадные разрядники также срабатывают хаотично со средними частотами, убывающими по мере удаления их от входных клемм множительной колонны. 3. Для функционирования генератора необходима подстройка искровых промежутков разрядников, которые должны уменьшаться по мере удаления от входных клемм колонны. Данные результаты не согласуются с моделями, рассмотренными в известной нам литературе, включая Интернет-источники, что явилось поводом для собственных исследований.

Эквивалентная схема множительной колонны генератора Маркса показана на рисунке 2. Ее отличие от опубликованных



**Рисунок 2 – Эквивалентная схема множительной колонны**

в различных источниках состоит в наличии конструктивных электроемкостей  $C_k$ , играющих важную роль в работе генератора. Эта работа, описанная во всех источниках, заключается в параллельной зарядке накопительных конденсаторов  $C_1, C_2$  от источника постоянного напряжения ИН и последующем соединении заряженных конденсаторов в последовательную цепь, которое происходит при одновременном срабатывании всех разрядников  $-Z$ . В результате напряжение на выходных клеммах оказывается равно сумме напряжений конденсаторов, и выходной промежуток пробивается, давая «молнию». Во время «молнии» через все разрядники протекает сильный импульс тока, который разряжает накопительные конденсаторы. Далее вновь начинается процесс их зарядки и цикл повторяется. Этот процесс легко реализуется если используются управляемые разрядники. Одновременность их срабатывания обеспечивается одновременной подачей на них запускающего импульса.

В случае неуправляемых разрядников, как отмечается [1-3], в генераторе возникает волна самосинхронизации разрядников, которая быстро распространяется от первого разрядника к последнему, обеспечивая одновременность их срабатывания. Однако механизм образования этой волны не описывается. Моделирование множительной колонны в программе microcap показывает, что без учета конструктивных электроемкостей  $C_k$  никакой синхронизации разрядников не происходит. Второй и последующий разрядники вовсе не срабатывают. Однако добавление в модель конденсаторов  $C_k$  действительно приводит к синхронизации разрядников и умножению амплитуды импульсов напряжения на выходе генератора.

Сделаем количественную оценку процесса синхронизации на примере первого и второго разрядников. Дальнейшая синхронизация происходит аналогично. Допустимо пренебречь собственной емкостью резисторов и разряд-

ников, которые на практике значительно меньше остальных. Предположим, что накопительные конденсаторы  $C$  заряжены до напряжения  $U$ , близкого к напряжению пробоя разрядников, и в момент времени  $t=0$  происходит пробой первого разрядника, который тем самым замкнет узлы 1 и 2 на схеме рисунка 2. Часть заряда конденсатора  $C_1$  будет передана конструктивным конденсаторам, подключенным к узлам 2 и 3. Причем увеличение напряжения в этих узлах произойдет очень быстро, поскольку конструктивные конденсаторы заряжаются через очень малое сопротивление искры сработавшего разрядника. В результате напряжение в узлах 2 и 3 почти мгновенно станут равными

$$U_2 = U \frac{C}{C + 2C_K} \quad U_3 = U \left( 1 + \frac{C}{C + 2C_K} \right). \quad (1)$$

В то же время напряжение в узле 4 не сможет измениться мгновенно, так как для его увеличения необходима зарядка конструктивной емкости через большое сопротивление  $R$ . Поэтому напряжение  $u_4$  будет увеличиваться по закону зарядки конденсатора в RC-цепочки:

$$u_4 = U_2 \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC_K}\right) \right). \quad (2)$$

Напряжение, приложенное ко второму разряднику, - это  $U_3 - u_4$  определится из (1) и (2):

$$U_3 - u_4 = U_1 \left( 1 + \frac{C}{C + 2C_K} \exp\left(-\frac{t}{RC_K}\right) \right) \quad (3)$$

На рисунке 3 показан график зависимости от времени напряжения на втором разряднике при  $C/(C+2C_K)=0.9$ . Там же пунктиром обозначено напряжение пробоя разрядника. Видно, что при данных условиях напряжение на разряднике будет превышать пробивное в течение времени, приблизительно равном  $RC_K$ . Если это время превысит время образования искры, исчисляемое долями микросекунды, произойдет срабатывание второго разрядника. При этом эстафета срабатывания будет передана от второго разрядника к третьему и т. д., что приведет к суммированию напряжений накопительных конденсаторов и появлению «молнии» на выходе генератора.

Если сопротивление зарядных резисторов  $R$  выбирается из условия эстафетного срабатывания разрядников, то оно определится следующей формулой:

$$R \geq \frac{1 \text{ мкс}}{C_K} \quad (4)$$

в которой положено, что время пробоя не превышает 1 мкс, а время удержания скачка напряжения на разряднике приблизительно равно постоянной времени  $RC_K$ , как это следует из графика рисунка 3.

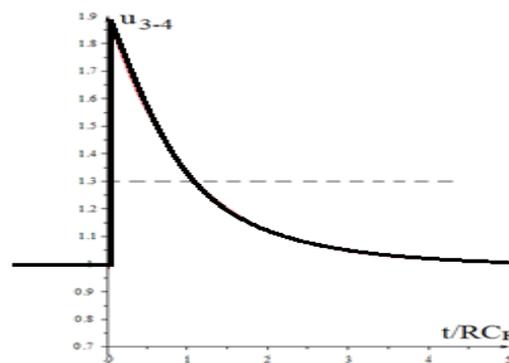


Рисунок 3 – График зависимости

Второй особенностью генераторов с неуправляемыми разрядниками является совмещение во времени процессов зарядки накопительных конденсаторов и срабатывания некоторых разрядников. Это обусловлено разноскоростным характером зарядки конденсаторов, вследствие чего величина напряжения некоторых накопительных конденсаторов оказывается недостаточной для пробоя соответствующих разрядников, в то время как для других конденсаторов условие пробоя уже выполняется. При этом наблюдается хао-

тичное срабатывание части разрядников без образования выходного импульса генератора.

Очевидно, что напряжение первого конденсатора, увеличиваясь быстрее остальных, достигнет величины пробоя разрядника в тот момент, когда напряжения остальных конденсаторов еще далеки от этого. Поэтому первый пробой первого разрядника не приведет к пробоям второго и последующих разрядников. В то же время срабатывание первого разрядника на время искры в нем прекратит зарядку первого конденсатора и приведет к частичной потере его заряда. При этом лишь часть энергии первого конденсатора будет передана конструктивным конденсаторам, остальная затрачивается на ионизацию воздуха и излучение. После прекращения искры в разряднике конденсатор вновь дозарядится до напряжения его пробоя. В результате среднее напряжение первого конденсатора будет меньше, чем напряжение срабатывания первого разрядника на некоторую величину, которую невозможно оценить теоретически так как потери энергии на ионизацию и излучение неизвестны.

Измерение средней величины напряжения на первом накопительном конденсаторе может проводиться непосредственно с помощью электростатического киловольтметра. Имеющийся у нас вольтметр С-196 позволяет измерять постоянное напряжение до 30 КВ. Измерения проводятся в два этапа. Вначале вольтметр подключается к входной клемме множительной колонны и измеряется напряжение источника ее питания. Регулировкой источника выставляется напряжение 30 КВ. Затем вольтметр подключается к конденсатору  $C_1$  колонны. Его показание дает среднюю величину напряжения и, в зависимости от настройки первого разрядника, составляло 24 – 27 КВ.

Поскольку второй и последующий конденсаторы получают заряд от первого, напряжение на них может только асимптотически стремиться к среднему напряжению первого конденсатора, которое заведомо меньше напряжения пробоя первого разрядника. Если распространить эти рассуждения на остальные конденсаторы и разрядники, то приходим к выводу о том, что при условии срабатывания предыдущего разрядника, напряжение на последующем накопительном конденсаторе будет меньше, чем на предыдущем. При большом числе каскадов генератора потеря напряжения на дальних от входа каскадах будет настолько большой, что оставшейся части оказывается недостаточно для срабатывания дальних разрядников, и генератор будет неработоспособным.

Для восстановления его работы требуется уменьшение пробивных напряжений дальних разрядников. В результате мы приходим к ситуации использования различных разрядников, пробивные напряжения которых уменьшаются по мере увеличения их номеров в множительной колонне. После многочисленных регулировок разрядников созданной множительной колонны определена следующая методика их проведения: 1) устанавливаются максимальные зазоры во всех разрядниках, при которых они не пробиваются напряжением источника питания; 2) уменьшаем зазор первого разрядника до наступления его пробоя, обычно при этом происходит и пробой второго разрядника без его регулировки; 3) повторяем операцию регулировки зазоров последующих разрядников, добиваясь их срабатывания. В результате данных регулировок все разрядники колонны дают искру, причем частота срабатывания их уменьшается по мере удаления разрядника от входных клемм. При этом генератор создает «молнии» между выходными клеммами.

Разноскоростной характер заряда зарядки накопительных конденсаторов создает ситуацию, при которой в момент срабатывания первого разрядника напряжения на втором и последующих еще недостаточны для их возбуждения, даже с учетом скачка напряжений, вызванного первым разрядником. Однако напряжение на первом накопительном конденсаторе уменьшится, и зарядка колонны задержится на время подзарядки первого конденсатора. Аналогичные процессы будут происходить при срабатывании второго и последующих разрядников. В результате время, необходимое для зарядки всех накопительных конденсаторов колонны, оказывается значительно, в десятки - сотни раз больше того, которое получается из упрощенной модели с управляемыми разрядниками. Дать теоретическую оценку этому времени мы не можем ввиду случайного характера срабатывания разрядников и множества внешних факторов, например, уровня ионизированности окружающего воздуха. Из экспериментов вытекает оценка, выражаемая следующей формулой:

$$T_{\text{заряд}} \approx (2 - 4)N^2\tau, \quad (5)$$

где  $\tau$  – постоянная времени одного звена колонны,  $N$  – число звеньев в ней.

После тщательной настройки разрядников удавалось получить период следования «молний» на выходе около 0.3 с (3 «молнии» в секунду), что при имевшейся постоянной времени  $\tau \approx 0.5$  мс и числе звеньев  $N=17$  приблизительно соответствует (5).

#### **Список цитированных источников**

1. Пичугина, Т.М. Мощная импульсная техника. – Томск: Томский политехнический университет, 2005. – 96 с.
2. Месяц, Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.: Советское радио. – 1974. – 213 с.
3. Смирнов, С.М. Генераторы импульсов высокого напряжения / С.М. Смирнов, П.В. Терентьев. – М.: Энергия, 1964. – 239 с.
4. Воеводин, В.С. Малогабаритный высоковольтный наносекундный генератор Аркадьева – Маркса на воздушных разрядниках / В.С. Воеводин, В.В. Горохов, В.И. Карелин. // Приборы и техника эксперимента. – 2000. - №3. – С. 67-71.

УДК 621.92.001.891.57:744

**Павлючик А.В.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Омесь Д.В.**

### **ПОЛЕТ 3D**

Кинетическое искусство – направление в современном искусстве, обыгрывающее эффекты реального движения всего произведения или отдельных его составляющих [1]. Такой вид искусства основывается на представлении о том, что с помощью света и движения можно создать произведение искусства.

Для этого не всегда достаточно навыков художника. Часто необходимо иметь представление о механизмах, передающих и преобразующих движение; о материалах и методах их обработки для создания нужных деталей; о методах разработки и проектирования с использованием современных систем трехмерного моделирования. Знание математики и физики также приветствуется. Художник становится настоящим инженером, обладающим обширными знаниями и умениями.

Расцвет кинетического искусства в мировом искусстве пришелся на 1950-1960-е гг., тогда же родился и термин. Среди современных деятелей кинетизма можно отметить Тео Янсена, Энтони Хоу, Боба Поттса, Дэвида Роя, Дерек Хаггера и др. Эти скульпторы представляют кардинально отличающиеся по конструкции, материалам и принципу действия произведения кинетического искусства.

Большинство современных скульпторов-кинетистов отдают дань техническому прогрессу – применяют в своей работе различные программные пакеты твердотельного моделирования, чтобы рассчитать, построить и посмотреть на свое творение до того, как оно будет воплощено в материале.

Мы, студенты третьего курса машиностроительного факультета, решили испытать свои способности на пути подготовки к профессиональной деятельности инженеров. При изучении инженерной графики были получены навыки работы в среде КОМПАС 3D. Мы решили пойти дальше – создать что-то свое в трехмерной среде и заставить это двигаться. Поскольку мы механики и «технари», то обратили внимание на кинетическое искусство, механизмов в котором превеликое множество.

В качестве прототипа модели, имитирующей полет, была выбрана кинетическая скульптура «Колибри» Дерек Хаггера (Derek Hugger) (рис.1).



**Рисунок 1 – «Колибри» Дерек Хаггера**

Американский дизайнер Дерек Хаггер [2], который профессионально занят в сфере создания медицинского оборудования, свободное время посвящает конструированию арт-объектов в стиле стимпанк. Одна из последних работ – красивая кинетическая скульптура «Колибри», имитирующая зависание птички над цветком. Казалось бы, в инженерном отношении это практически невыполнимая задача – реалистично передать характерные взмахи крыльев, движение пёрышек хвоста.

Механическая скульптура американского художника Дерек Хаггера «Колибри» изготовлена из более чем 400 различных деталей. Каждая из них механизирована и является движущейся. На создание всего проекта у художника ушло около 700 часов.

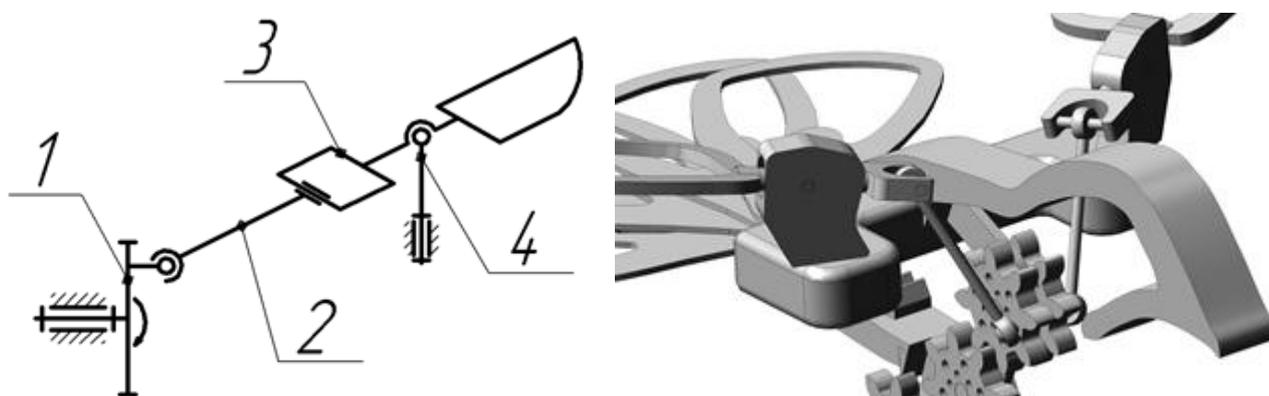
Просмотрев работу Дерек Хаггера, было решено построить 3d-модель механизма, имитирующего движение, напоминающее полет колибри [3]. Конструктивно колибри содержит приблизительно 100 элементов, включающих шестерёнки,

редукторы, гипоциклоиды, кулачки, соединения, шлицы. Простое вращательное движение входного вала преобразуется в сложное движение крыльев и хвоста.

Для моделирования была выбрана графическая среда КОМПАС 3D, поскольку используется в курсе инженерной графики и будет использоваться в дальнейшем при выполнении курсовых проектов и после окончания университета. КОМПАС 3D позволяет создавать твердотельные модели любой сложности и размеров, объединять их в сборочные узлы и изделия, а с помощью встроенной библиотеки анимации моделировать движение звеньев, изменение их оптических свойств (прозрачность) по заданным сценариям и сохранять результат в видеоролик.

Работа оказалась непростой, поскольку чертежи отсутствовали и приходилось ориентироваться на то, что было представлено в видеоролике и на фотографиях. Строение механизмов и сопряжения звеньев пришлось проектировать на познаниях в дисциплине «Теория машин и механизмов». Форма и размеры деталей подбирались по подобию – сперва создавались эскизы отдельных деталей, затем строились модели.

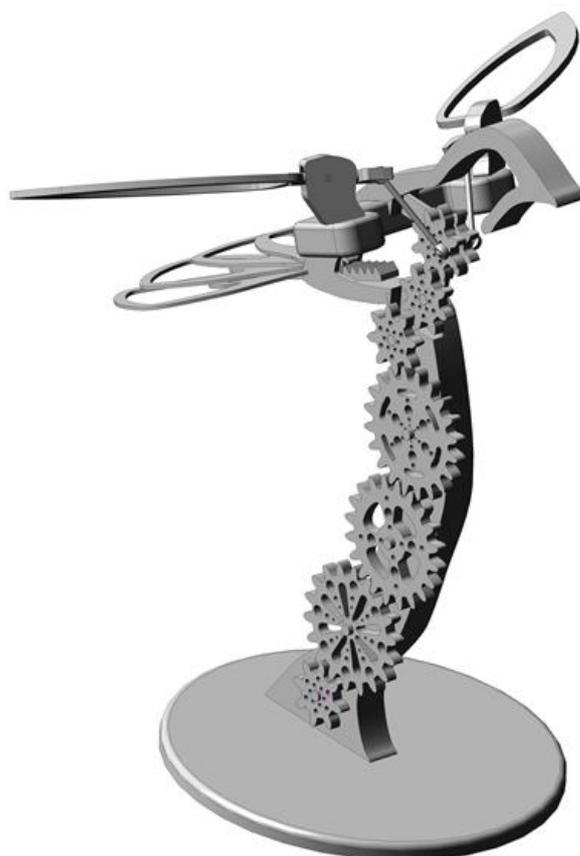
В движение скульптура приводится с помощью заведенной спиральной пружины, размещенной в подставке. Все механизмы можно разделить на следующие группы: 1 – механизмы, обеспечивающие изменение положения тупловища в пространстве и его наклон; 2 – механизмы движения крыльев; 3 – механизмы движения хвоста. Взмах крыла осуществляется с помощью сложного пространственного рычажного механизма, звенья которого сопряжены с помощью сферических и цилиндрических шарниров. Длины звеньев подобраны таким образом, чтобы не происходило заклинивания. На рис. 2 показана структурная схема строения механизма движения крыла.



1 – зубчатая шестерня; 2 – шатун; 3 – коромысло-крыло; 4 – шарнирная стойка  
**Рисунок 2 – Схема механизма движения крыла и его модель**

В результате вращения шестерни 1 происходит движение крыльев и имитируется полет. Движение хвостовых «перьев» осуществляется с помощью механизма, состоящего из зубчато-реечной передачи и кулачков, рабочей поверхностью в которых являются s-образные прорезы. При движении рейки вправо «перья раскрываются», при движении рейки влево – собираются вместе.

«Колибри» была смоделирована с полной детализацией конструкции. Затем произведена сборка всех деталей с помощью сопряжений. Результат можно увидеть на рис.3.



**Рисунок 3 – Общий вид построенной модели**

Результатом проделанной работы стала трехмерная модель «Колибри», построенная в среде КОМПАС 3D. Полностью воссозданы механизмы этой кинетической скульптуры, обеспечивающие требуемое движение звеньев, чтобы имитировать полет. Для готовой твердотельной модели создан сценарий анимации.

При выполнении поставленных задач значительно расширены и углублены знания в работе с трехмерными моделями, исследованы возможности, предоставляемые современными системами автоматизированного проектирования, КОМПАС 3D в частности. Полученные навыки можно использовать для подготовки презентаций проектируемых узлов и изделий машиностроения при обучении в вузе, а также после его окончания.

#### **Список цитированных источников**

1. [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org)
2. [www.derekhugger.com](http://www.derekhugger.com)
3. [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

УДК 656.13.05

**Праневич А.Ф.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.**

### **ИЗУЧЕНИЕ ТЕМЫ «РЕФЛЕКСИЯ»**

Естественнонаучная традиция, окончательно сложившаяся в первой половине нашего столетия, содержит в своей основе два скрытых постулата. Первый постулат, если его попытаться выразить «апокрифически», гласит: «Теория об объекте, имеющаяся у исследователя, не является продуктом дея-

тельности самого объекта». Второй постулат: объект не зависит от факта существования теории, отражающей этот объект.

Естественнонаучная традиция возникла в суровой борьбе с теологическими концепциями. Утилитарные задачи принятия оптимальных решений в конфликте заслонили теоретические исследования конфликта как особого феномена. Классическая теория игр, являющаяся, по существу, главой теории принятия оптимальных решений, начинает пониматься как теория, способная вскрыть основные законы, управляющие конфликтам. Она плохо оправляется с этой задачей, ибо была создана для других целей.

Рассмотрим арсенал средств, которым располагает исследователь, изучающий такое сложное явление, как конфликт. Понятно, что математик, логик, психолог, исследователь операций и полководец будут смотреть на объективную картину конфликта своими глазами. Они, естественно, будут выделять в нем те стороны, которые их интересуют и которые поддаются «извлечению» посредством тех специфических методов исследования, какими они располагают. При этом каждый специалист пользуется той совокупностью представлений об объекте (в нашем случае — о конфликте), которые сложились в той или иной отрасли знания. Важность правильного выбора исходного представления объекта как системы, как целого, даже внутри одной отрасли обуславливается тем, что это позволяет применять наиболее эффективный научный и математический аппарат. Например, чтобы исследовать конфликт с помощью аппарата теории игр, необходимо его схематизировать: выделить игроков и наборы стратегий, которыми пользуются игроки, определить платежи игроков, соотнеся их с определенными стратегиями. Итогом такой схематизации и является платежная матрица. Если мы хотим использовать другой аппарат, нам нужно прибегнуть к другой исходной схематизации.

То, что каждый более или менее сложный объект допускает различные системные представления, легко показать на примере какого-либо технического устройства. В электротехнике, радиотехнике, автоматике и телемеханике для описания устройств или приборов пользуются в основном тремя различными системными представлениями: блок-схема, принципиальная (электрическая) схема, монтажная схема. Блок-схема обычно определяется теми технологическими единицами, которые выпускаются промышленностью; принципиальная схема выделяет функциональные единицы, которые могут не совпадать с пространственно разделенными узлами и блоками; монтажная схема расчленяет прибор в зависимости от геометрии объема и конструктивных параметров. Зачастую не удается даже ответить на вопрос, из каких элементов состоит прибор, если не задать системное представление, которым следует воспользоваться. Очевидно, только объединение различных системных представлений может дать наиболее полную и истинную картину объекта. Вот почему наиболее творческие элементы исследования часто бывают связаны с этапом выбора исходных системных представлений и с их синтезом.

Продвинемся еще на шаг и изобразим системные представления объекта как его различные проекции, которые проецируются на экран или планшет, находящийся в распоряжении исследователя. Вообразим себе полководца, склонившегося над таким планшетом и исследующего лежащий перед ним объект — армию противника. Наш полководец может пользоваться различными проекциями (системными представлениями): одна проекция будет отражать, например, пространственное расположение армии противника, другая — функциональное взаимодействие частей или средств вооружения. Однако этого далеко не достаточно для решения стоящей перед ним задачи. Главным, с точки зрения полководца, является отражение замыслов противника и

выяснение того, в какой степени вскрытые им пространственные и функциональные связи являются «естественными», а в какой они специально предназначены противником для того, чтобы он, наш исследователь-полководец, отразил их на своем планшете именно такими. Для этого, конечно, исследователь должен владеть специальными средствами, то есть он должен уметь отразить «внутренний мир» объекта. И он должен понимать, что этот «внутренний мир» объекта, который можно ассоциировать с интеллектом и военным талантом полководца вражеской армии, также отражает его самого и его внутренний мир.

Эта ситуация характерна для конфликтов различной природы. Шахматист, ставящий ловушку партнеру или просто рассчитывающий вариант, отражает на своем «мысленном планшете» не только особенности данной позиции, но и то, как эти особенности отображаются противником на его (противника) планшете. Беглец спасается от преследователя, если правильно проецирует на свой планшет не только его (преследователя) действия, но и то, как преследователь на своем планшете отображает действия беглеца. Везде и всюду конфликтующие стороны вступают в своеобразную рефлексивную игру, где каждая из сторон стремится отразить и тем самым получить возможность перехитрить друг друга. Такое изображение конфликта, как интеллектуального взаимодействия сторон, является, по нашему мнению, важным системным представлением конфликта, открывающим новые резервы в оптимизации решений, принимаемых в конфликтной ситуации.

Подведем первые итоги. Конфликт как предмет объективного исследования может быть представлен различными «проекциями». Во-первых, как взаимодействие «ударных сил» — в исследовании операций это нашло выражение в так называемых уравнениях Ланчестера, позволяющих рассчитать исход боя, зная качественные и количественные характеристики этих сил (войск, техники и т. п.). Во-вторых, конфликт может быть представлен рефлексивным взаимодействием сторон при принятии ими решений. Исследование конфликта в этом представлении требует особых логических приемов рассуждения, глубоко отличных от тех, которыми обычно пользуются. С развитием нейросетевых технологий, острее чем когда-либо встает вопрос о взаимодействии человека и машины. Автор полагает, что использование теории рефлексии позволяет частично решить эту проблему и предоставляет широкий простор для целого класса новых интерфейсов, основанных на использовании рефлексивных схем, а так же интеллектуальных инструментов анализа.

#### **Список цитированных источников**

1. Лефевр, В.А. Конфликтующие структуры. – М.: «Высшая школа», 1967.

УДК 656.13.05

*Харук Н.В., Радионов А.А.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Шуть*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НАЗЕМНЫЙ АНАЛОГ МЕТРО**

### **Введение**

В условиях постоянно растущих населения и объемов производств в различных сферах требуется непрерывное развитие инфраструктуры. В том числе, необходимо регулярно увеличивать объем ресурсов, задействованных для

транспортной системы, и оптимизировать использование уже выделенных, поскольку скорость роста потребностей системы велика, а ресурсы ограничены.

Поскольку на данный момент развитие транспортной системы осуществляется по экстенсивному пути, именно ограниченность ресурсов является основной проблемой на пути обеспечения потребностей населения.

#### **Основные проблемы:**

Более конкретно проблема современной транспортной системы заключается в методах, которые используются для обеспечения должного уровня её работы. Перечислим эти проблемы: *проблема неоптимизированного роста, проблема децентрализации и проблема низкой адаптивности*. Опишем их более подробно.

*Проблема неоптимизированного роста* заключается в том, что для увеличения объёма перевозимых ресурсов (в том числе пассажиров) производится и внедряется большее количество транспортных единиц (или машин), но не оптимизируется их передвижение. Это, в свою очередь, приводит к ряду других проблем:

Во-первых, возрастание количества машин на отдельном участке или неизбежно влечёт за собой затруднение движения не только на данном, но и на других, связанных с ним, участках транспортной сети.

Во-вторых, подобный рост не выгоден экономически. Помимо необходимости производства дополнительного средства передвижения, повышается потребность в найме обслуживающего персонала: водителей и механиков.

В-третьих, такой путь развития вреден для окружающей среды, учитывая, что в настоящий момент используются преимущественно двигатели внутреннего сгорания.

В-четвёртых, это приводит к возрастанию сложности регулирования транспортных потоков, что формирует проблему децентрализации.

*Проблема децентрализации* заключается в отсутствии взаимосвязи между большей частью участников движения. Даже косвенная связь посредством расписания движения, что реализовано для автобусов, не может заменить ни коммуникации между участникам, ни работы системы центрального управления.

Причины для этого следующие:

Во-первых, каждый участник движения может только предполагать намерения других участников, но не может знать их наверняка. Результатом этого являются ДТП и вынужденные задержки при передвижении.

Во-вторых, имеет место неравномерное распределение транспортных потоков по системе: для их систематизации используются, например, полосы или улицы с направленным движением, что может привести к перегрузке одних дорожных участков и низкой загруженности других. Таким образом, дополнительные ресурсы, выделенные для работы системы, в определённое время оказываются избыточными и не реализуются.

В-третьих, система включает в себя как общественный, так и личный транспорт. Это вынуждает их разделять общий ресурс и, тем самым, ограничивает степень реализации обоих. Кроме того, это делает невозможным покрытие всей совокупности пунктов назначения сетью общественного транспорта.

В совокупности, эти проблемы вынуждают граждан к очень активному использованию общественного транспорта, но лишь в отдельные и довольно короткие промежутки времени. Иными словами, личный транспорт часто не

задействуется большую часть времени, являя собой практически нереализуемый ресурс, что критично в условиях нехватки последних. Из этого напрямую следует проблема низкой адаптивности.

*Проблема низкой адаптивности* заключается в практически полном отсутствии зависимости количества используемых средств передвижения от количества людей, которым необходимо в данный момент ими воспользоваться.

Проявления этой проблемы следующие:

Во-первых, даже в те моменты, когда используется личный автотранспорт, он задействуется для перевозки небольшого количества пассажиров (около полутора человек на единицу), создавая нагрузку на сеть немногим меньшую, чем средства общественного транспорта.

Во-вторых, в час-пик стабильно наблюдается перегрузка средств общественного транспорта. Имеется в виду как физическая его перегрузка, так и неспособность обеспечить необходимую пропускную способность пассажиров.

В-третьих, экономическая составляющая этой инфраструктуры не позволяет применить экстенсивные методы, как в случае с общим ростом объёмов перевозок: как правило, даже без дополнительного увеличения количества машин в то время, когда нагрузка меньше критической, коэффициент их полезного действия существенно падает в сравнении с этим же коэффициентом во время часа-пик. Под коэффициентом полезного действия понимается отношение количества перевезённых пассажиров к общей вместимости транспортной единицы.

### **Задача построения новой системы**

Задача, которая ставится перед строящейся транспортной системой, заключается в решении указанных проблем. Новая система должна быть централизованной, адаптивной к пассажиропотоку и при увеличении нагрузки в целом стремиться прежде всего оптимизировать использование уже имеющихся в ресурсах, и лишь затем обращаться к экстенсивному расширению.

На данный момент создать такую систему, которая была бы централизованной и покрывала бы всё государство, не представляется возможным. Тем не менее, возможно произвести автономный модуль такой системы, что позволит в последующем создать полноценную сеть, увеличивая их количество и объединяя такие модули в узлы управления.

### **Общее описание системы**

Для корректной обработки больших объёмов данных эффективнее использовать автоматизированные системы. В данном случае транспортные единицы, называемые инфобусами, управляются единой системой. Опишем кратко суть предлагаемого алгоритма.

Вся совокупность пассажиров представлена матрицей корреспонденций графа  $M$ , каждый элемент  $M_{ij}$  которой равен количеству пассажиров, желающих проехать с  $i$ -й на  $j$ -ю станцию.

Алгоритм обходит матрицу сверху вниз и слева направо, собирая таким образом сначала всех, кто едет на последнюю станцию, затем на предпоследнюю и так далее. При прохождении элемента его значение передаётся в переменную текущей суммы пассажиров и сравнивается с количеством свободных мест инфобуса. Алгоритм прекращает работу в двух случаях: либо если сумма набранных пассажиров равна вместимости инфобуса, либо если пройдена вся матрица. По завершении работы алгоритма высылаётся инфобус.

Такое решение обеспечивает адаптивность к потоку пассажиров: инфобусы высылаются только в случае необходимости, и их количество всегда соответствует потребностям пассажиров.

Что касается аппаратной реализации, то в результате работы алгоритма может образоваться состав из инфобусов. Для того, чтобы избежать столкновений друг с другом, инфобусы оборудованы датчиками расстояния.

Движение инфобусов осуществляется по выделенной линии, схожей с трамвайной. Но между ними есть два существенных отличия. Первое из них заключается в том, что инфобус спроектирован узким, что позволит выделять под его колею малый участок дороги.

Второе отличие заключается в способе преодоления сложных перекрёстков. В этом случае всё же придётся создать неглубокий тоннель для того, чтобы не нарушать дорожное движение. Несмотря на этот недостаток, постройка такой линии обойдётся на порядки дешевле, чем линии метро, поскольку она залегает гораздо ближе к поверхности и длина её невелика.

### **Вывод**

Подводя итог, можно сказать, что в перспективе предлагаемая система позволит не только решить проблемы локального характера, но также избавиться от многих недостатков существующих элементов управления.

### **Список цитированных источников**

1.Афанасьев, М.Б. Организация дорожного движения / М.Б. Афанасьев, Г.И. Клинковштейн. – М.: Транспорт, 1992г. – 312 с.

2.Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / М.П. Печёрский, Ю.А. Кременец. – М.: Транспорт, 1981. – 367 с.

3.Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель. – М.: БФОДД, 1996. – 328 с.

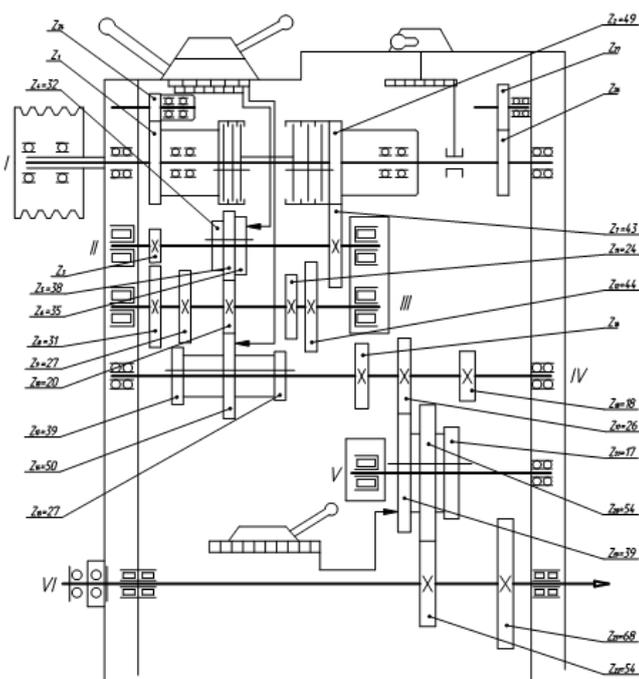
# **ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ СОСТОЯНИЯ МНГОВАЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Анализ спектра, содержащего информацию о дефектах механических узлов, нарушающих нормальное функционирование при эксплуатации всего изделия [1,2], значительно увеличивает время на диагностику текущего состояния объекта, что требует использования методов автоматической обработки полученных данных либо применения сопутствующих показателей, которые бы явно либо косвенно отображали текущее состояние исследуемого механизма.

В качестве средства для проведения экспериментальных исследований оборудования использовался реализованный в настоящее время в БрГТУ аппаратно-программный комплекс, позволяющий с высокой степенью точности производить снятие информации об акустических процессах, возникающих в процессе эксплуатации многовальных зубчатых приводов [3].

Одним из объектов экспериментальных исследований, в ходе которых были предложены способы упрощения классических спектральных характеристик анализируемого сигнала, являлась коробка скоростей привода главного движения токарного станка SN-401, кинематическая схема которого предложены на рис. 1. При работе привода находятся в движении и другие его элементы, не влияющие на вращение шпинделя и не отраженные на его кинематической схеме (приводы гитары сменных колес, реверса, тормозного механизма и паразитные шестерни), но оказывающие значительное влияние на формирование итогового акустического сигнала работы привода. Это приводит к возникновению на спектре большого количества дополнительных составляющих, затрудняющих выявление и анализ гармоник на интересующих частотах.



**Рисунок 1 – Кинематическая схема коробки скоростей привода главного движения токарного станка SN-401**

В качестве источника информации использовался акустический сигнал, сформированный с использованием микрофона с капсулом M101, отстоящим от корпуса коробки скоростей на 300 мм в горизонтальной плоскости.

При анализе информации, полученной после обработки спектра акустического сигнала, можно выделить составляющие акустической активности практических всех элементов привода:

- в области низких частот наблюдаются оборотные и кратные им составляющие всех валов кинематической цепи;
- в области пересопряжения зубьев наблюдаются зубцовые, кратные им составляющие целого ряда зубчатых колес.

Для упрощения процедуры анализа характеристик разработана программа обработки результатов измерений - выявления амплитуд характерных частотных составляющих при работе зубчатого привода. На основе имеющихся шагов к формализации процесса применения диагностических признаков [1,2], приведены оригинальные интегральные показатели:

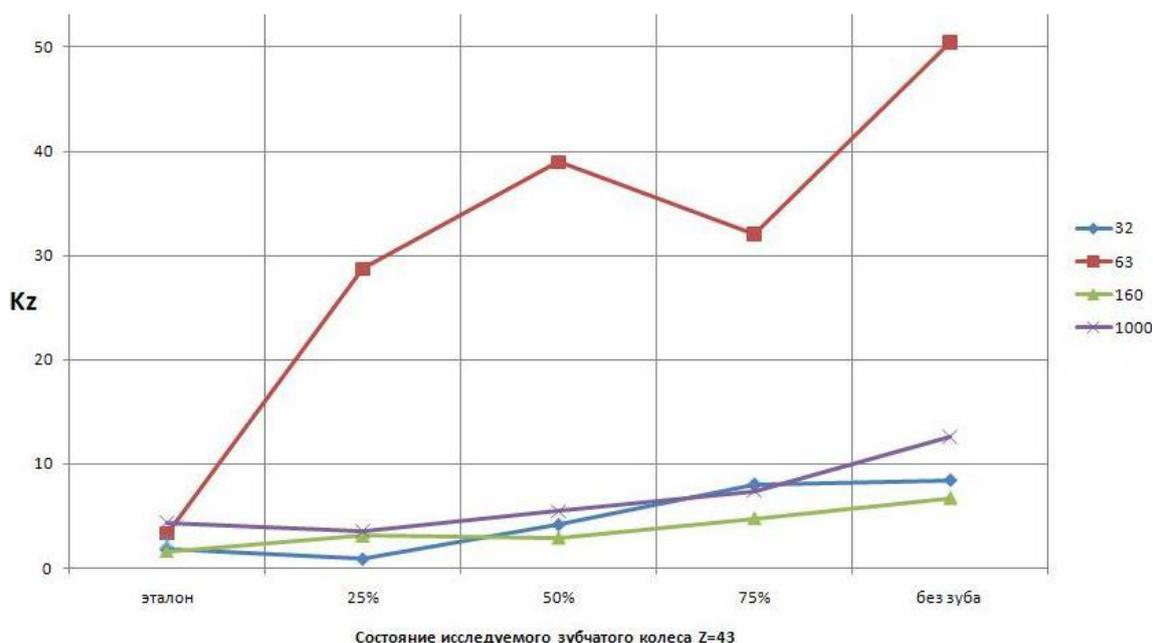
- соотношение суммы амплитуд кратных зубцовых гармоник анализируемого колеса к амплитуде кратных зубцовых гармоник эталонного колеса  $K_z$ :

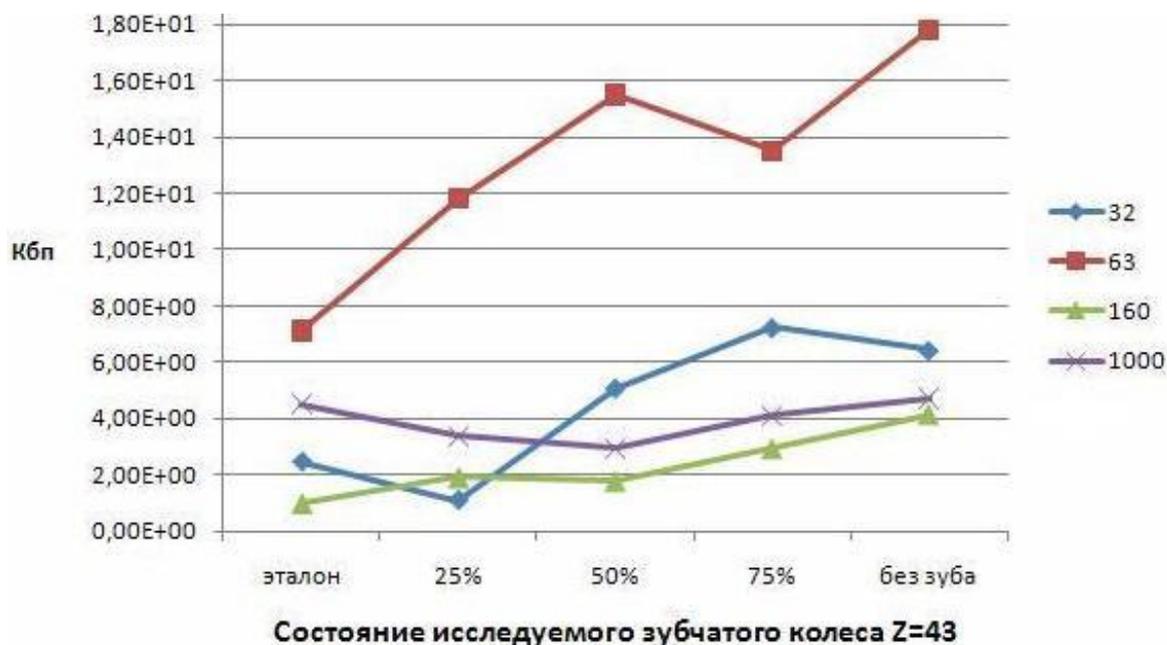
$$K_z = \frac{\sum_{i=1}^5 A(f_{zi})}{A(f_{zi})_{\text{эт}}};$$

- соотношение сумм амплитуд комбинированных частот анализируемого колеса к сумме амплитуд оборотных частот эталонного колеса  $K_{\text{оп}}$ :

$$K_{\text{оп}} = \frac{\sum_{i=1}^5 A(f_{zi} \pm n f_o)}{\sum_{i=1}^5 A(f_o)_{\text{эт}}}.$$

Результаты, полученные при использовании серийных колес, приняты в качестве эталонных. На экспериментальной шестерне  $Z=43$ , находящейся на валу II, моделировался скол зуба (25%, 50% и 75% части зуба, и без зуба) как наиболее распространенный дефект.





**Рисунок 1 - Диаграммы изменения показателей  $K_z$  и  $K_{бп1}$  для колеса  $Z=43$  на различных передачах и при различной степени развитости дефекта**

По результатам анализа величин предлагаемых показателей можно сделать следующие выводы:

- изменение величины относительного коэффициента  $K_z$  по сравнению с показателем эталонного колеса, свидетельствует о наличии в акустическом сигнале относительно высокоамплитудных гармоник на частотах кратных зубцовой частоте исследуемой шестерни. Причиной такого распределения амплитуд является возникновение локального дефекта, а с ростом его развитости происходит более интенсивный рост амплитуд на данных частотах [1,2];

- изменение величины относительного коэффициента  $K_{бп1}$  по сравнению с показателями эталонного колеса, свидетельствует о более высоких амплитудах боковых комбинированных частот к амплитуде оборотной частоты эталонного колеса  $f_0$ . Это возможно при отклонении от нормального состояния исследуемой шестерни из-за потери рабочих поверхностей зубьев своих первоначальных эксплуатационных характеристик, что приводит в дальнейшем к возникновению погрешности профиля [1,2].

Таким образом, рост величины интегральных показателей  $K_z$  и  $K_{бп1}$  спектра акустического сигнала свидетельствует об изменении текущего состояния исследуемого объекта, а их обработка менее трудоёмка по сравнению с анализом непосредственно полученного спектра.

#### **Список цитированных источников**

1. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. -159 с.
2. Anil Jacob and Dr. Y. I. Sharaf-Eldeen. Диагностирование зубчатой передачи с помощью нового метода контроля состояния роторного оборудования: Перевод с англ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vibration.ru/d\\_zub\\_peredach.shtml](http://www.vibration.ru/d_zub_peredach.shtml).
3. Драган, А.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А.В. Драган, И.П. Стецко, Д.А. Ромашко, Н.В. Левкович // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. – №4. – С. 17 – 26.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СУБПРОДУКТОВ. ИНФОРМАЦИОННО - АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

**Введение.** Субпродукты (далее с/п) - это внутренние органы и части животного организма, получаемые при переработке крупного и мелкого рогатого скота и свиней. С/п различают по виду убойного скота, его упитанности, термическому состоянию, строению и составу основных тканей, пищевой ценности. На конструкцию обрабатывающего оборудования влияют особенности строения с/п, по которым все они подразделяются на 4 группы:

- мякотные - ливер (печень, сердце, легкие, диафрагма, трахея с горлом), почки, селезенка, мясная обрезь, вымя, язык и мозги;
- мясокостные – головы КРС, мясокостные хвосты, цевки;
- слизистые (с/п, имеющие слизистую оболочку) - рубцы, книжки и сычуги крупного рогатого скота, рубцы мелкого рогатого скота и свиные желудки;
- шерстные - головы свиные, бараньи, путовый сустав крупного рогатого скота, ножки свиные и бараньи, губы говяжьи, уши свиные и говяжьи, хвосты свиные. Обработанные субпродукты (далее с/п) являются сырьем для изготовления ливерных и кровяных колбас, паштетов, зельцов и сальтисонов, холодца и других продуктов. Эта продукция пользуется спросом у населения, особенно в России, Украине, Беларуси, Грузии и Армении. Слизистые с/п, кроме того, используются в качестве натуральной оболочки в колбасном производстве.

В Советском Союзе насчитывалось около 1200 мясоперерабатывающих предприятий (мясокомбинаты, мясожировые и мясоперерабатывающие производства). Все они были оснащены центрифугами (далее цтф) для обработки шерстных и слизистых с/п одного типоразмера производства Вологодского машзавода. Сегодня в РФ создаются новые животноводческие предприятия, при которых строятся мясожировые производства различной мощности от 16 голов свиней до 400 в час и от 5 голов КРС до 100 голов в час, для которых необходимы цтф различных типоразмеров, с программным управлением режимами работы, а также поточно-механизированные линии на базе этих цтф.

В РБ имеется 23 мясокомбината различной мощности, в состав которых входят мясожировые производства с участками обработки с/п. На мясокомбинатах выполняются работы по модернизации и реконструкции мясожировых производств, с применением комплексных технологических линий различной мощности. В каждом райцентре имеются мясожировые производства, находящиеся в подчинении Белкоопсоюза. Это свыше 120 предприятий. Почти каждое крупное животноводческое хозяйство имеет свой мясожировой цех. Кроме того имеются частные мясожировые предприятия.

Изготавливаемые сегодня в странах СНГ цтф не удовлетворяют потребности мясоперерабатывающей промышленности ни по производительности, ни по техническому уровню.

**Объект исследования.** Объектом исследований являются цтф для обработки шерстных и слизистых с/п.

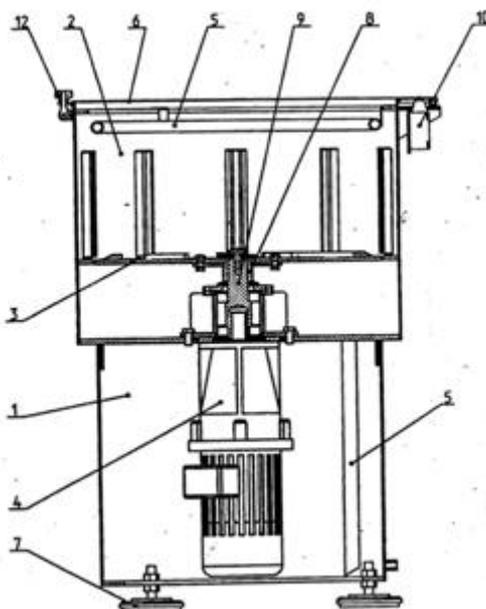
**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является определение уровня технологического оборудования для обработки шерстных и слизистых с/п в Республике Беларусь и странах СНГ и перспективы его развития.

### Основная часть.

В странах СНГ обработка с/п производится на мясожировом производстве. При этом мякотные с/п допускается обрабатывать в помещении, где производится разделка туш и подготовка мяса на кости к холодильной обработке, а шерстные и слизистые с/п должны обрабатываться в отдельных помещениях.

В результате проведенных исследований изучен состав, технические характеристики и принцип действия 3-х технологических линий для обработки слизистых с/п и 4-х линий для обработки шерстных с/п, основной машиной которых являются цтф. Изучены конструкции и принцип действия 8-ми цтф, как для шерстных, так и для слизистых с/п.

Цтф для шерстных и слизистых с/п конструктивно похожи друг на друга и отличаются между собой только конструктивными элементами вращающегося ротора 3 (рисунок 1) и внутренней поверхности барабана 2. У всех отечественных цтф принцип работы один и тот же и основан на том, что отделение от с/п поверхностных слоев (эпидермиса), волоса или щетины у шерстных, слизистой оболочки у слизистых происходит в результате трения с/п между собой и о поверхность рабочих элементов оборудования. Рабочими элементами являются ребра, приваренные на вращающемся роторе 3 и неподвижном корпусе барабана 2. Отличие конструкций цтф для шерстных с/п от центрифуг для слизистых заключается лишь в том, что кромки ребер в цтф для шерстных с/п выполнены с закруглениями (с радиусами), а в цтф для слизистых без закруглений. Кроме этого окружная скорость ротора в цтф для слизистых с/п выше, чем у цтф для шерстных с/п.



1 – станина; 2 – барабан; 3 – ротор; 4 – планетарный мотор-редуктор;  
5 – трубопровод; 6 – крышка; 7 – опора; 8 – стакан; 9 – вал;  
10 – выключатель; 12 – запирающее устройство

**Рисунок 1 – Цтф БАА-ФОШ и БАА-ФОС емкостью одновременной загрузки 25 кг**

### Современное состояние развития оборудования для обработки шерстных и слизистых субпродуктов в странах СНГ

В СНГ четыре предприятия (все они находятся в РБ) выпускают цтф по разовым заказам, в основном одного типоразмера для мясожировых производств малой мощности, в том числе и ОАО «Брестмаш». Причем цтф, выпускаемые ОАО «Брестмаш», уступают конкурентам по занимаемой площади и

материалоемкости и, соответственно, по себестоимости. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Компании СНГ изготовители оборудования для обработки с/п

№ п/п	Наименование компании	Наименование и марки моделей	Примечание
1	ОАО «Брестмаш» (РБ)	Цтф В2-ФОШ и В2-ФОС емкостью единовременной загрузки барабана 25 кг	
2	Вологодский машзавод (РФ)	Цтф Г6-ФЗС и Г6-ФЗШ емкостью единовременной загрузки барабана 100 кг	Прекратил выпуск в начале 90-х годов. Центрифуги используются до сих пор.
3	ООО «Ирлеон» (РБ)	Цтф БАА-ФОШ и БАА-ФОС емкостью единовременной загрузки 25 кг	Изготавливает по индивидуальным заказам по документации ООО «Белагроавакс».
4	М-Маш (РБ)	Центрифуги емкостью единовременной загрузки барабана 25 кг и 45 кг.	
5	ООО «АгроПищеПром»	Цтф емкостью единовременной загрузки барабана 25 кг и 100 кг.	

### **Анализ отечественного оборудования для обработки шерстных и слизистых с/п.**

В результате исследования отечественного оборудования для обработки с/п можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время в странах СНГ никто не занимается разработкой и изготовлением технологических линий для обработки шерстных и слизистых с/п;
- в настоящее время в странах СНГ изготавливаются цтф только малой производительности (емкостью барабана не более 45 кг);
- у всех отечественных цтф принцип работы один и тот же;
- у всех отечественных цтф отсутствует программное управление режимами обработки и регулируемый привод.

### **Особенности развития оборудования для обработки с/п за рубежом.**

В Европейском Союзе запрещается обрабатывать шерстные и слизистые с/п на предприятии, где обрабатывается мясо. Также как запрещается обрабатывать и другие продукты убоя: кровь, шкуру, жир, не пищевое сырье и др. Продукты убоя на хладобойнях собирают и отгружают на утильзаводы или на специализированные предприятия для дальнейшей переработки. Поэтому оборудование для переработки с/п не развито настолько, насколько развито оборудование для убоя и разделки скота, а также мясоперерабатывающее оборудование. Те модели, которые изготавливаются в Европе, очень высокопроизводительные, потому что предназначены для переработки больших объемов с/п на специализированных предприятиях.

### **Состояние развития оборудования для обработки с/п в европейских странах.**

В результате проведенных исследований изучены конструкции и принцип действия 17 моделей цтф для обработки шерстных и слизистых с/п производ-

ства шести европейских стран. Конструкция цтф европейского производства так же как и отечественного, однотипная. Отличаются они между собой только конструкцией ротора (рисунок 2) и внутренней поверхности барабана, для обработки различных видов с/п. Принцип действия всех цтф одинаков и такой же, как у отечественных цтф. В то же время европейские цтф, в отличие от отечественных, оснащены регулируемым приводом ротора, регулируемой системой подачи воды, автоматической системой выгрузки готового продукта и программной системой управления. В цтф европейских компаний барабан устанавливается на станине шарнирно (рисунок 2) с возможностью откидываться для обеспечения свободного доступа к ротору при санитарной обработке и крепится к станине прижимами.



**Рисунок 2 – Конструкции роторов**  
 а) для шерстных с/п; б) для слизистых с/п; в) для мякотных с/п



**Рисунок 3 – Цтф компании Ollari&Conti**

В таблице 2 приведены ведущие европейские компании – изготовители оборудования для обработки с/п.

Таблица 2 - Ведущие зарубежные изготовители оборудования для обработки с/п

№ п/п	Наименование компании	Страна	Изготавливаемое оборудование
1	Ollari&Conti	Италия	Технологические линии и цтф для обработки шерстных и слизистых с/п.
2	HoldijkHaamberg	Германия	Цтф для обработки слизистых с/п .
3	FIBOSA	Испания	Цтф для обработки шерстных и слизистых с/п
4	Laparmentiere	Франция	Технологические линии и цтф для обработки слизистых с/п.
5	Baumann	Германия	Цтф для слизистых с/п
6	Revic	Польша	Цтф для слизистых с/п

**Анализ конструкций зарубежных моделей оборудования для обработки с/п.** В результате исследования зарубежного оборудования для обработки с/п и сравнения их с оборудованием изготавливаемых в странах СНГ можно отметить следующее:

-относительно небольшое число компаний – изготовителей технологического оборудования для обработки шерстных и слизистых с/п, причем в основном изготавливается оборудование для обработки слизистых с/п, что подтверждает информацию о том, что шерстные с/п подлежат в основном утилизации (только две компании выпускают цтф и для шерстных и слизистых с/п);

-зарубежное оборудование оснащено устройствами программного управления, позволяющими выполнять автоматически обработку сырья одной загрузки на различных режимах (автоматически по программе меняются режимы температуры подаваемой воды, скорость вращения ротора и время обработки при каждой операции);

-зарубежное оборудование оснащено механизированными и автоматизированными средствами загрузки и выгрузки сырья и продукта;

-для обработки с/п различных видов применяется регулируемый привод ротора, роторы и барабаны различных конструкций.

**Выводы.** Выпускаемые в настоящее время отечественные цтф предназначены для мясожировых производств только малой мощности и не обеспечивают потребности мясной отрасли. Развитие мясожировых производств различной мощности на данном этапе требует применения для обработки шерстных и слизистых с/п гаммы цтф, отличающихся типоразмерами и исполнением по автоматическому регулированию режимами работы и механизации и автоматизации загрузочно-разгрузочных операций.

Учитывая незначительные конструктивные особенности цтф для обработки с/п различных видов, необходимо применять для малых мясожировых производств универсальные цтф с целью снижения номенклатуры применяемого технологического оборудования и снижения производственных затрат.

**Предложения.** Предлагается выполнить комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ:

- произвести модернизацию конструкторской документации на цтф, выпускаемые ОАО «Брестмаш», с целью уменьшения занимаемой площади и снижения их материалоемкости и себестоимости;

- определить оптимальные режимы обработки с/п различных видов и необходимые типоразмеры цтф с целью получения исходных данных для разработки гаммы цтф с целью оснащения мясожировых предприятий разной мощности;

- разработать конструкторскую документацию на универсальную цтф для обработки и с/п различных видов с целью снижения номенклатуры применяемого технологического оборудования и снижения производственных затрат на мясожировых предприятиях малой и средней мощности;

- разработать цтф различной производительности для оснащения мясожировых предприятий разной мощности;

- разработать технологические линии на базе цтф для оснащения мясожировых предприятий разной мощности.

**Ожидаемая эффективность.** Выполнение комплекса предлагаемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и освоение его результатов на ОАО «Брестмаш» и других предприятиях Республики Беларусь обеспечит:

- выпуск конкурентно способной продукции;
- сокращение импорта зарубежных цтф;
- увеличение экспорта оборудования в страны СНГ.

**Заключение.** Рассмотрены современное состояние оборудования в странах СНГ и особенности развития его за рубежом. Проанализированы перспективы развития центрифуг в Республике Беларусь и странах СНГ и даны рекомендации для дальнейшего совершенствования техники и технологии обработки шерстных и слизистых с/п.

Работа представляет интерес для специалистов мясоперерабатывающей отрасли, а также для предприятий-разработчиков, изготовителей и поставщиков технологического оборудования для обработки шерстных и слизистых с/п.

#### **Список цитированных источников**

1. Мясожировое производство: убой животных, обработка туш и побочного сырья / Под ред. А.Б. Лисицына. – М.: ВНИИ мясной промышленности, 2007.
2. Шаршунов, В.А. Технологическое оборудование мясоперерабатывающих предприятий / В.А. Шаршунов, И.М. Кирик. – Минск: Мисанта, 2012.
3. Паспорт на цтф для обработки слизистых и шерстных с/п моделей БАА-ФОС и БАА\_ФОШ.
4. Оборудование для мясной и птицеперерабатывающей промышленности. Отраслевой каталог. ЦНИИТЭИлегпищемаш. – Москва, 1986.
5. Паспорт на цтф для обработки слизистых и шерстных с/п моделей В2-ФОС и В2-ФОШ ОАО «Брестмаш».
6. Руководство по эксплуатации и обслуживанию цтф для обработки шерстных с/п модели D45 компании «Ollarie&Conti» (Италия).
7. Руководство по эксплуатации и обслуживанию автоматической линии для обработки слизистых с/п модели «R35 + R30 inlin» компании «Ollarie&Conti» (Италия).
10. Руководство по эксплуатации и обслуживанию автоматической линии для обработки слизистых с/п компании «LaParmentiereP. Blache&Compagnie» S.A. (Франция).

УДК 664.9

**Кухарук Е.С., Титовец Р.А.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Ляшук Н.У.**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ С/П РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ**

### **1. Общие данные**

**Введение.** На конструкцию обрабатываемого оборудования влияют особенности структуры и строения субпродуктов (далее с/п), по которым они подразделяются на 4 вида:

- мякотные - ливер (печень, сердце, легкие, диафрагма, трахея с горлом), почки, селезенка, мясная обрезь, вымя, язык и мозги;
- мясокостные – головы КРС, мясокостные хвосты, цевки;
- слизистые (далее С.) - рубцы, книжки и сычуги крупного рогатого скота, рубцы мелкого рогатого скота и свиные желудки;
- шерстные (далее Ш.) - головы свиные, бараньи, путовый сустав крупного рогатого скота, ножки свиные и бараньи, губы говяжьи, уши свиные и говяжьи, хвосты свиные. С/п, входящие в каждый вид, также отличаются друг от друга строением и структурой. Для разработки гаммы центрифуг (далее цтф) раз-

личной производительности необходимо знать оптимальные режимы обработки с/п разных видов. Весь объем исследований планируется выполнить в три этапа (таблица 1). В настоящей работе представлена программа и методика выполнения исследований и результаты выполнения первого этапа.

**Цель исследований.** Целью настоящей работы является получение экспериментальным путем данных оптимальных режимов обработки с/п различных видов на цтф, а также выбора оптимальной конструкции рабочих органов цтф, для каждого вида с/п.

**Объект исследования.** Объектом исследования являются цтф отечественного и зарубежного производства, оснащенные регулируемым приводом и пультом программного управления и находящиеся в эксплуатации на мясокомбинатах Брестской области, указанные в таблице 1.

**Требования, предъявления к качеству обработанных с/п.** С/п должны быть без признаков порчи, тщательно очищенные от загрязнений, соответствующими определенным требованиям по качеству обработки и органолептическим показателям (консистенции, цвету, структуре, форме). Качество обработки должно соответствовать с ОСТ 4954—73(стандарт на обработанные мясные субпродукты) [1].

**Параметры режимов обработки с/п.** Режимы обладают следующими параметрами:

- время обработки;
- температура воды, подаваемой в цтф для обработки;
- окружная скорость вращения ротора.

Кроме того, на качество обработки с/п оказывает влияние конструкция ротора и барабана.

Так как время обработки и температура воды подаваемой в цтф для обработки в каждой операции устанавливается технологической инструкцией и задается программным устройством, то экспериментальному исследованию подлежит окружная скорость вращения ротора, которая в свою очередь влияет на технические характеристики цтф, а также влияние конструктивных особенностей ротора и барабана на качество обработки с/п.

## 2. Программа выполнения исследований

Исследования проводятся во время прохождения студентами практики на мясокомбинатах Брестской области, где эксплуатируются цтф, оснащенные регулируемым приводом и пультом программного управления. Весь объем исследований планируется выполнить в три этапа для с/п и с использованием цтф, указанных в таблице 1. В настоящей работе представлены результаты исследований, выполненных на первом этапе.

Таблица 1 - Программа выполнения исследований

№ этапа	Наименование мясокомбината	Исследуемые с/п	Модели оборудования	Сроки выполнения исследований
1	ОАО «Брестский мясокомбинат	Ш. - свиные ноги и уши, а также говяжьи губы и уши; С. – книжка КРС	D45 «Ollari&Conti» P35 + P30	Июль-октябрь 2015
2	ОАО «Березовский мясоконсервный комб.»	Остальные Ш. и С. с/п	цтф компании «Laparmentiere»	Июль-октябрь 2016
3	ОАО «Кобринский мясокомбинат»	Остальные Ш. и С. с/п	цтф компании «Ollari&Conti»	Июль-октябрь 2016

### 3. Методика проведения исследований

Исследования выполняются с использованием цтф, оснащенных регулируемым приводом и устройством программного управления режимами обработки с/п. Исследуемые с/п на первом этапе указаны в таблице 1. С/п, которые будут исследованы на этапе 2 и 3, будут согласованы с руководством мясокомбинатов дополнительно перед началом практики студентов. Перед началом исследования соответствующего вида с/п на пульте программного управления устанавливается соответствующая программа, которая учитывает требуемые температуры обрабатываемой воды для каждой операции, время выполнения каждой операции и цикла в целом в соответствии с технологической инструкцией:

- продолжительность шпарки и обезволаживания Ш. с/п 9-15 мин. при температуре воды 65...68 °С, продолжительность очистки после шпарки Ш. с/п 2-3 мин. в холодной воде [2];

- продолжительность шпарки С. с/п 6-7 мин. при температуре воды 66-78 °С, продолжительность очистки после шпарки С. с/п 2-3 мин. [2];

- коэффициент загрузки барабана цтф Ш. с/п – 0,60...0,62; для С. с/п – 0,10...0,15 [2]

Ознакомившись с принципом работы и техническими характеристиками цтф установлено: С. с/п обрабатываются с частотой вращения ротора 170...224 об/мин [3]; Ш. с/п обрабатываются с частотой вращения ротора 90...180 об/мин. [4].

Частота вращения ротора зависит от геометрических размеров цтф и конструктивных особенностей рабочих органов. Так как в существующих цтф нет возможности менять ротор, то используем рекомендации компаний - изготовителей, какой ротор применять для определенного вида с/п [3,4].

Устанавливаем цикличность изменения частоты вращения ротора 10 об/мин. Включаем цтф и производим обработку соответствующих с/п. Определяем по дисплею пульта программного управления установившиеся обороты ротора. Затем определяем окружную скорость обработки по формуле:

$$v = \omega \cdot r, \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

где  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$  - угловая скорость ротора, с<sup>-1</sup>;

$n$  - частота вращения ротора, об/мин.;

$r$  - радиус ротора, м.

После чего выгружаем обработанные с/п и производим органолептический анализ продукта (целостность структуры, качество обработки). Результат заносим в таблицу, форма которой указана ниже.

Форма таблицы результатов исследований

Наим-е с/п	Угловая частота ротора, об/мин	Окружная скорость ротора, м/с	Консистенция	Цвет	Целостность (структура)	Качество обработки
---------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------	------	-------------------------	--------------------

### 4. Результаты исследований

**Исследования по определению оптимальных режимов обработки С. с/п.** Исследования проводились на обработке книжек КРС с частотой вращения ротора  $n = 170...210$  об/мин. с цикличностью изменения 10 об/мин. После каждой обработки сырья проводился органолептический анализ продукта (проверялась целостность структуры, качество обработки). Данные проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Опытные данные проведенных исследований обработки С. с/п

Наим-е с/п	Угловая частота ротора, об/мин	Окружная скорость ротора, м/с	Консистенция	Цвет	Целостность (структура)	Качество обработки
Книжка КРС	170	8,44	плотная	Серый, с кровавыми пятнами	Без изменений	Не очищена от слизистой оболочки
	180	11,7	Слегка эластичная	Серый, без кровавых пятен	Без изменений	Слизистая оболочка отделяется не полностью
	190	12,33	Плотная, эластичная	Серовато-белый	Соответствует готовому продукту	тщательно обезжирена
	200	12,98	Эластичная местами рыхлая	Серовато-белый	Теряется форма	Неудовлетворительное
	210	13,63	Рыхлая	Серый, с белыми пятнами	разбивается на куски, многочисленные порезы	Неудовлетворительное

**Вывод:** при окружной скорости ротора 12,33 м/с обработка книжек КРС проводилась качественно: слизистая оболочка полностью отделялась от готового продукта, сохранялась целостность структуры, консистенция книжек эластичная, защищена от бахромок.

**Исследования по определению оптимальных режимов обработки Ш. с/п.** Исследования проводились на обработке свиных ножек и свиных ушей с частотой вращения ротора  $n = 120 - 200$  об/мин. с цикличностью изменения 20 об/мин. После каждой обработки сырья проводился органолептический анализ продукта (проверялась целостность структуры, качество обработки). Описание проведенных исследований представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Опытные данные проведенных исследований Ш. с/п

Наим-е обработ. продукта	Обороты ротора, об/мин	Окружная скорость ротора, м/с	Консистенция	Целостность структуры	Качество обработки
свиные ноги и уши	120	6,8	плотная	Форма не меняется	Наблюдаются следы крови, щетины;
	140	8,65	плотная	Форма не меняется	Наблюдается незначительное отбеливание продукта
	160	9,88	плотная	Соответствует готовому продукту	качественное отделение эпидермиса(отбеливание) ушей и ножек,
	180	11,43	рыхлая	с/п разбивает на части	Неудовлетворительно
	200	12,36	рыхлая	с/п теряют целостность	Неудовлетворительно

**Вывод:** при окружной скорости ротора  $v = 9,88$  м/с производится качественная обработка свиных ножек и свиных ушей.

**Особенности конструкции рабочих органов цтф.** Главными рабочими органами цтф является ротор и барабан, непосредственно участвующие в процессе очистки субпродуктов от грязи и шлама. Для обработки С. с/п применяют 2 типа роторов:

– лучевой (рисунок 1), состоящий из стального диска и обода, сваренного между собой стальными прутьями и имеющих насечки на прутьях на поверхности соприкосновения с сырьем;

– абразивный, состоящий из стальной чаши, заполненной мелкозернистым абразивом, имеющей выпуклые бугры на поверхности.

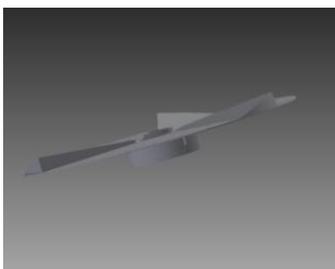
Для оптимальной обработки С.с/п необходимо применять барабан, на внутренней стенке которого приварены выпуклые и прямые ребра толщиной 10 мм (рисунок 3). Для обработки Ш. с/п применяют 2 типа роторов:

– лепестковый (рисунок 2), состоящий из сплошного стального диска, на который наварены лепестки и имеющий множество отверстий, через которые удаляется шлам;

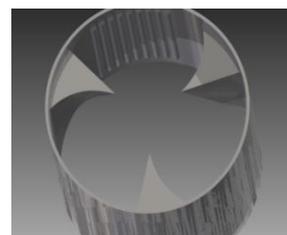
– ротор с наваренными ребрами, расположенными под углом.



**Рисунок 1 – Лучевой ротор для обработки С. с/п**



**Рисунок 2– 3D-модель лепесткового ротора для обработки Ш. с/п**



**Рисунок 3– 3D-модель барабана для обработки С. с/п**

Для оптимальной обработки Ш.с/п необходимо применять барабан, на стенке внутренней части которого приварены пространственные выпуклые ребра. Внутренняя часть барабана имеет перфорированную поверхность.

Каждый ротор и барабан центрифуги подбирается конструктивно, учитывая процесс обработки сырья и влияние рабочих органов на структуру сырья при обработке. Для лучшего удаления шлама и грязи в процессе обработки субпродуктов к нижней части ротора приваривается болт или пластины. Конфигурация и форма ребер у каждой центрифуги своя. Для обработки С. с/п применяются ребра с острыми кромками, а для обработки Ш. с/п – со сглаженными ребрами.

## **5. Заключение**

1. Исследованы оптимальные режимы обработки отдельных с/п и установлено:

- для обработки книжек КРС необходимо применять обработку с окружной скоростью ротора  $v = 12,33$  м/с, использовать лучевой ротор, а также конструкцию барабана цтф – с наваренными ребрами;

- для обработки свиных ног и ушей необходимо применять обработку с окружной скоростью ротора  $v = 9,88$  м/с, использовать лепестковый ротор, а также конструкцию барабана цтф – с наваренными выпуклыми ребрами.

2. Для выполнения исследований в полном объеме необходимо изготовить опытный образец универсальной центрифуги, укомплектованной роторами различных конструкций, оснащенный регулируемым приводом и устройством программного управления режимами обработки с/п.

#### **Список цитированных источников**

1. ОСТ 4954—73 Стандарт на обработанные мясные субпродукты.
2. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности.
3. Руководство по эксплуатации и обслуживанию центрифуги для обработки шерстных субпродуктов модели D45 компании «Ollarie&Conti» (Италия).
4. Руководство по эксплуатации и обслуживанию автоматической линии для обработки слизистых субпродуктов модели «P35 + R30 inline» компании «Ollarie&Conti» (Италия).

УДК 621

**Марченя Д.Н.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Добрияник Ю.А.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ УЗЛА ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИБОЧНОГО СТАНКА**

Целью настоящей работы является исследование и выявление причин неоднократного разрыва вала гидроцилиндра привода главного движения (ПГД) на гидравлическом листогибочном станке MVD INAN серии CNCNAP (производства Турции) для гибки сложных изделий, к которым предъявляются высокие требования по точности и качеству. С данной проблематикой столкнулись специалисты металлообрабатывающего предприятия СООО "СтальПродукт-Инвест", которая и была совместно решена учебно-производственными мастерскими (УПМ) и кафедрой машиноведения.

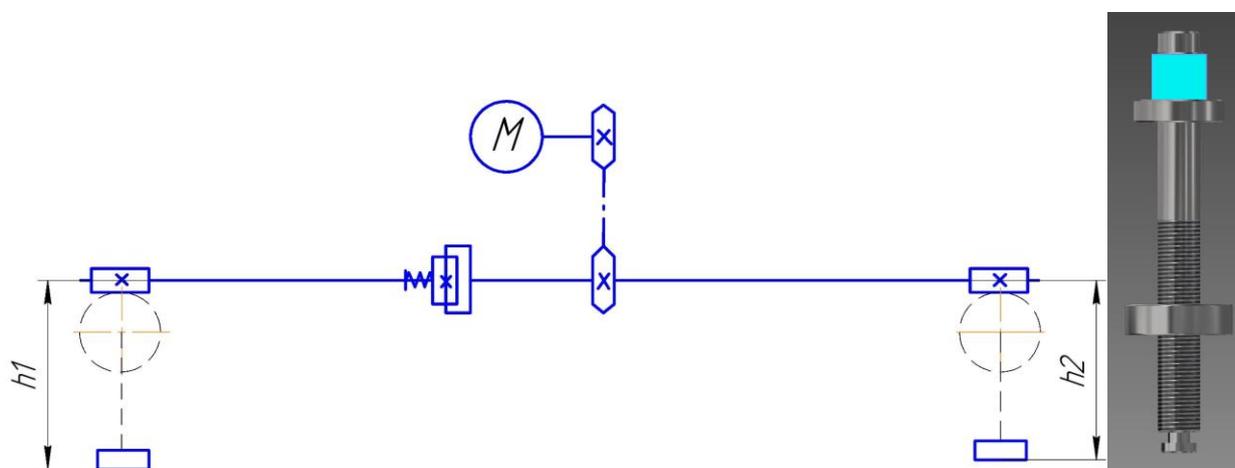
За последние четыре года эксплуатации гибочного станка происходили неоднократные разрывы вала (рисунок 1) гидроцилиндра ПГД. Предприятие СООО "СтальПродукт-Инвест" специализируется на изготовлении и производстве оборудования для нужд мясо-молочной промышленности и аграрной отрасли из нержавеющей стали в Республике Беларусь. Данный вид оборудования на предприятии работает в две смены и при полной загрузке, поэтому его поломки, а соответственно и незапланированные простои обходятся достаточно дорого. После первой поломки были приглашены специалисты с сервисного центра (г. Минск), которые поменяли вал, однако через полгода вал разорвало снова. Для выяснения причины разрушения данного узла учебно-производственными мастерскими совместно с кафедрой машиноведения был проведен полный системный анализ и в дальнейшем сделаны соответствующие выводы.



**Рисунок 1 – Вал гидроцилиндра**

При помощи Autodesk Inventor Professional получили точные физические параметры вала ПГД, которые в дальнейшем использовали для дальнейшего анализа:  $m = 6,40631$  кг,  $S = 91233,5$  мм<sup>2</sup>,  $V = 816090$  мм<sup>3</sup>, центр масс  $x = -74,5803$  мм;  $y = 34,0596$  мм;  $z = -33,8386$  мм,  $\rho = 7,85$  г/см<sup>3</sup>,  $\sigma_p = 448$  МПа.  $\sigma_T = 275,8$  МПа,  $E = 200$  ГПа. Материал вала – сталь 40Х (ГОСТ4543-71) – это конструкционная легированная сталь, содержащая от 0,36 % до 0,44 % углерода и хрома в интервале от 0,8% до 1,1% [1]. Эквивалентами стали 40Х являются стали: 45Х, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР. Область применения этой стали довольно разнообразен, хоть и сводится в большинстве своем к созданию из неё деталей вращения, таких как: валы, оси, плунжеры, вал-шестерни, штоки, коленчатые и кулачковые валы, кольца, рейки, шпиндели, зубчатые венцы, оправки, полуоси, втулки и многие другие детали повышенной прочности, подвергающихся улучшению [1]. В частности данная сталь часто применяется для изготовления нерабочих элементов составного режущего инструмента и в некоторых случаях при производстве крепежа, применяемого на открытом воздухе в случаях строительства автомобильных и железнодорожных мостов в местностях с северным климатом.

Для данного оборудования настройка стопорных гаек имеет ключевое значение, так как в зависимости от их высотного положения настраивается высота опускания рабочего органа станка, что влияет на угол загиба материала. Настройка осуществляется за счет электродвигателя, кинематически связанного с исследуемым валом. Принципиальная схема приведена на рисунке 2.

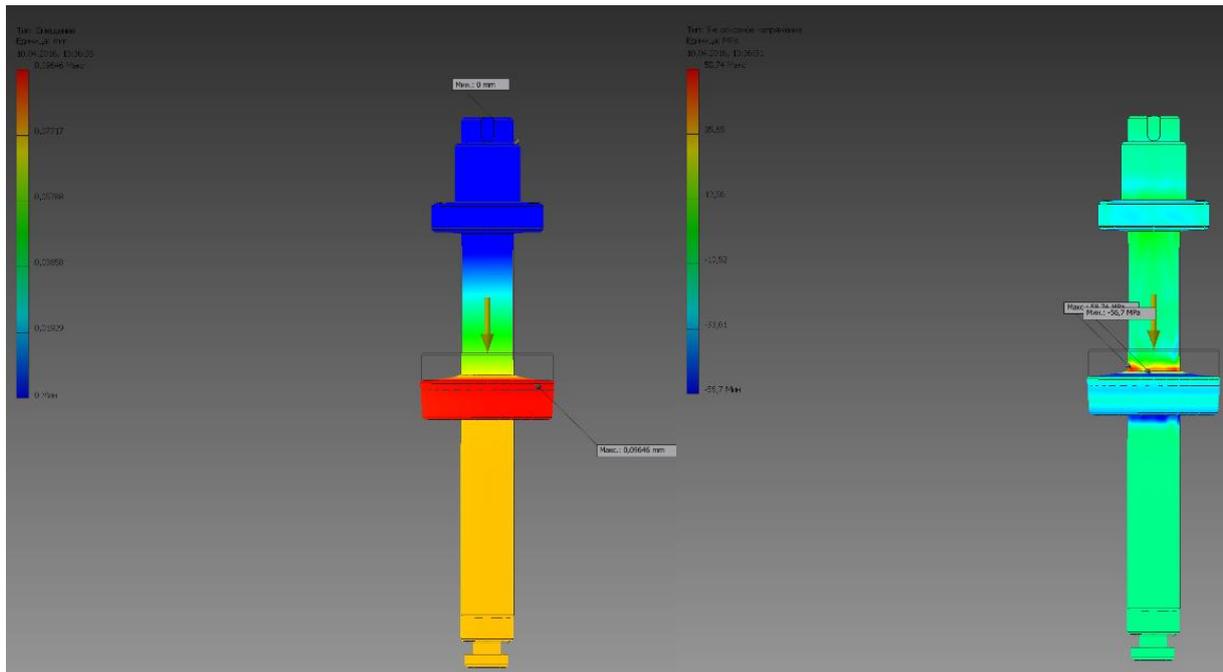


**Рисунок 2 – Упрощенная кинематическая схема настройки и поверхность закрепления вала**

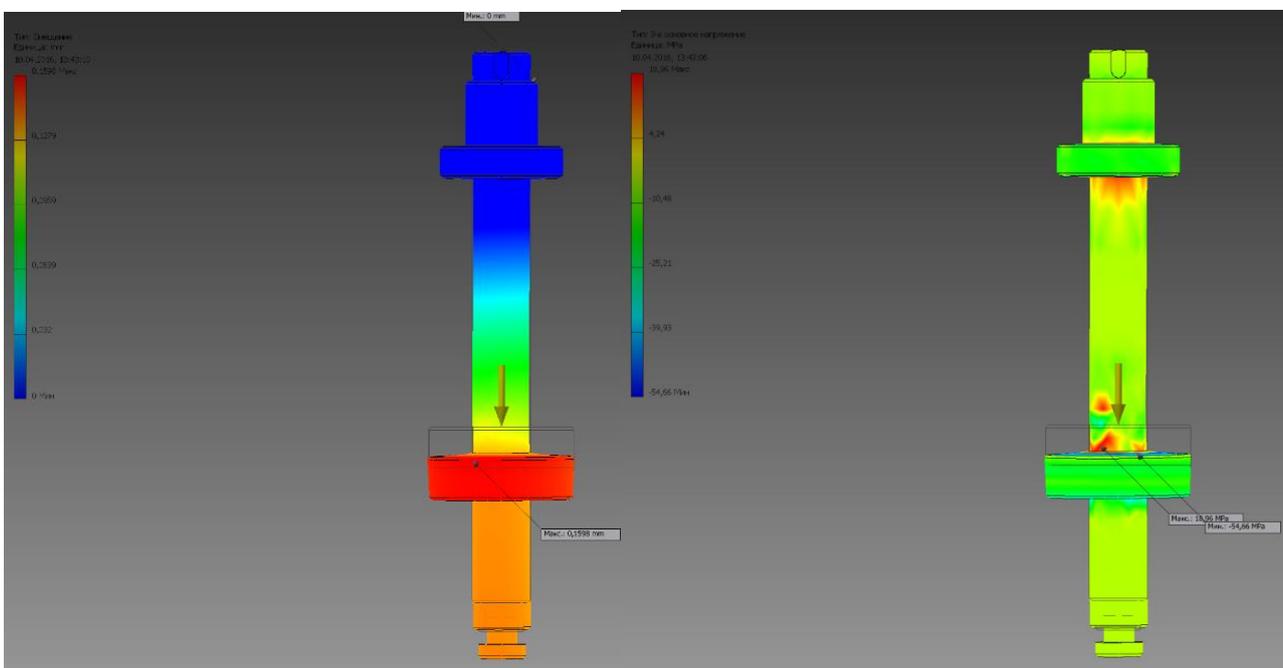
Системный анализ был проведен при помощи программы Autodesk Inventor Professional [2] путем приложения максимально возможной нагрузки равной 160 кН для проверки его на растяжение, а так же приложение угловой силы к стопорной гайке для проверки данного вала на изгиб. Исходя из конструкции данного станка, поверхностью закрепления вала является верхняя ступень вала диаметром 50 мм (рисунок 2).

Проведем три вида нагружения и исследуем каждое из них. В первом случае нагружение было проведено, когда стопорная гайка была в крайнем верхнем положении относительно резьбы (рисунок 3), и полученные результаты

занесем в таблицу 1. Второй случай – при среднем расположении гайки (рисунок 4), и третий – при нижнем расположении стопорной гайки, результаты сводим в таблицу 1.



**Рисунок 3 – Проверка на растяжение при верхнем расположении гайки**

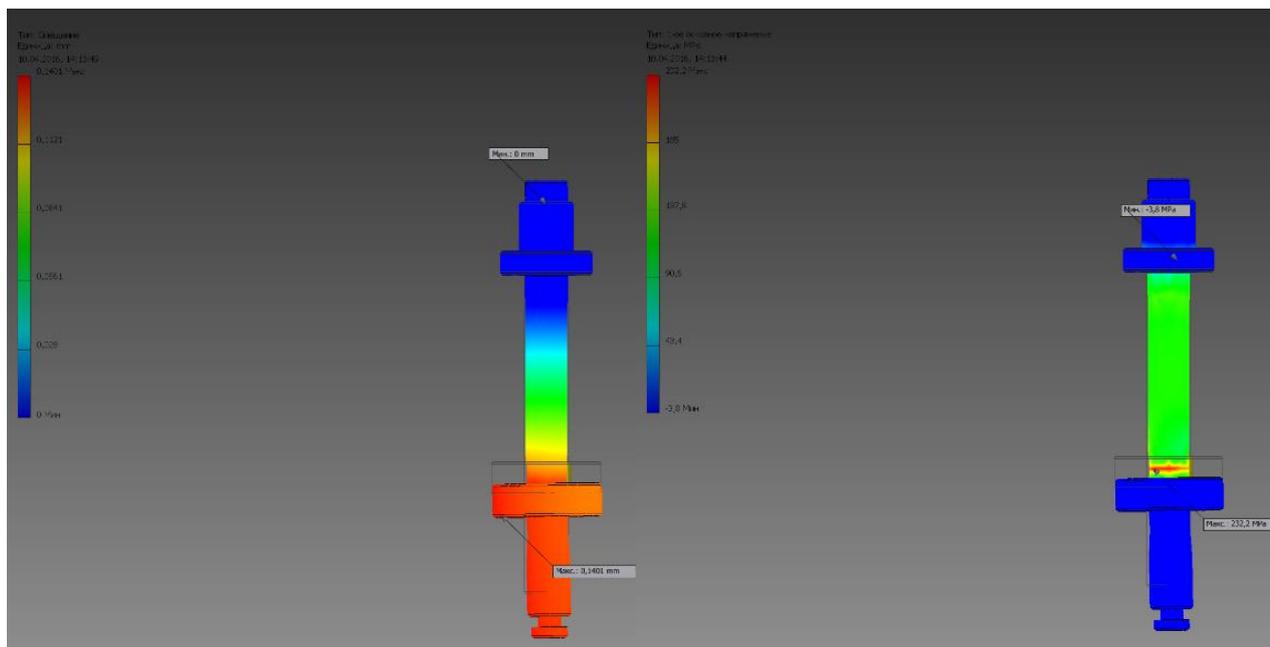


**Рисунок 4 – Проверка на растяжение при среднем расположении стопорной гайки**

Таблица 1 – Результаты при проверке на растяжение

Масса	6,40631 кг					
Вид нагружения	Верхнее		Среднее		Нижнее	
Напряжение по Мизесу	0,000078944 МПа	222,819 МПа	0,000215362 МПа	200,1 МПа	0,0947276 МПа	167,513 МПа
1-ое осн. напряжение	-8,01257 МПа	294,063 МПа	-3,8076 МПа	220,821 МПа	-13,9762 МПа	193,483 МПа
3-е осн. напряжение	-56,7042 МПа	58,7441 МПа	-54,6554 МПа	18,9635 МПа	-87,5055 МПа	27,0866 МПа
Смещение	0 мм	0,0964593 мм	0 мм	0,159821 мм	0 мм	0,22152 мм
Коэфф. запаса прочн.	1,23778 бр	15 бр	1,37831 бр	15 бр	1,64644 бр	15 бр
Напряжение ХХ	-43,1783 МПа	90,7164 МПа	-43,5078 МПа	36,412 МПа	-74,426 МПа	46,1714 МПа
Напряжение ХУ	-14,2831 МПа	12,6937 МПа	-12,8712 МПа	14,0255 МПа	-13,88 МПа	13,9055 МПа
Напряжение ХZ	-55,5864 МПа	67,6141 МПа	-30,7396 МПа	31,5994 МПа	-36,3161 МПа	33,2569 МПа
Напряжение УУ	-43,277 МПа	93,2522 МПа	-43,6328 МПа	32,2625 МПа	-73,3994 МПа	46,9474 МПа
Напряжение УZ	-55,3005 МПа	47,5817 МПа	-31,3813 МПа	29,4963 МПа	-27,8113 МПа	31,3453 МПа
Напряжение ZZ	-56,195 МПа	263,465 МПа	-54,202 МПа	219,247 МПа	-53,2075 МПа	190,165 МПа
Смещение по оси X	-0,00420377 мм	0,00635479 мм	-0,00388557 мм	0,0090181 мм	-0,00336677 мм	0,0329037 мм
Смещение по оси Y	-0,00727385 мм	0,00352641 мм	-0,0254857 мм	0,0035926 мм	-0,0100932 мм	0,00370659 мм
Смещение по оси Z	-0,0964363 мм	0 мм	-0,159719 мм	0 мм	-0,220067 мм	0 мм
Контактное давление	0 МПа	465,028 МПа	0 МПа	530,816 МПа	0 МПа	507,327 МПа
Конт. давление по оси X	-306,164 МПа	229,778 МПа	-304,452 МПа	261,401 МПа	-281,278 МПа	239,82 МПа
Конт. давление по оси Y	-302,854 МПа	309,842 МПа	-326,078 МПа	356,396 МПа	-334,109 МПа	344,694 МПа
Конт. давление по оси Z	-333,48 МПа	44,413 МПа	-373,335 МПа	69,7322 МПа	-337,48 МПа	40,2446 МПа

Далее проверим вал на изгиб, что наблюдается во время работы станка при неправильной регулировке стопорных гаек. Нагружение было проведено под углом относительно оси вала, так как мы предполагаем, что гайки были выставлены на разные высоты относительно друг друга, что впоследствии и вызывало изгиб вала (рисунок 5). Результаты сведем в таблицу 2.



**Рисунок 5 – Проверка на изгиб**

Таблица 2 – Результаты при проверке на изгиб

	Минимальная	Максимальная
Напряжение по Мизесу	0,000190109 МПа	214,338 МПа
1-е основное напряжение	-3,82513 МПа	232,168 МПа
3-е основное напряжение	-37,0915 МПа	20,0892 МПа
Смещение	0 мм	0,140139 мм
Напряжение XX	-17,8381 МПа	32,5293 МПа
Напряжение XY	-16,806 МПа	17,075 МПа
Напряжение XZ	-34,9543 МПа	31,7315 МПа
Напряжение YY	-16,474 МПа	44,1928 МПа
Напряжение YZ	-41,644 МПа	41,2042 МПа
Напряжение ZZ	-31,5924 МПа	231,215 МПа
Смещение по оси X	-0,0119487 мм	0,00633407 мм
Смещение по оси Y	-0,0202454 мм	0,00384183 мм
Смещение по оси Z	-0,139945 мм	0 мм
Контактное давление по оси X	-28,6105 МПа	20,4407 МПа
Контактное давление по оси Y	-19,7386 МПа	18,9519 МПа
Контактное давление по оси Z	-1023,46 МПа	292,862 МПа

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного анализа можно сделать вывод, что вал не получает значительных смещений и деформаций при нагружении его вдоль оси. Однако, при неправильной регулировке стопорных гаек, сила начинает действовать на изгиб, что в данном случае повлечет за собой увеличение напряжения в 5 раз относительно нормального действия силы, что и приводит к разрыву вала вследствие циклических нагрузок (54,7 МПа против 232,2 МПа). Данные компьютерного моделирования полностью соответствуют натурному образцу вала после разрыва, следовательно, неправильная настройка данных гаек значительно сокращает срок эксплуатации исследуемого вала ПГД станка и

основной упор в данном случае необходимо сделать на точную регулировку гаек, своевременную замену износившихся матриц и пуансонов и неукоснительное соблюдение организационно-технических мероприятий по проведению ППР. Экономический эффект от внедрения данной методики на предприятии СООО "СтальПродукт-Инвест" составил 10 млн руб.

#### Список цитированных источников

1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для машиностроительных вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение. 1980. – 493 с.
2. Трембли, Том. Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс. – ДМК-Пресс, 2013. – 344 с.

УДК 681.5

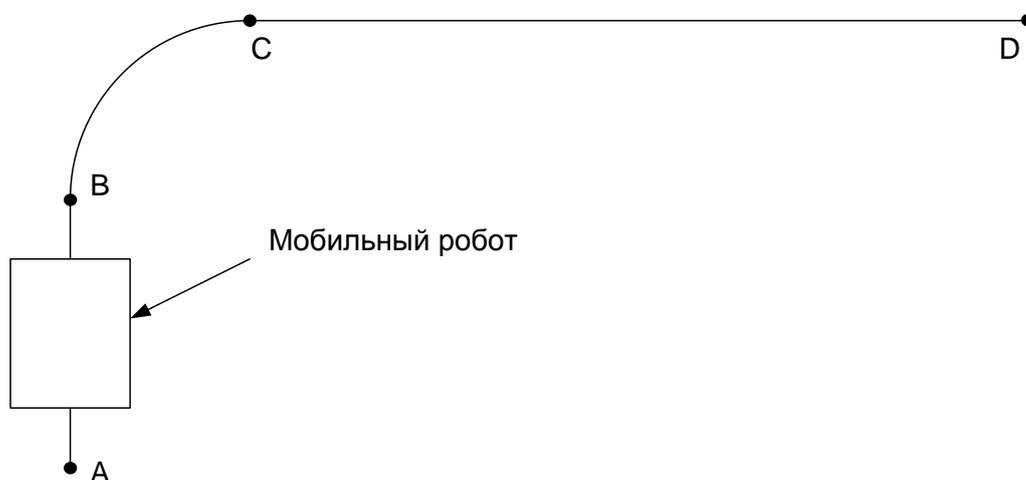
**Никонов М.Н.**

**Научный руководитель: доцент Прокопеня О.Н.**

### УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ШТАБЕЛИРОВАННЫХ ГРУЗОВ

Мобильные роботы широко применяются в транспортных системах автоматизированных складов [1, 2]. Особенностью работы данных роботов является транспортирование объектов, уложенных друг на друга. При этом суммарная высота штабелированного груза оказывается существенно больше размеров основания. Такой груз обладает ограниченной устойчивостью, т. е. имеет склонность к опрокидыванию при движении с ускорением. Очевидно, что система управления приводами должна быть построена таким образом, чтобы ускорение робота в процессе движения даже кратковременно не превышало допустимого значения. Последнее можно рассчитать, если известно положение центра масс груза по высоте и размеры основания. Данная задача неразрывно связана с планированием траектории, поскольку нормальное ускорение при движении по криволинейным участкам определяется радиусом их кривизны.

В данной работе предполагалось, что траектория состоит из элементов окружности заданного радиуса и прямолинейных участков, как показано на рисунке 1. При движении по окружности должна ограничиваться также скорость, т. к. она определяет нормальное ускорение. Способ отслеживания траектории не оговаривается, поскольку он не оказывает влияния на решение поставленной задачи.



**Рисунок 1 – Траектория движения робота**

Приводы перемещения и поворота колес построены на основе двигателей постоянного тока. Уравнения движения привода имеют вид:

$$\dot{\alpha} = k_p \omega; \tag{1}$$

$$J_{ПП} \cdot \dot{\omega} = c_M \cdot I_{Я} - M_C; \tag{2}$$

$$L_{Я} \cdot \dot{I}_{Я} + R_{Я} \cdot I_{Я} + c_e \cdot \omega = k_Y U_{Я}; \tag{3}$$

где  $\alpha$  – угол поворота выходного звена;

$\omega$  – угловая скорость двигателя;

$I_{Я}$  – ток якоря двигателя;

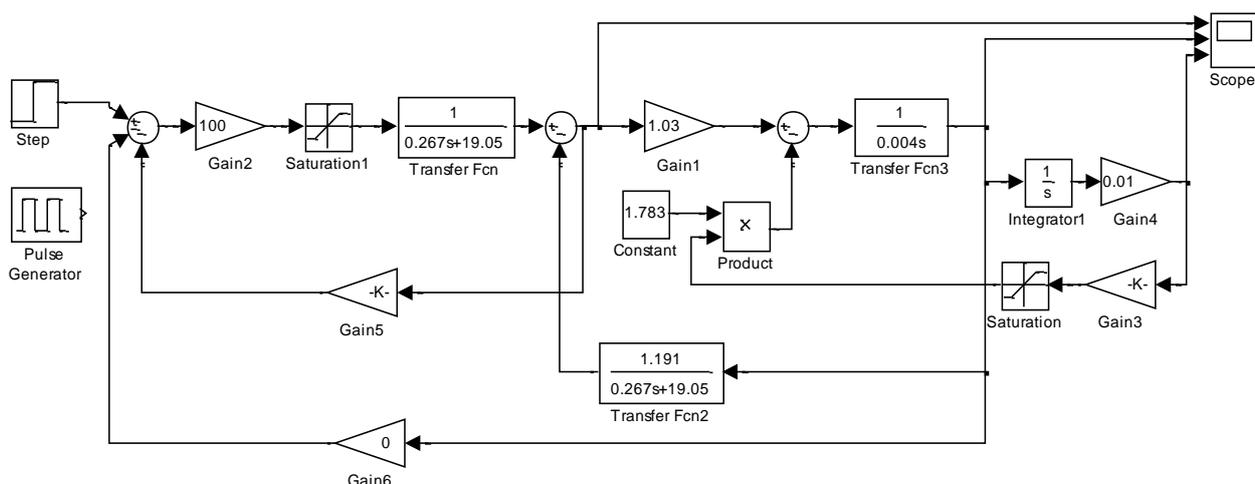
$J_{ПП}$  – приведенный к валу двигателя момент инерции звеньев привода;

$L_{Я}$  – индуктивность обмотки якоря;

$M_C$  – момент сопротивления, приведенный к валу двигателя;

$k_p$  и  $k_Y$  – коэффициенты передачи редуктора и усилителя мощности.

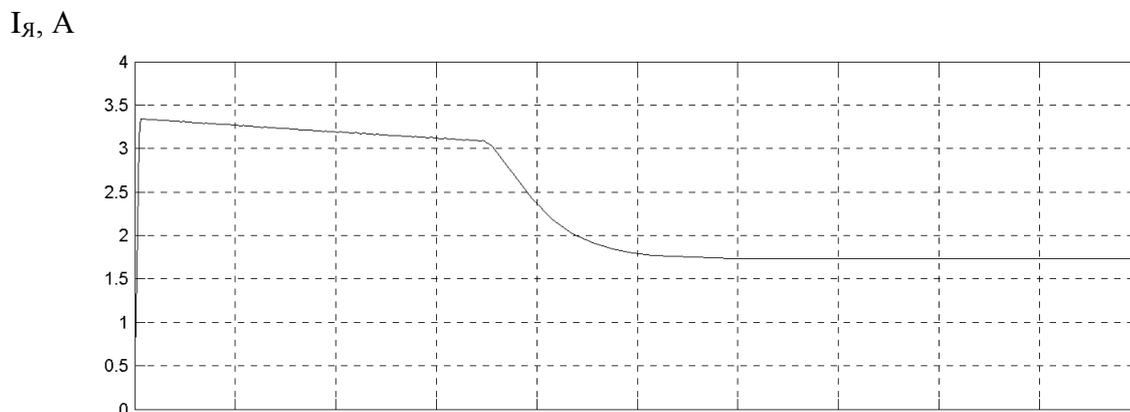
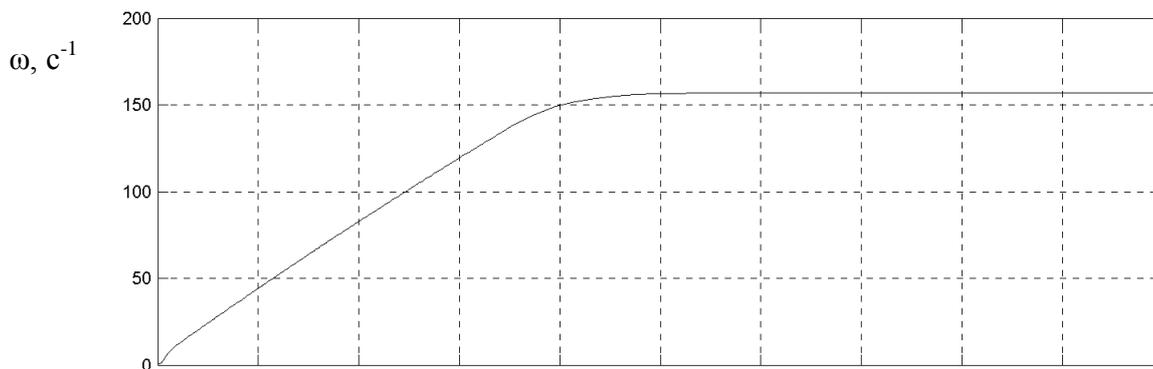
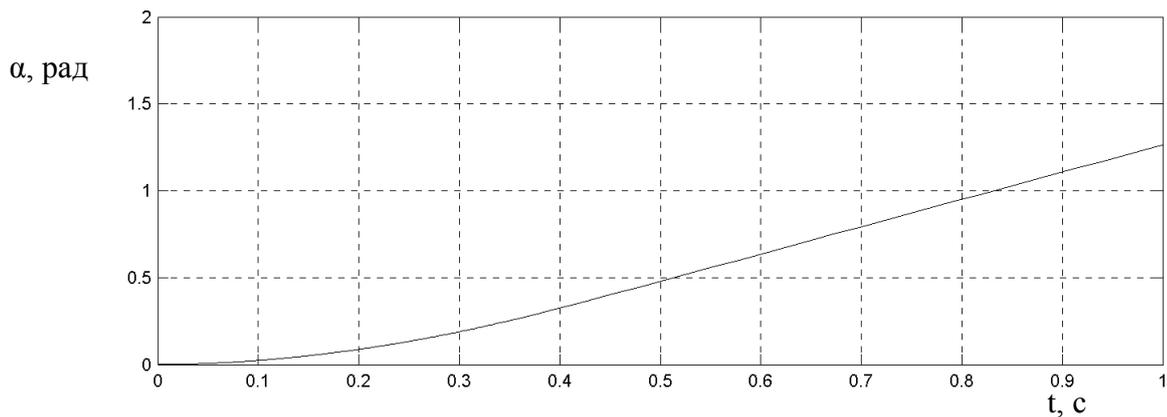
В соответствии с (2) для обеспечения заданного ускорения необходимо поддерживать соответствующее значение тока двигателя. Поскольку ток относительно легко поддается измерению, в приводе можно организовать обратную связь по току. Это позволяет ограничивать величину ускорения на прямолинейных участках траектории (AB и CD на рисунке 1). При движении по дуге окружности (BC на рисунке 1) поддерживается постоянная скорость и имеет место только нормальное ускорение. Его величину можно ограничивать путем ограничения скорости. Таким образом, используется комбинированный алгоритм управления приводом перемещения – на прямолинейных участках двигателю задается требуемое значение тока, на криволинейных – скорости. Для этого используется адаптивный регулятор в системе управления движением с обратными связями по току и скорости. Математическая модель привода перемещения на основе двигателя 2ПБ90М, построенная в приложении SIMULINK среды программирования MATLAB по уравнениям (1)...(3) при наличии обратных связей по току и скорости, представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Математическая модель привода робота в приложении SIMULINK**

При движении по прямолинейному участку коэффициент обратной связи по скорости принимается равным нулю, как показано на рисунке 2, а на вход

подается заданное значение тока двигателя, исходя из требуемого ограничения по ускорению. Соответствующие кривые переходного процесса приведены на рисунке 3. Кривые соответствуют заданию номинального тока двигателя 1,732 А при действии номинального момента нагрузки 1,783 Н·м. При этом установившаяся скорость равна номинальной  $157 \text{ с}^{-1}$ , а максимальный момент составляет 1,9 номинального значения. Из приведенного рисунка следует, что скорость двигателя на начальном участке изменяется линейно, т. е. движение осуществляется с постоянным ускорением. Таким образом, управление током позволяет обеспечить требуемый характер движения на линейном участке траектории.



**Рисунок 3 – Кривые изменения угла поворота выходного звена  $\alpha$ , угловой скорости  $\omega$  и тока  $I_a$  двигателя в начале линейного участка траектории**

При движении по дуге окружности на вход подается заданное значение скорости, и перестраиваются значения коэффициентов в цепях обратной связи. Они могут быть рассчитаны методом размещения полюсов, так чтобы обеспечить монотонный характер изменения скорости с заданным начальным ускорением [3]. Следует отметить, что криволинейные участки располагаются в середине траектории (движение начинается с линейного участка), поэтому на практике к концу линейного участка устанавливается требуемая скорость за счет управления током, и на криволинейном участке она поддерживается постоянной, поэтому имеет место только нормальное ускорение за счет движения по окружности.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что предложенный способ управления приводом перемещения мобильного робота на основе адаптивного регулятора позволяет обеспечить движение с ограниченным ускорением на всех участках траектории, что позволяет транспортировать штабелированные объекты без опрокидывания.

#### **Список цитированных источников**

1. Буда, Я. Автоматизация процессов в машиностроении / Я. Буда, В. Гановски, В. Вихман [и др.]; под ред. А.И. Дашенко. – М.: Высшая школа, 1991. – 435 с.
2. Накано, Э. Введение в робототехнику: Пер. с японск / Э. Накано. – М.: Мир, 1988. – 334 с.
3. Филипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филипс, Р. Харбор.– М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 356 с.

УДК 621.91.002

**Олехник М.А.**

**Научный руководитель: доцент Медведев О.А.**

### **ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ**

Проектирование надежных и точных машин, эффективных техпроцессов сборки и механической обработки их комплектующих деталей невозможно без комплексного размерного анализа объектов проектирования на основе выявления и решения конструкторских и технологических размерных цепей. На основе проектных расчетов размерных цепей можно определить технически обоснованные требования к точности размеров комплектующих деталей, исходя из требуемой точности важных функциональных геометрических параметров машины, формирующихся при ее сборке, а также определить точность выполнения технологических размеров, исходя из точности чертежных размеров детали при ее механической обработке.

Методика проектных расчетов линейных размерных цепей достаточно подробно разработана и описана в учебной и специальной технической литературе [2 и др.]. В то же время, вопросом выявления и решения угловых размерных цепей уделяется неоправданно мало внимания, несмотря на ряд эффективных факторов, определяющих их важность:

- в большинстве случаев требуемый уровень точности размеров, определяющих угловое положение поверхностей деталей сборочных единиц (откло-

нение от перпендикулярности, параллельности, наклона поверхностей, торцевого биения и др.) значительно выше уровня точности линейных размеров, связывающих указанные поверхности. В соответствии с ГОСТ 24643-81, допуски формы и расположения не должны превышать определенной доли допуска соответствующего линейного размера (от 25 до 60 %);

- для достижения высокой точности угловых замыкающих размеров при сборке, технически затруднительно использовать методы пригонки, регулирования, селективной сборки. Эта точность обычно достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости, что предполагает достаточную высокую точность получения угловых размеров при изготовлении деталей;

- точность углового положения поверхностей деталей при механической обработке так же обеспечивается методами полной и неполной взаимозаменяемости и зависит от точности угловых положений элементов станков, приспособлений, инструментов, так как на большинстве металлорежущих станков отсутствуют механизмы точной регулировки угловых положений рабочих органов.

Таким образом, во многих случаях проектные расчеты угловых размерных цепей имеют приоритетное значение для обеспечения точности сборки машин и изготовления деталей.

Несмотря на то, что основные положения теории линейных размерных цепей приемлемы и для угловых размерных цепей, расчеты последних не находят широкого применения в практике проектирования машин и техпроцессов. Это объясняется трудностями выявления, восприятия и изображения схем угловых размерных цепей, своеобразием построения системы допусков угловых размеров и отсутствием методики проектных расчетов, пригодных для практики.

Основой проектного расчета любой размерной цепи является способ распределения допуска замыкающего звена на составляющие звенья. По аналогии с линейными размерными цепями для угловых цепей целесообразно использовать способ равноточных допусков, то есть допуски всех составляющих звеньев принимать по одной степени точности. Используемые на практике способ подбора составляющих допусков и способ равных допусков имеют существенные недостатки. Бессистемный подбор допусков углов требует больших затрат времени. Принимая равные допуски на угловые размеры при разной длине границ углов, можно назначить на углы с длинными сторонами технически и экономически неприемлемый уровень точности. Более рационально допуск на составляющий угловой размер определять с учетом длин его границ, также как допуски на составляющие звенья линейных цепей определяют с учетом их номиналов, ограничивая разнообразие допусков одним качеством.

Метод равноточных допусков может быть реализован для угловых размерных цепей при условии, что правила построения стандартной системы угловых допусков, позволяют получить выражение для расчета номера степени точности (одинаковой для всех составляющих звеньев) в зависимости от допуска замыкающего звена, длин границ углов и параметров системы допусков.

Несмотря на то, что система допусков параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и система допусков углов регламентируется разными стандартами (ГОСТ 24643-81 и ГОСТ 8908-81 соответственно), они построены по единым принципам, имеют одинаковые интервалы длин, набор степеней точности и значений допусков (при выражении допусков углов в ли-

нейных единицах в виде катета). Это позволяет использовать метод равно- точных допусков для решения размерных цепей, имеющих в качестве составляющих звеньев как углы, так и отклонения от перпендикулярности, парал- лельности, торцевого биения и наклона.

Анализ принципов построения указанных систем стандартных допусков по- зволил разработать математическое выражение для расчета номера степени точности составляющих звеньев угловой размерной цепи.

Значение угловых допусков изменяются в пределах одной степени точно- сти, в зависимости от значения длины меньшей стороны угла по ряду пред- почтительных чисел Ra10 с коэффициентом геометрической прогрессии  $\gamma = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$ . В пределах одного интервала длин допуски изменяются в зави- симости от степени точности по ряду предпочтительных чисел Ra5 с коэффи- циентом геометрической прогрессии  $\varphi = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ . [1,2]

С учетом указанных принципов построения системы допусков, любое зна- чение стандартного допуска можно выразить формулой

$$AT_i = AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \gamma^{m-1}, \quad (1)$$

где  $AT_1=0,4$  мкм – исходный минимальный допуск для первой степени точно- сти и первого интервала длин;

$n$  – номер степени точности допуска;

$m$  – номер интервала минимальной длины стороны нормируемого угла.

В то же время границы интервалов длин в системе допусков сами являют- ся членами геометрической прогрессии с коэффициентом  $\varepsilon = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$  в зави- симости от номера интервала [1]. Тогда верхняя граница любого интервала длин может быть определена по формуле

$$L_i = L_1 \cdot \varepsilon^{m-1}, \quad (2)$$

где  $L_1$  – верхняя граница первого интервала длин.

После логарифмирования уравнения (2) найдем выражение для  $m - 1$

$$\ln L_i = \ln L_1 + (m-1) \cdot \ln \varepsilon;$$

$$m-1 = \frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon} - \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon}.$$

Тогда

$$AT_j = AT_1 \cdot \gamma^{\frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon}} \cdot \left( \gamma^{\frac{1}{\ln \varepsilon}} \right)^{\ln L_i} \cdot \varphi^{n-1} = B \cdot C^{\ln L_j} \cdot \varphi^{n-1} \quad (3)$$

Для упрощения формулы (3) приняты обозначения постоянных множите- лей, не зависящих от  $j$ :

$$B = AT_1 \cdot \gamma^{\frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon}} \text{ и } C = \left( \gamma^{\frac{1}{\ln \varepsilon}} \right).$$

Достижение точности сборки замыкающих звеньев размерных цепей мето- дом неполной взаимозаменяемости позволяет уменьшить требования к точ- ности размеров деталей, входящих в размерные цепи, при сохранении основ-

ных преимуществ полной взаимозаменяемости. На составляющие звенья назначаются расширенные допуски, поэтому у некоторой части изделий замыкающее звено может выйти за пределы заданного допуска. Если доля таких бракованных изделий невелика, то сумма затрат на изготовление неточных деталей и дополнительных затрат на исправление брака будет значительно меньше расходов на точные детали, необходимые для метода полной взаимозаменяемости. В таком случае неполная взаимозаменяемость предпочтительнее.

Составляющие звенья являются размерами деталей, которые при механической обработке на настроенных станках формируются как случайные величины. Тогда замыкающее звено, как алгебраическая сумма составляющих звеньев, также является случайной величиной. Большинство законов распределения, которым подчиняются размеры обработанных деталей, характеризуются тем, что значения случайной величины близкие к границам поля рассеяния возникают значительно реже, чем значения близкие к середине поля рассеяния. У суммарной случайной величины такой характер распределения выражен еще сильнее, так как сочетание крайних значений слагаемых еще менее вероятно. Благодаря этому часто удается получать незначительные доли брака при существенном расширении допусков составляющих звеньев.

Для установления взаимосвязи между допустимой долей брака, полями рассеяния, параметрами распределения замыкающего и составляющих звеньев используют законы теории вероятностей, поэтому метод расчета размерной цепи, обеспечивающий неполную взаимозаменяемость, называется теоретико-вероятностным. Уравнение для расчета номера степени точности угловых составляющих звеньев составим на основе выражения (3) и принятого для теоретико-вероятностных расчетов линейных размерных цепей соотношения поля рассеяния замыкающего звена и полей рассеяния составляющих звеньев (4) [3, 4]:

$$\omega_{\Delta}^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^p \omega_j^2 \cdot \lambda_j^2, \quad (4)$$

где  $\omega_{\Delta}$  – поле рассеяния замыкающего звена;  $\omega_j$  – поле рассеяния  $j$ -го составляющего звена;  $t_{\Delta}$  – коэффициент риска для замыкающего звена;  $\lambda_j$  – коэффициент относительного рассеяния  $j$ -го составляющего звена;  $p$  – число составляющих звеньев цепи.

При использовании формулы (4) для расчета угловых размерных цепей в качестве  $\omega_{\Delta}$  и  $\omega_j$  необходимо использовать соответствующие поля рассеяния углов, приведенные к одинаковой базовой длине. Для упрощения последующих выражений принимаем значение базовой длины 1 мм. Тогда приведенное значение поля рассеяния каждого углового звена получится, делением его поля рассеяния на длину его малой стороны.

Из теории вероятностей известно, что если случайная величина является суммой большого числа взаимно независимых случайных величин, среди которых нет доминирующих по величине, то независимо от законов распределения слагаемых, сумма имеет распределение, близкое к нормальному. Поэтому замыкающее звено, являющееся алгебраической суммой большого числа составляющих звеньев можно считать распределенной по нормальному закону и, используя таблицу функции Лапласа, определять коэффициент  $t_{\Delta}$  в зависимости от экономически приемлемой доли бракованных изделий.

Распределение существенно положительных отклонений расположения поверхностей деталей машин (эксцентриситет, отклонения от параллельности, отклонения от перпендикулярности, отклонение от соосности, торцовое и радиальное биения) подчиняются закону эксцентриситета (закону Релея), и поэтому для составляющих звеньев угловых размерных цепей следует принимать коэффициент относительного рассеяния  $\lambda_j = 0,1337$  [3,4].

При наличии в размерной угловой цепи стандартных составляющих звеньев, поля рассеяния  $\omega_{jcm}$  (допуски) которых регламентируются стандартами, степень точности следует определить только для остальных составляющих звеньев. Поэтому правую часть уравнения (4) разделим на сумму стандартных и нестандартных полей рассеяния и подставим во вторую сумму вместо  $\omega_j$  выражение (3) для  $TA_j$ .

$$\omega_{\Delta}^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_c} \omega_{jc}^2 \cdot \lambda_{jc}^2 + t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_n} \omega_j^2 \cdot \lambda_j^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_c} \omega_{jc}^2 \cdot \lambda_{jc}^2 + t_{\Delta}^2 \cdot B^2 \cdot \varphi^{2(n-1)} \sum_{j=1}^{P_n} \frac{C^{2 \ln L_j}}{L_j} \cdot \lambda_j^2 \quad (5)$$

Преобразуем уравнение (5) так, чтобы в левой части равенства оказался множитель, содержащий степень точности  $n$ , одинаковую для всех нестандартных звеньев

$$\varphi^{2(n-1)} = \frac{\omega_{\Delta}^2 - t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_c} \omega_{jc}^2 \cdot \lambda_{jc}^2}{t_{\Delta}^2 \cdot B^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_n} \frac{C^{2 \ln L_j}}{L_j} \cdot \lambda_j^2} \quad (6)$$

После логарифмирования и выделения в левой части равенства степени точности  $n$  получим

$$n = \frac{1}{2 \ln \varphi} \cdot \left[ \ln \left( \omega_{\Delta}^2 - t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_c} \omega_{jc}^2 \cdot \lambda_{jc}^2 \right) - \ln \left( t_{\Delta}^2 \cdot B^2 \cdot \sum_{j=1}^{P_n} \frac{C^{2 \ln L_j}}{L_j} \cdot \lambda_j^2 \right) \right] + 1 \quad (7)$$

Найденное значение номера степени точности следует округлить до ближайшего меньшего целого значения и по нему назначить поля рассеяния на составляющие угловые звенья по таблицам допусков углов (по ГОСТ 8908-81) или допусков перпендикулярности, параллельности, торцового биения и наклона (по ГОСТ 24643-81).

Сумма назначенных допусков, приведенных к единой базовой длине 1 мм, не должна превышать приведенного допуска замыкающего звена.

Выражение, полученное для расчета номера степени точности, может быть полезно инженерам-конструкторам для обоснованного определения допусков угловых размеров деталей машин, для обеспечения при сборке точности важных функциональных геометрических параметров методом неполной взаимозаменяемости.

#### Список цитированных источников

1. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: Справочник: в 2 т. – М.: Издательство стандартов, 1989. – Т1. – 220 с.
2. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. А.К. Кутая. – М: Машиностроение, 1983. – 367 с.
3. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
4. Бородачев, Н.А. Анализ качества и точности производства.- М.: Машгиз, 1946. – 252 с.

УДК 621.92.001.891.57:744

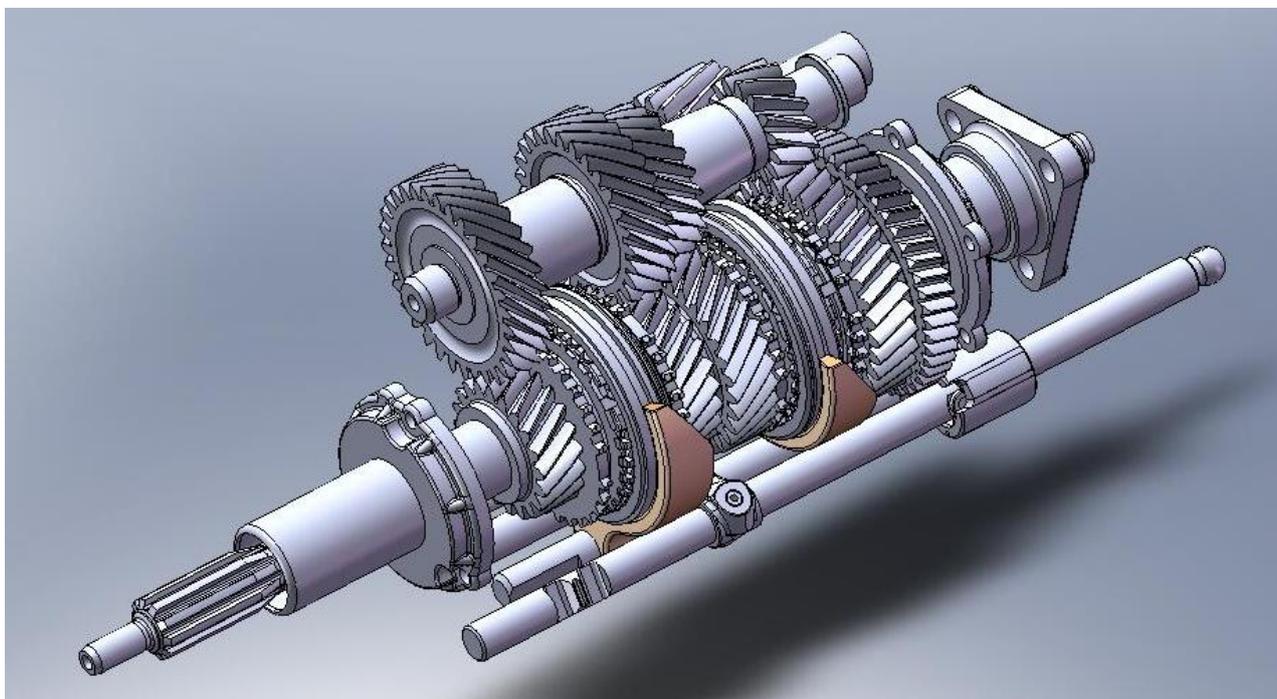
**Сотников А.Е., Рудский Р.А.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Морозова В.А.**

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ SOLIDWORKS**

Мы, студенты II и III курсов машиностроительного факультета, обучающиеся по специальности 1-37 01 07 «Автосервис» и 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», решили создать трехмерную модель механической коробки передач в графическом редакторе SOLIDWORKS. Мы выбрали данный механизм, т. к. наша специальность связана с автомобилями и их составляющими. При изучении курса «Инженерная графика» мы работали в графическом редакторе КОМПАС 3D – по заданиям строили твердотельные модели, создавали на их основе чертежи, выполняли сборки и сборочные чертежи. Но нам захотелось самостоятельно изучить возможности других графических редакторов. В прошлом году это был AUTODESK INVENTOR 2015, а в этом году решили освоить графический редактор SOLIDWORKS. В итоге у нас получилась трехмерная модель механической коробки передач, которую можно использовать для последующей презентации при изучении курса лекций «Обслуживание и ремонт легковых автомобилей».

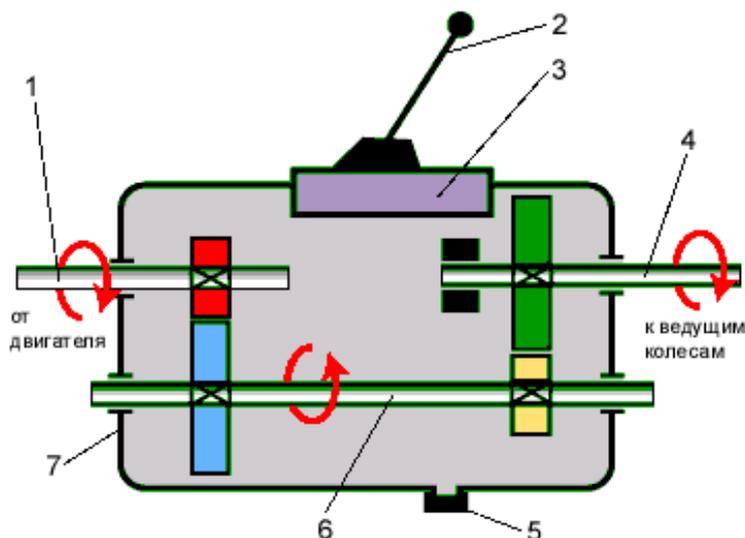
**Назначение и устройство механической коробки передач.** Механическая коробка передач предназначена для изменения крутящего момента и передачи его от двигателя к колесам. Она обеспечивает разобщение двигателя и ведущих колес, причем на неограниченный срок и без усилий со стороны водителя. Рассмотрим, из чего состоит механическая коробка передач и схему её работы.



**Рисунок 1 – Общий вид механической коробки передач, выполненный нами в графическом редакторе SolidWorks**

Механическая коробка передач состоит из:

- ✓ картера;
- ✓ первичного, вторичного и промежуточного валов с шестернями;
- ✓ дополнительного вала и шестерни заднего хода;
- ✓ синхронизаторов;
- ✓ механизма переключения передач с замковым и блокировочным устройствами;
- ✓ рычага переключения.



1 – первичный вал; 2 – рычаг переключения передач;  
3 – механизм переключения передач; 4 – вторичный вал; 5 – сливная пробка;  
6 – промежуточный вал; 7 – картер коробки передач

**Рисунок 2 – Схема работы механической коробки передач**

Картер содержит основные узлы и детали коробки передач. Он крепится к картеру сцепления, который, в свою очередь, закреплен на двигателе. Так как при работе шестерни коробки передач испытывают большие нагрузки, они должны хорошо смазываться. Поэтому картер наполовину своего объема залит трансмиссионным маслом.

Валы коробки передач вращаются в подшипниках, установленных в картере, и имеют наборы шестерен с различным числом зубьев.

Синхронизаторы необходимы для плавного, бесшумного и безударного включения передач, путем уравнивания угловых скоростей вращающихся шестерен.

Механизм переключения передач служит для смены передач в коробке и управляется водителем с помощью рычага из салона авто. При этом замковое устройство не позволяет включаться одновременно двум передачам, а блокировочное устройство удерживает передачи от самопроизвольного выключения.

**Моделирование в графическом редакторе SOLIDWORKS.** Основными операциями, применяемыми при моделировании отдельных трехмерных составляющих механизма, явились операции вытянутая бобышка/ основание, вытянутый вырез, повернутая бобышка/ основание, бобышка/ основание по сечениям, линейный массив, круговой массив, зеркальное отражение, выполнение скруглений и фасок.

Инструментальная палитра SOLIDWORKS имеет максимально простой «спартанский» вид. Для создания эскиза затрачивалось минимальное количе-

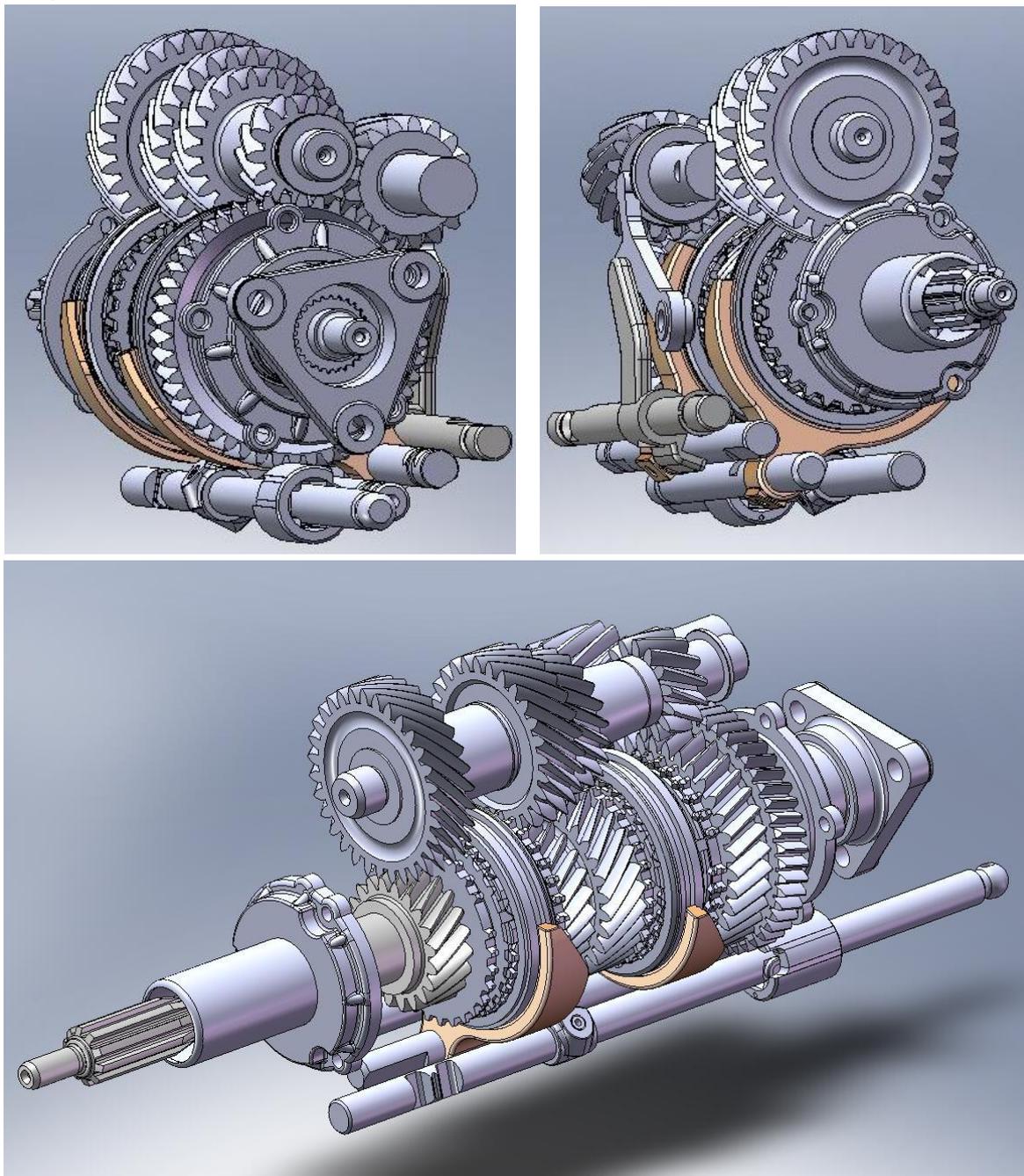
ство времени. Мощный анализатор среды позволяет хорошо распознавать эскиз, обращаться к некоторой его части.

SOLIDWORKS позволяет с помощью функции присвоения материала детали, изменения оптических свойств максимально реалистично ее представить.

Сборка деталей в узле осуществляется максимально просто. Для позиционирования детали в узле в инструментальной палитре выбирается инструмент «Сопряжение», в диалоговом окне «Сопряжение в сборке» выбираем типы сопряжений, условия выравнивания. SOLIDWORKS позволяет, как создавать детали непосредственно в контексте узла, так и вставлять в узел существующие детали.

Далее законченная модель приспособления была приведена в движение командой «Вращать компонент», что позволило проследить работу механизма, правильность выполненных сопряжений.

Результат нашей работы вы видите на рис. 3.



**Рисунок 3 – 3D-модель механической коробки передач**

SOLIDWORKS от Solid Company представляет собой мощное средство проектирования, которое позволяет осуществить сквозной процесс проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения.

Данная система не имеет ограничений по количеству компонентов сложных сборок и предоставляет богатые возможности для оформления конструкторской документации. Неоспоримым преимуществом системы является ее полная русификация. Система SOLIDWORKS занимает лидирующие позиции среди систем трехмерного твердотельного моделирования по критериям цена-производительность и простота в использовании.

Достоинства:

- реализован подход непосредственного 3D-моделирования;
- простота в использовании;
- поддерживает несколько стандартов.

Недостатки:

- некорректное автоматическое проставление размеров, что может быть исправлено вручную.

Проведенный нами сравнительный анализ различных программно-прикладных систем автоматизированного проектирования (КОМПАС-3D, AUTODESK INVENTOR, SOLIDWORKS) показывает, что SOLIDWORKS имеет преимущества по простоте использования, доступности, по принципиальному комплексному подходу непосредственно к процессу 3D-моделирования и узкой направленности пакета проектирования.

Результатом проделанной работы стала трехмерная модель механической коробки передач в графическом редакторе SOLIDWORKS.

В настоящее время значительное число конструкторов-машиностроителей в корне поменяли свой подход к процессу проектирования, перейдя от двумерных систем автоматизированного проектирования к трехмерным, реализующим идею выполнения компьютерных моделей с твердотельными свойствами. Этого требуют конкуренция и необходимость сокращения сроков проектирования. Для большинства конструкторов возможность выразить свои разработки в трехмерном виде означает большую творческую свободу и эффективность.

Твердотельное моделирование – более естественный способ выразить суть изделия. Лучшее визуальное представление изделия помогает и на последующих стадиях проекта. Например, из модели можно автоматически получить изображение всех компонентов в разобранном виде и использовать его в качестве иллюстрации в инструкции по сборке.

Тонированные изображения, полученные по объемным моделям, более наглядны по сравнению с двумерными чертежными проекциями, а значит – более предпочтительны для презентаций и технических статей.

В дальнейшем эту трехмерную модель механической коробки передач можно использовать для последующей презентации при изучении курса лекций «Обслуживание и ремонт легковых автомобилей».

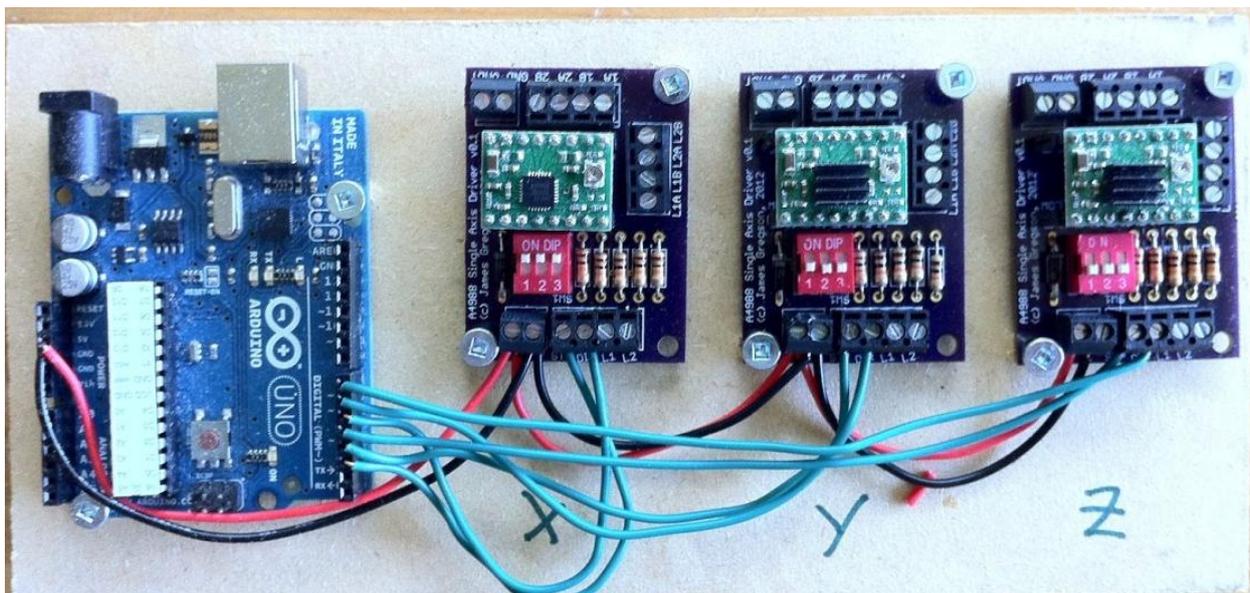
#### **Список цитированных источников**

1. Передерий, В.П. Устройство автомобиля. – М.: Форум, 2008. – 288 с.
2. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский [и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.: ил.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

В настоящее время приводы на основе шаговых двигателей широко применяются в различных отраслях: приборные устройства, станки с числовым программным управлением (ЧПУ), промышленные роботы и др. [1]. Преимуществом данных приводов является легкость согласования с цифровыми управляющими устройствами [2]. Скорость вращения таких двигателей достаточно просто регулируется изменением частоты управляющих импульсов. Они могут скачкообразно изменять скорость с нулевой на номинальную и обратно. Часто привод может быть построен без обратной связи по перемещению, т. к. в отсутствии перегрузок данные двигатели работают без пропуска шагов, и величина перемещения определяется количеством поданных импульсов с достаточно высокой точностью. Поскольку величина шага выпускаемых в настоящее время двигателей может составлять несколько градусов, получаемая на выходном звене разрешающая способность с учетом механических передач может составлять несколько микрон. Таким образом, привод способен обеспечить высокую точность позиционирования без использования обратной связи.

При работе в составе системы управления станком требуется согласованное движение нескольких приводов. Поэтому система управления должна быть построена на общем управляющем устройстве, которое является цифровым. Это может быть программируемый логический контроллер, микропроцессор и т. п. В данной работе решалась задача построения системы управления тремя шаговыми приводами. При этом в качестве управляющего устройства был выбран контроллер Arduino Uno, который в настоящее время выпускается серийно, весьма доступен вследствие невысокой стоимости и по своим функциональным возможностям соответствует решаемой задаче. Кроме того, модуль контроллера может подключаться к компьютеру через USB порт, что облегчает задачу программирования и наладки устройства. Данный контроллер с платами согласования показан на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Контроллер Arduino Uno с платами согласования**

Платы согласования обеспечивают развязку между контроллером и драйверами двигателей.

В системе применены шаговые двигатели с зубчатым ротором FL110STH201, имеющие шаг 1,8 градуса. Они комплектуются драйверами CW8060 Microstep Driver, которые обеспечивают управление обмотками двигателя с регулировкой тока, обеспечением форсировки и торможения. Контроллер позволяет осуществлять движение с делением шага в 2, 4 и более раз программным способом. Это позволяет обеспечивать требуемую точность позиционирования, исходя из конкретной технологической операции. Внешний вид двигателя и драйвера показан на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Шаговый двигатель с драйвером**

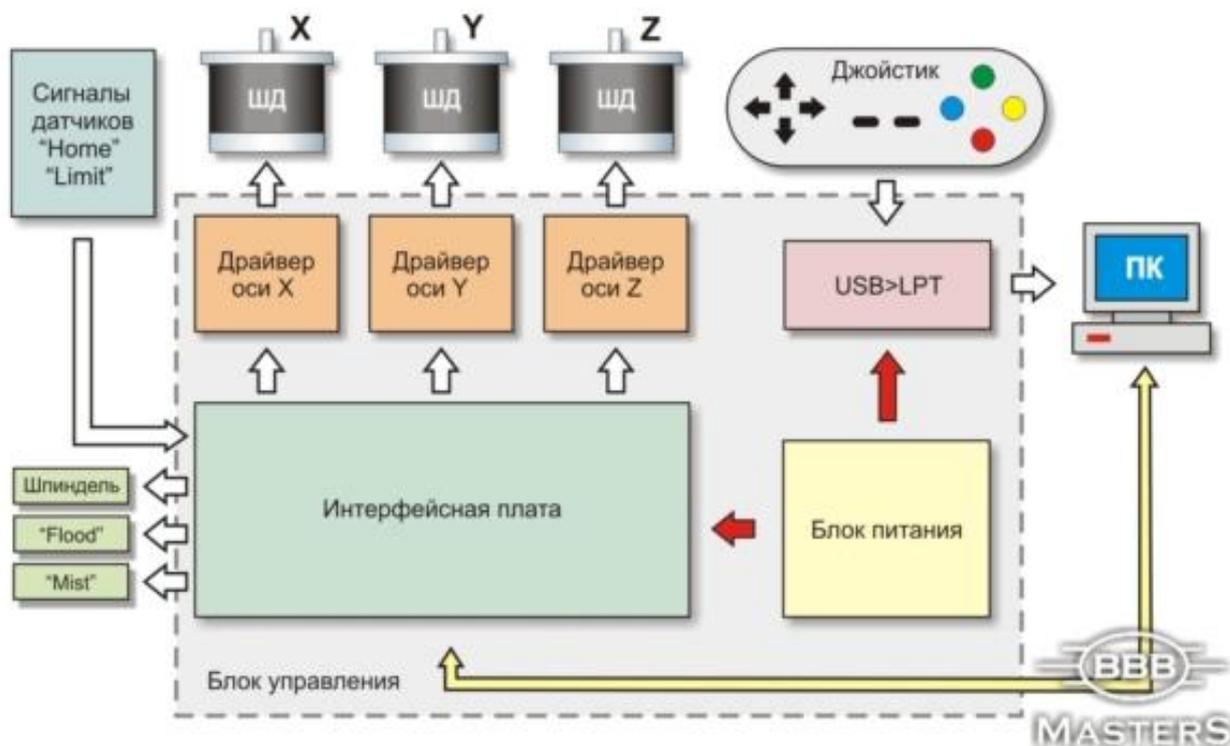
Структура полученной системы управления приведена на рисунке 3. В данной системе предполагается использование персонального компьютера в качестве управляющего устройства. Это дает возможность применить известное программное обеспечение для ЧПУ технологическими операциями.

Данная разработка была реализована на практике для управления приводами трехкоординатного станка, который позволяет осуществлять фрезерование печатных плат. Станок был изготовлен из унифицированных компонентов, широко представленных на рынке. К ним относятся: цилиндрические направляющие с опорой SBR16, линейные блоки открытого типа SBR16UU, шариковые винтовые передачи SFU 2505. Это позволило получить размер рабочей области 850\*850 мм. Максимальная скорость перемещения по осям 30 мм/с. Достигаемая точность позиционирования  $\pm 0,025$ мм обеспечивает достаточно высокое качество обработки, что было подтверждено экспериментально.

Программное обеспечение разработано в *Math 3*. Оно может работать под управлением ОС *Windows* или ОС *Linux*. Ниже приведен пример записи программы обработки, которая вводится через графический интерфейс

%  
 O0003 (Prjamoougolnik) (Номер программы (O0003) и её название (Prjamoougolnik))  
 G00 Z0.5 (поднятие инструмента на безопасную высоту)  
 G00 X0 Y0 (перемещение инструмента к точке начала фрезерования (точке 5))  
 G01 Z-2 F60 (опускание инструмента на необходимую глубину фрезерования)  
 G01 X0 Y200 F60 (фрезерование стороны a)  
 G01 X300 Y200 (фрезерование стороны b)  
 G01 X300 Y0 (фрезерование стороны a)  
 G01 X0 Y0 (фрезерование стороны b, возврат к точке начала фрезерования)  
 G00 Z0.5 (поднятие инструмента на безопасную высоту)  
 M30 (конец управляющей программы)  
 %

Данный пример показывает, что движения станка задаются достаточно просто с помощью небольшого числа операторов. Разработка графического интерфейса обеспечивает удобство работы с программой.



**Рисунок 3 – Структурная схема системы управления приводами**

Все вышеизложенное подтверждает возможность построения достаточно эффективных систем управления движением с максимальным использованием унифицированных элементов на базе шаговых электродвигателей с микроконтроллерным управлением.

#### **Список цитированных источников**

1. Борисенко, Л.А. Механика промышленных роботов и манипуляторов с электроприводом / Л.А. Борисенко, А.В. Самойленко. – Мн.: Выш. шк., 1992. – 234 с.
2. Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В.Солодовников, В.Н.Плотников, А.В.Яковлев. – М.: Машиностроение, 1986.– 434 с.

# **ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

## **ГЕОПЛАСТИКА КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Большую роль в формировании ландшафтных объектов играет рельеф, особенно геопластика. Геопластика известна на протяжении нескольких столетий и включала в себя продуманное изменение поверхности местности с функциональной точки зрения. Создавались искусственные террасы, холмы, валы, амфитеатры, дамбы. Уже 19 веку геопластика применялась как способ улучшения естественного рельефа. Особое значение придавалась созданию искусственных насыпей и холмов, террас и гротов. Это способствовало преобразованию ландшафта и позволяло уйти от однообразности и монотонности равнинной местности. Широкое распространение геопластика получила, начиная с 20 века, используя в усадебной территории частных лиц [1].

Геопластика - архитектурно-художественное вертикальное преобразование рельефа путем искусственного создания его форм с учетом эстетических и функциональных требований объекта. Преобразование рельефа всегда имело большое значение в благоустройстве садов и парков, ведь именно благодаря ему можно осуществлять любые творческие идеи, создавая даже на небольшом отрезке земли великолепные композиции. Современный технический уровень позволяет производить земляные работы в больших масштабах и создавать любые формы рельефа. Выделяют 3 направления в геопластике:

1) выявление характерных для данной местности природных форм рельефа и подчеркивание их, или воспроизведение искусственным путем натуральных;

2) создание совершенно новых, скульптурных, абстрактных, часто геометрических форм искусственного ландшафта;

3) полное изменение рельефа

С помощью существующих классификаций и с учетом особенностей ландшафтного искусства рельеф парковых территорий можно подразделить на 3 группы:

1) отрицательных форм (долины, ущелья, овраги, тальвеги, котлованы, амфитеатры, склоны ниже условно установленной точки нулевого отсчета);

2) положительных форм (холмы, горы, склоны выше установленной точки нулевого отсчета);

3) участки равнинного рельефа с небольшим уклоном (до 5-7 градусов) [2].

В процессе изучения форм рельефа, были выявлены следующие территории: территории на равнинных участках, которые входят составными элементами как в группу положительных форм (например, водораздельные плато), так и отрицательных (днища балок), а также горизонтальных площадок на склонах. Нагляднее всего рассматривать данную классификацию на примере таких озелененных территорий как парки: от крупных парков, лесопарков и национальных парков, создающихся на таких формах рельефа, как долины рек, овражно-балочные системы, горы, холмы и даже вбирающие в свои границы комплексы этих форм, до небольших участков, занимающих элементы этих форм или их искусственные модели на малых площадях. Формы рельефа активно включаются в объемную структуру парка и влияют на организацию его

пространства. Композиционные возможности рельефа в большей степени определяются визуальными взаимосвязями частей парка и тем, как его формы влияют на восприятие парковых элементов. Представленный вариант группирования условен, поскольку парковая территория может располагаться не только в пределах одной формы рельефа, но и включать в свои границы несколько форм. В зависимости от преобладания форм рельефа парки можно подразделить на следующие основные группы: парки на равнинном рельефе; на склонах; на холмах; в горных долинах; в оврагах и балках. Особую группу составляют парки на нарушенных территориях.

Нарушенные территории в результате хозяйственной деятельности разделяют на группы:

- карьерные выемки, мульды оседания, провальные воронки, терриконы, отвалы и другие карьерно-отвальные комплексы;
- земли, нарушенные при строительных работах;
- территории полигонов твердых отходов;
- земли, нарушенные в результате загрязнения их жидкими и газообразными отходами (нефтезагрязненные земли, газогенные пустыни и др.). [3]

Рекультивация - комплекс работ, проводимых с целью восстановления нарушенных территории и приведения земельных участков в безопасное состояние [4]. Рекультивация осуществляется последовательно, по этапам. Различают техническую, биологическую и строительную рекультивации.

Техническая рекультивация означает предварительную подготовку нарушенных территорий для различных видов использования. В состав работ входят: планировка поверхности, снятие, транспортировка и нанесение плодородных почв на рекультивируемые земли, формирование откосов выемок, подготовка участков для освоения и т. п. На этапе технической рекультивации засыпают карьерные, строительные и другие выемки, в глубоких карьерах устраивают водоемы, полностью или частично разбирают терриконы, отвалы, хвостохранилища, закладывают «пустыми» породами выработанные подземные пространства. После завершения процесса осадки поверхность земли выравнивают.

Биологическая рекультивация проводится после технической для создания растительного покрова на подготовленных участках. С ее помощью восстанавливают продуктивность нарушенных земель, формируют зеленый ландшафт, создают условия для обитания животных, растений, микроорганизмов, укрепляют насыпные грунты, предохраняя их от водной и ветровой эрозии, создают сенокосно-пастбищные угодья и т.д. Высокую сложность имеет рекультивация нефтезагрязненных земель, так как они имеют обедненную биоту и содержат канцерогенные углеводороды. Для этого необходимы рыхление и аэрация почвы; использование бактерий, деградирующих нефть; посев специально подобранных трав и др.

При необходимости выполняют также строительный этап рекультивации, в ходе которого на подготовленных территориях возводят здания, сооружения и другие объекты – строительная рекультивация [5].

Специфика нарушенных территорий, отводимых под озеленение, разнообразна и связана с характером их прошлого промышленного использования. Поэтому важно знать особенности каждого нарушения и технологические требования его рекультивации. Они определяются следующими условиями:

- 1) Растительными характеристиками оставленного грунта. В лучшем случае это песчаные и глиняные отвалы, горные породы со слабым отрицатель-

ным химизмом воздействия на корневую систему. Намного сложнее вести освоение свалок, насыщенных практически не перегнивающими отходами производства, террикоников, а также территорий, вышедших из-под химического производства. До последнего времени освоение таких территорий ведется только после насыпки мощного слоя растительного грунта.

2) Формами рельефа, оставшимися после выработки. Отрицательные формы обычно используются под водоемы, положительные преобразуются для сооружений и приспособляются для насаждений. Обработка рельефа под зрелищные или спортивные сооружения (амфитеатры, игровые площадки) подчиняется определенным техническим требованиям.

Геопластика, известная на протяжении многих веков, получила свое определение совсем недавно и в настоящее время активно используется в ландшафтном проектировании. Она позволяет как подчеркнуть достоинства уже существующего рельефа, так и полностью его изменить и придать новые свойства и функции в зависимости от существующих условий и предъявляемых требований. Основным местом воплощения приемов геопластики являются парки и другие озелененные территории, предназначенные для отдыха и рекреации. Основной современной тенденцией является рекультивация – восстановление загрязненных и нарушенных территорий. Процесс рекультивации происходит в несколько этапов – технический этап рекультивации, биологический и строительный, каждый из которых подразумевает использование приемов геопластики. Все проводимые мероприятия позволяют регенерировать непригодные для использования территории и дать им «вторую жизнь», что позволяет восстановить природное равновесие и положительно сказывается на экологии Земли.

#### **Список цитированных источников:**

1. Курбатов, В.Я. Всеобщая история ландшафтного искусства / В.Я. Курбатов. - М.: Эксмо, 2007. - 736 с.
2. Исаченко, А.Г. Ландшафты / А.Г. Исаченко, А.А. Шляпников. - М.: Мысль, 1989. - 504 с.
3. Проблема использования городских нарушенных территорий / А.Д. Потапов, И.М. Сеньющенкова, О.О. Новикова, Е.А. Гудкова // Вестник МГСУ. 2012. № 9. С. 197—202.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: <http://greenconsumption.org/5-zaschita-litosfery> — Дата доступа: 09.05.2016
5. Голованов, А. И. Рекультивация нарушенных земель. Учебник / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, В.И. Сметанин. - М.: Лань, 2015. - 336 с.

УДК [691.535:693.554]:666.193.2

**Беломесова К.Ю.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Тур В.В.**

### **ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ, АРМИРОВАННЫЕ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ**

Целью данной работы является установление оптимального количества армирующего компонента, позволяющего достичь высоких показателей прочности при сжатии и растяжении при изгибе, а также уменьшить величину уса-

дочных деформаций при применении в качестве вяжущего вещества напрягающего цемента.

### **Введение.**

Изготовление бетонных и железобетонных изделий из бетона на основе портландцемента в настоящее время широко распространено в строительстве. Однако, как известно, бетон подвержен усадочным деформациям, развивающимся как во время гидратации портландцемента, так и в процессе эксплуатации конструкций [1]. Одним из эффективных способов снижения неблагоприятных последствий усадки является применение напрягающих бетонов. Напрягающий бетон – это бетон на основе расширяющегося вяжущего, обладающий способностью при твердении увеличиваться в объеме, а в условиях ограничения деформаций расширения развивать усилие самонапряжения [2].

Бетоны на напрягающем цементе за счет своих свойств позволяют с успехом применять их в сборных и монолитных конструкциях и сооружениях в различных областях строительства. В практике строительства применяют как напрягающие бетоны для получения нормируемой величины самонапряжения, так и бетоны с компенсированной усадкой, в которых самонапряжение не нормируется. Особенно эффективно применение таких бетонов в конструкциях и сооружениях, к которым предъявляются высокие требования по трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности.

Вместе с тем, напрягающий бетон является искусственным камнем, показывающим низкое сопротивление растяжению. В целях повышения сопротивления бетонных конструкций изгибу и растяжению, последние армируют непрерывной волокнистой арматурой, применяя для этого стекловолокно, полимеры и металл. Однако, не смотря на свои очевидные преимущества, данные армирующие материалы имеют ряд существенных недостатков.

Что же касается базальтовой фибры, применяемой в качестве армирующего компонента, то она обладает рядом преимуществ перед перечисленными выше материалами. Одним из таковых является то, что фибра обеспечивает трехмерное укрепление бетона в сравнении с традиционной арматурой, которая обеспечивает двухмерное укрепление. Применение базальтовой фибры в бетонных смесях позволяет уменьшить трудозатраты по армированию бетонных изделий, добиться повышения производительности работ, а также снизить толщину и вес конструкции, при этом увеличивая ее трещиностойкость и долговечность.

Целью данной работы являлось определение оптимальной концентрации армирующего компонента (фибры), оказывающей положительное влияние на рост прочностных характеристик напрягающего цемента, характеристик расширения без изменения других показателей.

### **Исходные материалы и применяемое оборудование.**

Напрягающий цемент изготавливали в лабораторных условиях, при смешивании портландцемента и расширяющейся добавки. Процентное соотношение компонентов было принято следующим: 71:14:15 – портландцемент СЕМ I 42,5 N : высокоактивный метакраолин (ВМК) : гипс природный.

Приготовление напрягающего цемента включало два этапа: на первом этапе приготавливали суспензию из воды, метакраолина и гипса. На втором этапе в ранее приготовленную суспензию вводили портландцемент (ПЦ) с дальнейшим перемешиванием всех составляющих. Смешивание компонентов напрягающего цемента, осуществляли с помощью механического смесителя в соответствии с СТБ EN 196-3 [3]. С целью изучения влияния базальтовой

фибры как армирующего компонента изготавливали образцы-балочки размером  $4 \times 4 \times 16$  см на основе цементно-песчаной смеси состава Ц:П = 1:1.

В качестве армирующего компонента применяли базальтовую фибру с длиной волокна 25 мм. Количество армирующего компонента было принято в количестве 5 % по массе вяжущего вещества. Для улучшения равномерного распределения базальтовой фибры в цементно-песчаной матрице, а также увеличения пластичности смеси был применен гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе.

Основными контролируруемыми параметрами напрягающего цемента являлись величина самоупреждения и линейного расширения согласно [4]. Для определения основных показателей напрягающего цемента (НЦ) существуют методы и оборудование подробно описанные в СТБ 1335 [4].

Для определения прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие использован гидравлический пресс марки с CONTROLS AUTOMAX, данный пресс является универсальным лабораторным прессом, позволяющим проводить испытания в условиях контроля скорости сжатия и изгиба, а так же нагрузки на образец. Пресс оснащен микропроцессорным блоком управления, что позволяет выводить результаты испытания и запоминать их.

#### Экспериментальные исследования.

Для определения величины самоупреждения и линейного расширения напрягающего цемента, были заформованы контрольные образцы в соответствии с СТБ 1335 [4]. Контрольные измерения связанных и свободных деформаций опытных образцов производили для напрягающего цемента в возрасте 1, 3, 7, 14, 21 и 28 суток в соответствии с указаниями нормативных документов.

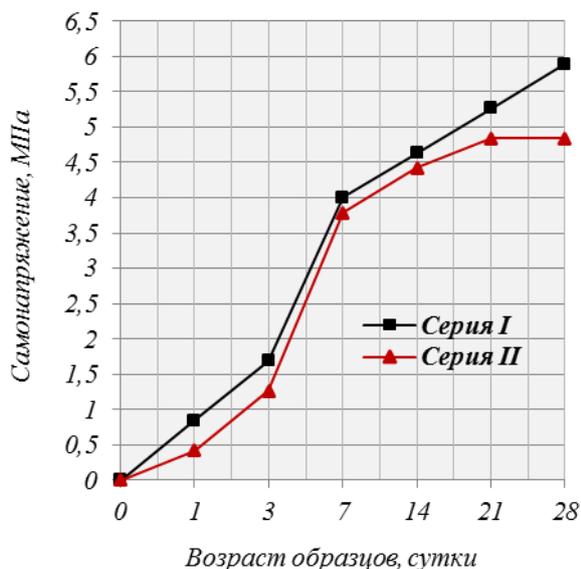
Испытаниям подвергали следующие образцы:

серия I – образцы из цементно-песчаной смеси;

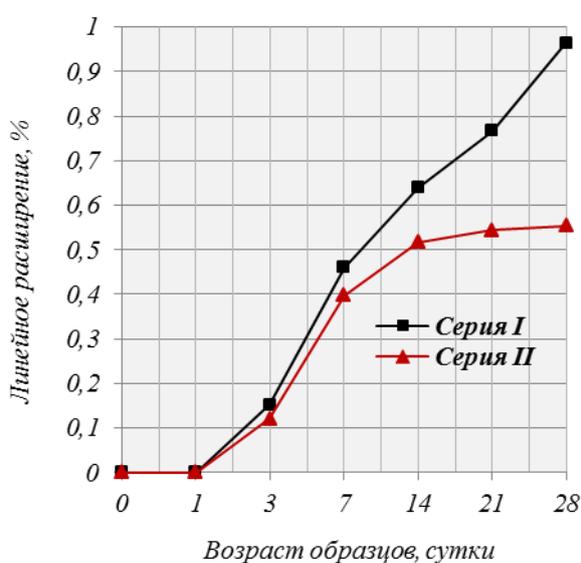
серия II – образцы из цементно-песчаной смеси, армированной базальтовой фиброй.

Для наглядного представления протекания процесса роста величины самоупреждения и линейного расширения опытных образцов двух серий на протяжении 28 суток, были построены графические зависимости, представленные на рисунке 1.

а)



б)



**Рисунок 1 – График развития самоупреждения (а) и линейного расширения (б) во времени**

Конечные значения величины самонапряжения и линейного расширения серий образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения величин свободных и связанных деформаций напрягающего цемента

Серия образцов	Самонапряжение, МПа (в возрасте 28 суток)	Линейное расширение, % (в возрасте 28 суток)
Серия I	5.88	0.964
Серия II	4.83	0.551

На основании полученных данных был проведен сравнительный анализ образцов серии I и серии II. Значение величины самонапряжения образцов, не армированных базальтовой фиброй (серия I) превышает значение образцов, армированных базальтовой фиброй (серия II) примерно на 20 %.

Что же касается значений линейного расширения, то величина линейного расширения образцов, не армированных базальтовой фиброй, практически вдвое превосходит значение величины линейного расширения образцов, армированных базальтовой фиброй.

На основании полученных данных можно сделать вывод о степени влиянии базальтовой фибры на рост свободных и связанных деформаций напрягающего цемента. Необходимо отметить, что базальтовое волокно (фибра) представляет собой отрезки комплексного базальтового волокна заданной длины в виде рассычатых монофиламентов, а по своей структуре схоже с цементным камнем и обладает природной естественной шероховатостью. Именно благодаря своей шероховатости достигается высокое сцепление волокон с цементной матрицей, а за счет способности разделения волокна на отдельные монофиламенты достигается равномерное распределение волокон по объему смеси.

Однако необходимо отметить, что для равномерного распределения волокна необходимо подобрать оптимальный способ введения данного волокна в цементно-песчаную матрицу и способ перемешивания всех составляющих.

В ходе проведенных исследований выявлено, что наиболее эффективно вводить базальтовое волокно в заранее приготовленную суспензию, состоящую из воды и напрягающего цемента, с последующим добавлением песка. При таком способе перемешивания базальтовое волокно разделяется на отдельные монофиламенты, которые в свою очередь равномерно распределяются по объему смеси вызывая эффект объемного армирования, что также влияет и на прочностные характеристики смеси.

Определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе цементно-песчаных растворов серий I и II выполняли в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток.

Значения прочности на сжатие и на растяжение при изгибе опытных образцов из напрягающего цемента в возрасте 28 суток представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочностные характеристики напрягающего цемента

Серия образцов	Средняя прочность на сжатие, МПа (в возрасте 28 суток)	Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа (в возрасте 28 суток)
Серия I	40.88	6.54
Серия II	71.61	14.61

По результатам экспериментальных исследований выявлено, что армирование цементно-песчаной смеси базальтовым волокном (фиброй) в количестве 5 % от массы вяжущего, повышает величину прочности на сжатие примерно на 70 %, а величину прочности на растяжение при изгибе на 120 %.

Увеличение прочностных показателей напрягающего цемента обусловлено целым рядом причин, одной из которых является природа и структура самого базальтового волокна. Базальтовое волокно (фибру) производят из расплава горных пород типа базальта, обладающего высокими показателями прочности, благодаря чему при взаимодействии фибры с цементным камнем создается плотное и прочное сцепление.

Однако также необходимо отметить, что на начальных этапах прирост прочности не так выражен, чего нельзя сказать о более поздних сроках. Как показано на рисунке 2 нарастание прочности происходит опережающими темпами в возрасте 7 суток, что вероятно, является результатом более глубоких гидратационных процессов при твердении цементного камня в присутствии такого типа волокон.

**Заключение.** В данной работе акцент был поставлен на определение оптимального количества базальтового волокна, как армирующего компонента, которое смогло бы повлиять на рост прочностных показателей напрягающего бетона. В результате проведенных исследований установлена рекомендуемая дозировка базальтовой фибры, которая составила 5 % от массы вяжущего. Именно при концентрации базальтовой фибры в этих пределах происходит рост прочностных характеристик цементно-песчаной смеси, таких как прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие.

Предложен оптимальный способ введения базальтового волокна, позволяющий достичь равномерного распределения армирующего компонента по объему смеси. Оптимальный способ введения базальтовой фибры заключается в ведении волокон в заранее приготовленную суспензию, состоящую из напрягающего цемента с водой.

#### Список цитированных источников

1. Потапова, Ю.И., Структура и свойства бетонов с двухстадийным расширением // Диссертация - Ростов-на-Дону, 2015.
2. Бетоны напрягающие. Технические условия: СТБ 2101-2010. – Введ. 01.01.2011 – Мн.: Госстандарт, 2011. – 20 с.
3. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение времени схватывания и равномерности изменения объема: СТБ ЕН 196-3-2000. – Введ. 01.01.2001 – Мн.: Минстройархитектуры, 2001 – 7 с.
4. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.

УДК 69.003.12

**Василюк А.А., Станчук В.В.**

**Научные руководители к.т.н., доцент Кузьмич П.М., доцент  
Срывкина Л.Г.**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЛОЖЕНИЯ «ОСТОРОД»**

Определение стоимости проектных работ в условиях несовершенной конкуренции, когда действенность макроэкономической формулы "чем больше предложений, тем меньше цена, и наоборот" ограничена, вызывает определенные трудности.

Связаны они, в первую очередь, со спецификой разработки проектной документации: высокая доля затрат нематериального характера; повышенные требования к кадровому обеспечению; необходимость, в некоторых случаях, проведения исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Эти обстоятельства, а также насущная необходимость рационального использования бюджетных ресурсов требуют применения методик, обосновывающих ценообразование разработки проектной документации.

Анализ нормативно-методической документации за последние двадцать пять лет [1-6] позволяет выделить **следующие принципиальные подходы** к определению стоимости проектных работ:

1) в зависимости от натуральных показателей объектов проектирования (общей площади, строительного объема и т.п.);

2) в зависимости от стоимости строительства (строительно-монтажных работ).

Так, Сборник [1], разработанный Госгражданстроем СССР и введенный с 1 апреля 1987 г., предусматривал определение цен на проектные работы в зависимости от натуральных показателей объектов проектирования и содержал большое количество разделов в соответствии с многообразием объектов проектирования и видов проектных работ. Этот Сборник действовал до 1998 г., пока отдельные его разделы постепенно не начали заменяться белорусскими нормами.

В 1998 году были разработаны и введены в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 29.06.1998 г. № 237 строительные нормы СНБ 1.02.06-98 «Порядок определения стоимости разработки проектной документации в строительстве» [2]. Они сначала значительно упростили методику расчета, поскольку предусматривали определение стоимости разработки проектной документации в процентах от стоимости строительства (для объектов жилищно-гражданского назначения) или стоимости строительно-монтажных работ (для объектов промышленного назначения, инженерного обеспечения, улиц и автомобильных дорог общего пользования) в базовых ценах 1991 г. по главам 1-7 сводного сметного расчета стоимости строительства. Результат расчета в базовых ценах отражался в сводном сметном расчете, а для формирования договорной цены на разработку документации предусматривалось применение индексации стоимости. Строительные нормы СНБ 1.02.06-98 были изданы в небольшом сборнике (около двух десятков страниц), никаких отдельных сборников по видам объектов проектирования не требовалось.

Несмотря на техническую простоту реализации, методика подвергалась критике за зависимость стоимости проектных работ от стоимости строительства и, соответственно, необъективность. В СНБ 1.02.06-98 вносились многочисленные изменения, в результате которых этот нормативный документ совершенно преобразился и предусматривал определение стоимости основных и ряда дополнительных проектных работ не в процентах от стоимости строительства, а по базовым ценам на 01.01.2005 г., установленным в зависимости от натуральных показателей объектов проектирования. Стоимость некоторых дополнительных проектных работ, не нашедших отражение в базовых ценах, рекомендовалось определять по трудозатратам на их выполнение или в процентах от стоимости разрабатываемой проектной документации. При этом в сводном сметном расчете в соответствии с действовавшей методикой определения сметной стоимости строительства стоимость проектных работ отражалась в ценах 1991 г. с применением соответствующих индексов.

С 1 января 2008 г. произошел переход на новую сметно-нормативную базу в строительстве в целом, и в области определения стоимости разработки проектной документации также была введена в действие новая методика [3]. Были введены в действие Сборники базовых цен на разработку градостроительной документации, выполнение комплексных научных изысканий по недвижимым историко-культурным ценностям и документации проектного обеспечения инвестиционного процесса в строительстве. Базовые цены были установлены по состоянию на 1 января 2006 г. Для перехода к стоимости в текущем уровне цен применялись индексы изменения стоимости проектных работ. Предусматривалось определение стоимости разработки документации проектного обеспечения одним из трех методов в зависимости от наличия или отсутствия объекта проектирования в соответствующем Сборнике, величины его натурального показателя, вида инвестиционного процесса (возведение, реконструкция, реставрация, ремонт):

- в зависимости от натуральных показателей объектов проектирования;
- в зависимости от общей стоимости строительства для объектов жилищно-гражданского назначения; от стоимости СМР для объектов промышленного назначения, инженерных коммуникаций;
- в зависимости от трудозатрат проектной, научно-проектной, изыскательской организации.

Методические рекомендации о порядке определения стоимости проектных и изыскательских работ [4] и Сборники базовых цен, введенные в действие с 1 мая 2011 г., если не углубляться в детали, отражали аналогичную методику и базовые цены на разработку проектной документации на 1 января 2006 г.

Основным отличием Методических рекомендаций и новых Сборников цен [5], утвержденных постановлением Минстройархитектуры Республики Беларусь 21 марта 2012 г. № 11, стало применение базовых цен по состоянию на текущий год, то есть Сборники цен стали регулярно пересматриваться.

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 11 августа 2011 г. № 361 [7] осуществляется переход на **ресурсный метод** определения стоимости строительства. Этот процесс непосредственно затронул и порядок определения стоимости проектных работ. С 1 июля 2014 г. введены в действие Методические указания о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом [6] и Сборники норм затрат трудовых ресурсов (СНЗТ) по видам объектов проектирования. Новшеством стало то, что в зависимости от

натуральных показателей объектов проектирования или сметной стоимости строительства сегодня определяются *не стоимостные показатели, а затраты труда на разработку проектной документации и выполнение сопутствующих работ.*

Таблица 1 - Порядок определения и применения норм затрат трудовых ресурсов (НЗТ)

<b>Способ определения НЗТ</b>	В зависимости от натуральных показателей объекта проектирования $X_{об}$	В зависимости от сметной стоимости объекта строительства	По индивидуально разработанным в организации нормам затрат трудовых ресурсов
<b>Источник норм</b>	Сборники НЗТ по видам объектов проектирования	Приложение 1 к Методическим указаниям [6]	Экспертная оценка специалистов, состав которых утверждается руководителем организации-разработчика, с учетом положений Приложения 2 к Методическим указаниям [6]
<b>Область применения</b>	Объект проектирования присутствует в таблицах Сборников НЗТ	Объект проектирования отсутствует в таблицах Сборников НЗТ	<b>Дополнительные</b> проектные работы (услуги); <b>сопутствующие</b> работы (услуги) при <u>отсутствии межотраслевых, отраслевых или местных норм на их выполнение</u>
	$0,5X_{min} \leq X_{об} \leq 2X_{max}$ $X_{min}, X_{max}$ - минимальное и максимальное значение натурального показателя по таблицам Сборника НЗТ	$X_{об} < 0,5X_{min}$ или $X_{об} > 2X_{max}$	

Определенную сложность для проектировщиков представляет определение стоимости проектных работ, приходящейся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда (**B**):

$$B = B_{на\ 01.\ 01} \times \left( 1 + 0,5 \times \left( \frac{(I_1^{год} - 1) \times (2T + M_1)}{12} + \frac{(I_2^{год} - 1) \times M_2}{12} + \frac{(I_3^{год} - 1) \times M_3}{12} \right) \right) \quad (1)$$

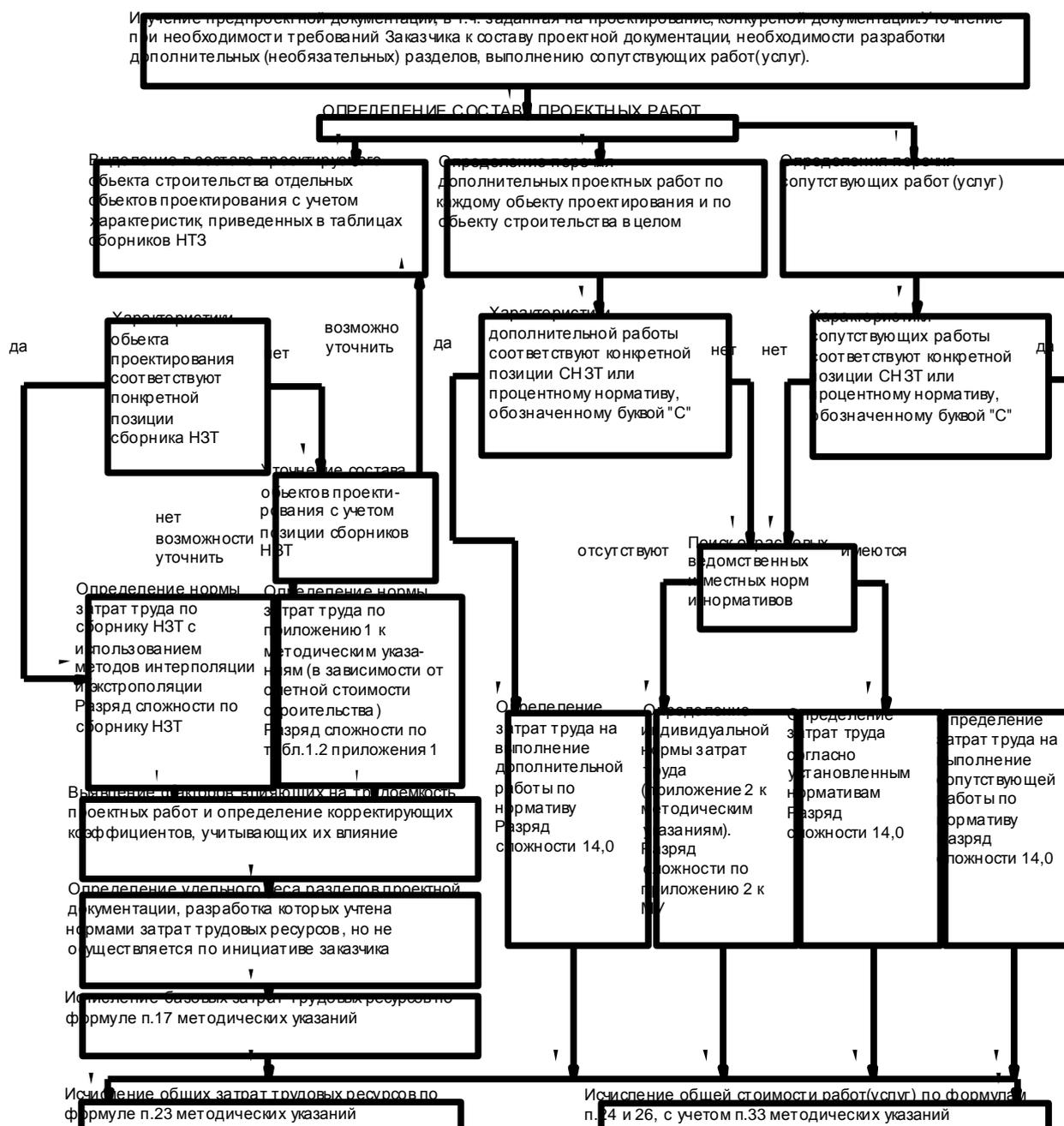
где  $B_{на\ 01.\ 01}$  <sup>чел-дн</sup> – стоимость работ (услуг), приходящаяся на 1 чел.-день работы исполнителя 14 разряда по состоянию на 1 января текущего года; устанавливается Минстройархитектуры (для объектов, финансируемых за счет бюджетных и приравненных к ним средств) или рассчитывается проектной организацией разработчиком;

$I_1^{год}, I_2^{год}, I_3^{год}$  – прогнозные среднегодовые индексы изменения стоимости работ (услуг) в 1-м, 2-м, 3-м годах срока разработки проектной документации – ежегодно сообщаются и уточняются Минстройархитектуры;

$M_1, M_2, M_3$  – количество календарных месяцев разработки документации в 1-м, 2-м и 3-м календарных годах срока разработки проектной документации;

$T$  – количество календарных месяцев с января текущего года до месяца, в котором планируется начало выполнения работ.

# Алгоритм определение общей стоимости работ представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Алгоритм определение общей стоимости работ (услуг) по разработке проектной документации для объекта строительства**

Анализ действовавших и актуальных методов определения стоимости проектных работ позволяет отметить следующее:

1) методики определения стоимости проектных работ постоянно изменяются с учетом изменений в ценообразовании в строительной отрасли в целом и применяемых уровней цен (базисных, текущих);

2) при этом можно выделить несколько основных подходов к определению стоимости проектных работ: первый основан на учете натуральных показателей объектов проектирования, второй – на учете стоимостных показателей строительства;

3) определение стоимости проектных работ в целом или норм затрат трудовых ресурсов в зависимости от сметной стоимости строительства является наиболее простой, но наименее объективной методикой;

4) расчет стоимости проектных работ или норм затрат трудовых ресурсов на разработку проектной документации исходя из натуральных показателей объектов проектирования повышает обоснованность конечного результата, так как исключает стремление проектировщика увеличить стоимость проектных работ за счет роста стоимости строительства. Но при этом невозможно полностью отказаться от использования в отдельных случаях стоимостных показателей строительства или индивидуальных норм трудозатрат, так как Сборники цен или Сборники норм затрат трудовых ресурсов не могут охватить всего многообразия объектов проектирования;

5) переход от базовых цен на проектные работы к ресурсному методу ценообразования, в основе которого лежит определение затрат труда на разработку проектной документации, ведет повышению прозрачности расчетов: можно проследить всю цепочку от трудоемкости и сложности проектных работ до окончательного результата в стоимостном измерении.

На первый взгляд ресурсный метод не представляет особой сложности, но его практическая реализация весьма трудоемка, так как необходимо учесть большое количество факторов, условий, составляющих. В конечном итоге при определении стоимости используется до 17 переменных, при этом необходимо использовать сборник или несколько сборников норм затрат трудовых ресурсов (СНЗТ) в зависимости от количества и видов объектов проектирования, на которые необходимо разбить объект строительства. При этом кроме существенных затрат трудовых ресурсов высока вероятность неточных, некорректных расчетов, механических ошибок.

В некоторых случаях, при значительных объемах работ, возникает необходимость иметь в штате проектной организации соответствующего специалиста, что ведет к удорожанию стоимости проектных работ.

С учетом вышеизложенного и в соответствии с Методическими указаниями о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом [6] в среде MS Excel разработано адаптированное приложение для расчета общей стоимости разделов проектной документации "**ОСТОРОД**".

В настоящее время приложение позволяет определить стоимости проектных работ с использованием одного метода: путем определения норм затрат трудовых ресурсов в зависимости от сметной стоимости возведения объекта строительства.

Целью применения приложения является получение точных стоимостей разделов проектной документации как на стадии архитектурного, так и на стадии строительного проекта. При расчете учитывается сметная стоимость строительства по итогу глав 1-7 сводного сметного расчета, вид документации, корректирующие коэффициенты, затраты времени для дополнительных и сопутствующих работ, стоимость работ (услуг), приходящаяся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда, значения прогнозных среднегодовых индексов изменения стоимости работ, количество календарных месяцев разработки проектной документации, планируемый месяц начала работ, наименование объекта проектирования, а также возможен учет ненормируемых расходов организации-разработчика, стоимости BIM-моделей, налогов и сборов.

Приложение позволяет:

- автоматизировать расчет базовых затрат трудовых ресурсов для основных проектных работ (рисунок 2);
- учитывать усложняющие и упрощающие факторы проектирования путем выбора соответствующих коэффициентов (рисунок 3);
- определять общие затраты трудовых ресурсов с учетом трудоемкости дополнительных и сопутствующих работ (рисунок 4);

- определять стоимость работ (услуг), приходящуюся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда (рисунок 5);
- определять базовую стоимость основных проектных работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации по объектам строительства (рисунок 6);
- определять общую стоимость на разработку комплекта проектной документации для объекта строительства с учетом стоимости ненормируемых расходов организации-разработчика, BIM-моделей и налогов (рисунок 7).

Бнзт	70,8621		Сметная стоимость, млн.ру€	НЗП	Вид документации
		1	220	7,294590846	Архитектурный проект «А»
		2	200	6,660887656	Одностадийное проектирование
		3	300	9,732417582	Строительный проект «С»
		4	144	4,872928177	Одностадийное проектирование
		5	331	10,66923077	Одностадийное проектирование
		6	543	16,76710963	Одностадийное проектирование
		7	425	13,40221484	Одностадийное проектирование
		8	300	9,732417582	Одностадийное проектирование

**Рисунок 2 - Расчет базовых затрат трудовых ресурсов для основных проектных работ**

Условия привязки	K1	Условия привязки2
2.8 Изменение конструкции полов	0,005	2.8 Изменение конструкции полов
2.12 Изменение внутренней отделки помещений	0,006	2.3 Переработка фасадов
2.4 Замена оборудования с изменением инженерных сетей	0	2.1 Изменение этажности
2.1 Изменение этажности	0,04	2.11 Переработка лестнично-лифтового узла с изменени
2.8 Изменение конструкции полов	0,005	2.4 Замена оборудования с изменением инженерных се
2.13 Замена окон и балконных дверей (спаренные, двойные, с тройным остеклением, с шумоз	0,004	2.12 Изменение внутренней отделки помещений
2.5 Переработка в связи с устройством проездов	0,04	2.9 Изменение конструкции крыши
2.10 Изменение санитарно-кухонных узлов (с сантехкабинами и без них)	0,04	1 Компоновка объектов из отдельных цехов, сооруже
2.12 Изменение внутренней отделки помещений	0,006	2.1 Изменение этажности
0	0	

Условие проектирования (Отношение Тф/Тн)	Ki
0,9	1,06
0,7	1,15
0,6	1,2
0,5	1,35
1	1

Привязка сооружений	Ki
1. Привязка сооружений на водотоках	0,2
Нет привязки сооружения	1
Нет привязки сооружения	1
2. Привязка сооружений с частичной переработкой конструктивных решений	0,20-0,25
Нет привязки сооружения	1
Нет привязки сооружения	1

Условия привязки	K1	Условия привязки2
1 2.12. Изменение конструкции крыши	0,04	2.13. Изменение санитарно-кухонных узлов (с сантехкабинам
2 2.16. Изменение внутренней отделки помещений	0,006	2.14. Разработка санитарно-кухонных узлов с различными вид
3 2.18. Остекление лоджий	0,004	2.17. Замена окон и балконных дверей (спаренные, двойные,
4 2.7. Переработка в связи с устройством встроенных помещений	0,06	2.15. Переработка лестнично-лифтового узла с изменением к
5 2.6. Переработка в связи с устройством проездов, проходов под зданием	0,04	2.7. Переработка в связи с устройством встроенных помещени
6 2.14. Разработка санитарно-кухонных узлов с различными видами оборудования (плиты на тве	0,03	2.18. Остекление лоджий
7 2.6. Переработка в связи с устройством проездов, проходов под зданием	0,04	2.3. Разработка мансардных этажей
8 2.2. Изменение планировки типовых этажей без изменения несущих конструкций	0,015-0,05	2.1. Изменение этажности
9 1. Компоновка зданий из блок-секций и их модификация или изменение секционное™ с разра	0,05	2.1. Изменение этажности

**Рисунок 3 - Подбор корректирующих коэффициентов**

ТРобщ	100,132	Вид документации	УВстадия	Трдоп	Трсоп4
№	2	Одностадийное проектирование	1	4	3
				2	1
				6	5
				0	0
				0	0
				0	0

**Рисунок 4 - Определение общих затрат трудовых ресурсов на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства**

Стоимость работ (услуг), приходящаяся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда	
V14p	0
V14p на 01 янв.	Устанавливается Министерством архитектуры и строительства РБ
I1	Значения прогнозных среднегодовых индексов изменения стоимости работ (услуг) в 1-м, 2-м и 3-м годах срока разработки проектной документации (в процентах к предыдущему году) - ежегодно сообщаются и уточняются Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь согласно прогнозам социально-экономического развития Республики Беларусь на планируемый период, утверждаемым Министерством экономики Республики Беларусь, в долях
I2	
I3	
I4	
I5	
M1	Количество календарных месяцев разработки документации в 1-м, 2-м и 3-м календарных годах срока разработки проектной документации. Общая продолжительность разработки документации (M1+M2+M3) не должна превышать продолжительность, определяемую в соответствии с Положением о порядке определения продолжительности разработки проектной документации на строительство зданий и сооружений, утвержденным Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь. При завершении всех работ в течение 1-го планируемого месяца начала работ(услуг)
M2	
M3	
M4	
M5	
Мес	Январь
T	0

**Рисунок 5 - Определение стоимости работ (услуг), приходящейся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда**

Базовая стоимость основных проектных работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства				
БСрес	2701937,032	Наименование объекта проектирования	Ксредн.ра	PRK
		16.16. Вычислительные центры	1,049	7,6520258
		16.14. Компрессорные	1,028	6,8473925
		9.7. Студии и мастерские искусств	1,028	10,004925
		3.5. Пансионаты с лечением, санатории-профилактории	1,065	5,1896685
		4.7. Детские спортивные школы	1,028	10,967969
		13.1. Конторы	0,975	16,347932
		16.15. Инженерные корпуса	1,037	13,898097
		4.12. Спортивные базы	1,043	10,150912

**Рисунок 6 - Определение базовой стоимости основных проектных работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства**

Общая стоимость работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства				
Срес	2701986,03	Общая стоимость работ (услуг) для объекта строительства		
ПРненорм	22	Ненормируемые расходы организации-разработчика		
ВМ	13	Стоимость BIM-моделей		
Н	14	Налоги и сборы		
			Кг средний раз	Кг средний разряд

**Рисунок 7 - Определение общей стоимости работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства**

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Трудоемкость практической реализации ресурсного метода определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности и объемность нормативной базы вызывают необходимость автоматизации расчетов.

2. Использование автоматизированного приложения «ОСТОРД» позволяет исключить механические ошибки, возникающие при ручном расчете, множественные погрешности округления, что в целом существенно увеличивает точность расчета.

3. «ОСТОРД» дает возможность существенно снизить трудоемкость расчета. Так, экономия времени при использовании приложения составляет от 80 % до 92 %.

4. Крайне важной является простота освоения приложения благодаря существующей поэтапной инструкции по работе с «ОСТРОД».

#### **Список цитированных источников**

1. Сборник цен на проектные работы для строительства: приказ Государственного комитета СССР по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР 31 марта 1987 г., № 103. – Введ. 01.04. 1987.

2. Порядок определения стоимости разработки проектной документации в строительстве: СНБ 1.02.06-98. – Введ. 01.10.1998. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 1998.

3. Об утверждении и введении сборников базовых цен для определения стоимости разработки проектной документации: приказ Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 10 дек. 2007 г., № 404. – Введ. 01.01.2008.

4. Методические рекомендации о порядке определения стоимости проектных и изыскательских работ / Министройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск: Белстройцентр, 2011. – 36 с.

5. Методические рекомендации о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения архитектурной, градостроительной и строительной деятельности: пост. Министройархитектуры Респ. Беларусь, 21 марта 2012 г., № 11.

6. Методические указания о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом: НЗТ 8.01.00-2014. – Введ. 01.07.2014. – Минск: Министройархитектуры Респ. Беларусь, 2014.

7. О совершенствовании порядка определения стоимости строительства объектов и внесении изменений в некоторые указы Президента Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 11 авг. 2011 г., № 361. – Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 93. – 1/12766.

8. Мартынов, С.А. Определение стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом / С.А. Мартынов, Г.В. Ковалева, И.Н. Палхович // Строительство и ценообразование.- 2015. - №1(3). – С. 35-40.

УДК 69.003.12

**Воробей А.П.**

**Научный руководитель: доцент Срывкина Л.Г.**

### **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

В соответствии с Законом об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности государственная экспертиза проектной документации является одним из основных направлений в области государственного регулирования архитектурной градостроительной и строительной деятельности в

148

Республике Беларусь. Проведение государственной экспертизы обеспечивается Государственным комитетом по стандартизации с целью оценки соответствия разработанной проектной документации требованиям законодательства в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности [1, статьи 12, 32; 2, п. 2].

Государственная экспертиза проектной документации осуществляется на платной основе [2, п. 6], а порядок определения соответствующей стоимости регламентируется нормативными правовыми актами Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь.

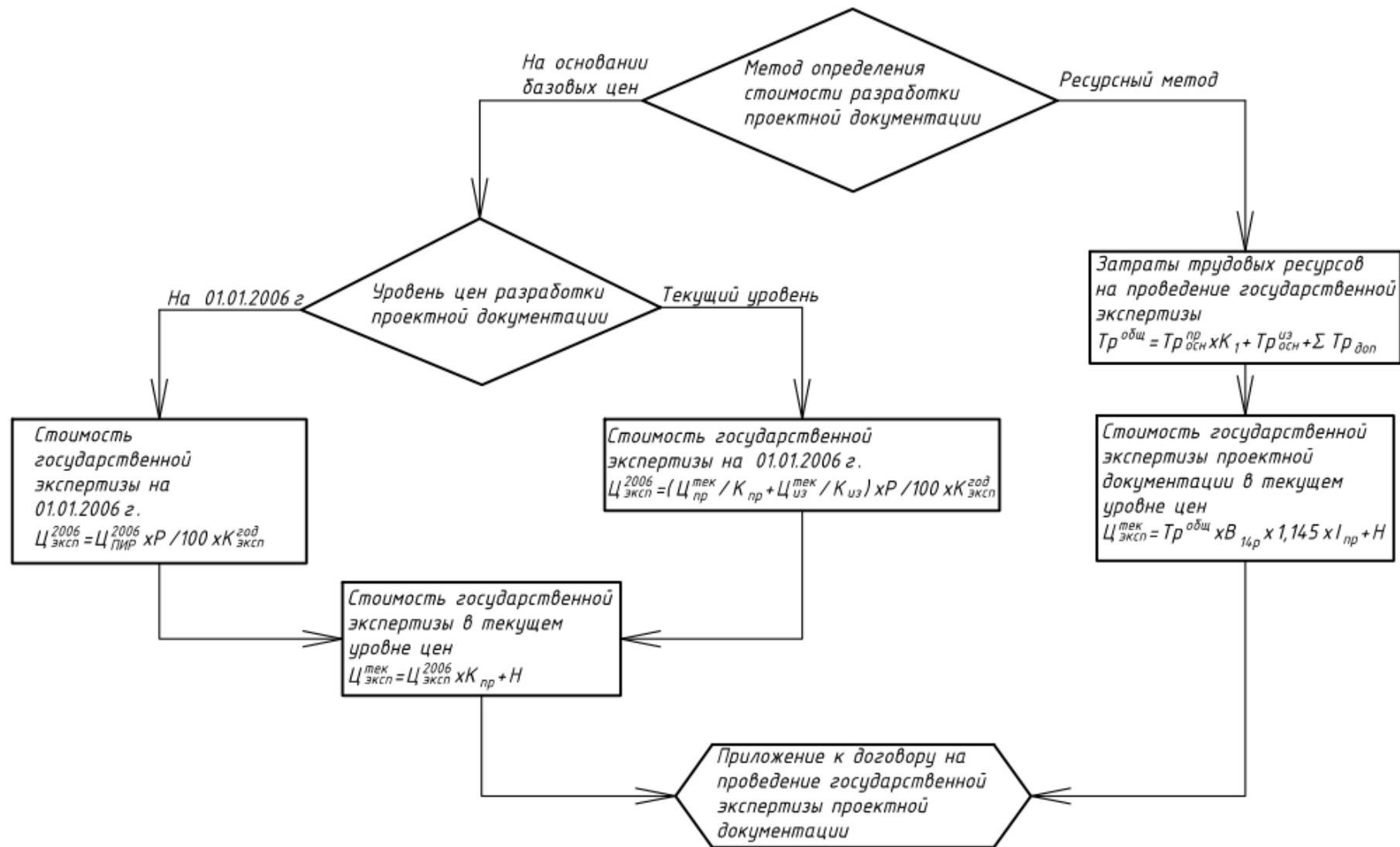
С 1 января 2012 г. в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь [3] осуществляется планомерный переход к ресурсному методу ценообразования в строительстве и применению нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении для определения различных составляющих стоимости строительства. Внедрение ресурсного метода происходит постепенно в связи с необходимостью значительной переработки нормативной базы. Сначала он начал применяться при определении сметной стоимости строительно-монтажных работ по объектам, архитектурно-планировочное задание на проектирование которых получено после 1 января 2012 г. [4], с 1 июля 2014 г. – при определении стоимости проектных работ [5], а с 2016 г. – при определении стоимости государственной экспертизы проектной документации [6].

В связи с тем, что переход на новую сметно-нормативную базу осуществляется поэтапно, в обращении на рынке на рынке находится проектная документация, составленная в разных уровнях цен: базисном, текущем. Стоимость ее разработки также определена разными методами - с использованием Сборников базовых цен [7], с использованием Сборников норм затрат трудовых ресурсов [5]. Такая ситуация усложняет условия работы субъектов хозяйствования и влечет дальнейшее усложнение порядка определения стоимости строительства в отношении оценки стоимости государственной экспертизы проектной документации.

Действующая в настоящее время **Инструкция о порядке определения стоимости государственной экспертизы** [6] предусматривает **два метода** определения стоимости работы экспертов в зависимости от того, каким образом была рассчитана стоимость проектных работ (рисунок 1):

**Метод 1.** При определении стоимости проектных работ на основании базовых цен [7] – *по расценкам в процентах от стоимости проектных и изыскательских работ* с последующим применением к полученному значению в базисных ценах 2006 г. текущего индекса изменения стоимости проектных работ, утверждаемого Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь;

**Метод 2.** При определении стоимости проектных работ ресурсным методом [5] – *на основании затрат трудовых ресурсов* на проведение государственной экспертизы в человеко-днях и стоимости 1 человеко-дня соответствующих работ.



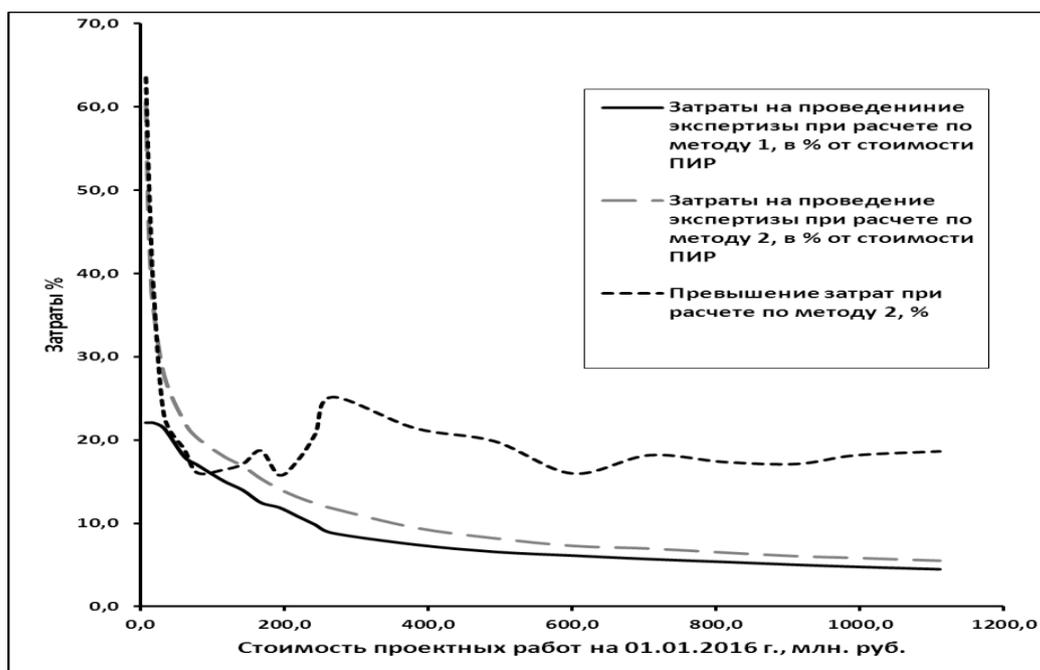
**Рисунок 1 – Укрупненная блок-схема определения затрат на проведение государственной экспертизы проектной документации**

Принятые условные обозначения (рисунок 1):  $Ц_{эксп}^{2006}$ ,  $Ц_{эксп}^{тек}$  - стоимость государственной экспертизы в уровне цен на 01.01.2006 г., в текущем уровне цен;  $Ц_{ПИР}^{2006}$  - сумма средств на проведение инженерно-геологических изысканий и разработку проектной документации на 01.01.2006 г.;  $P$  - расценка на проведение государственной экспертизы, %;  $K_{эксп}^{доп}$  - коэффициент, учитывающий дополнительные работы экспертов, направленные на оптимизацию принятых проектных решений с целью ресурсосбережения и снижения сметной стоимости строительства (на 2016 г. – 1,468);  $Ц_{пр}^{тек}$ ,  $Ц_{из}^{тек}$  - размер средств на разработку проектной документации, на проведение инженерно-геологических изысканий в текущем уровне цен;  $K_{пр}$ ,  $K_{из}$  - индекс изменения стоимости проектных и изыскательских работ, утверждаемый Минстройархитектуры Республики Беларусь для Сборников базовых цен на разработку проектной документации;  $H$  - налоги и сборы, исчисляемые в соответствии с действующим законодательством от выручки от реализации продукции, работ, услуг;  $Tr^{общ}$  - общие затраты трудовых ресурсов на проведение государственной экспертизы проектной документации, чел.-дн.;  $Tr_{осн}^{пр}$ ,  $Tr_{осн}^{из}$  - затраты трудовых ресурсов на осуществление основных (базовых) технологических операций проведения государственной экспертизы проектной документации, результатов инженерно-геологических изысканий в строительстве;  $\sum Tr_{доп}$  - затраты трудовых ресурсов на осуществление дополнительных технологических операций проведения государственной экспертизы проектной документации;  $K_1$  - корректирующий коэффициент, учитывающий усложняющие факторы трудоемкости проведения государственной экспертизы проектной документации;  $B_{14p}$  - стоимость работ (услуг), приходящаяся на 1 человеко-день работы специалиста 14-го разряда (1479 тыс. руб. на 01.01.2016 г.);  $I_{пр}$  - прогнозный индекс, учитывающий изменение цен в строительстве на момент проведения государственной экспертизы.

Инструкция [6] однозначно определяет, в каких случаях должен применяться тот или иной метод расчета. Однако, вполне закономерно возникает вопрос о том, будут ли получены одинаковые (или хотя бы близкие) результаты при применении для одного и того же объекта разных подходов.

Автором был выполнен расчет затрат на проведение экспертизы двумя методами на основании одинаковых исходных данных о стоимости проектных работ на 01.01.2016 г. в диапазоне 7,2 – 14105,2 млн. руб. (результаты для интервала стоимости проектных работ 7,2 – 1110,7 млн. руб. отражены на рисунке 2). Затраты на проведение государственной экспертизы по методу 2 (на основании нормативов трудозатрат на проведение экспертизы) превысили соответствующие затраты при расчете по методу 1 (по расценкам в процентах от стоимости ПИР) на 12,4 – 63,5 %. Причем наибольшее превышение наблюдается в диапазоне стоимости проектных работ до 30 млн. руб. В дальнейшем разница составляет 12,4 – 25,2 %.

Разница в результатах расчета затрат на проведение экспертизы разными методами 30 – 60 % является значительной и вызывает вопрос об обоснованности приведенных в Инструкции [6] нормативов.



**Рисунок 2 – Результаты расчета затрат на проведение экспертизы разными методами**

#### Список цитированных источников

1. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 05 июля 2004 г., № 300-3.
2. Положение о порядке проведения государственной экспертизы градостроительных проектов, архитектурных, строительных проектов, выделяемых в них очередей строительства, пусковых комплексов и смет (сметной документации): пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 08 окт. 2008 г., № 1476.
3. О совершенствовании порядка определения стоимости строительства объектов: Указ Президента Респ. Беларусь, 11 авг. 2011 г., № 361.
4. Инструкция о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении: пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 18.11.2011 г., № 51.
5. Методические указания о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом: НЗТ 8.01.00-2014. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2014. – 42 с.
6. Инструкция о порядке определения стоимости государственной экспертизы градостроительных проектов, архитектурных, строительных проектов, выделяемых в них очередей строительства и смет (сметной документации): пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 06 ноября 2015 г., № 32.
7. Методические рекомендации о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения архитектурной, градостроительной и строительной деятельности: пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 21 марта 2012 г., № 11.

УДК 624.012

**Горбат Я.В., Лизогуб А.А.**

**Научный руководитель: к.т.н. Тур А.В.**

### **РАСЧЕТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ И ПРОВЕРКА ЖИВУЧЕСТИ РАМ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА УПРОЩЕННЫМ МЕТОДОМ**

Под *прогрессирующим обрушением* понимают катастрофическое частичное или полное обрушение здания или сооружения, развивающееся после наступления некоторого исходного события (как правило, аномального воз-

действия), приводящего к локальному повреждению (разрушению) отдельного конструктивного элемента, которое не может быть воспринято или предотвращено за счет начальной неразрезности и деформативности (пластической податливости) конструктивной системы здания.

При проектировании строительных конструкций должны быть выполнены 4 базовых требования, касающихся безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности и **живучести**. Внезапное удаление колонны из конструктивной системы, в соответствии с расчетным сценарием, эквивалентно эффекту от внезапного приложения к модифицированной системе гравитационной нагрузки, воспринимавшейся этим вертикальным элементом. Это позволяет получать практически точные решения для систем с одной степенью динамической свободы, при значительных вертикальных перемещениях.

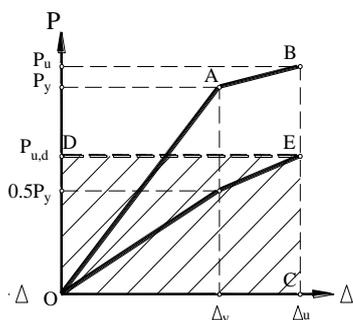
Принимая за основу научные положения **энергетического подхода**, проверка живучести конструктивной системы в особой расчетной ситуации может быть проведена следующим образом: *модифицированная конструктивная система обладает требуемой живучестью в особой расчетной ситуации, если работа, совершаемая усилием, численно равным реакции в удаляемом вертикальном элементе, на перемещении, имеющем место на первом полупериоде колебаний, не превышает потенциальной энергии модифицированной системы, определенной при том же вертикальном перемещении.*

Исходя из сформулированной гипотезы, индекс живучести (критерий живучести) для конструктивной системы может быть записан в общем виде:

$$R = \frac{P_{u,d}}{N_i} \geq 1, \quad (1)$$

где  $P_{u,d}$  – предельное квазистатическое вертикальное усилие, которое может воспринять конструктивная система на первом полупериоде колебаний, определяемое при условии, что максимальное вертикальное перемещение достигает предельного значения;

$N_i$  – продольное усилие в удаляемом вертикальном элементе конструктивной системы, определяемое из нелинейного статического расчета при особом расчетном сочетании воздействий.



**Рисунок 1 – К определению предельного квазистатического усилия для модифицированной системы с применением нелинейной статической диаграммы “P - Δ”**

В общем случае предельное усилие  $P_{u,d}$  может быть рассчитано из равенства площади прямоугольника *ODEC* и площади трапеции *OABC*, заключенной под графиком, описывающим статическую нелинейную реакцию системы. Таким образом, для определения предельного квазистатического усилия  $P_{u,d}$  в первую очередь необходимо установить вид и значения параметрических точек диаграммы “P - Δ”, описывающей функцию нелинейного сопротивления модифицированной конструктивной системы.

Получить полную нелинейную реакцию системы означает построить для определенного узла системы зависимость «сила – перемещение». В общем

случае перемещение может быть определено двойным интегрированием функции кривизны по длине элемента в зависимости от характеристик сечений.

Распределение кривизн по длине анализируемого элемента для соответствующего уровня нагружения, следует устанавливать с привлечением диаграмм “ $M-\varphi$ ” (момент-кривизна) для расчетных сечений. Ниже приведен вывод аналитических зависимостей для определения кривизн, углов поворота, перемещений для рамных систем для случая симметричного армирования.

*Определения упругой и предельной кривизны и соответствующих значений изгибающих моментов*

Для определения упругой и предельной кривизн необходимо для каждого из этих случаев знать относительную деформацию в арматуре (сжатой и растянутой) и в сжатом бетоне. Кривизна в рассматриваемом сечении определяется:  $\varphi = \frac{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{st}}{h}$ .

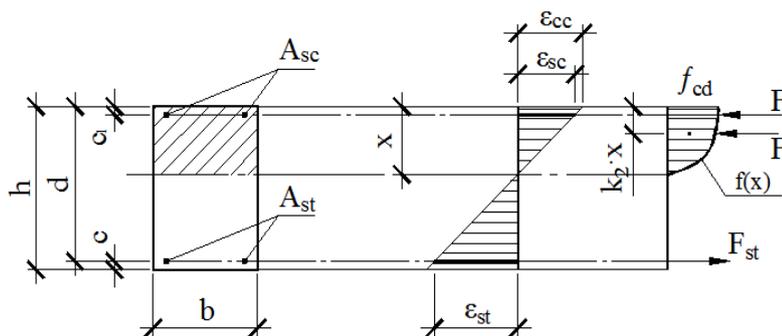
Относительные деформации арматуры и бетона в сжатой зоне можно определить итерационным методом с учетом выполнения условия равновесия:

$$F_{cc} + F_{sc} = F_{st},$$

$$\text{где } F_{cc} = \int_0^x f(x) dx \cdot b, \quad F_{st} = f_{yd} \cdot A_{st}, \quad F_{sc} = \sigma_{sc} \cdot A_{sc};$$

Значение момента для соответствующего случая будет определяться как :

$$M = F_{sc} \cdot (d - c_1) + F_{cc} \cdot (d - k_2 \cdot x).$$



$f_{cd} = f_{cm} \cdot 1,25$  – расчетное сопротивление бетона сжатию с учетом скорости приложения нагрузки;

$f_{yd} = f_{yk} \cdot 1,1$  – расчетное сопротивление арматуры с учетом скорости приложения нагрузки;

$d = h - c$  – рабочая высота сечения;

$x = \frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{st}} \cdot d$  – высота сжатой зоны сечения;

**Рисунок 2 – Схемы относительных деформаций и усилий, принятые при расчете элементов с двойным армированием**

Определение упругих и предельных углов поворота и перемещений  
Упругая работа элемента:

Рассмотрев функцию кривизны, проинтегрировав ее единожды и дважды и умножив на 4, получим соответственно угол поворота  $\theta_y$  и прогиб  $\Delta_y$  соответственно (рисунок 4):

$$f_1 \cdot x = \frac{2 \cdot \varphi_y}{L} \cdot x; \quad \theta_y = \int_0^{L/2} 4 \cdot f_1(x) dx = \varphi_y \cdot L; \quad \Delta_y = \int_0^{L/2} \int_0^x 4 \cdot f_1(x) dx dx = \frac{\varphi_y \cdot L^2}{6}.$$

Упругопластическая работа элемента (достижение предельного состояния):

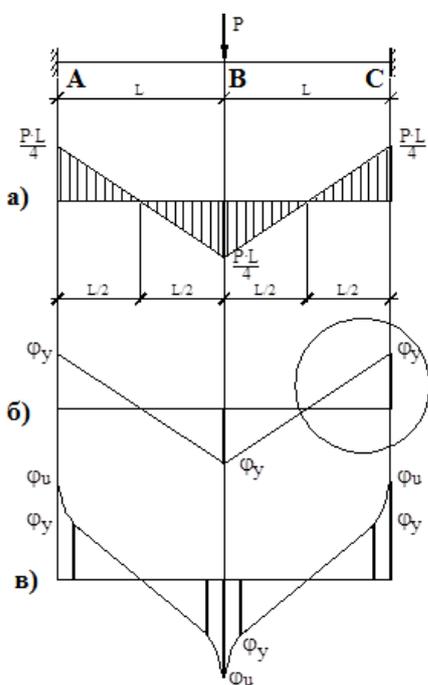
$f_1(x) = \frac{\varphi_y}{0,5L - L_p} \cdot x$  – функция кривизны элемента при работе в упругой стадии;

$f_2(x) = \frac{\varphi_u - \varphi_y}{L_p} \cdot x + \varphi_y$  – функция кривизны элемента при работе в пластической стадии;

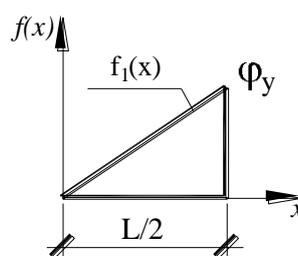
Рассмотрев функцию кривизны, проинтегрировав ее единожды и дважды и умножив на 4 получим угол поворота  $\theta_u$  и прогиб  $\Delta_u$  соответственно (рисунок 5):

$$\theta_u = 4 \cdot \left( \int_0^{L/2-L_p} f_1(x) dx + \int_0^{L_p} f_2(x) dx \right) = 2 \cdot \varphi_y \cdot \left( \frac{L}{2} - L_p \right) + 2 \cdot (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_p + 4 \cdot \varphi_y \cdot L_p$$

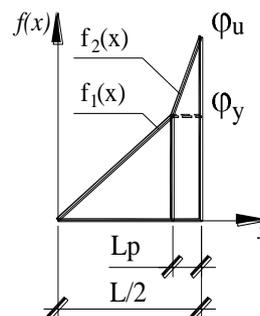
$$\Delta_u = 4 \cdot \left( \int_0^{L/2-L_p} \int_0^x f_1(x) dx dx + \int_0^{L_p} \int_0^x f_2(x) dx dx \right) = \frac{2 \cdot \varphi_y \cdot \left( \frac{L}{2} - L_p \right)^2}{3} + \frac{2 \cdot (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_p^2}{3} + 2 \cdot \varphi_y \cdot L_p^2$$



а) эпюра моментов; б) эпюра распределения кривизн  $\varphi$  в упругой стадии; в) эпюра распределения кривизн  $\varphi$  в предельной стадии  
**Рисунок 3 – Распределение кривизн по длине элемента**

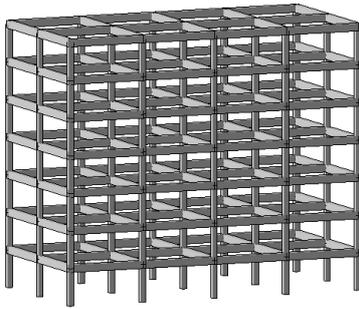


**Рисунок 4 – К определению функции кривизны элемента при работе в упругой стадии**



$\varphi_y$  – кривизна, соответствующая достижению в растянутой арматуре напряжений, равных пределу текучести;  $\varphi_u$  – предельная кривизна  
**Рисунок 5 – К определению функции кривизны элемента при достижении им предельного состояния**

Для проверки принятых зависимостей произведем расчет рамной системы со следующими характеристиками:



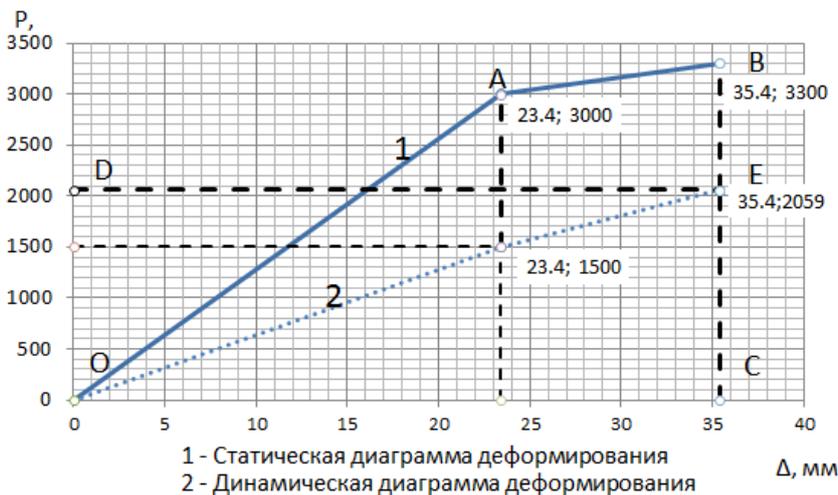
**Рисунок 6 – Рамная система**

Здание имеет прямоугольную форму с размерами в плане 24x12 м. Сетка колонн с ячейкой 6x6 м. Здание 7-этажное. Высота этажа 3 м. В качестве несущей системы здания применен монолитный железобетонный каркас, состоящий из монолитных колонн и ригелей. Колонны сечением 400x400 мм, ригели сечением 600x400 мм, запроектированы монолитными железобетонными из бетона класса  $C^{25}/_{30}$  и арматуры класса S500. Расчетная схема представлена на рисунке 9. Элементы конструктивной системы запроектированы в соответствии с ТКП EN. Составив особое сочетание нагрузок, и выполнив нагружение, определили реакцию в потенциально удаляемом ключевом элементе  $N_i=1650$  кН.

тированы в соответствии с ТКП EN. Составив особое сочетание нагрузок, и выполнив нагружение, определили реакцию в потенциально удаляемом ключевом элементе  $N_i=1650$  кН.

В соответствии с теоретическими положениями, изложенными ранее, определяем параметрические точки диаграммы «момент-кривизна» (рисунок 9) и диаграммы «сила - перемещение» (таблица 1, рисунок 7). Для определения нагрузки, соответствующей началу текучести ( $P_y$ ), производим пошаговое нагружение модифицированной конструктивной системы с удаленным ключевым элементом до достижения в узле перемещения, соответствующего  $\Delta_y$ . Нагрузка прикладывается в узел, в котором производится удаление элемента (колонны). Полученные диаграммы представлены на рисунках 7, 8.

Согласно энергетическому подходу, изложенному в п. 2, предельное динамическое усилие  $P_{u,d}$  может быть рассчитано из равенства площади прямоугольника  $ODEC$  и площади трапеции  $OABC$ , заключенной под графиком, описывающим статическую нелинейную реакцию системы (рисунок 9).



**Рисунок 7 – К определению параметрических точек нелинейной динамической диаграммы деформирования**

$$S_{ODEC} = S_{OABC};$$

$$S_{ODEC} = P_{u,d} \cdot \Delta_u;$$

$$P_{u,d} = \frac{S_{ODEC}}{\Delta_u} = \frac{S_{OABC}}{\Delta_u};$$

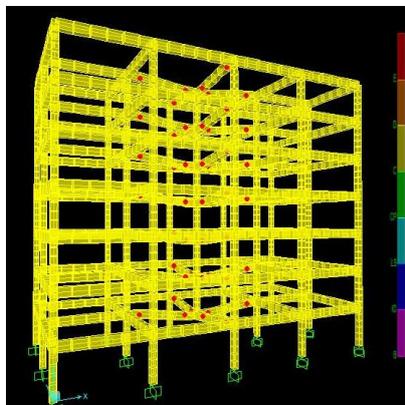
Определим индекс живучести  $R$  для конструктивной системы согласно формуле 1.

$$R = \frac{P_{u,d}}{N} = \frac{2059}{1650} = 1.25 > 1$$

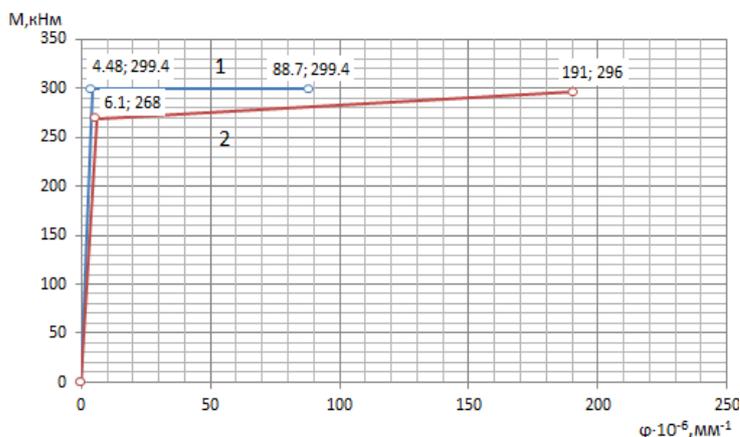
Конструктивная система удовлетворяет требованиям живучести при наступлении особого события без проведения дополнительных мероприятий.

С целью проверки полученных упрощенных теоретических зависимостей был выполнен численный анализ модельной рамы (рисунок 6, 8) в ПК SAP2000, позволяющем производить расчёты с учётом нелинейной работы материалов и осуществлять врезку пластических шарниров в автоматическом режиме. На рисунке 8 показана расчетная схема с активизированными пластическими шарнирами в предельной стадии.

На рисунке 9 представлено сравнение зависимостей «момент-кривизна» полученных теоретическим расчетом и в ПК SAP2000, а на рисунке 10 и в таблице 1 показано сравнение параметрических точек нелинейных статических и квазистатических диаграмм деформирования полученных по предложенным зависимостям и из расчета в ПК SAP2000.



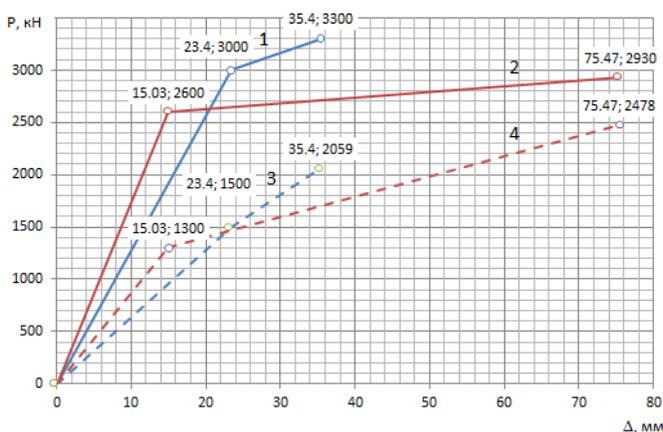
**Рисунок 8 – Расчётная модифицированная схема**



**Рисунок 9 – Зависимость «момент-кривизна» для сечений ригеля: полученная теоретическим расчетом (1); полученная в SAP 2000(2)**

**Таблица 1 – Сравнение полученных результатов**

Способ расчета	$P_{y,}$ кН	$P_{u,}$ кН	$P_{y,d,}$ кН	$P_{u,d,}$ кН	$\Delta_{y,}$ мм	$\Delta_{u,}$ мм	$N,$ кН	Индекс живучести $R = P_{u,d} / N$
Теоретический расчет	3000	3300	1500	2059	23.4	35.4	1650	1.25
SAP 2000	2600	2930	1300	2478	15.03	75.47		1.5



**Рисунок 10 – Нелинейная статическая и динамическая диаграммы полученная теоретическим расчетом (1); полученная в SAP 2000(2). Нелинейная динамическая диаграмма деформирования: полученная из NLS теоретическим расчетом (3); полученная из NLS в SAP 2000(4)**

Определенное расхождение в предложенном теоретическом расчете и в расчете по методу конечных элементов может быть нивелировано за счет более точного согласования в работе ПК ЛИРА и ПК SAP2000, а конкретно жесткостных характеристик элементов. В ПК SAP2000, в отличие от ПК ЛИРА, принимаются полные диаграммы деформирования материалов, а так же производится врезка пластических шарниров в автоматическом режиме и производится перераспределение усилий. Таким образом, ПК SAP2000 позволяет более точно исследовать поведение системы, однако погрешность не является существенной и дает определенный запас при предложенном упрощенном расчете. Более точный расчет (по ПК SAP2000) дает более высокий индекс живучести

Полученные в работе зависимости позволяют с определенным запасом получить нелинейную реакцию системы “сила-перемещение” без привлечения сложных лицензионных комплексов и произвести оценку живучести рамной конструкции в особой расчётной ситуации.

#### **Список цитированных источников**

1. General Actions – Accidental Actions (ТКП EN 1991-1-7 – Общие воздействия. Часть 7. – Особые воздействия): EN 1991-1-7.
2. ТКП EN 1990-2011. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: МАиС, 2012
3. Тур, А.В. Соппротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01/ А.В. Тур; Брест, 2012. – 228 с.

УДК 624.131.2

*Иванович В.Е., Алипова Д.А.*

*Научные руководители: старший преподаватель Демина Г.П.  
старший преподаватель Клебанюк Д.Н.*

### **ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Выбор оптимальных конструктивно-технологических (КТР) решений, при проектировании свайных фундаментов, является сложной технической задачей, требующей реализации принципов комплексности и системности подходов к оценке возможных конкурентоспособных вариантов [1, 2, 3].

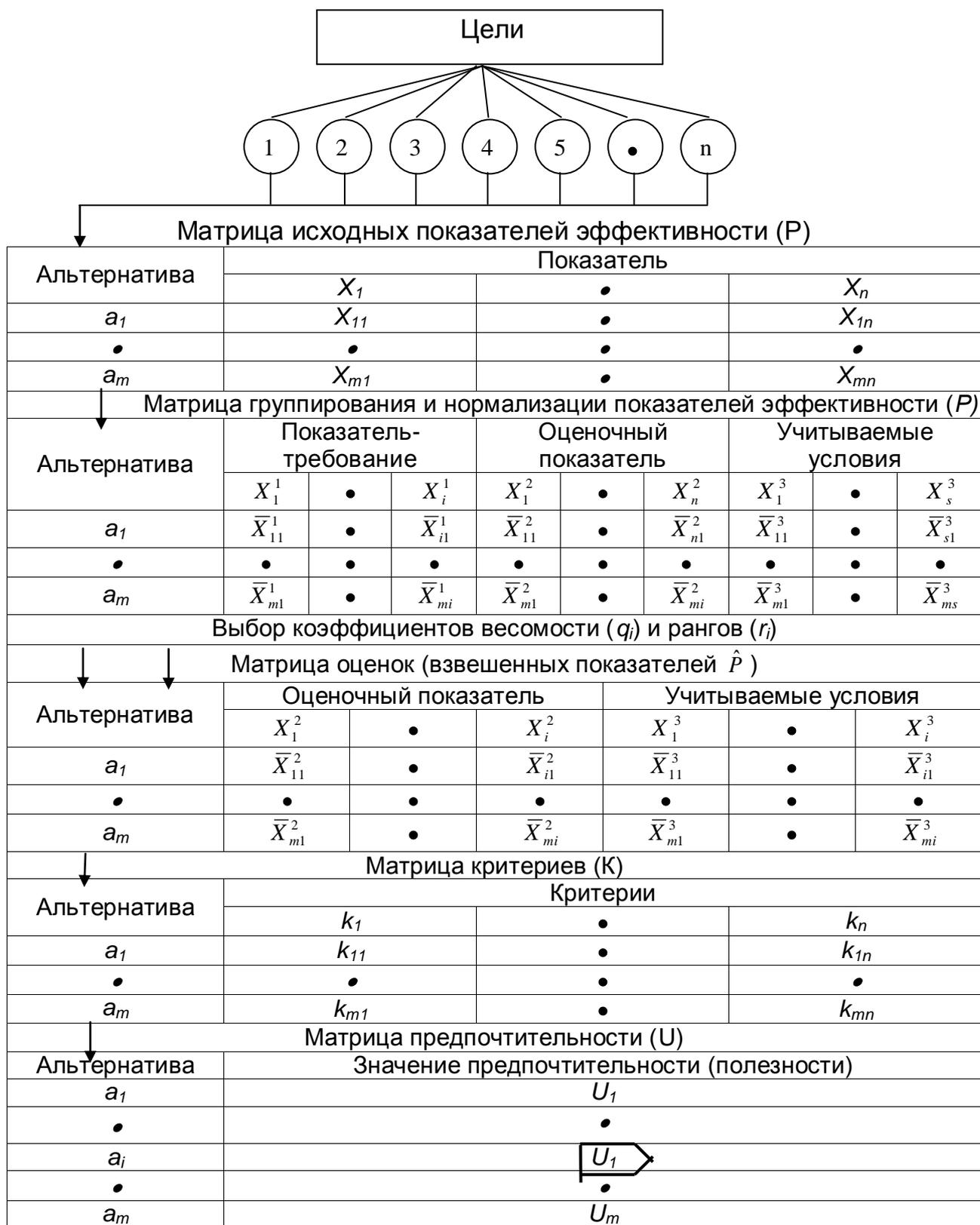
Традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию отдельных параметров, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных КТР только по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения надежности и качества технического решения.

В целом на процесс принятия проектного решения по устройству свайных фундаментов оказывают влияние следующие факторы: инженерно – геологические и гидрогеологические условия стройплощадки; конструктивная схема здания; строительные, заводские, технологические и временные ограничения (несовершенство оборудования и механизмов, стесненность условий, срок строительства и т.д.) [4, 5].

Так как выбор решения необходимо осуществлять на базе «наибольшей предпочтительности», т.е. оптимизации на совокупность показателей эффективности с учетом неопределенности факторов и условий, то собственно решение представимо в виде следующих частных задач [3]:

- выбор способа представления вариантов, удобного для полного их перебора из исходного множества и полного набора показателей эффективности, которые должны учитываться при оценке каждого варианта, а также шкалы и процедуры оценок по каждому показателю эффективности (ПЭ);
- выбор процедуры, позволяющей выделить из исходного множества вариантов (альтернатив) подмножество наиболее предпочтительных вариантов и на их основе построить ряд предпочтительности альтернатив.

Логическая схема, позволяющая реализовать все эти задачи и выбрать альтернативные варианты, представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема реализации задачи по выбору оптимального варианта свайного фундамента в условиях неопределенности**

Рассмотрим предложенную методику по выбору варианта со значимыми показателями эффективности для экспериментального объекта (80-квартирный жилой дом КПД-12 в микрорайоне «Вулька-3» г. Брест).

Инженерно-геологические условия стройплощадки типичны для большинства стройплощадок новых микрорайонов в г. Бресте. Максимальная глубина забивки свай 9,1 м. Сечение свай 30×30 см. Некоторое отличие характерно только для гидрогеологических условий.

В таблице 1 приведены результаты испытаний, позволяющие осуществить выбор варианта конструкции свайного фундамента из ограниченного множества (шести конструктивных схем –  $l_{ce}= 4, 5, 6, 7, 8, 9$ , где  $l_{ce}$  – глубина погружения свай, м).

Таблица 1 – Показатели эффективности свайных фундаментов

Вариант	Конструкция фундамента	Показатели эффективности				
		Стоимость, у.е./м <sup>3</sup>		Удельная стоимость, у.е./кН	Несущая способность (предельная нагрузка), кН/м.п.	Удельная несущая способность, кН/м <sup>3</sup>
		изготовление свай	производство работ			
1	2	3	4	5	6	7
1	$d=4$ м; $n=1,54$	49,9	34,41	0,130	640	1038,90
2	$d=5$ м; $n=1,21$	49,0	33,79	0,127	680	1123,90
3	$d=6$ м; $n=1,08$	52,49	36,21	0,137	630	972,20
4	$d=7$ м; $n=0,92$	52,16	35,97	0,136	690	1071,43
5	$d=8$ м; $n=0,85$	55,08	37,98	0,143	650	955,88
6	$d=9$ м; $n=0,73$	53,22	36,70	0,138	680	1035,01

*Примечание:*  $d$  – длина свай, м;  $n$  – количество свай на 1 п.м.

Исходные данные для определения ряда предпочтительности вариантов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Кардинальные и ординальные показатели эффективности свайных фундаментов

Показатель эффективности	Индекс показателя	Варианты			Значимость показателя
		$a_2$	$a_3$	$a_6$	
1	2	3	4	5	6
Стоимость изготовления свай, у.е./м <sup>3</sup>	$X_1$	49,0	52,49	53,22	0,18
Стоимость производства работ, у.е./м <sup>3</sup>	$X_2$	33,79	36,21	36,70	0,15
Удельная стоимость, у.е./кН	$X_3$	0,127	0,137	0,138	0,23
Общая стоимость, у.е./м <sup>3</sup>	$X_4$	82,79	88,70	92,72	0,21
Объем бетона, м <sup>3</sup> /м.п.	$X_5$	0,61	0,65	0,67	0,07
Относительные энергетические затраты	$X_6$	II	II	III	0,04
Внутренние факторы, независящие от проектировщиков	$X_7$	II	II	II	0,02
Внутренние факторы, независящие от строителей	$X_8$	III	III	III	0,02
Внешние факторы особенностей сваебойного оборудования	$X_9$	I	II	III	0,03
Внешние факторы квалификации специалистов	$X_{10}$	II	II	III	0,02
Внешние факторы неоднородностей и случайности	$X_{11}$	I	II	Ш	0,03

Предпочтительность вариантов анализировалась на основе энтропии [6], для чего, преобразуя исходную матрицу ( $P$ ) в расчетную ( $\bar{P}$ ), были определены уровни энтропии ( $E_j$ ), уровни изменчивости ( $d_j$ ) и абсолютные весомости показателей ( $q_j$ ).

Полученные критерии средневзвешенного успеха принимаемого решения позволяют расположить варианты по предпочтительности следующим образом:  $a_4 > a_3 > a_1 > a_2$ , т.е.  $a_4$  «не хуже чем  $a_3$ » и т.д.

Не менее существен и вопрос направленного улучшения выбранных (из всех конкурентоспособных) вариантов конструктивно-технологических решений, которое базируется на общей функции полезности, учитывающей как независимость по предпочтительности, так и независимость по полезности.

Проверка выполнения условий НПР и НПО проводилась для всех пар переменных, позволила получить эквивалентные пары многомерных альтернатив, а учитывая, что общая функция полезности должна иметь мультипликативную форму вида

$$u(x_i) = \frac{1}{k} \prod_{i=1,4} 1 + k_i \cdot k \cdot u_i(x_i) - 1; \quad \sum_{i=1}^4 k_i \neq 1$$

показала, что лучшим технологическим вариантом является вариант  $a_3$ .

Все это позволяет сделать вывод, что так как показателями эффективности проектного решения являются стоимостные, временные, ресурсные, эксплуатационные и ряд других показателей, т.е. очень большая группа возможных альтернатив, то для выбора оптимального ресурсосберегающего конструктивно-технологического варианта целесообразно использовать предложенную общую логическую схему выбора ресурсосберегающих решений. При этом основные задачи – составление ряда предпочтительности и выбор окончательного варианта решений – можно решать на любом уровне: очень осторожном, среднечисленном или рисковом с использованием современных математических методов [1, 7].

#### **Список цитированных источников**

1. Шведовский, П.В. Выбор оптимальных решений в строительстве / П.В. Шведовский, Л.К. Вайнгард, Н.И. Мальцева. – М: Ярославль: ЦНИИЭПсельстрой, 1990. – 309 с.

2. Кречин, А.С. Ресурсосберегающие фундаменты на сельских стройках / А.С. Кречин, П.В. Шведовский, В.П. Чернюк. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1990. – 245 с.

3. Завадкас, Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве / Э.К. Завадкас. – Вильнюс: Мокслас, 1987. – 209 с.

4. Рекомендации по рациональной области применения в строительстве свай различных видов. НИИпроект, М., Стройиздат, 1996. – 84 с.

5. Пойта, П.С. Эффективные конструкции свайных фундаментов в инженерно-геологических условиях Беларуси / П.С. Пойта, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ, Строительство и архитектура. – 2008. – № 1. – С. 24- 25.

6. Миркин, Б.Г. Решение проблем группового выбора / Б.Г. Миркин. – М: Наука, 1998. – 316 с.

7. Глюшинский, И.Г. Основы инженерного прогнозирования на примере свайного фундамента / И.Г. Глюшинский. – М: Стройиздат, 1972. – 326 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЕГО ПОРИСТОСТИ И ИЗВИЛИСТОСТИ КАПИЛЛЯРОВ

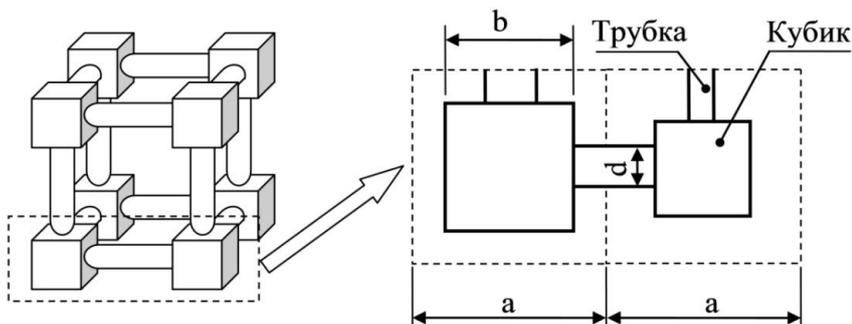
Проектирование жилых зданий неизбежно связано с расчетами по тепло- и влагозащите их ограждающих частей. В расчетах, как правило, учитываются внешние и внутренние воздействия окружающей среды, а также различные свойства материалов, характеризующие их в отношении переноса массы и энергии. В ограждающих частях зданий наиболее часто используют пористые либо капиллярно-пористые материалы, в которых наиболее крупные поры соединены между собой посредством мелких пор (капилляров). Капиллярно-пористые материалы отличаются друг от друга своей внутренней структурой, которая характеризуется рядом геометрических параметров. К таким параметрам можно отнести: пористость, удельную поверхность и условный радиус пор, распределение пор по радиусам и пр.

Ввиду сложности и хаотичности структуры пористого материала математическое описание процессов тепломассопереноса в такой среде является трудной задачей. Для упрощения решения этой задачи обычно принимают допущения, состоящие в том, что в пористой среде нет источников тепла, в ней не протекают химические реакции, а также не происходит изменение объема и форм пор вследствие изменения температуры и влагосодержания поровой среды.

Использование математической модели капиллярно-пористой структуры материала, а также принятые допущения позволяют значительно упростить математическое описание процессов переноса тепла и влаги за счет неизменности скелета пористой среды.

Моделирование такой структуры является также довольно сложной вычислительной задачей и требует использования особых алгоритмов вычисления. Полученная модель, как и любая другая, должна проверяться на адекватность ее изучаемому объекту. Для проверки адекватности математической модели в нашем случае будем использовать следующие геометрические свойства материала: пористость, распределение пор по объему и коэффициент извилистости.

В качестве геометрической модели капиллярно-пористой среды выберем структуру, представляющую собой трехмерный массив  $n \times n \times n$  кубиков, соединенных между собой трубочками (рисунок 1). Совокупность кубиков и трубочек можно вписать в куб с длиной ребра  $L$ , состоящий из  $n \times n \times n$  элементарных ячеек, где  $n \geq 2$ . Длина ребра элементарной ячейки равна  $a = L/n$ . При этом необходимо контролировать величину  $a$  таким образом, чтобы объем элементарной ячейки  $V_a = a^3$  не превышал максимально возможный объем одной поры.



**Рисунок 1 – Фрагмент модели структуры порового пространства капиллярно-пористого материала**

В этой структуре геометрические размеры кубиков и трубочек определяются исходя из пористости элементарной ячейки, которая задается случайным образом. В случае относительно равномерного распределения пор по объему пористость  $(i, j, k)$ -элементарной ячейки  $\rho_{i,j,k}$  в описанной структуре задается равномерно распределенной случайной величиной из заданного диапазона

$$\rho_{i,j,k} = \rho_{i,j,k}^{\max} - \rho_{i,j,k}^{\min} \cdot RND + \rho_{i,j,k}^{\min}, \quad (1)$$

где  $\rho_{i,j,k}^{\max}$  – максимально возможная пористость  $(i, j, k)$ -элементарной ячейки;

$\rho_{i,j,k}^{\min}$  – минимально возможная пористость  $(i, j, k)$ -элементарной ячейки;

$RND$  – функция, генерирующая равномерно распределенное псевдослучайное значение из диапазона от нуля до единицы.

И наоборот, в случае неравномерного распределения пор по объему пористость элементарной ячейки задается нормально распределенной случайной величиной с заданными средним значением  $\rho^{mean}$  пористости и стандартным отклонением  $\sigma$

$$\rho_{i,j,k} = NORMINV RND, \rho^{mean}, \sigma, \quad (2)$$

где  $NORMINV$  – функция обратная к функции нормального распределения  $F(x, \rho^{mean}, \sigma)$  значение которой в произвольной точке интервала от нуля до единицы определяется как значение  $x$ , удовлетворяющее уравнению  $F(x, \rho^{mean}, \sigma) = RND$  [1].

Для того чтобы объем случайно сгенерированной структуры порового пространства материала соответствовал объему пор реального материала, обеспечивая тем самым его пористость  $\rho$ , необходимо контролировать границы диапазона случайной величины  $\rho_{i,j,k}$  ( $\rho_{i,j,k}^{\min} \leq \rho_{i,j,k} \leq \rho_{i,j,k}^{\max}$ ). Например, для  $(i, j, k)$ -элементарной ячейки нижняя граница пористости  $\rho_{i,j,k}^{\min}$  должна быть не меньше нуля, и одновременно не меньше

$$\rho_{i,j,k}^{\min} = n^3 \cdot \rho - s > 0 \sum_s \rho_s - t < n^3 \sum_t \rho_t^{\max}, \quad (3)$$

где  $\rho_s$  – пористость  $s$ -элементарной ячейки ( $s=1..n_{prev}$ ) с известными размерами кубика и трубочек;

$n_{prev}$  – количество ячеек с известной пористостью

$$n_{prev} = \lfloor -1 \rfloor n^2 + \lfloor -1 \rfloor n + \lfloor -1 \rfloor;$$

$\rho_t^{\max}$  – максимальная пористость  $t$ -элементарной ячейки с неизвестными размерами фигур ( $t=(n_{prev}+2)..(n^3-1-n_{prev})$ ).

т.е. минимальная пористость текущей  $(i, j, k)$ -элементарной ячейки определяется исходя из пористости предыдущих элементарных ячеек с известными размерами входящих в нее фигур и максимальной пористости элементарных ячеек с неизвестными размерами фигур. По аналогии с выражением (3) верхняя граница пористости  $\rho_{i,j,k}^{\max}$  должна быть не больше единицы, и одновременно не больше

$$\rho_{i,j,k}^{\max} = n^3 \cdot \rho - s > 0 \sum_s \rho_s - t < n^3 \sum_t \rho_t^{\min} \quad (4)$$

где  $\rho_t^{\min}$  – минимальная пористость  $t$ -элементарной ячейки с неизвестными размерами фигур ( $t=(n_{prev}+2)..(n^3-1-n_{prev})$ ).

По мере заполнения элементарных ячеек фигурами (кубиками и трубочками) нижняя и верхняя границы возможной пористости будут сближаться и ста-

нут равны друг другу для последней заполняемой элементарной ячейки сгенерированной структуры.

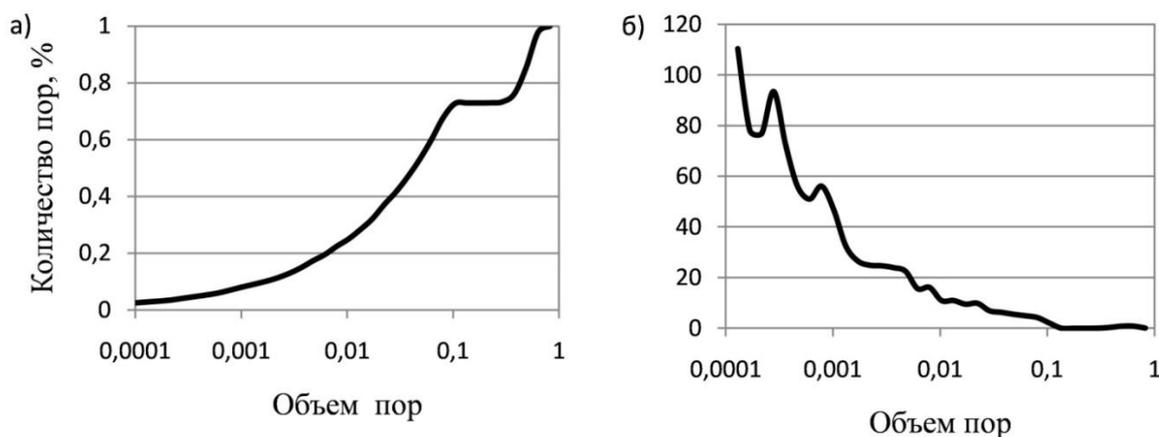
По известному количеству ячеек  $n$  в каждом направлении создаем размерность массивов, в которых будем хранить информацию о размерах и объемах кубиков и трубочек.

Информация об отдельном взятом кубике представляет собой совокупность данных о месте положения кубика в пространстве, длине его стороны  $b$  и объеме  $V_b$ . Для этих целей подходит использование четырехмерного массива размером  $(n \times n \times n \times 2)$  с нижней границей индекса равной единице. В объявленном массиве первые три размерности будут совпадать с нумерацией (местом положения) кубика, а последняя размерность, состоящая из двух элементов, отведена для хранения длины стороны  $b$  и объема кубика  $V_b$ .

Информация об одной трубочке представляет собой совокупность данных о месте положения трубочки в пространстве, ее диаметре  $d$  и объеме  $V_d$ . Расположение всех трубочек в пространстве таково, что не позволяет «уложить» эту информацию в трехмерный массив. В связи с этим, опираясь на расположение трубочек, создадим 3 четырехмерных массива, каждый из которых будет хранить информацию о группе параллельно расположенных трубочек. Например, массив, содержащий информацию о вертикально расположенных трубочках, имеет размерность  $(n \times n \times n - 1 \times 2)$ , так как количество рядов таких трубочек в вертикальном направлении на единицу меньше, чем в других направлениях. Последняя размерность из двух элементов хранит информацию о диаметре трубочки  $d$  и ее объеме  $V_d$ .

Представленная форма хранения данных позволяет легко управлять ими и выполнять последующие расчеты.

На рисунке 2 показаны интегральная и дифференциальная кривые распределения объема пор (моделируемого материала пористостью  $\rho=0.58$ ) по объему в элементарных ячейках для структуры размером  $10 \times 10 \times 10$ . Для выбранной системы число кубиков составило  $n^3=1000$ , а число трубочек  $3 \cdot (n^3 - n^2)=2700$ . В результате чего доля капилляров объемом до 0.1 в общем объеме пор составила приблизительно 73% (рисунок 2а). При необходимости сокращения этой доли целесообразно уменьшить в создаваемой структуре число трубочек.

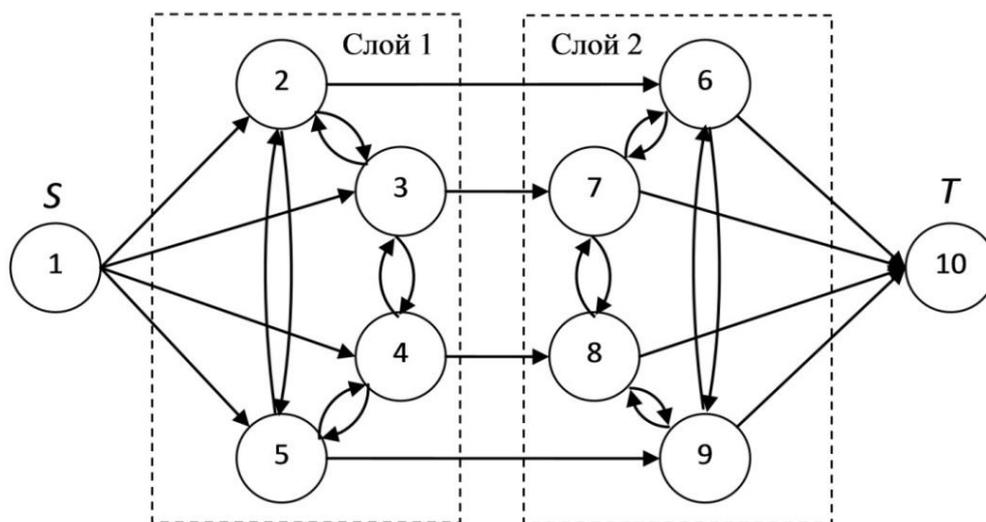


**Рисунок 2 – Интегральная (а) и дифференциальная (б) кривые распределения пор по объему для сгенерированной структуры при  $n=10$**

Представим на рисунке 3 сгенерированную структуру в виде ориентированного графа  $G=(V,E)$ , где максимальное значение  $V=n^3+2$  – вершины графа,

а  $E=5 \cdot n^3 - 3 \cdot n^2$  – ребра графа при  $n=2$ , дополнив его вершиной источника  $S$  и вершиной стока  $T$  [2].

Вершины, находящиеся в одной плоскости, перпендикулярной направлению потока, образуют слои. Предполагается, что если жидкость перетекает от слоя к слою в направлении от источника в сток, то обратное ее движение исключено. В том случае вершины соседних слоев соединяем одним ребром, направление которого совпадает с направлением движения жидкости от источника в сток. Каждое такое ребро имеет вес (пропускную способность), определяемый, исходя из геометрического размера трубочки. Внутри слоев возможно перетекание жидкости между вершинами в обоих направлениях, поэтому их соединяем двумя противоположно направленными ребрами с одинаковым весом.



**Рисунок 3 – Ориентированный граф для поровой структуры, изображенной на рисунке 1**

Использование алгоритма Диница [3] позволяет для графа, представленного на рисунке 3, определить величину максимального потока  $q_{\max}$ , а также количество  $N$  и длину путей  $l_N$ , по которым он проходит. Среднее значение длины всех путей можно интерпретировать как коэффициент извилистости капилляров  $\xi$  в пористом материале

$$\xi = \frac{\sum l_N}{N} \quad (5)$$

Варьирование числа ребер в графе приводит к изменению коэффициента извилистости и, как отмечено выше, к изменению кривых распределения пор по объему. Необходимо отметить, что чрезмерное уменьшение числа ребер (трубочек) может привести к нарушению целостности всей структуры.

Объединение всех отмеченных алгоритмов в единый цикл позволяет на каждом шаге сгенерировать случайным образом новую (относительно уникальную) структуру капиллярно-пористого материала с заданной пористостью и коэффициентом извилистости капилляров. Сравнение структур порового пространства, полученных представленным алгоритмом для различных материалов, позволит найти взаимосвязь этих структур со свойствами реальных капиллярно-пористых материалов в отношении массопереноса и повысить качество расчетов ограждающих частей зданий.

### Список цитированных источников

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / М.И. Нечипуренко, В.К. Попков, С.М. Майнагашев и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 515 с.
3. Dinitz, Y. Dinitz' Algorithm: The Original Version and Even's Version / Y. Dinitz // Lecture notes in computer science. – 2006. – Vol. 3895. – P. 218–240.

УДК 712.2:502.2

**Лещенко Е.А.**

**Научный руководитель: Мартысюк Н.А.**

## ПОНЯТИЕ О ГЕОПЛАСТИКЕ, ЕЕ ЗАДАЧАХ И МЕТОДАХ

Целью работы является исследование в сфере применения методов геопластики для решения поставленных задач.

Геопластика - архитектурно-художественное вертикальное преобразование рельефа путем искусственного создания его форм с учетом эстетических и функциональных требований объекта.[2] Геопластика имеет давнюю историю. Многие из ее методов применялись на протяжении многих веков. Создавались искусственные террасы, холмы, валы, амфитеатры, дамбы.

Круг задач, решаемых посредством изменения рельефа местности, достаточно широк. Макрорельефная форма, холмы, насыпи, откосы, подпорные стенки, кратеры, каньоны наилучшим образом осуществляют зонирование любой территории, создавая уютные замкнутые пространства различного функционального назначения. Также это и маскировка недостатков местности, и благоустройство, и зонирование, и так далее. Исходя из существующего рельефа местности, а также требований предъявляемых к данному участку можно выделить основные задачи, [3]которые решает геопластика. Задачи, решаемые геопластикой представлены на схеме (рисунок1)



**Рисунок 1 – Задачи, решаемые геопластикой**

Таким образом мы видим, что выделяются три основные задачи, решаемые геопластикой:

1. **Эстетические.** Они находят место в создании холмов в виде пьедесталов или обзорных площадок, возвышающихся над равниной в виде откосов, амфитеатров или цепи холмов, изолирующих участки от окружения, ориентирующих виды и линию маршрута в нужном направлении, закрывающих нежелательные объекты, и, наконец, в виде так называемого скульптурного рельефа.

2. **Функциональные.** Создание горизонтальных плоскостей всех размеров для организованного отдыха от небольших площадок до комплексов спортивных плоскостных сооружений: амфитеатров — для зрелищных мероприятий, насыпных гор — для санного и лыжного спусков.

3. **Технические.** Повышение уровня комфортности территории для отдыха введением при необходимости ветрозащитных валов и дамб, защищающих от наводнения, защита от ветров инсолируемых склонов.

Исходя из поставленных задач, представляется возможным выделить основные методы, применяемые в геопластике:

1. **Террасирование участка** - это формирование горизонтальных уступов (террас), укрепленных подпорными стенками. Такое проектное решение поможет защитить землю от почвенной эрозии, а подпорные стенки предотвратят размывание почвы .

2. **Подпорные стенки** – это укрепление крутых откосов и склонов, сопряжение одного участка с другим. Материал, используемый для создания подпорных стенок: (природный камень, бетон, кирпич, дерево).

3. **Искусственные холмы** – это создание холмистого рельефа послойным насыпанием грунта. Как правило, используют грунт, оставшийся при устройстве дренажа, дорожек и площадок, водоемов. Каждый слой мощностью 30-40 см утрамбовывается и поливается. Земля в геопластике является предметом трансформации, она же выполняет роль строительного материала.[1]

4. **Создание ступеней** – это формирование комфортных условий для перемещения людей по участку при помощи лестниц. Для людей с ограниченными возможностями, передвигающихся в колясках, ступени заменяются пандусами.

5. **Искусственный водоем** – это формирование человеком искусственной водной среды при помощи создания котлована с дальнейшим покрытием его бетоном, пленкой ПВХ, специальной пластиковой емкостью с дальнейшим заполнением его водой.

Таким образом, мы видим, что геопластические формы позволяют корректировать масштаб в проектируемом пространстве. Элементы геопластики позволяют создавать разные рекреационные устройства за счет многоуровневых террас, гор, холмов, а также декоративной скульптуры из пластических материалов.

#### **Список цитированных источников**

1. Немова, Е.М. Стилистика сада / Е. М. Немова. - М.: Фитон, 2001.- 160 с.
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: <http://eco-land.by/land-works.html> — Дата доступа: 20.04.2016
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: <http://ru.permaculture.wikia.com/wiki/Геопластика> — Дата доступа: 20.04.2016

УДК 725.31

*Люкевич Е.В*

*Научный руководитель: доцент кафедры строительных конструкций, к.т.н., доцент Шурин А.Б.*

## **ОЦЕНКА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДИАФРАГМ РАЗЛИЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

Обеспечение пространственной жесткости высотных зданий при действии внешних нагрузок сводится к решению динамических задач. Одним из видов динамических расчётов является модальный анализ. Под модальным анализом понимается задача определения собственных частот и форм собственных колебаний конструкций.

Динамические нагрузки на сооружение характеризуются настолько быстрым изменением во времени их величины, направления или места приложения, что вызывают колебания сооружения, которые необходимо учитывать при его расчёте. Колебательный характер имеют не только перемещения точек сооружения, но и внутренние усилия и напряжения в его элементах. Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки, т. е. при вынужденных колебаниях и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций, а значения амплитуд скоростей и ускорений колебаний зданий и сооружений, в которых находятся люди или помещение производства с точной технологией, — требованиями безвредного влияния колебаний на здоровье людей и на качество выпускаемой продукции.

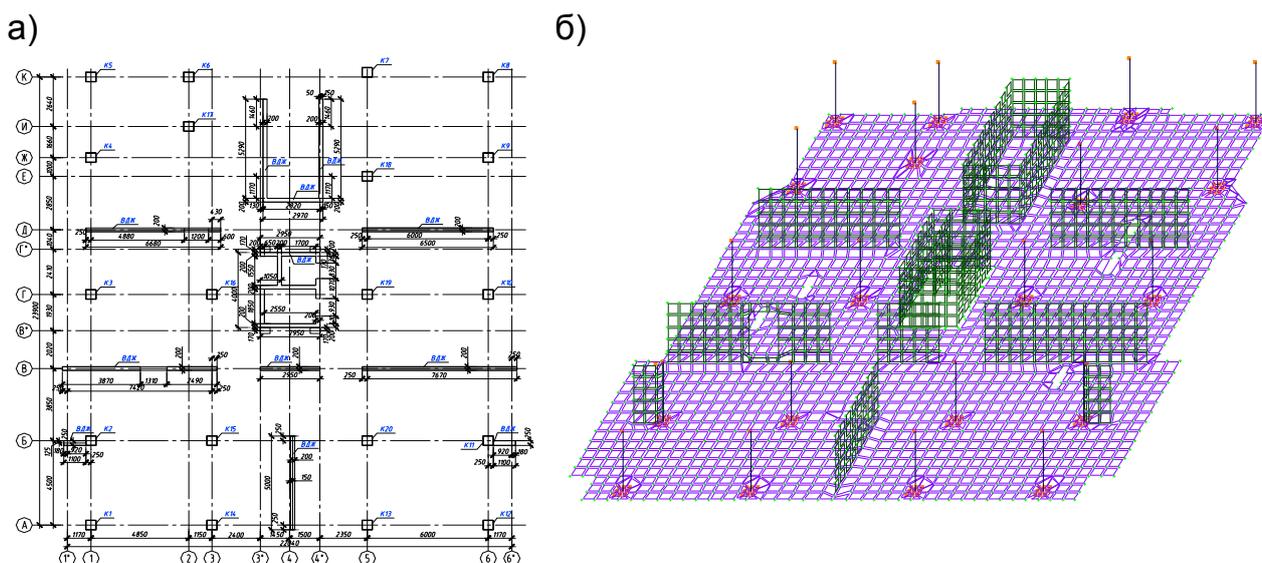
При динамических расчетах каркасных зданий для анализа поперечных и продольных колебаний каркаса можно рассматривать плоскую раму. Вследствие того, что масса междуэтажных перекрытий и находящегося на них оборудования значительно больше масс колонн, при расчете учитываются только инерционные силы, возникающие при перемещениях перекрытий. При этом колонны рассматриваются как безынерционные стержни, и их масса присоединяется к массе перекрытий: половина массы присоединяется к массе вышележащего, другая половина – к массе нижележащего перекрытия. Таким образом, рама рассматривается как система с конечным числом степеней свободы, равным числу этажей здания. Но такие расчётные схемы не отражают действительную пространственную жесткость пространственных конструкций. Современные программные комплексы, такие как ПК ЛИРА, SUP, SCAD Office, позволяют проводить модальный анализ пространственных конструкций [2, 6].

Конструктивная система многоэтажного здания представляет собой взаимосвязанную совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость. Горизонтальные конструкции – перекрытия и покрытия здания – воспринимают приходящиеся на них вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия, передавая их поэтажно на вертикальные несущие конструкции.

Последние, в свою очередь, передают эти нагрузки и воздействия через фундаменты основанию.

Горизонтальные несущие конструкции многоэтажных зданий, как правило, однотипны, и обычно представляют собой жесткий диск – железобетонный (монолитный, сборно-монолитный, сборный) либо сталежелезобетонный.

Для оценки влияния диафрагм различной жесткости на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций многоэтажных зданий легли материалы по проектированию 17-ти этажного монолитного жилого здания в г. Бресте, разработанного в ОДО Брест-КАД. На основании представленных материалов разработан 1-й вариант конечно-элементная модель (КЭМ) здания (рисунок 1). Нагрузки собраны в соответствии с требованиями ТКП EN 1990, 1991 [3, 4, 5].



**Рисунок 1 – План здания по 1-му варианту (а) и разработанный фрагмент КЭМ**

Для проведения модального анализа многоэтажного каркаса монолитного здания использовался программный комплекс Лира-САПР, позволяющий определять формы и собственные частоты колебаний [1, 2].

Для зданий, прямоугольных в плане, с симметричным расположением масс и жесткостей, 1-я или 2-я форма все равно могут оказаться крутильными. Во избежание крутильных форм рекомендуется располагать диафрагмы жесткости по периферии, как можно ближе к торцам, и формировать ядра жесткости в районе лестничных клеток лифтовых шахт. Как показали проведенные в рамках магистерской диссертации исследования, для таких КЭМ кручение в 1-й и 2-й форм будет отсутствовать.

Чаще всего крутильные формы возникают именно из-за несимметричного распределения массы здания относительно центра жесткости. Устройство мощных замкнутых ядер жесткости в здании существенно снижает периоды собственных колебаний, что, в свою очередь, позволяет уменьшить количество форм, учитываемых в расчете. Но неграмотно расположенные ядра жесткости могут привести к крутильным формам.

Первые формы всегда направлены в сторону наименьшей жесткости. Например, в рамном каркасе с четкой сеткой колонн, первая форма всегда направлена в поперечном направлении, вторая в продольном. Как известно, кроме изгибных деформаций, сдвиговых, растяжения-сжатия, есть жесткость

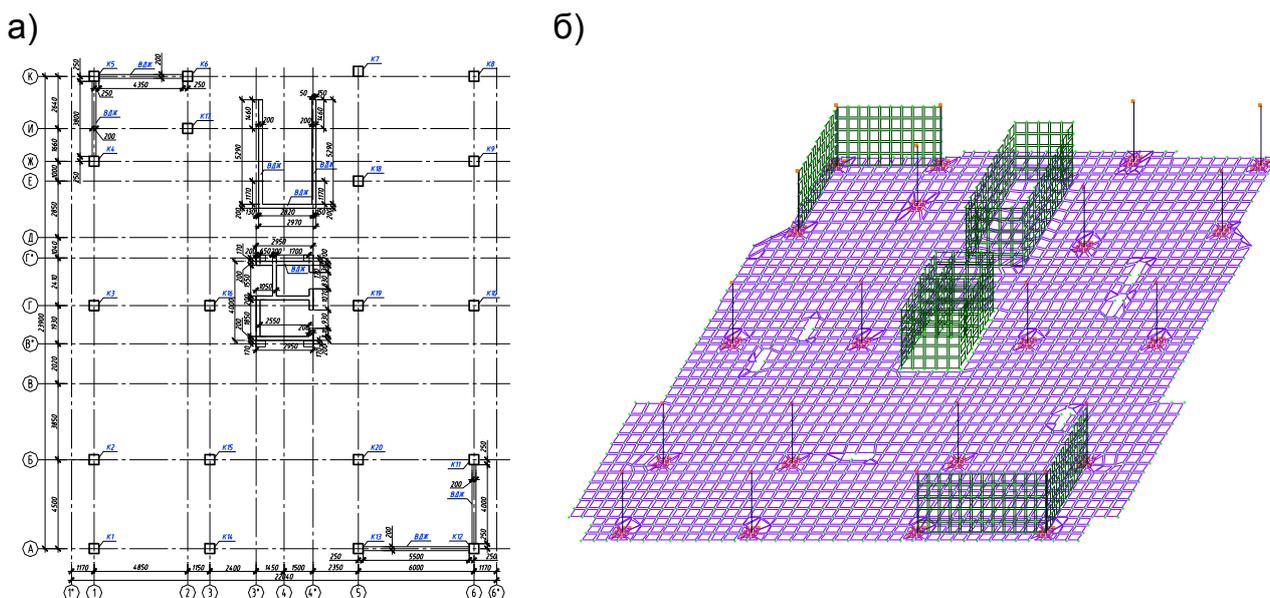
на кручение. Поэтому если несущий "ствол" здания слабо сопротивляется кручению, 1-я и (или) 2-я форма будут крутильными. Т.е., 1-я форма колебаний будет определяющей, т.е. деформация от неё очень существенна.

Первая и вторая формы колебаний – это формы, у которых наибольшие периоды (Т) колебаний, соответственно наибольшая гибкость, и соответственно те два направления, по которым расположены наименьшая суммарная жесткость.

Таким образом, если для запроектированного здания по 1-й форме происходит чистое кручение (не путать с неравномерным поступательными колебаниями, при которых создается эффект "как бы закручивания"), это значит, что жесткость здания на кручение ниже, чем жесткость по основным 2-м направлениям.

В первом варианте здания диафрагмы жесткости запроектированы как отдельно стоящие элементы каркаса, работающее как балки-стенки. Это противоречит п.4.2 серии 1.020.1-83 [7], в котором указано, что диафрагмы жесткости устанавливаются в пролете между колоннами и соединяются между собой и колоннами путем сварки закладных деталей, расположенных по вертикальным граням.

Учитывая недостатки конструктивного решения первого варианта, мной разработан новый 2-й вариант планировки здания с наружным и внутренним стволами жесткости (рисунок 2).



**Рисунок 2 – План здания по 2-му варианту (а) и разработанный фрагмент КЭМ**

Сравнивая полученные данные необходимо отметить, что любое здание, запроектированное с двумя стволами жесткости (внутренним и внешним), будет обладать большей жесткостью по сравнению с другими конструктивными решениями, о чем свидетельствует снижение частоты.

Автором был произведен анализ сетки пластинчатых конечных элементов здания на напряженно-деформированное состояние. В варианте 2 применялась разбивка сетки 0,5x0,5 м, а для варианта 3 шаг разбивки уменьшили в 4 раза, тем самым получили более точные результаты по частотам и периодам колебаний для первых трех форм собственных колебаний здания. Результаты анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Зависимость частоты колебаний  $f$  от толщины диафрагмы жесткости  $\delta$

№ Варианта	1 форма колебаний				[f], Гц	2 форма колебаний				[f], Гц	3 форма колебаний				[f], Гц
	150	180	200	250		150	180	200	250		150	180	200	250	
1	0.57	0.61	0.63	0.67	0.92	0.58	0.64	0.67	0.75	1.16	0.67	0.71	0.74	0.79	1.44-1.54
2	0.57	0.59	0.60	0.63		0.58	0.64	0.67	0.70		0.64	0.66	0.67	0.75	
3	0.53	0.55	0.56	0.59		0.58	0.61	0.62	0.65		0.59	0.64	0.67	0.75	

В соответствии с ISO 48666: 1990/1:1994 предельное значение частоты колебания для 1-ой формы определяется по формуле  $[f_1]=46/H$ , для 2-ой -  $[f_2]=58/H$  и для 3-ей –  $[f_3]=(72-77)/H$ , где  $H$  – высота здания.

Таблица 2 - Зависимость периода собственных колебаний  $T$  от толщины диафрагмы жесткости  $\delta$

№ Варианта	1 форма колебаний				[T], с	2 форма колебаний				[T], с	3 форма колебаний				[T], с
	150	180	200	250		150	180	200	250		150	180	200	250	
1	1.76	1.65	1.60	1.49	0.92	1.72	1.57	1.49	1.33	1.16	1.50	1.41	1.36	1.26	1.44-1.54
2	1.75	1.69	1.66	1.58		1.72	1.57	1.49	1.42		1.56	1.51	1.49	1.33	
3	1.88	1.82	1.78	1.69		1.72	1.64	1.61	1.54		1.70	1.57	1.49	1.33	

В соответствии с ISO 48666: 1990/1:1994 предельное отношение периодов колебаний не должно превышать следующих значений:  $[T_1]/[T_2]=1,26$ ;  $[T_1]/[T_3]=1,56-1,67$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании положений, принятых в серии нормативных документов (ТКП EN 1990), была разработана КЭМ монолитного здания, учитывающая сопротивление статическим и динамическим нагрузкам. Верификация КЭМ была выполнена в различных программных комплексах. Для дальнейшего анализа приняли программный комплекс Лира САПР.

2. В соответствии с требованиями ТКП 45-3.02-108-2008 при проектировании каркасов многоэтажных зданий необходимо обеспечить пространственную жесткость за счет постановки диафрагм и ядер жесткости с условием ограничений предъявляемых к первой, второй и третьей формам колебаний. При этом толщина диафрагм принимается не менее 140 мм в сборном варианте и не менее 200 мм в монолитном. Тип диафрагм жесткости определяется конструктивной схемой и формой здания, действующими нагрузками и так далее. При анализе разработанных КЭМ железобетонного каркаса здания с различной расстановкой диафрагм жесткости, установлено, что наиболее оптимальной является модель с минимальными частотами собственных колебаний (Вариант 2).

3. Для анализируемого здания прямоугольной формы поперечного сечения с отношением сторон  $h/d \leq 2$  наиболее рациональной формой расположения диафрагм жесткости является схема, при которой диафрагмы жесткости размещены на наибольшее расстояние от центра тяжести здания. При этом угловой тип диафрагм жесткости принят как наиболее оптимальный, что соот-

ветствует конструктивной схеме здания с наружным и внутренним стволами жесткости. Это можно объяснить тем, что при данном типе момент инерции всего здания самый высокий.

#### **Список цитированных источников**

1. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии). — К.: издательство «Факт», 2004. - 106 с.

2. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. — К.: издательство «Факт», 2005. - 344 с.

3. *Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. ТКП EN 1990-2011.* — Мн. : Минстройархитектура РБ, 2012. -40с.

4. *Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3, Общие воздействия. Снеговые нагрузки. ТКП EN 1991-1-3-2009.* — М н. : Минстройархитектура РБ, 2010. -40с.

5. *Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4, Общие воздействия. Ветровые нагрузки. ТКП EN 1991-1-4-2009.* — М н. : Минстройархитектура РБ, 2010. -40с.

6. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер., В.И. Сливкер.— Киев, Изд-во «Сталь», 2002 .— 600 с.: ил.

7. Серия 1.020-1-83. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий./ Основные положения. Выпуск 0-1.—М.; Госстрой СССР, 1984. — 124 с.

УДК 681.3:624.04

**Матяс П.И.**

**Научный руководитель: доц. Игнатюк В.И.**

### **УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В MATHCAD В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ**

Задача определения критических нагрузок для плоских рам при их расчете на устойчивость методом перемещений сводится, как известно [1], к решению достаточно сложных нелинейных трансцендентных уравнений, имеющих бесконечное множество решений. Критическим нагрузкам соответствуют минимальные значения корней этих уравнений, отыскание которых в большинстве случаев производится путем подбора, когда выполняется ряд последовательных попыток с учетом анализа результатов предыдущих шагов подбора. Число попыток при этом часто бывает достаточно большим, а вычисления объемны и трудоемки. При этом ввиду сложности нелинейных трансцендентных уравнений устойчивости часто нет уверенности в том, что найден минимальный корень уравнения. Облегчить процесс решения уравнений устойчивости и решить их строго позволяет применение ЭВМ.

В работе рассматривается разработанная авторами учебная компьютерная программа решения нелинейных трансцендентных уравнений устойчивости, получаемых в расчетах плоских рам на устойчивость методом перемещений, позволяющая определять минимальные значения параметров устойчивости, соответствующих общей потере устойчивости рам, и строить графики изменения функций (определителя) устойчивости.

Рассматриваются плоские рамы, нагруженные системой взаимосвязанных узловых центрально приложенных сил  $P_i$  ( $i=1\dots m$ ). Для рам известны их геометрия, размеры и соотношения жесткостей элементов. Считаем, что все силы  $P_i$  изменяются (растут) пропорционально одному параметру  $P$ .

Задача устойчивости решается статическим способом с использованием метода перемещений [1]. Разрешающее уравнение устойчивости имеет вид

$$R(v) = \begin{vmatrix} r_{11}(v) & r_{12}(v) & \dots & r_{1n}(v) \\ r_{21}(v) & r_{22}(v) & \dots & r_{2n}(v) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n1}(v) & r_{n2}(v) & \dots & r_{nn}(v) \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

где  $v$  – параметр устойчивости, определяемый для сжатых стержней выражением

$$v_i = l_i \sqrt{\frac{N_i}{EJ_i}}. \quad (2)$$

Здесь:  $l_i$  – длина рассматриваемого  $i$ -го стержня;  $N_i$  – продольная сжимающая сила в этом стержне;  $EJ_i$  – жесткость  $i$ -го стержня.

Коэффициенты  $r_{ik}$  для сжатых стержней выражаются через трансцендентные функции [1]

$$\varphi_1(v), \varphi_2(v), \varphi_3(v), \varphi_4(v), \eta_1(v), \eta_2(v), \quad (3)$$

вид которых можно представить на примере нескольких из них:

$$\varphi_1(v) = \frac{v^2 \operatorname{tg} v}{3(\operatorname{tg} v - v)}; \quad \varphi_2(v) = \frac{v(\operatorname{tg} v - v)}{8 \operatorname{tg} v \left( \operatorname{tg} \frac{v}{2} - \frac{v}{2} \right)}; \quad \varphi_3(v) = \frac{v(v - \sin v)}{8 \sin v \left( \operatorname{tg} \frac{v}{2} - \frac{v}{2} \right)}; \quad (4)$$

Уравнение (1), таким образом, является нелинейным трансцендентным, представляет собой достаточно сложную зависимость и его решение представляет непростую задачу.

Решению уравнения (1) соответствует пересечение функцией  $R(v)$ , которую назовем функцией устойчивости, оси  $v$  и соответственно смена знака функции  $R(v)$ , то есть корень уравнения  $R(v) = 0$  будет находиться в пределах такого участка изменения параметра  $v$ , для которого произведение значений функции  $R(v)$  в его крайних точках будет отрицательным. При этом следует иметь в виду, что нас интересует участок, содержащий наименьший корень уравнения  $R(v) = 0$ . Для определения такого участка в составленной вычислительной программе для ЭВМ используется процедура последовательного вычисления значений функции  $R(v)$  при возрастающих с нуля с некоторым достаточно малым шагом  $\Delta v$  значениях параметра  $v$  с проверкой на каждом шаге знака произведения  $R(v) \times R(v+\Delta v)$ . Участок, на котором это произведение станет отрицательным, и будет тем участком, который мы ищем. Шаг при этом должен быть таким, чтобы, с одной стороны, исключалась возможность пропуска искомого участка, а с другой стороны, чтобы время счета на ЭВМ было небольшим. Величина шага  $\Delta v$  в составленной программе принята равной 0,01, однако может быть принята и меньшей. После нахождения указанного участка определение корня уравнения (6) выполняется методом деления отрезка пополам (методом бисекции) [2]. Итерационный процесс продолжается

до тех пор, пока значение функции  $R(v)$  не станет меньшим по модулю некоторого заданного малого числа  $\varepsilon$  (задается в программе; например:  $\varepsilon = 0,00001$ ).

Для решения рассматриваемых уравнений устойчивости в соответствии с изложенным алгоритмом составлена компьютерная программа в математической среде Mathcad (рис. 1–4).

Степень кинематической неопределенности:	Кoeffициент соотношений параметров устойчивости:
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/> -отношение v1/v
Требуемая точность:	<input type="text" value="1"/> -отношение v2/v
<input type="text" value="0.001"/>	<input type="text" value=""/> -отношение v3/v
	<input type="text" value=""/> -отношение v4/v
	<input type="text" value=""/> -отношение v5/v

Введите значение коэффициентов для  $r(i,k)$  :

$$\begin{aligned}
 r_{11}(v) &= 21 + 4 \cdot f_2(v_1(v)) & r_{12}(v) &= \frac{-3}{4} \cdot f_4(v_1(v)) & r_{13}(v) &= 0 & r_{14}(v) &= 0 & r_{15}(v) &= 0 \\
 r_{21}(v) &= \frac{-3}{4} \cdot f_4(v_1(v)) & r_{22}(v) &= \frac{3}{16} \cdot n_2(v_1(v)) + \frac{3}{64} \cdot n_1(v_2(v)) & r_{23}(v) &= 0 & r_{24}(v) &= 0 & r_{25}(v) &= 0 \\
 r_{31}(v) &= 0 & r_{32}(v) &= 0 & r_{33}(v) &= 0 & r_{34}(v) &= 0 & r_{35}(v) &= 0 \\
 r_{41}(v) &= 0 & r_{42}(v) &= 0 & r_{43}(v) &= 0 & r_{44}(v) &= 0 & r_{45}(v) &= 0 \\
 r_{51}(v) &= 0 & r_{52}(v) &= 0 & r_{53}(v) &= 0 & r_{54}(v) &= 0 & r_{55}(v) &= 0
 \end{aligned}$$

**Рисунок 1 – Ввод исходных данных**

Уравнение устойчивости(нераскрытый вид):

$$R(v) = \begin{bmatrix} 21 - \frac{v \cdot (\tan(2 \cdot v) - 2 \cdot v)}{\tan(2 \cdot v) \cdot (v - \tan(v))} & \frac{3 \cdot v^2 \cdot \tan(v)}{12 \cdot v - 12 \cdot \tan(v)} \\ \frac{3 \cdot v^2 \cdot \tan(v)}{12 \cdot v - 12 \cdot \tan(v)} & -\frac{15 \cdot v^3}{192 \cdot v - 192 \cdot \tan(v)} \end{bmatrix}$$

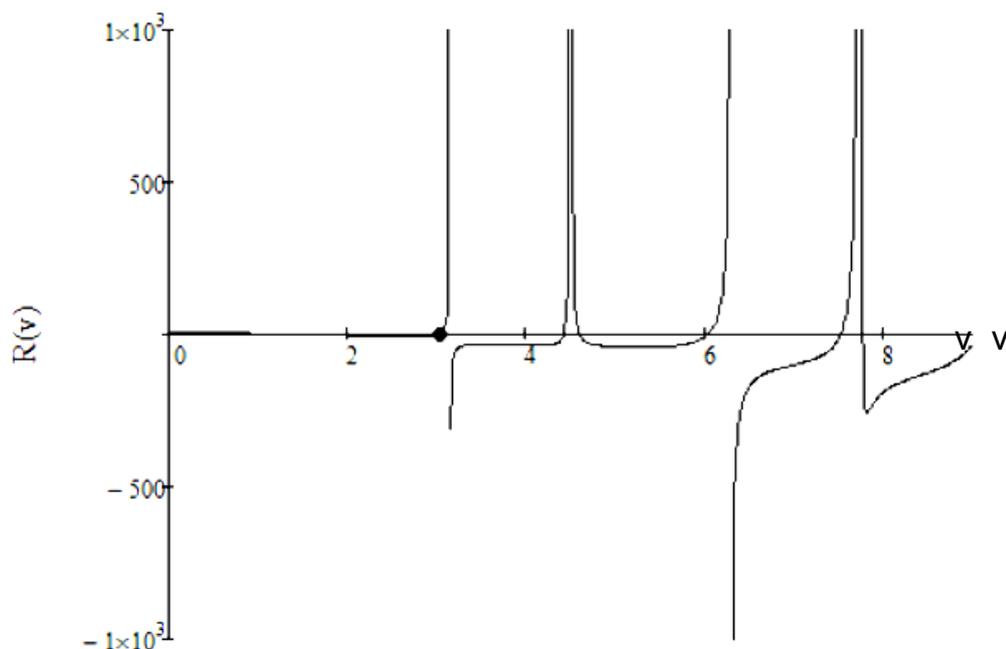
Уравнение устойчивости(раскрытый вид):

$$R(v) = -\frac{10 \cdot v^5 + 100 \cdot v^4 \cdot \tan(2 \cdot v) - 105 \cdot v^3 \cdot \tan(2 \cdot v) \cdot \tan(v) + 4 \cdot v^4 \cdot \tan(2 \cdot v) \cdot \tan(v)^2}{64 \cdot v^2 \cdot \tan(2 \cdot v) + 64 \cdot \tan(2 \cdot v) \cdot \tan(v)^2 - 128 \cdot v \cdot \tan(2 \cdot v) \cdot \tan(v)}$$

**Рисунок 2 – Формирование разрешающих уравнений**

$$\begin{aligned}
 v_{kp} &= 1.515 \\
 v^1_{kp} &= 3.03 \\
 v^2_{kp} &= 1.515 \\
 v^3_{kp} &= \text{"не заданно"} \\
 v^4_{kp} &= \text{"не заданно"} \\
 v^5_{kp} &= \text{"не заданно"}
 \end{aligned}$$

**Рисунок 3 – Результаты расчета**



**Рисунок 4 – График изменения функции устойчивости**

Рассчитать с помощью рассматриваемой программы можно рамы, имеющие до пяти неизвестных по методу перемещений ( $n \leq 5$ ) и до пяти отличающихся друг от друга параметров устойчивости  $v_i$ .

**Список цитированных источников**

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.
2. Турчак Л.И. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

УДК 681.3:624.04

**Матяс П.И.**

**Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Рассматриваются плоские рамы, нагруженные системой взаимосвязанных узловых центрально приложенных сил  $P_i$  ( $i = 1 \dots m$ ). Для рам известны их геометрия, размеры и соотношения жесткостей элементов. Считаем, что все силы  $P_i$  изменяются (растут) пропорционально одному параметру  $P$ . Задача устойчивости решается статическим способом с использованием метода перемещений [1]. Разрешающее уравнение устойчивости имеет вид

$$R(v) = \begin{vmatrix} r_{11}(v) & r_{12}(v) & \dots & r_{1n}(v) \\ r_{21}(v) & r_{22}(v) & \dots & r_{2n}(v) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1}(v) & r_{n2}(v) & \dots & r_{nn}(v) \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

где  $n$  – степень кинематической неопределимости рамы;  $v$  – параметр устойчивости, определяемый для сжатых стержней выражением

$$v_i = l_i \sqrt{\frac{N_i}{EJ_i}}. \quad (2)$$

Здесь:  $l_i$  – длина рассматриваемого  $i$ -го стержня;  $N_i$  – продольная сжимающая сила в этом стержне;  $EJ_i$  – жесткость  $i$ -го стержня.

Уравнение (1) является нелинейным трансцендентным уравнением. Для решения таких уравнений используем учебную компьютерную программу «Parust», описанную в работе [1].

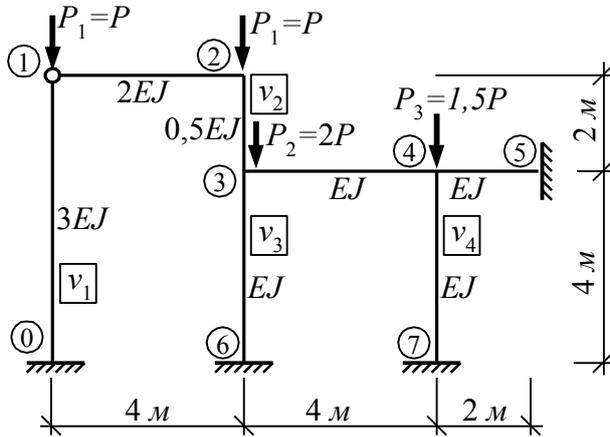


Рисунок 1

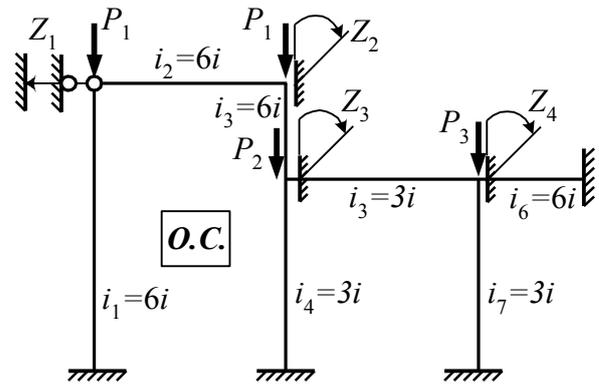


Рисунок 2

Решим задачу устойчивости, например, для рамы, представленной на рис. 1. Параметры устойчивости четырех сжатых стержней определяются выражениями:

$$v_1 = 6\sqrt{\frac{P}{3EJ}}; \quad v_2 = 2\sqrt{\frac{P}{0,5EJ}}; \quad v_3 = 4\sqrt{\frac{P+2P}{EJ}}; \quad v_4 = 4\sqrt{\frac{1,5P}{2EJ}}. \quad (3)$$

Приняв первый параметр устойчивости  $v_1$  за основной ( $v_1 = v_0$ ), получим коэффициенты соотношения параметров устойчивости:

$$k_{v1} = 1; \quad k_{v2} = 0,817; \quad k_{v3} = 2; \quad k_{v4} = 1. \quad (4)$$

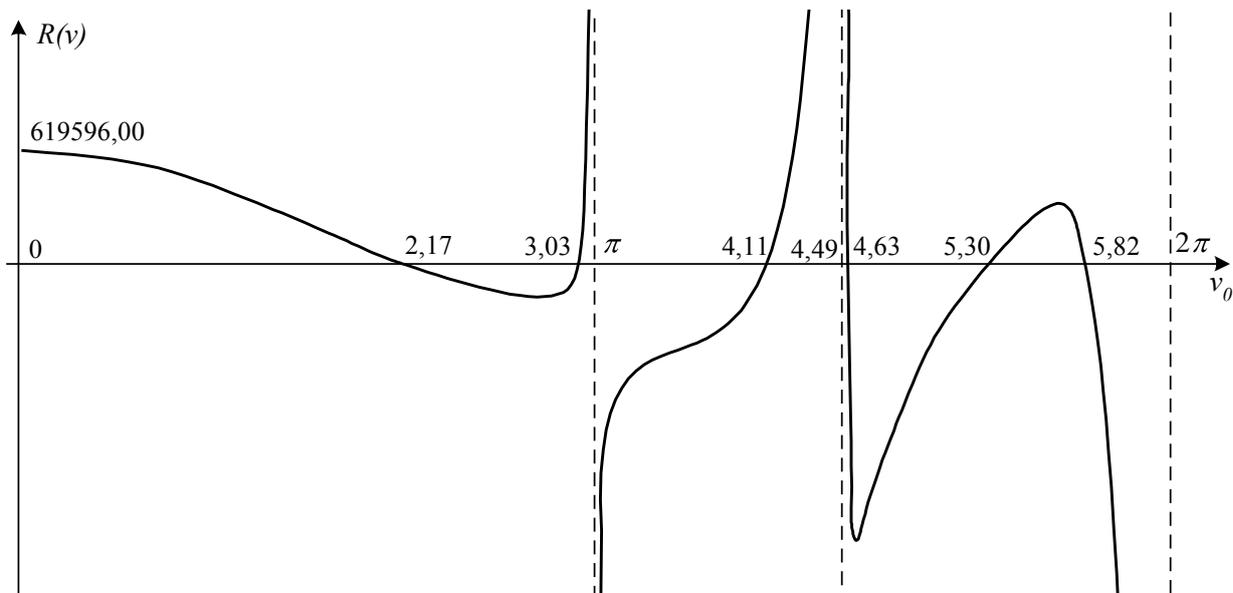
Выполнив расчет рассматриваемой рамы на устойчивость методом перемещений [1], основная система которого показана на рис. 2, получим уравнение устойчивости рамы в виде

$$R \begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \zeta_3 \\ \zeta_4 \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где реактивные усилия в дополнительных связях определяются выражениями:

$$\begin{aligned} r_{11} &= 0,5i\eta_1 \zeta_1 + 18i\eta_2 \zeta_2; & r_{12} = r_{21} &= 18i\varphi_4 \zeta_2; & r_{13} = r_{31} &= 18i\varphi_4 \zeta_2; \\ r_{14} = r_{41} &= 0; & r_{22} &= 18 + 24i\varphi_2 \zeta_2; & r_{23} = r_{32} &= 12i\varphi_3 \zeta_2; & r_{24} = r_{42} &= 0; \\ r_{23} &= 24i\varphi_2 \zeta_2 + 12i\varphi_2 \zeta_3 + 12i; & r_{34} = r_{43} &= 6i; & r_{44} &= 12i\varphi_2 \zeta_3 + 36. \end{aligned} \quad (6)$$

Решая уравнение (5) с помощью программы «Parust» [2] получим значение критического параметра устойчивости ( $v_{0кр} = 2,1703$ ) и график изменения функции устойчивости, представленный на рис. 3.



**Рисунок 3 – График функции устойчивости рамы на рис. 1**

Критические нагрузки для стержней рамы определяются выражением

$$P_{i\text{кр}} = \frac{v_{i\text{кр}}^2 EJ_i}{l_i^2} = \frac{(k_{vi} v_{0\text{кр}})^2 EJ_i}{l_i^2}. \quad (7)$$

Значение критического параметра нагрузки  $P$ , через который выражаются все критические нагрузки, будет равно:

$$P_{\text{кр}} = \frac{v_{1\text{кр}}^2 EJ_1}{l_1^2} = \frac{v_{0\text{кр}}^2 3EJ}{6^2}.$$

Выполнив анализ функции устойчивости для представленной рамы, можно выявить ряд закономерностей, которые соблюдаются для всех рам и изложены ниже.

Как известно [1], потеря устойчивости отдельных стержней рамы может быть определена критической силой Эйлера, которая определяется выражением

$$P_{i\text{кр}}^{\text{эйл}} = \frac{\pi^2 EJ_i}{(\mu_i l_i)^2}, \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведения длины стержня, значения которого для ряда случаев нам известны: для шарнирно закрепленного с двух сторон сжатого стержня –  $\mu = 1$ ; для стержня, защемленного с одной стороны, и шарнирно опертого с другой –  $\mu = 0,7$ ; для стержня, защемленного с одной стороны –  $\mu = 2$  и для стержня, защемленного с двух сторон –  $\mu = 0,5$ .

Приравняв выражения (5) и (6), получим

$$v_i = \frac{\pi}{\mu_i}, \quad \text{а} \quad v_0 = \frac{v_i}{k_{vi}}. \quad (9)$$

Тогда для рамы на рис. 1 местной потере устойчивости стержней будут соответствовать следующие значения параметров устойчивости:

а) для стержня 0–1:  $v_1 = v_0 = \frac{\pi}{\mu_1} = \frac{\pi}{0,7} = 4,488;$

б) для стержня 2–3:  $v_2 = \frac{\pi}{\mu_2} = \frac{\pi}{0,5} = 2\pi;$   $v_0 = \frac{v_2}{k_{v2}} = \frac{2\pi}{0,817} = 7,687;$

в) для стержня 3–6:  $v_3 = \frac{\pi}{\mu_2} = \frac{\pi}{0,5} = 2\pi;$   $v_0 = \frac{v_3}{k_{v3}} = \frac{2\pi}{2} = \pi;$

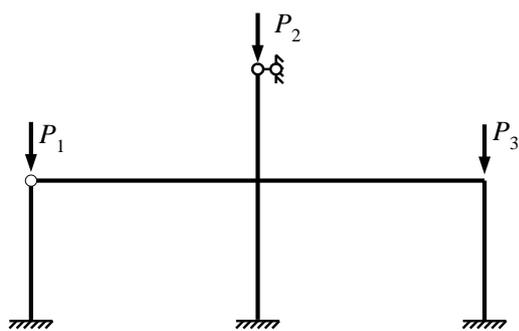
г) для стержня 4–7:  $v_4 = \frac{\pi}{\mu_2} = \frac{\pi}{0,5} = 2\pi;$   $v_0 = \frac{v_4}{k_{v4}} = \frac{2\pi}{1} = 2\pi.$

Каждому из этих значений на графике функции устойчивости соответствует точка разрыва (точка  $v_0 = 7,687$  выходит за изображенные пределы изменения графика), то есть точки разрыва функции  $R(v)$  отвечают местной потере устойчивости сжатых стержней рамы.

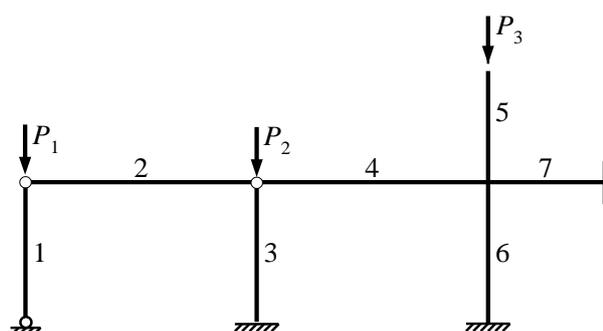
Анализ результатов расчета рам на устойчивость позволяет выделить две группы рам:

1. Связанные рамы, возможная потеря устойчивости отдельных стержней в которых (местная потеря устойчивости) описывается уравнением  $R(v) = 0$  (например, рама на рис. 8). Для рам этой группы критическим нагрузкам всегда будет соответствовать общая форма потери устойчивости. Местная потеря устойчивости стержней в таких рамах не может реализоваться, так как любая деформация одного из стержней будет вызывать сопротивление остальной части рамы и включение ее в общую работу системы.

2. Несвязанные рамы, для которых уравнение  $R(v) = 0$  не охватывает все возможные местные потери устойчивости стержней. Например, местная потеря устойчивости стержней 1, 3 и 5 в раме на рис. 9 не будет описываться уравнением  $R(v) = 0$ . Для таких рам после определения критических нагрузок общей потери устойчивости необходимо произвести их сравнение с критическими нагрузками местной потери устойчивости отдельных стержней.



**Рисунок 8**



**Рисунок 9**

В случаях, когда возникает сомнение о связности рамы, можно выполнить проверку стержней рамы на местную потерю устойчивости.

#### **Список цитированных источников**

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.

2. Матяс, П.И. Учебная программа решения уравнений устойчивости в Mathcad в расчетах рам на устойчивость / Сборник конкурсных научных работ молодых ученых и студентов / БрГТУ. – Брест, 2016.

УДК 699.865

*Мирончук В.С., Юркевич И.В.*

*Научный руководитель: старший преподаватель Полухович А.А.,  
старший преподаватель Ковенько Ю.Г.*

## **АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В УЗЛАХ КАРКАСНЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ СЕРИИ Б1.020.1-7**

Целью настоящей работы является анализ распределения температур и определение приведенного сопротивления теплопередаче в типовых узлах сопряжения элементов колонн каркаса (теплопроводных включений) с ограждающими конструкциями. Определение оптимальные решений теплоизоляции ограждающих конструкций каркасных сборно-монолитных зданий в узлах для увеличения приведенного сопротивления теплопередаче и исключения появления пониженных температур в местах сопряжений с колоннами.

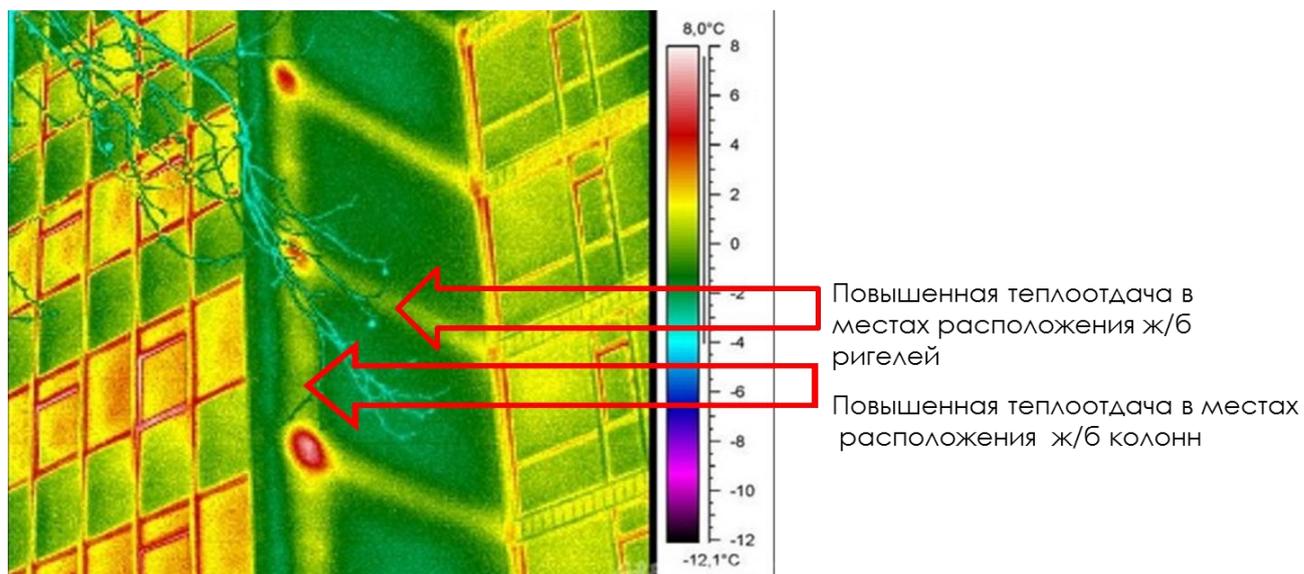
Предмет исследования – типовые узлы сопряжения элементов колонн каркаса (теплопроводных включений) с ограждающими конструкциями.

Объект исследования – многоквартирные жилые дома со сборно-монолитным каркасом по серии Б1.020.1-7.

Практика показывает возросшее количество жалоб на состояние ограждающих конструкций (появление сырости, плесени и др.), которое связано в первую очередь с ошибками в теплотехнических расчетах при проектировании зданий. Повышение нормативного значения сопротивления теплопередаче, вызванное необходимостью уменьшить энергопотребление зданий, привело к использованию новых конструктивных решений ограждений и использованию более эффективных теплоизоляционных материалов. Упрощенная методика определения сопротивления теплопередаче, которую применяют при проектировании ограждающих конструкций, позволяет оценить сопротивление теплопередаче только плоских однородных и неоднородных ограждающих конструкций (с учётом включений с повышенными коэффициентами теплопроводности: швы, кронштейны, дюбеля и т.п.) конструкций. Такая методика приводит к значительным ошибкам, поскольку не учитывает сопротивление теплопередаче узлов конструкций здания, таких как внутренние и наружные углы; парапеты; различные выступающие элементы в здании; пересечение ограждающих конструкций с конструкциями с очень низким сопротивлением теплопередаче; области контакта нескольких многослойных конструкций. При этом могут возникать места повышенной теплоотдачи (рисунок 1) и области образования конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций не только в зоне теплопроводных включений, но и в области контакта нескольких многослойных конструкций (рисунок 2).

В ряде узлов приведенное сопротивление теплопередаче может быть менее 50 % фактических значений, полученных при расчёте плоских ограждающих конструкций. Такого рода отклонения в приведенном сопротивлении теплопередаче узлов могут вызвать значительные снижения температур на поверхности конструкций. Разница температур внутреннего воздуха и поверхности ограждения может оказаться больше нормативных значений, приведенных в табл.5.5.[2](6<sup>0</sup>С для наружных стен жилых домов, 4<sup>0</sup>С – для покрытий жилых домов), что может привести к появлению конденсата в местах пониженных температур. Для жилых зданий расчётная температура воздуха и влажность согласно табл.В.1[1] и табл. 4.1 [2] должны составлять 18<sup>0</sup>С и 55% соответст-

венно. При таких параметрах внутреннего воздуха точка росы (температура, при которой водяной пар становится насыщенным) согласно приложения М [2] составит  $8,83^{\circ}\text{C}$ . При достижении указанного значения температуры на поверхности ограждающей конструкции происходит конденсирование влаги в местах пониженных температур.



**Рисунок 1 – Появление зон повышенной теплоотдачи в местах теплотехнически неоднородных ограждающих конструкций (сопряжение колонн и ригелей с ограждающими конструкциями)**



**Рисунок 2 – Появление конденсата и впоследствии плесени в местах пониженных температур**

На примерах теплоизоляции узлов ограждающих конструкций в местах сопряжения с колоннами каркаса можно проследить изменение температуры на внутренних поверхностях и значение приведенного сопротивления в зависимости от конструкции узла. В качестве исследуемых были рассмотрены несколько вариантов теплоизоляции на основании типового решения узла для стены из ячеистого бетона толщ. 400 мм с теплоизоляцией из плит пенополистирольных толщ. 50 мм согласно [4]:

- типовой узел (распределение температур в узле см. рисунок 3);

- типовой узел с дополнительным теплоизоляционным слоем для защиты колонны от промерзания (распределение температур в узле см. рисунок 4);

-узел со смещением колонны (распределение температур в узле см. рисунок 5).

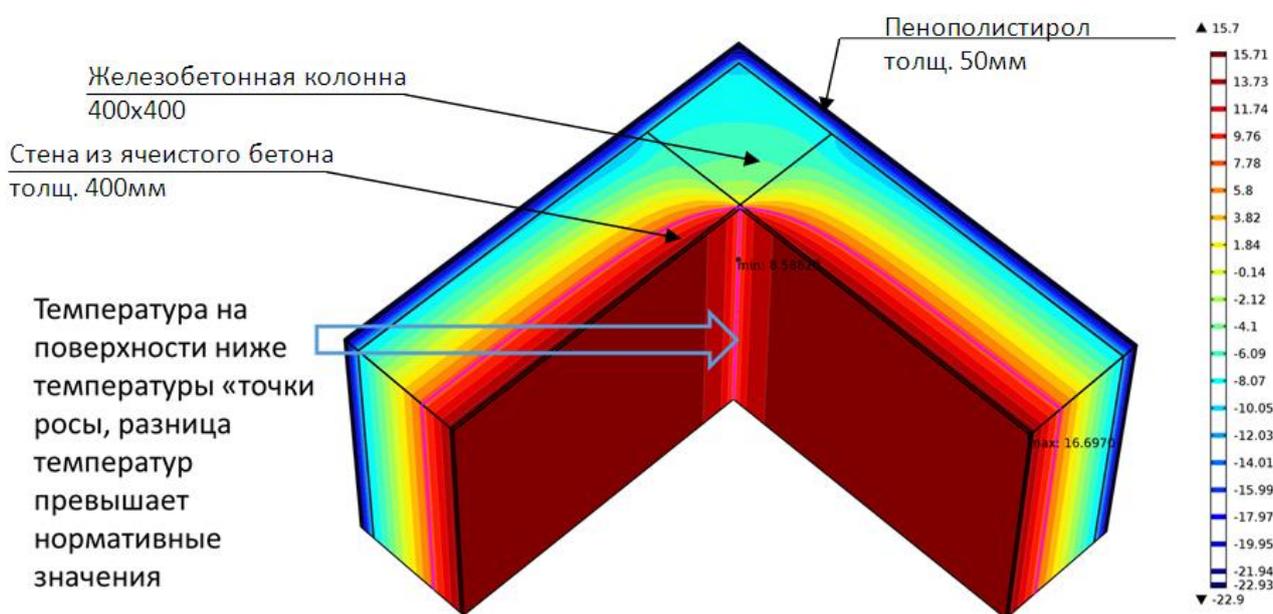
При анализе необходимо соблюдать следующие требования теплотехники при проектировании ограждающих конструкций согласно [1],[2]:

1. Приведенное сопротивление должно быть не менее нормативного значений (требования по энергосбережению) п.5.1 и табл.5.1 [2] см. схему (рисунок 3);

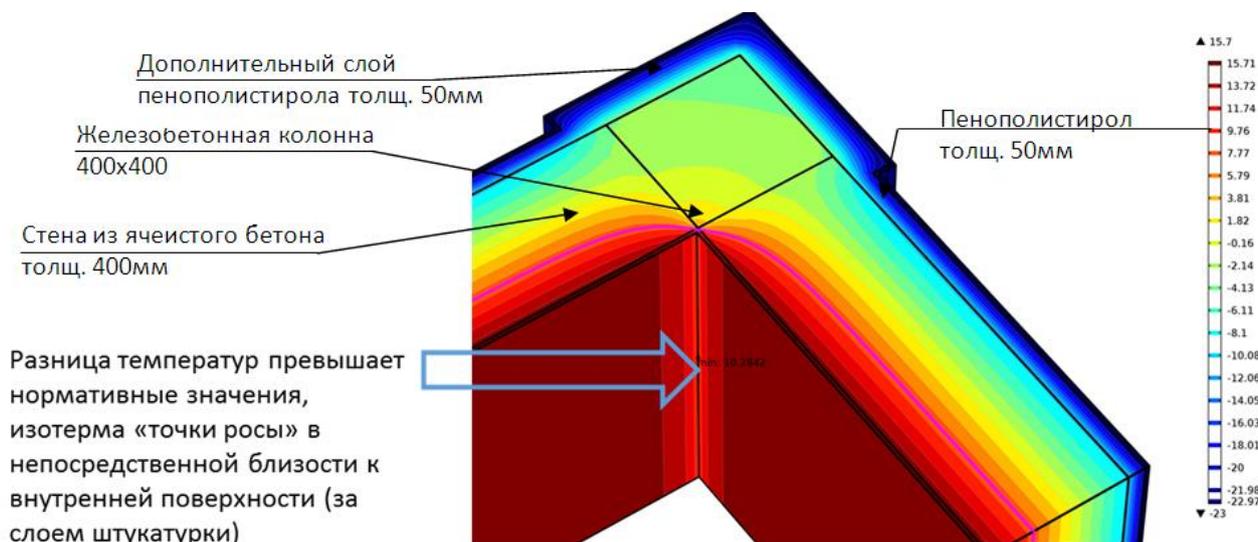
2. Температура и влажность в помещении не должна превышать расчётные значения (санитарно-гигиенические условия) таб.4.1 [2], табл.В.1.[2].

3. Температура на поверхности не должна быть ниже температуры «точки росы» санитарно-гигиенические условия)

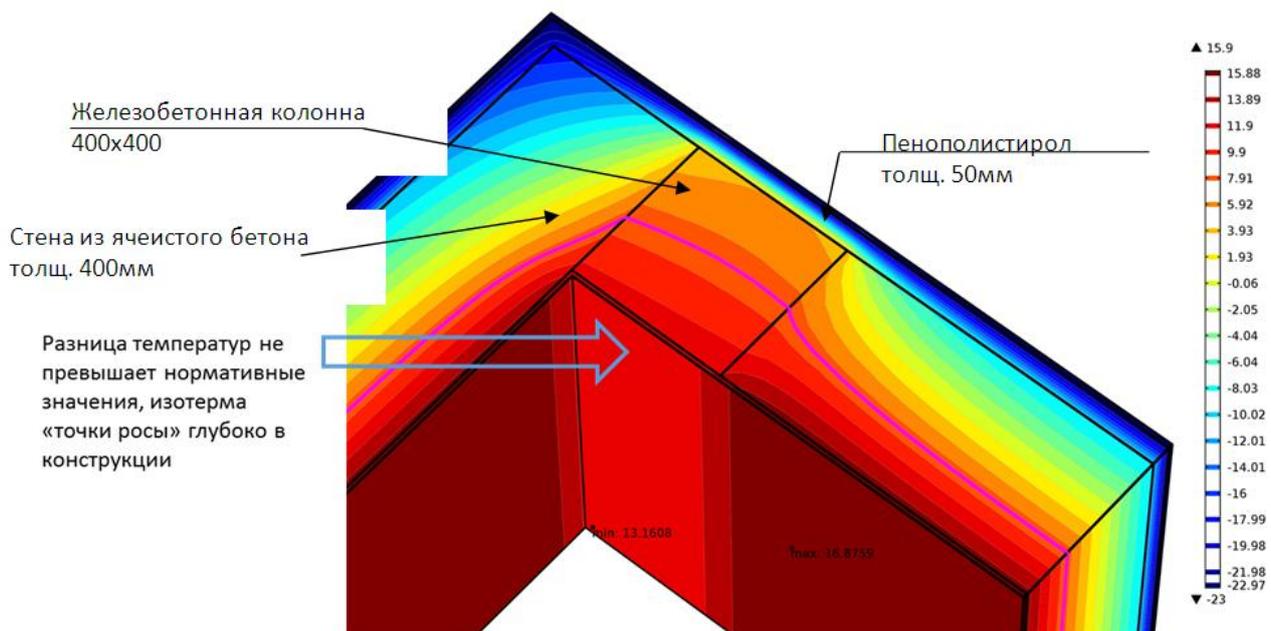
4. Разность температур внутри помещения и поверхностью ограждающей конструкции не должны превышать нормативные значения (условия комфортного пребывания людей в помещении) табл.5.5 [2].



**Рисунок 3 – Распределение температур в типовом узле**



**Рисунок 4 – Распределение температур в типовом узле с дополнительной теплоизоляцией колонны**



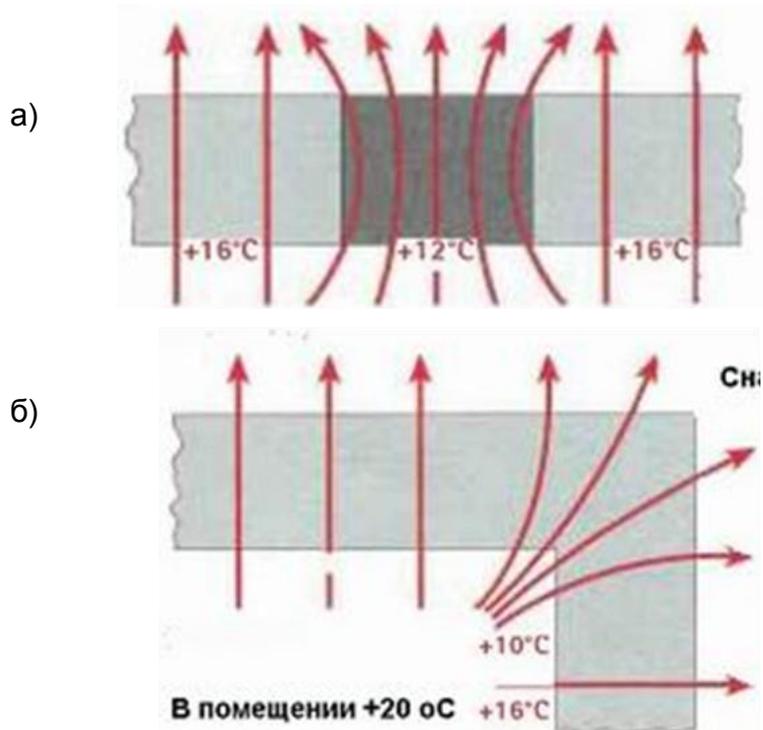
**Рисунок 5 – Распределение температур в узле со смещением колонны без дополнительной теплоизоляции**

Размещение колонны в наружных углах без смещения (рисунок 1, 2) приводит к образованию на внутренней поверхности угла пониженных температур, приводящих к нарушению п.4. требований (разница температур превышает нормативные значения).

При анализе распределения температур можно обнаружить, что в узлах (рисунок 1,2) изотерма с температурой  $8,83^{\circ}\text{C}$  (точка росы) проходит в непосредственной близости к поверхности и при определённых условиях может привести к образованию конденсата (рисунок 2). Поскольку реальные условия эксплуатации помещений далеки от расчётных (влажность и температура в помещении часто значительно превышают расчётные параметры), конденсирование влаги из пара может происходить при более высоких температурах на поверхности ограждений. Примерный анализ изменения точки росы при изменении параметров влажности и температуры приведён в приложении М [2]. Так при температуре в помещении  $20^{\circ}\text{C}$  и средней влажности 70%, точка росы будет составлять  $14,4^{\circ}\text{C}$ . Следовательно при температуре на поверхности ограждающей конструкции менее  $14,4^{\circ}\text{C}$  может образовываться конденсат. Дополнительно необходимо учитывать, что сопротивление паропрооницанию слоёв (железобетонная колонна) превышает значительно сопротивление паропрооницанию слоя штукатурки согласно расчётов по методике п.9[2]. Значительная разница в сопротивлениях слоёв приведёт к появлению конденсата на поверхности колонны за отделочным слоем штукатурки, что в дальнейшем вызовет конденсирование влаги на поверхности колонны и образованию плесени (рисунок 2).

Увеличение теплоизоляции в углу для защиты колонны и повышении температур на поверхности не приводит к существенным изменениям в распределении температур в стене, т.к. угол сам по себе является геометрически обусловленным «мостиком холода» (рисунок 6б). Железобетонная колонна к тому же является «мостиком холода», обусловленная материалом (рисунок 6а). Устанавливая колонну в углу, эффект от совмещения различных мостиков

холода усиливается. Следовательно, единственно верным решением будет установка колонны со смещением. Такое расположение колонны позволяет значительно повысить температуры на внутренней поверхности стен, исключив вероятность выпадения конденсата, без дополнительных затрат на утепление. Условия, поставленные при анализе, для узла (рисунок 5) выполняются.



а – обусловленного материалом, б – обусловленного геометрией узла  
**Рисунок 6 – Схема «мостиков холода»**

**Выводы.** Важно при проектировании узлов конструкций учитывать возможные изменения параметров внутреннего воздуха и стремиться исключать появление на внутренних поверхностях температур, близких к значениям точки росы, поскольку это может в дальнейшем привести к образованию конденсата на поверхности ограждающих конструкций или внутри конструкции в непосредственной близости к внутренней поверхности, образованию конденсата в стыках конструкций. При этом будет снижаться теплозащитные свойства материалов конструкций, их долговечность.

Для анализа узлов ограждающих конструкций на стадии разработки проектной документации необходимо:

- выделять наиболее значимые элементы ограждающих конструкций, влияющие на значение сопротивления теплопередаче;
- оценить температуры на поверхности ограждений и возможность образования зон конденсации влаги согласно условий табл.5.5 [2];
- определять приведенное сопротивление теплопередаче узлов ограждений, при этом значения сопротивления не должно быть менее нормативных, п.5.1 и табл.5.1 [2];
- оценивать сопротивление паропрооницанию узлов конструкции при прохождении изотермы «точки росы» в непосредственной близости к внутренней

поверхности для исключения конденсирования влаги в местах с более высоким сопротивлением паропрооницанию;

– предусматривать способы контроля температуры и влажности в помещении согласно требований таб.4.1 [2], табл.В.1.[2] за счёт использования устройств, обеспечивающих организованный приток воздуха в помещения.

**Список цитированных источников:**

1. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03 с изм. №1-9. - Введ. 01.01.04. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2003. – 25 с.

2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. - Введ. 29.12.06. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2006. – 47 с.

3. Рекомендации по расчету приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и расчету потерь теплоты помещений через ограждения.: Р1.04.115-2013. Введ. 14.10.13. – Минск: Государственное предприятие "Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.", 2013. – 61 с.

4. Серия Б1.020.1-7 Универсальная открытая архитектурно-строительная система зданий на основе сборно-монолитного каркаса с плоскими перекрытиями. Выпуск 6-2.1. Детали эффективных наружных ограждений. – Минск.: «Минсктиппроект», 2005.-26 с.

УДК 69.05:658

*Осопрелко А.Г., Осопрелко Р.М.*

*Научный руководитель – Кисель Е.И., к.т.н., доцент*

## **НАДЕЖНОСТЬ ПОДГОТОВКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА**

Проблема надежности характерна для всех технических и организационных систем, в том числе и строительных. Под надежностью строительной системы подразумевается способность выполнять все возложенные на нее функции с заданными характеристиками производственного потенциала реализации строительного проекта.

Возведению того или иного объекта предшествует подготовка строительного производства (ПСП). От полноты и качества подготовки во многом зависит успех будущего строительства, уровень его организации, культура производства и экономические показатели. Тем не менее, вопросам подготовки к строительству не всегда уделяется должное внимание. Нередко строительство начинается без соответствующей подготовки строительной площадки и размещения на ней необходимых временных зданий, сооружений и дорог надлежащего качества. Не всегда к началу строительства имеются глубоко продуманные графики производства работ, технологические карты и другие организационно - технологические документы.

Экономия на подготовительных работах и мероприятиях часто оборачивается значительными потерями в последующем, когда в основной период строительства его участники начинают сталкиваться с многочисленными неувязками, приводящими к простоям рабочих машин, к срывам сроков выполнения строительного-монтажных работ и поставок материально-технических ре-

сурсов, к нарушениям ритмичности производства и к повышению, в конечном итоге, себестоимости строительства.

Если сравнить отечественную практику с зарубежным опытом, то можно отметить значительную разницу в подходе к ПСП [1,2]. Между тем нормативные документы [3] предписывают достаточно четкий порядок подготовки к строительству.

Постановка проблемы надежности строительства, обусловлена вероятностным характером условий его функционирования. Базовое понятие надежности – отказ, под которым понимают полный или частичный выход системы из строя (утраты основного качества). Характер современного строительного производства обусловлен возмущающим влиянием случайных факторов. Технический прогресс в строительстве, играет положительную роль, в то же время неизбежно приводит к усложнению системы строительного производства. Влияние природно-погодных условий и участие значительного количества людей, еще больше усложняют систему строительного производства. В то же время различные производственные неполадки, возникающие по случайным причинам и в случайные моменты времени, вносят неопределенность в осуществление строительства. Взаимодействие с внешней средой и внутренние социологические факторы носят вероятностный характер, который пока не учитывается организационно-технологической документацией на строительство предприятий и объектов (ПОС, ППР). Эта документация основывается на детерминированной нормативной базе (ТКП, РСН). Отсутствие реально проработанных мероприятий подготовки приводят к срывам сроков строительства объектов, прямо влияющих на ухудшение основных экономических показателей деятельности строительных организаций.

Организационно-технологическая надежность системы строительного производства в значительной степени формируется и предопределяется на стадии проектирования зданий и сооружений, а также проектирования методов их возведения.

Организационно-технологическая надежность ПСП требует своевременной разработки и внедрения эффективных технологических процессов с учетом реализации современных условий рыночной экономики, что способствует решению в кратчайшие сроки с минимальными затратами ресурсов поставленных перед строительными организациями задач. Опыт строительства свидетельствует, что особое значение в условиях возрастающей сложности и углубления специализации строительства, непрерывного совершенствования технологии, средств механизации, методов организации и управления, приобретает своевременная и качественная ПСП. Научно-технический прогресс и рыночная экономика значительно повысили требования к эффективности разработки научных и методологических основ ПСП в условиях ограниченного доступа к материально-ресурсному обеспечению, экспериментальному и технико-экономическому обоснованию технологических процессов, методам и формам организации строительства.

Подготовка строительного производства зависит от следующих факторов:

- номенклатуры, сложности и объема строительства;
- мощности строительных организаций и производственных предприятий;
- уровня специализации и кооперации строительных организаций.

Основная трудность, выявленная практикой строительства, выражается в несовпадении проектного и фактического графиков производства работ, причем это несовпадение тем больше, чем больше рассматриваемый период.

Причинами этих несовпадений выступают различные производственные неполадки, виды и вероятность проявления которых в последнее время изучены недостаточно:

- прекращение финансирования;
- изменения плана;
- отсутствие необходимых ресурсов;
- перебои в поставки материалов на объект;
- поломки машин;
- болезни работников, нарушения ими трудовой дисциплины;
- неблагоприятные метеоусловия, препятствующие выполнению производственных задач.

Задача обеспечения надежности строительного производства состоит в том, чтобы решить проблему организационно-технологической надежности (ОТН) строительного производства, под которой понимают способность организационных, технологических и экономических решений сохранять в заданных пределах свои запроюктированные качества в условиях воздействия возмущающих факторов, присущих строительству как весьма сложной вероятностной системе. Повышение ОТН подготовки строительного производства может достигаться двумя различными путями:

- 1) снижением величины факторов, нарушающих надежность функционирования строительных систем, что не всегда возможно;
- 2) разработкой систем, надежно функционирующих в условиях воздействия этих факторов.

Чаще используют второй путь, позволяющий на основе имитационного моделирования возведения строительных объектов проектировать организационно-технологические решения с заданным уровнем ОТН. Два направления не противоречат друг другу и могут быть использованы как самостоятельно, так и совместно. Повышение надежности строительной системы означает достижение такого положения, при котором безотказная работа системы могла бы выступать как неизбежность (закономерность).

С увеличением надежности срок строительства убывает, а экономический эффект от ввода объекта в эксплуатацию в более ранние сроки увеличивается, происходит это до определенного предела, после которого дальнейшее увеличение надежности становится убыточным.

Увеличение надежности строительной системы позволяет сокращать сроки строительства или соблюдать расчетные сроки с высокой степенью вероятности. Это происходит за счет увеличения и стабилизации значений интенсивностей частных потоков и, следовательно, сведения к минимуму неблагоприятного воздействия производственных неполадок на функционирование строительной системы.

Существующая система организационно-технологического проектирования не вполне удовлетворяет требованиям современного строительного производства. К основным его недостаткам относятся неполный объем и недостаточное качество разрабатываемых проектных документов; низкая надежность организационно-технологических решений, что приводит к значительному отклонению запроюктированных в ПОС и ППР технико-экономических показателей от фактических. Основные направления совершенствования методологии проектирования организации строительного производства:

- разработка метода оценки уровня его организации;

- выбор и обоснование параметров организации строительного производства;
- исследование значений этих параметров для различных типов и комплексов зданий и условий строительства.

Качественное решение основных организационно-технических задач, стоящих перед строительной отраслью, возможно только с учетом вероятностных факторов. Исследование факторов надежности с учетом организационно-технологических аспектов деятельности системы – важнейший источник повышения эффективности функционирования строительного комплекса.

#### **Список цитированных источников**

1. *Дикман Л.Г.* Организация строительства в США / Л.Г. Дикман, Д.Л. Дикман. М.: АСВ, 2004.-376с.
2. *Крашеников А.В.* Градостроительное развитие жилой застройки. Исследование опыта западных стран. Архитектура: учебное пособие. М., 2005.-112 с.
3. Организация строительного производства: ТКП 45-1.03-161-2009 (02250). – Введ. 07.12.2009. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 51 с. Технический кодекс установившейся практики.
4. *Гусаков А.А., Гинзбург А.В., Веремеенко С.А. и др.* Организационно-техническая надежность строительства. М.: SvR-Аргус, 1994.-472 с.
5. *Гусаков А.А., Богомолов Ю.М., Брехман А.И. и др.* Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. М.: Ассоциация строительных вузов, 2004. -320с

УДК 681.3:624.04

**Петран П.И.**

**Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.**

### **О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕГМЕНТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОД**

Рассматривается статический расчет деревянных сегментных ферм на действие нагрузки, изменяющейся в соответствии с Еврокодом по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм.

**Геометрические характеристики ферм.** Рассматриваются три вида (рисунк 1) сегментных ферм, верхний пояс которых изменяется по окружности, узлы нижнего пояса расположены равномерно (с равным шагом), а узлы верхнего пояса расположены в точках пересечения окружности верхнего пояса и радиусов этой окружности  $R$ , разбивающих полный угол сегмента  $\alpha$  на равные углы  $\Delta\alpha$  (рис. 2) ( $\Delta\alpha=\alpha/n$ , где  $n$  – число панелей на верхнем поясе фермы).

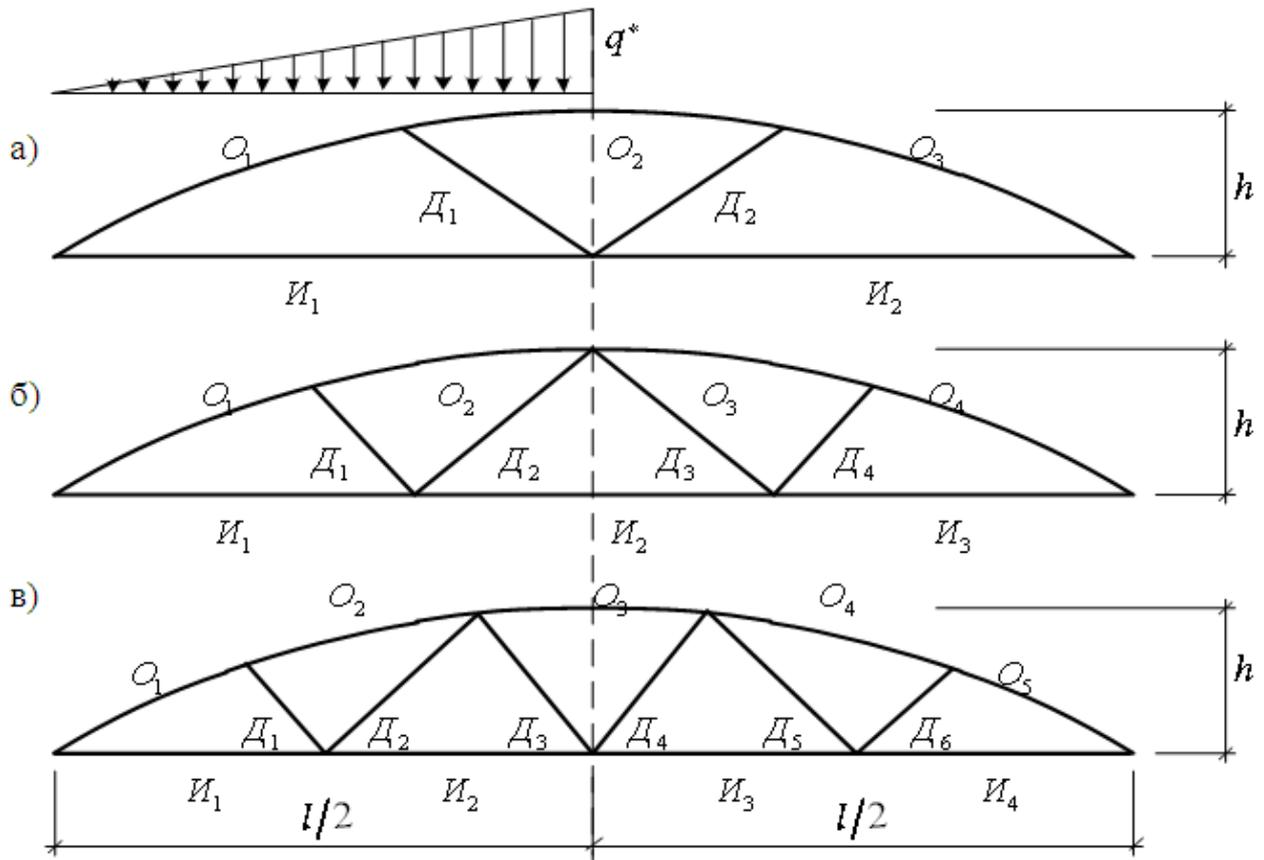
Радиус окружности, образующий верхний пояс фермы, вычисляется по формуле:

$$R = \frac{l^2 + 4 \cdot h^2}{8 \cdot h}. \quad (1)$$

При заданном соотношении высоты фермы  $h$  к длине ее пролета  $l$  ( $h=kl$ ) получим

$$R = \frac{l^2 + 4 \cdot k^2}{8 \cdot k} \cdot l = \rho \cdot l, \quad (2)$$

где  $\rho = \frac{l^2 + 4 \cdot k^2}{8 \cdot k}$  – безразмерный параметр радиуса, не зависящий от длины пролета и одинаковых для всех ферм с заданным соотношением  $k$ .



**Рисунок 1 – Схемы сегментных ферм с тремя (а), четырьмя (б) и пятью (в) панелями на верхнем поясе**

Угол  $\alpha$ , характеризующий величину сегмента, найдем из соотношений (рис. 2):

$$\sin \alpha = \frac{l}{2 \cdot R} = \frac{4 \cdot k}{1 + 4 \cdot k^2}; \quad \alpha = \arcsin \frac{4 \cdot k}{1 + 4 \cdot k^2}. \quad (3)$$

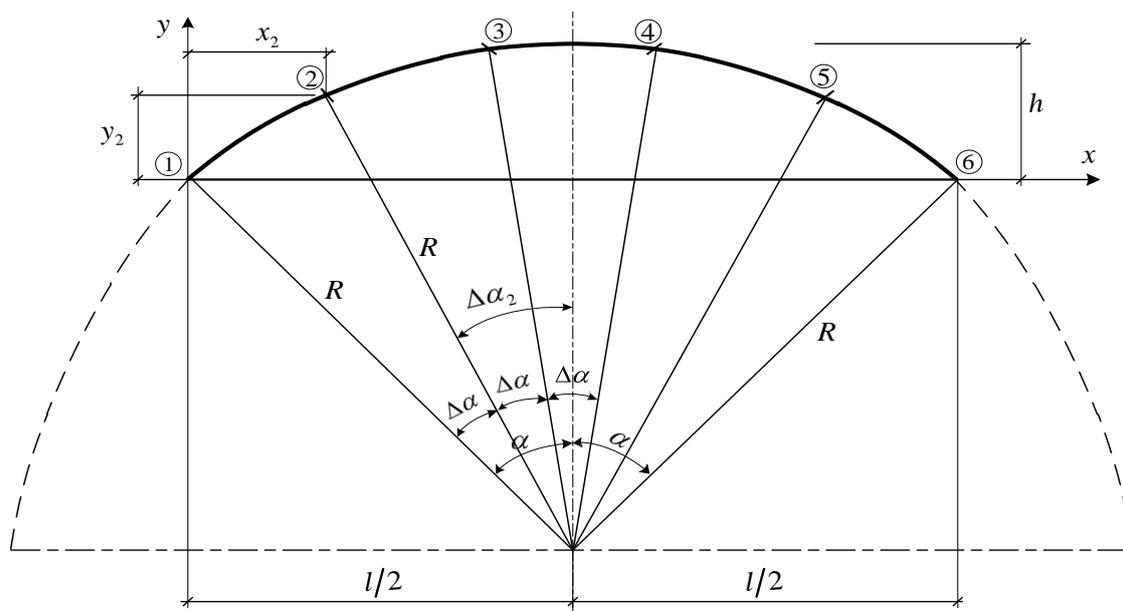
Координаты  $i$ -го узла верхнего пояса тогда могут быть найдены по выражениям (рис. 2):

$$x_i = \frac{l}{2} - R \sin(\Delta \alpha_i) = \left[ \frac{1}{2} - \rho \sin(\Delta \alpha_i) \right] \cdot l;$$

$$y_i = R \cdot \sin(\Delta \alpha_i) - (R - h) = \rho \cdot \cos(\Delta \alpha_i) - 1 + k \cdot l,$$

$$y_i = R \cdot \sin(\Delta \alpha_i) - (R - h) = \rho \cos(\Delta \alpha_i) - 1 + k \cdot l, \quad (4)$$

где  $\Delta \alpha_i = \left[ 1 - \frac{2 \cdot (i-1)}{n} \right] \cdot \alpha$  – угол, отмеряемый от средней вертикали оси до радиуса к  $i$ -му узлу против часовой стрелки.



**Рисунок 2**

Используя представленные формулы вычисляются все геометрические параметры ферм.

**Расчет узловых нагрузок.** Рассматривается действие нагрузки, изменяющейся по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм (снеговые нагрузки согласно Еврокоду) (рисунок 1). Для расчета ферм эти нагрузки необходимо привести к узловым силам. Сделать это можно по ниже представленным зависимостям:

а) для ферм с тремя панелями на верхнем поясе:

а) для ферм с тремя панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{q}{3 \cdot l} \left[ 2 \cdot x_2^2 + \frac{9}{2} \cdot x_2 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) + l - 2 \cdot x_2 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \right];$$

$$P_3 = \frac{5}{12} \cdot \frac{q}{l} \cdot l - 2 \cdot x_2 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right); \quad P_4 = 0;$$

б) для ферм с четырьмя панелям на верхнем поясе:

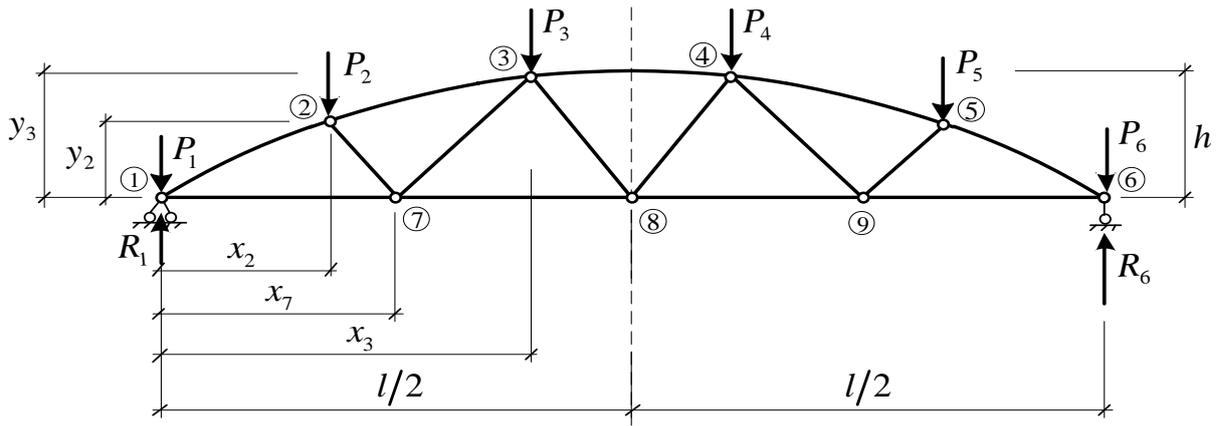
$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \left[ 4 \cdot x_2^2 + \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \cdot \left( \frac{l}{2} + 2 \cdot x_2 \right) \right]; \quad P_3 = \frac{q}{3 \cdot l} \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \cdot l - x_2; \quad P_4 = P_5 = 0;$$

в) для ферм с пятью панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{q}{3 \cdot l} \left[ 2 \cdot x_2^2 + x_3 - x_2 \cdot 2 \cdot x_2 + x_3 \right]; \quad P_5 = P_6 = 0;$$

$$P_3 = \frac{q}{3 \cdot l} \left[ x_3 - x_2 \cdot 2 \cdot x_3 - x_2 + \frac{9}{2} \cdot x_3 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_3 \right) + l - 2 \cdot x_3 \cdot 0,5 \cdot l - x_3 \right]; \quad P_4 = \frac{5}{12} \cdot \frac{q}{l} \cdot l - 2 \cdot x_3 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_3 \right);$$

**Статический расчет ферм.** Рассматриваемые сегментные деревянные фермы на расчетных схемах принимаются шарнирно-стержневыми, а элементы верхнего пояса принимаются прямолинейными. С учетом этого фермы будут статически определимыми и могут быть рассмотрены способом вырезания узлов [3]. Для автоматизации процесса, который позволит рассчитывать соответствующие фермы с различными соотношениями размеров, получим расчетные выражения для определения усилий в элементах ферм, вырезая последовательно узлы ферм. Получим эти зависимости на примере ферм с пятью панелями на верхнем поясе (рис. 3). Это наиболее сложный вариант.



**Рисунок 3 – Расчетная схема фермы**

Опорные реакции определяются из уравнения равновесия:

$$\sum M_1 = 0; \quad \sum M_6 = 0.$$

Теперь вырезаем узлы 1, 2, 7, 3 и т.д. и рассматриваем их равновесие. Уравнения равновесия в виде сумм проекций сил в узлах на горизонтальную и вертикальную оси ( $x$  и  $y$ ) позволяют получить систему уравнений, решая которую, найдем усилия в элементах фермы:

Узел 1:  $\sum x = 0; \quad N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{1-7} = 0;$

$$\sum y = 0; \quad N_{1-2} \sin \alpha_1 + R_1 - P_1 = 0;$$

Узел 2:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{2-3} \cos \alpha_2 + N_{2-7} \cos \alpha_3 = 0;$

$$\sum y = 0; \quad -N_{1-2} \sin \alpha_1 + N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{2-7} \sin \alpha_3 - P_2 = 0;$$

Узел 7:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-7} + N_{2-7} \cos \alpha_3 + N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{7-8} = 0;$

$$\sum y = 0; \quad N_{2-7} \sin \alpha_3 + N_{7-3} \sin \alpha_4 = 0;$$

Узел 3:  $\sum x = 0; \quad -N_{2-3} \cos \alpha_2 - N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{3-4} + N_{3-8} \cos \alpha_5 = 0;$

$$\sum y = 0; \quad -N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{7-3} \sin \alpha_4 + N_{3-8} \sin \alpha_5 - P_3 = 0;$$

Для определения усилий в остальных стержнях фермы можно использовать эти же уравнения, если рассмотреть ферму симметрично с правой стороны, заменив соответственно узлы 1, 2, 7, 3, на узлы 6, 5, 9, 4, опорную реакцию  $R_1$  на  $R_6$ , а узловые силы  $P_1, P_2, P_3$  на  $P_6, P_5$  и  $P_4$ .

Величины углов определяются соотношениями:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{y_2}{x_2}; \quad \alpha_2 = \arctg \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}; \quad \alpha_3 = \arctg \frac{y_2}{x_7 - x_2}; \quad \alpha_4 = \arctg \frac{y_3}{x_3 - x_7}; \quad \alpha_5 = \arctg \frac{y_3}{x_8 - x_3}.$$

По основе полученных зависимостей для расчета геометрических параметров и усилий в элементах ферм разработан алгоритм расчета и составлена программа в среде MathCad.

**Результаты расчета.** Получены результаты расчета трех типов ферм (с тремя, четырьмя и пятью панелями на верхнем поясе) с отношением  $h/l=1/6; 1/7$  от нагружения нагрузками, распределенными по треугольной зависимости  $q_x=q$  при параметре  $q^*$ , равном единице ( $q^*=1$ ) (см. табл. 1 и 2). Такой подход позволяет получить значения соответствующих коэффициентов, с помощью которых затем можно найти геометрические размеры ферм и усилия в них, умножая эти коэффициенты на величины нагрузки  $q$  и длину пролета ферм  $l$ :

$$l_{cm} = \beta_{cm} \cdot l; \quad x_i = \gamma_{xi} \cdot l; \quad y_i = \gamma_{yi} \cdot l; \quad N = \alpha \cdot q \cdot l;$$

где  $l$  – длина стержня;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го узла фермы;  $N$  – продольное усилие в стержне.

Ниже представлены результаты расчетов для двух из вариантов ферм.

Таблица 1 – Значения коэффициентов для определения продольных сил в стержнях ферм с пятью панелями и  $h_{\max}=(1/7)l$

Элемент		Коэффициент $\alpha$ для нагрузки
Вид	Обозначение	Распределенной по треугольнику на $l/2$
Верхний пояс	O <sub>1</sub>	-0.3795839968
	O <sub>2</sub>	-0.3226762044
	O <sub>3</sub>	-0.2252759229
	O <sub>4</sub>	-0.1537415612
	O <sub>5</sub>	-0.1451092039
Нижний пояс	I <sub>1</sub>	0.3425708891
	I <sub>2</sub>	0.270413233
	I <sub>3</sub>	0.1801386128
	I <sub>4</sub>	0.1309596543
Решётка	D <sub>1</sub>	-0.0503116972
	D <sub>2</sub>	0.0609714376
	D <sub>3</sub>	-0.0741391485
	D <sub>4</sub>	0.0741391485
	D <sub>5</sub>	-0.0415550056
	D <sub>6</sub>	0.0342898731

Таблица 2 – Значения коэффициентов для определения продольных сил в стержнях ферм с тремя панелями и  $h_{\max}=(1/6)l$

Элемент		Коэффициент $\alpha$ для нагрузки
Вид	Обозначение	Распределенной по треугольнику на $l/2$
Верхний пояс	O <sub>1</sub>	-0.0629657168
	O <sub>2</sub>	0.1176539131
	O <sub>3</sub>	-0.1502540012
Нижний пояс	I <sub>1</sub>	0.0572598805
	I <sub>2</sub>	0.1366382628
Решётка	D <sub>1</sub>	-0.2275290664
	D <sub>2</sub>	0.0813262322

**Заключение.** Представлена методика статического расчета деревянных сегментных ферм на действие нагрузки, изменяющейся по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм. Получены расчетные зависимости, реализованные в Mathcad-программу расчета ферм. Выполнен расчет ряда типов ферм на соответствующие единичные нагружения, получены результаты, позволяющие определять усилия в фермах с конкретными размерами от заданных величин нагрузок.

#### Список цитированных источников

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ

В настоящее время происходит бурное развитие транспортной инфраструктуры как пассажирских, так и грузовых перевозок. На протяжении нескольких десятилетий изучением данного процесса занимается логистика. Логистика – наука, предмет которой заключается в организации рационального процесса движения товаров и услуг от поставщиков сырья к потребителям, функционирования сферы обращения продукции, товаров, услуг, управления товарными запасами и провиантом, создания инфраструктуры товародвижения [1]. Логистика играет роль интегрированной системы, которая развивается до сих пор и охватывает все процессы деятельности фирмы.

Уже тысячи компаний либо пользуются услугами фирм, занимающихся логистикой, либо внедряют соответствующие отделы в структуру своих компаний. Как известно, в стоимость товара входят не только затраты на производство, рекламу, сервисное обслуживание, но и затраты, связанные с транспортировкой груза. Вот почему именно поиск оптимального пути перемещения груза становится основной задачей, решение которой, даёт предприятию возможность максимально использовать свой производственный потенциал.

Объект исследования – ОАО селекционно-гибридный центр «Западный». Это крупное сельскохозяйственное предприятие Брестской области, занимающее животноводством и растениеводством, имеющее собственный перерабатывающий комплекс. За три десятилетия своего существования предприятие стабильно и гарантировано обеспечивает мясоперерабатывающие предприятия области качественным мясным сырьем. Основной объем животноводческой продукции идет на Брестский мясокомбинат, Брестский рынок и многие торговые предприятия города Бреста. Объем грузоперевозок данного предприятия велик, маршруты весьма разнообразны, поэтому необходима их оптимизация.

Задача авторов заключалась в разработке в среде Excel + VBA приложения для поиска оптимального маршрута транспортировки грузов предприятия ОАО СГЦ «Западный». Иными словами, необходимо было решить проблему доставки товара в конкретный пункт назначения, потребителю, в требуемом объеме и с минимальными затратами.

Сеть перевозок селекционно-гибридного центра обширна. Это транспортировка кормов на животноводческий комплекс, доставка мясомолочного сырья в пункты переработки, а готовой продукции – потребителю. Поэтому актуальность данной разработки очевидна.

Перед авторами стояла задача разработки приложения, которое упростило бы процесс составления любого из перечисленных выше, маршрутов, позволяющего логисту на предприятии выбрать приоритетные грузы и кратчайший путь, по которому необходимо везти продукцию. Данное приложение универсально, оно успешно может быть применимо как для отдела логистики ОАО СГЦ «Западный», так и для любого другого сельскохозяйственного предприятия. Разработка носит прикладной характер. Доступными средствами среды Excel + VBA она позволяет автоматизировать трудоёмкий процесс расчетов и

формирования оптимального пути транспортировки сырья и готовой продукции потребителю.

Условно процесс разработки был разделён на два этапа. На первом – решалась задача целесообразности перевозки, то есть определялось, какой именно груз будет перевезён, чтобы его стоимость была максимальной, машина была загружена полностью, но не перегружена, и выручка от транспортировки была максимальной.

Предположим, что заявка оформлена на пять товаров. Для того, что бы сделать работу приложения более гибкой, присвоим каждому товару условные обозначения буквами русского алфавита (а, б, в и т.д.). Клиентов пронумеруем, а самому предприятию ОАО СГЦ «Западный» присвоим обозначение «компания». Грузоподъёмность машины составляет 1400 кг. Оформляем заявку, в которой будут следующие поля: **«Предприятие»**, **«Вес груза»**, **«Продукт»**, значения записей которых мы вводим с клавиатуры, а поле **«Стоимость перевозимых продуктов»** рассчитываем при помощи функции поиска. Затем создаём следующую аналогичную таблицу, в которую заносим данные о пунктах назначения сырья и готовой продукции нашего предприятия. С помощью надстройки Excel «Поиск Решения» находим оптимальный перечень продукции, перевозимый одной машиной. Для удобства и автоматизации расчётов создаём кнопку макроса, по нажатию которой мы получаем перечень и количество продукции, перевозимой одной машиной, причём суммарный её вес будет равен грузоподъёмности машины (рисунок 1).

<b>Вес</b>	1400	<b>Найти пункты назначения</b>			
<b>Предприятия</b>	<b>Вес</b>	<b>Продукт</b>	<b>Стоимость перевозимых продуктов</b>	<b>Продукт</b>	<b>Стоимость</b>
1й	370	а	48100000	а	130000
2й	222	в	26640000	б	1000000
3й	220	г	17600000	в	120000
4й	150	д	14250000	г	80000
5й	108	е	12960000	д	95000
6й	330	б	33000000		
	<b>1400</b>		<b>361660000</b>		

Установить целевую ячейку: \$E\$24

Равной:  максимальному значению  
 минимальному значению

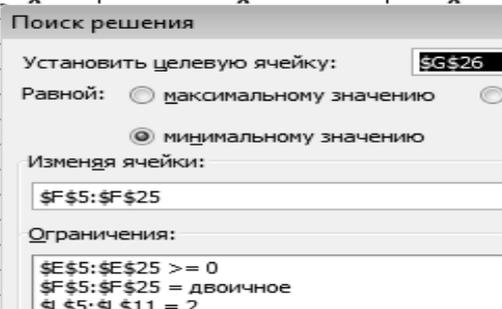
Изменяя ячейки:

Ограничения:

**Рисунок 1 – Определение пунктов назначения и перечня продукции**

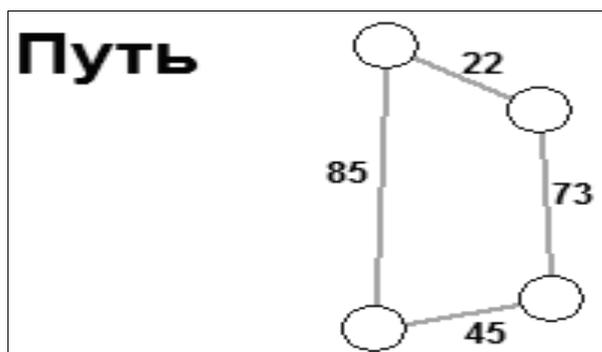
Вторая задача, решённая авторами, состояла в определении оптимального пути перевозки, сводилась к решению транспортной задачи собственным оригинальным способом. По данным вспомогательной таблицы расстояний от компании до всех пунктов назначения, рассчитываем оптимальный маршрут перевозки. Используя при этом также созданную кнопку макроса, записанного для работы с надстройкой «Поиск Решения» [2]. Авторы учли, что машина, выезжающая из пункта отправления, обязательно должна вернуться назад, в селекционно-гибридный центр.

№	Точка отправки	Точка доставки	Длина	На кратчайшем пути	Путь
1	комп	1й	85	1	85
2	комп	2й	65	0	0
3	комп	3й	73	1	73
4	комп	-	0	0	0
5	комп	-	0	0	0
6	комп	-	0	0	0
7	1й	2й	45	1	45
8	1й	3й	62	0	0
9	1й	-	-	-	-
10	1й	-	-	-	-
11	1й	-	-	-	-
12	2й	3й	-	-	-
13	2й	-	-	-	-
14	2й	-	-	-	-
15	2й	-	-	-	-
16	3й	-	-	-	-
17	3й	-	-	-	-
18	3й	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-



**Рисунок 2 – Поиска оптимального маршрута перевозки**

Для наглядного представления результатов проведённых расчётов, разработанный оптимальный маршрут перевозки представляется графически, для этого строится граф перемещения нашего транспортного средства (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Граф оптимального маршрута**

Таким образом авторами создано приложение, которое способно за короткий промежуток времени максимально загрузить транспортное средство, не превысив при этом грузоподъёмность машины и составить оптимальный маршрут транспортировки продукции, значительно снижая затраты на перевозку груза. Кроме того, данная разработка успешно может быть адаптирована к специфике любой компании, одной из задач которой является организация процесса транспортировки готовой продукции.

В результате внедрения данной разработки на предприятии ОАО СГЦ «Западный» можно достичь определённого экономического эффекта. Хорошо отлаженный процесс организации грузоперевозок и разработка оптимального маршрута транспортной фирмы позволяет значительно снизить логистические издержки.

#### **Список цитированных источников**

1. Фразелли, Эдвард Мировые стандарты складской логистики / Эдвард Фразелли. М.: Альпина. – 2012. – 330с.
2. Трусов, А.Ф. Excel 2007 для менеджеров и экономистов: логистические, производственные и оптимизационные расчёты / А.Ф. Трусов. – СПб.: Питер, 2009. – 256 с.

УДК 338.512

*Сковбель Т.С., Мелконян Н.М..*

*Научный руководитель: доцент Белоглазова О.П.*

## **РЕФОРМИРОВАНИЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Целью настоящей работы является изучение и систематизация документов, функционирующих в сфере жилищно-коммунального хозяйства и призванных обеспечить ее реформирование, а также направлений реформирования в современных условиях.

Жилищно-коммунальное хозяйство является той сферой экономики, от которой зависит уровень жизни и благополучие большинства населения Республики Беларусь.

**Жилищно-коммунальное хозяйство** представляет собой особый вид естественной монополии, предназначенной для удовлетворения повседневных потребностей, которые являются наиболее значимыми в плане обеспечения уровня и качества жизни общества.

В его состав входят две крупнейшие отрасли: жилищное и коммунальное хозяйство. Жилищное хозяйство и ремонтно-эксплуатационное производство занимается текущим содержанием и капитальным ремонтом жилищного фонда местных Советов. В состав коммунального хозяйства входят водоснабжение и водоотведение, коммунальная теплоэнергетика, благоустройство населенных пунктов, включая дорожное хозяйство, санитарную очистку, озеленение. Необходимо отметить, что эта сложная и многопрофильная отрасль нуждается в коренных преобразованиях, реформировании и оптимизации управления.

В настоящее время разработан ряд стратегических документов, задающих ориентиры реформирования жилищно-коммунального хозяйства. Документы дают основания и возможность вести активную и целенаправленную работу по реформированию ЖКХ. Основными из них являются Национальные жилищные программы, принятые в 1994 и 1999 годах [1], [2], Концепция развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь на период до 2015 года» [3], Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы [4], Программа развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь до 2015 года [6], Государственная программа по водоснабжению и водоотведению "Чистая вода" на 2011 – 2015 годы [5] и др.

В Программе социально-экономического развития были обозначены приоритетные направления развития жилищной сферы, такие как: оказание услуг ЖКХ в соответствии с государственными социальными стандартами обслуживания населения, снижение затрат на оказание ЖКХ услуг населению на основе внедрения прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий, повышение уровня возмещения населением затрат на оказание ЖКХ услуг с учетом роста доходов. Дальнейшее развитие реформирования отрасли получило в концепции развития жилищно-коммунального хозяйства, которая предусматривала перевод отрасли в режим безубыточного функционирования при развитии конкурентной среды на рынке жилищно-коммунальных услуг.

Задачи концепции развития жилищно-коммунального хозяйства были сформулированы следующим образом: обеспечение и соблюдение минимальных нормативов социального стандарта по предоставлению населению услуг в области жилищно-коммунального обслуживания; дальнейшее совершенствование системы платы за пользование жилыми помещениями и платы,

предусматривающей участие нанимателя, собственника жилого помещения, члена организации застройщиков в финансировании в многоквартирных жилых домах доли затрат по фактическим расходам, связанным с эксплуатацией и ремонтом вспомогательных помещений общего пользования, конструктивных элементов, инженерных систем жилых домов, содержанием придомовых территорий и коммунальных услуг; совершенствование и оптимизация структуры управления жилищно-коммунальным хозяйством; финансовое оздоровление организаций жилищно-коммунального хозяйства; переход на формирование договорных отношений, развитие конкурентной среды в сфере жилищно-коммунального обслуживания; развитие инженерной инфраструктуры населенных пунктов, обеспечение ее надежности и устойчивости функционирования с привлечением инвестиций на эти цели.

Основной проблемой развития жилищно-коммунального хозяйства в перспективе до 2015 года является обеспечение финансирования его воспроизводства.

**Плата за пользование** жилыми помещениями, техническое обслуживание и коммунальные услуги, предоставляемые по фиксированным тарифам, средства местных бюджетов, включая доходы от сдачи в аренду нежилых помещений, доходы от прочих потребителей коммунальных услуг, предоставляемых по договорным ценам, **в целом недостаточны** для обеспечения простого воспроизводства в организациях жилищно-коммунального хозяйства.

Осуществить намеченное можно путем совершенствования экономических отношений - переходом от частичного бюджетного и перекрестного субсидирования затрат, связанных с оказанием услуг населению, к оплате их в полном объеме при условии экономического стимулирования улучшения качества обслуживания. Такой переход предполагается осуществить в три этапа.

В 2003 г. (на момент разработки концепции) отмечается, что за счет совершенствования тарифной политики и снижения издержек достигнут 50-процентный уровень возмещения затрат по основным видам услуг.

Основные усилия на ближайшую перспективу (ориентировочно до 2006 года) должны быть сосредоточены на рационализации и снижении издержек производителей услуг.

На завершающем этапе реформирования жилищно-коммунального хозяйства (2015 год) предполагается, что действующие тарифы будут составлять 100 процентов затрат, включая источники расширенного воспроизводства и расходов по обязательному страхованию жилых помещений.

Что касается водопроводно-канализационного хозяйства, то его состояние было охарактеризовано ухудшением качества подземных вод при недостаточной мощности сооружений подготовки и очистки питьевой воды и низкой обеспеченностью населенных пунктов системами сбора и очистки поверхностного стока, нерациональным использованием воды, низкой обеспеченностью приборами учета воды и высоким удельным водопотреблением населения.

В целях выполнения Закона Республики Беларусь от 24 июня 1999 года «О питьевом водоснабжении» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 1999 г., № 50, 2/46) и Государственной программы по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 января 2002 г. № 52 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2002 г., № 12, 5/9793), предполагалось создать в районах (городах) организации водопроводно-канализационного хозяйства с правом юридического лица. Осуществить дальнейшее развитие и модернизацию действующих систем питьевого водоснабжения и

городской канализации, совершенствование организационных форм управления водопроводно-канализационным хозяйством, снижение удельного водопотребления, неучтенных расходов, непроизводительных потерь воды, обеспечив к 2015 году развитие организаций жилищно-коммунального хозяйства до среднеевропейского уровня.

В Программе развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь до 2015 года, разработанной в 2013 году отмечается, что обеспечение населения качественной питьевой водой и создание благоприятных условий проживания являются важнейшими социальными задачами.

Для решения этих задач необходимо осуществлять целенаправленную работу по развитию систем питьевого водоснабжения и водоотведения, повышению качества подаваемой потребителям питьевой воды и очистки отводимых сточных вод, совершенствованию управления водопроводно-канализационным хозяйством, системы учета и контроля использования воды, нормативной базы по развитию, проектированию, эксплуатации и пользованию системами водоснабжения и водоотведения.

На момент разработки Программы обеспеченность населения системами водоснабжения и водоотведения составляет: централизованным водоснабжением – 86 процентов, в том числе сельского населения – 57 процентов; централизованными и местными системами хозяйственно-бытового водоотведения – 74 процента, в том числе сельского населения – 30 процентов. Обеспеченность систем питьевого водоснабжения сооружениями обработки воды составляет 83 процента.

Дальнейшее повышение эффективности работы систем централизованного водоснабжения и водоотведения планировалось осуществлять в рамках реализации Государственной программы по водоснабжению и водоотведению "Чистая вода" на 2011 – 2015 годы и соответствующих региональных программ, мероприятия которых направлены на решение следующих задач:

- обеспечение бесперебойного снабжения населения качественной питьевой водой;

- обеспечение рационального водопользования, поддержание благоприятной среды проживания населения за счет внедрения прогрессивных технологий очистки и обеззараживания сточных вод;

- совершенствование форм управления водоснабжением и водоотведением, институциональной структуры водного хозяйства в целях повышения качества услуг по водоснабжению и водоотведению и улучшения финансового состояния организаций водопроводно-канализационного хозяйства;

- снижение затрат организаций водопроводно-канализационного хозяйства на оказание услуг по водоснабжению и водоотведению путем внедрения прогрессивных энергосберегающих технологий, оптимизации работы технологического оборудования, сокращения непроизводительных расходов.

Для мониторинга хода решения перечисленных задач определены следующие **прогнозные показатели**, которые должны быть достигнуты к 2016 году: обеспечение не менее 98 процентов населения областных и районных центров, городов областного подчинения и поселков городского типа централизованным водоснабжением с питьевой водой нормативного качества; обеспечение не менее 80 процентов населения агрогородков централизованным водоснабжением; обеспечение населения централизованными и местными системами хозяйственно-бытового водоотведения (городского населения – до 92,5 процента, сельского – до 32,5 процента); снижение на 5 процентов потерь воды

Основными направлениями реформационных изменений являются: перевод коммунальной отрасли на рыночные отношения, привлечение частного бизнеса, формирование института эффективного собственника.

Для приведения реформы в действие необходимо разделить функции собственника имущества и хозяйственника, внедрить договорные отношения между собственником и управляющей организацией. Это позволит перейти на полную оплату стоимости услуг ЖКХ без увеличения в составе такого платежа доли расходов граждан. Потребители смогут непосредственно влиять на объем и качество услуг путем воздействия на предоставляющие их предприятия и организации; участвовать в конкурсном отборе управляющих компаний и подрядных организаций.

Все эти нововведения будут стимулировать энерго- и ресурсосбережение, как со стороны предприятий (снижение производственных издержек), так и со стороны потребителей (уменьшение стоимости потребляемых услуг).

Конкурентные отношения позволят добиться качественного улучшения финансового и технического состояния городской инфраструктуры и сделают городское хозяйство интересным для потенциальных инвесторов.

При одновременном росте доли средств инвесторов и собственных средств коммунальных предприятий, доля расходов на капиталовложения в коммунальную инфраструктуру из государственного бюджета будет неизменно уменьшаться. В этом случае капиталовложения в ЖКХ могут осуществляться благодаря передаче белорусским и иностранным инвесторам объектов инженерной инфраструктуры на основании договоров концессии (или договоров управления), тем более что Закон о концессиях [7], уже принят в Республике Беларусь.

Конкуренция в жилищном хозяйстве должна развиваться в следующих направлениях: управление заказами, управление жилищным фондом, конкуренция в сфере подрядных отношений на предоставление жилищно-коммунальных услуг.

По инициативе отраслевого министерства с марта по декабрь 2015 г. в г.Минске в двух районах проводился эксперимент по оптимизации системы управления ЖКХ, который развивался в следующих направлениях.

Совмещение функций собственника имущества и хозяйствующей структуры создает серьезный внутренний конфликт - конфликт интересов, результатом которого является отсутствие стимулов для повышения эффективности управления. Поэтому, для создания предпосылок по формированию конкурентной среды в системе ЖКХ предложено **разделение функций служб заказчика и исполнителя**. Исполнители – жилищно-эксплуатационные участки, заказчики - коммунальные унитарные предприятия «ЖКХ Партизанского района Минска» и «ЖКХ Первомайского района Минска». Для уменьшения стоимости технического обслуживания жилого фонда **создана единая диспетчерская служба**, которая выполняет функции приема заявок и консультаций по вопросам ЖКХ, что позволило сократить около 70 % диспетчеров.

Для снижения потерь предусмотрено **выполнение аварийных работ в круглосуточном режиме**, что привело одновременно к увеличению количества положительных оценок работы аварийных служб со стороны потребителей. **Укрупнение разрозненных служб и создание единого расчетно-справочного центра**. В Минске были объединены 43 существующих центра, ранее входивших в состав ЖРЭО.

Результаты эксперимента по оптимизации системы управления ЖКХ позволяют снизить себестоимость услуг на 16.1 % и распространить положительную практику с учетом территориальных особенностей на все хозяйствующие субъекты отрасли.

### **Список цитированных источников**

1. Национальная жилищная программа, принятая постановлением Верховного Совета Республики Беларусь от 24 февраля 1994 г. № 2806- XII // Ведомости Верховного Совета Республики Беларусь. 1994. № 18(128).
2. Национальная жилищная программа, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 3 мая 1999 г. № 640.
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 14.07 2003 г. № 943 «О Концепции развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь на период до 2015 года» (рег. № 5/12779 от 16.07 2003 г.).
4. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 11 апреля 2011 г. № 136 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2011 г., № 43, 1 /12462);
5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 сентября 2011 г. № 1234 "О Государственной программе по водоснабжению и водоотведению "Чистая вода" на 2011 – 2015 годы" (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2011 г., № 106, 5/34450),
6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 08.02.2013 № 97 «Программа развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь до 2015 года»
7. О концессиях: Закон Республики Беларусь от 12.07.2013 №63-З//Нац. реестр правовых актов РБ 19 июля 2013 г. № 2/2061

УДК 054.665

***Скрипель М.П., Головчук А.Н.***

***Научный руководитель: доцент Левчук Н.В.***

### **НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФАТОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ**

Исследованиям долговечности строительных конструкций из бетона и железобетона в настоящее время уделяется особое внимание. Поэтому детальное изучение долговечности строительных конструкций из бетона и железобетона, подвергающегося воздействию внешней агрессивной среды, остается актуальным. [1]

В результате техногенеза во всех природных компонентах происходит увеличение концентраций загрязняющих веществ. В атмосферу ежегодно выбрасывается более 200 млн тонн оксида углерода, почти 146 млн тонн диоксида серы, примерно 53 млн тонн оксидов азота. Атмосферные осадки, содержащие соединения азота и серы способствуют нарушению естественных химических и биологических процессов в почвах, оказывают разрушающее воздействие на хозяйственные (строительные) объекты.

Промышленный комплекс, включая энергетику, нефтедобывающую и нефтеперерабатывающую промышленность, транспорт, строительную отрасль способствует быстрому истощению природных невозобновляемых и возобновляемых ресурсов.

Известно, что значительная часть строительных конструкций эксплуатируется при воздействии агрессивных сред с высокой влажностью, а гидроотехнические сооружения функционируют в жидкой агрессивной среде. В таких условиях к строительным материалам и сооружениям предъявляются более жесткие требования по коррозионной стойкости к воздействию внешней среды.

В свою очередь еще на стадии проектирования гидротехнических сооружений, объектов дорожной инфраструктуры и др. проектом предусматривают-

ся меры по охране окружающей природной среды и сохранению существующего в данной местности природного баланса, т. е. технологические решения в соответствии с санитарными нормами не должны допускать опасного загрязнения водотока и подземных вод, заболачивания местности, а также не допускать выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

В связи с выше затронутыми проблемами к новым строительным материалам и конструкциям применимы несколько правил:

1. Строительство сооружений и конструкций должно обеспечить выполнение мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также соблюдению требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством.

2. Строительные материалы, из которых выполнены конструкции и сооружения, должны оказывать положительное влияние на процессы структурообразования, прочность и другие физико-механические и эксплуатационные свойства для того, чтобы обеспечить минимальное негативное воздействие на окружающую среду и безопасность человека.

Эти положения позволили провести серию экспериментов по изучению свойств цементного камня и бетона, эксплуатируемого в сульфатной и углекислотной средах, сравнить пористость полученного цементного камня на основе напрягающего цемента после 28 суток нахождения в агрессивной среде с различной концентрацией сульфат-ионов.

Проблема коррозионных повреждений бетонных и железобетонных конструкций под воздействием жидких агрессивных сред приобретает особую актуальность, так как состояние и эксплуатационные характеристики таких конструкций инициируют не только технические и экономические проблемы, но также оказывают негативное влияние на окружающую среду и безопасность человека.

Известно, что основной причиной разрушения бетонных конструкций, подвергающихся действию различных агрессивных сред, является коррозия цементной матрицы бетона. Наибольшее разрушающее действие на цементную матрицу бетона оказывает сульфатная коррозия, вызванная действием сульфатов различной природы и концентрации. Данный вид коррозии включает процессы, при развитии которых происходят образование и накопление кристаллов двуводного гипса и трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция. Кристаллизация малорастворимых продуктов реакции цементной составляющей бетона с сульфатной средой приводит к разрушению цементной матрицы, а значит и бетонной конструкции, за счет значительного увеличения объема твёрдой фазы[2].

Основой большинства цементов является, как известно, портландцементный клинкер. Вводя модифицирующие добавки и нормируя минералогический состав, получают цементы, необходимые для использования их в различных условиях эксплуатации. Так, например, для повышения надежности, долговечности и улучшения эксплуатационных характеристик бетонных и железобетонных конструкций при сульфатной агрессии применяют ряд специальных цементов. К ним относят, в том числе, сульфатостойкие и напрягающие цементы.

Сульфатостойкие цементы применяют для особо тяжелых условий при наличии внешнего агрессивного воздействия. Сульфатостойкие цементы предназначены для бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях переменного уровня воды, а также сооружений, которые подвергаются

ся агрессивному воздействию сульфатных вод при одновременном многократном изменении температуры или многократном увлажнении и высыхании.

Чаще всего используют сульфатостойкий портландцемент, полученный совместным помолом портландцементного клинкера и тонкомолотой минеральной добавки: трепела, опоки, диатомита (5-10%) или доменного гранулированного шлака (10-20%). Добавка связывает выделяющийся при гидратации алюмината гидрат окиси кальция, что способствует повышению сульфатостойкости цемента [2]. Использование добавок такого рода позволяет получать сульфатостойкий портландцемент высоких марок М400 и 500 даже с повышенным содержанием алюминатов. Например, сульфатостойкий шлакопортландцемент марки М300 и 400 получают при содержании алюминатов до 8 %.

Сульфатостойкость цемента обеспечивается, прежде всего, минералогическим составом, в котором ограничивается содержание нестойких к сульфатной агрессии минералов. Сульфатостойкий портландцемент содержит 50%  $C_3S$ , 5%  $C_3A$  от 10 до 22% ( $C_3A + C_4AF$ ) [1].

Сульфатостойкие портландцементы, с пониженным содержанием алюминатной фазы и с минеральными добавками, обеспечивают относительную устойчивость к агрессивным сульфатным водам при строгом минералогическом составе и при соблюдении ряда технологических факторов [3]: быстрое охлаждение клинкера, снижение тонкости помола и др.

Одним из основных вяжущих материалов, которые используются в производстве бетонов, является напрягающий цемент. Данный вид цемента является представителем расширяющих цементов. Расширяющиеся цементы, в отличие от традиционных, в процессе твердения увеличиваются в объеме, что и позволяет в значительной мере нейтрализовать влияние усадки, негативно влияющей на свойства бетона. Основу напрягающего цемента составляет портландцементный клинкер (около 2/3 состава), к которому при помоле добавляют повышенное по сравнению с портландцементом количество гипса, а также дополнительно высокоалюминатные шлаки.

Изучая сульфатостойкость цемента и далее бетона, необходимо рассмотреть требования, свойства и состав для бетонов гидротехнического назначения. Гидротехнические бетоны подразделяют на четыре марки: W2, W4, W6, W 8. Для гидротехнического бетона допускается применение портландцемента, пластифицированного и гидрофобного цементов, пуццоланового и шлакового и сульфатостойкого цемента с повышенным содержанием белита. Отмечается [4], что глиноземистый цемент, более чем портландцемент, стоек в растворах сульфата кальция и магния, а также в слабых растворах и парах неорганических кислот, в морской воде, в углекислых и болотных водах, в маслах. Изучением состояния бетонных гидротехнических конструкций занимался А.А. Байков, и что касается сульфатов, он отмечал образование лишь следов  $SO_4^{2-}$ , характеризующих присутствие малорастворимого гидросульфоалюмината кальция, что сопровождается значительным увеличением внутренних напряжений, вследствие чего масса бетона разрыхляется и становится сильно водопроницаемой. Однако потери при прокаливании полуразрушенного бетона составили в % отношении: вода, углекислый газ, органические примеси - 41,72; кремнезем - 5,37; оксиды алюминия и железа - 0,684; оксид магния 40,72 и серный ангидрид всего лишь 1,47. Содержание сульфатов, в разрушающемся бетоне может быть больше по сравнению с содержанием их в исходном портландцементе. Накопление сульфатов происходит в ре-

зультате взаимодействия составляющих цементный камень с солями, содержащимися в воде и, прежде всего, это соли магния. Накопление сульфатов также может быть обусловлено различной плотностью цементного камня и, если плотность бетона высока, диффузия солей замедляется. Соли магния (сульфаты) реагируют с гидроксидом кальция в поверхностном слое, а полученный гидроксид магния, осаждается в поверхностном слое, создавая мембрану, через которую сульфат - ионы диффундируют вглубь бетона. Таким образом, количество сульфат-ионов в глубине конструкции растет, возможен и обратный процесс выхода сульфат-иона в раствор.

В лабораторных условиях проводились испытания бетонных образцов размерами 5×5×5, приготовленных на основе напрягающего цемента состава: портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакалин (13%), гипс (12%), вода (33,5%), согласно Рекомендации по способам защиты бетона в условиях сульфатной коррозии. Данная методика предназначена для ускоренного определения коррозионной стойкости бетона в средах, характеризующихся сульфатной агрессивностью с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л. Метод основан на сравнении скорости поглощения агрессивных ионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) испытываемым бетоном и особо плотным бетоном повышенной сульфатостойкости приготовленным из портландцемента по ТУ 21-21-10-80. Испытания образцов проводились в сроки, соответствующие 1, 3, 6 неделям. По окончании испытаний нами строилась кривая поглощения бетоном сульфатных ионов во времени и сравнивалась с эталонной кривой.

Обработка полученных результатов на данном этапе позволила считать исследуемый бетон сульфатостойким и использовать для изготовления конструкций, работающих в сульфатных средах с концентрацией ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  не более 2000 мг/л, поскольку кривая поглощения находится на диаграмме ниже эталонной кривой.

#### **Список цитированных источников**

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 536с.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона./ Ю.М. Баженов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2003. – 499с.
3. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе./ Л.М. Сулименко. – М.: Высшая школа, 2000 – 302с.
4. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества /А.В. Волженский. – М: Стройиздат, 1986 – 463с.

УДК 624.155.154; 620.9

**Томашев И.Г.**

**Научный руководитель: доцент Юськович Г.И.**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РУБАШЕК ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ**

Одним из технологических приемов, позволяющих снизить энергозатраты при погружении свай в грунт, является применение обмазок и оболочек для покрытия их поверхности, соприкасающейся с грунтом.

При погружении забивкой свая испытывает лобовое сопротивление грунта разрушению породы острием наконечника и сопротивление сдвигу (трению) по боковой поверхности ствола. Доля сопротивления трению может достигать

30-50 % от общего сопротивления погружению. Поэтому использование в этих случаях в качестве обмазок материалов, обладающих способностью к тиксотропным изменениям и низкими сопротивлениями сдвигу, приводит к ускорению погружения свай и снижению при этом затрат энергии.

Весьма перспективными, на наш взгляд, в строительстве являются: использование обмазок из синтетических смол и глиняных паст; гидроподмыв; широкое внедрение ударно-вращательного, раздельного, электроосмотического и электрогидравлического способов погружения свай.

Очевидно, не менее целесообразным и эффективным видится также изменение конструктивных параметров свай, и особенно - выполнение оптимальной формы и угла заострения наконечника и режущих профилей, а также достижение совершенства конструкции стволов свай.

Практика показывает, что использование обмазок повышает стоимость погружения свай (для лучшей ориентации стоимость приведена в текущих ценах на 1 мая 2016 г.) соответственно на 43; 357; 987 и 1954 тыс. руб. (бentonитовая глина, полиакриламид, жидкое стекло, эпоксидная смола), но при этом энергоемкость погружения может быть снижена до 30%, что дает экономический эффект до 42...63 млн руб. на сваю, на столько же процентов может быть повышена несущая способность, уменьшено число деформированных свай.

Согласно последним исследованиям, в качестве обмазок могут применяться карбамидные, фурфуроланилиновые, полиакриламидные и эпоксидные смолы, а также тиксотродные пасты. Существует ряд модификаций карбамидных смол, однако наибольшее практическое применение получили смолы, образующиеся при обычной температуре из мочевины и формальдегида или фурфурола (смола МФ-17).

Карбамидные (мочевиноформальдегидные) смолы получили свое название от одного из исходных продуктов для их получения - карбамида (мочевины). Эти смолы содержат в основном цепи макромолекул амидной группы. Существует ряд модификаций карбамидных смол, однако наибольшее практическое применение получили смолы, образующиеся при обычной температуре из мочевины и формальдегида или фурфурола.

Карбамидные смолы являются полярными, что обуславливает их высокие адгезионные свойства. Они способны затвердевать при обычных температурах и превращаться в твердые неплавкие и нерастворимые гидрофобные полимерные продукты. В отвердевшем состоянии мочевиноформальдегидные смолы обладают достаточно высокой прочностью на сжатие – от 6 до 27 МПа. При внесении в грунт эти смолы способны связывать влагу до 100 % от веса грунта и придавать ему одновременно высокую механическую прочность и устойчивость. Они образуются в результате поликонденсации мочевины с формальдегидом в присутствии катализатора. Наиболее распространенная карбамидная смола МФ-17 имеет белый или светло-коричневый вид, однородную вязкость и по массовому составу состоит: мочевины -100, формалин 40%-й – 270, аммиачная вода 25%-я-10, диэтиленгликоль 100%-й-50 частей.

Фурфуроланилиновая смола (ФАС) образуется в результате поликонденсации аммиака и фурфурола, взятых в соотношении 1:2, в слабокислой или нейтральных средах. В качестве катализатора используется соляная кислота. Анилин и фурфурол должны иметь определенные свойства, их реакция весьма сложна, протекает в несколько стадий, довольно быстро и с выделением тепла. При количестве ФАС более 8% от массы сухого грунта временное сопротивление грунтово-смоляной смеси составляет 8,2 МПа, в количестве 6%-увеличивается до 12,6 МПа. По этой причине чрезмерный расход ФАС неже-

лателен. При использовании ФАС в качестве обмазок свай нужно помнить, что при смешении фурфурола с анилином процесс смолообразования и затвердевания в адсорбционных пленках частиц грунтов начинается быстрее и вследствие катализирующего действия протекает быстрее, чем на воздухе. Этому способствует повышение концентрации ионов в грунтовом растворе, содержание кислот в фурфуроле. В связи с возможностью кипения смолы в присутствии 0,5%-го раствора соляной кислоты в количестве 1% от общей массы обмазки время погружения свай при использовании ФАС должно быть минимальным, а наиболее эффективным способом погружения - вибропогружение свай. Добавление смолы в приямок, в который будет погружаться свая, лучше производить мелкими порциями.

При использовании полиакриламида (ПАА) в качестве обмазок свай его разбавляют водой до 1...2%-го раствора. ПАА получают полимеризацией в водном растворе акриламида под влиянием окислительно-восстановительных систем. При добавлении к водному раствору акриламида 0,5% пересульфата калия, 0,14 % 1 гидросульфата натрия и 0,25% триэтаполамина реакция заканчивается при 50-60 градусах за 12 часов. Путем обезвоживания раствора ПАА может быть получен более транспортабельный порошок белого цвета. ПАА промышленность выпускает в виде 8%-го водного раствора высокой вязкости или порошка, стоимость 1т KGiOposG P ценах 2016 г. составляет 5253228 тыс. руб. Порошок перед употреблением в течение 10-12 часов замачивается в воде и при энергичном перемешивании с помощью высокопроизводительных лопастных мешалок разбавляется горячей водой до необходимой концентрации. Степень проникновения в грунт ПАА невысока (обычно не более 3 мм). При длительном контакте с почвой ПАА теряет растворимость, что является важным фактором при обмазке свай.

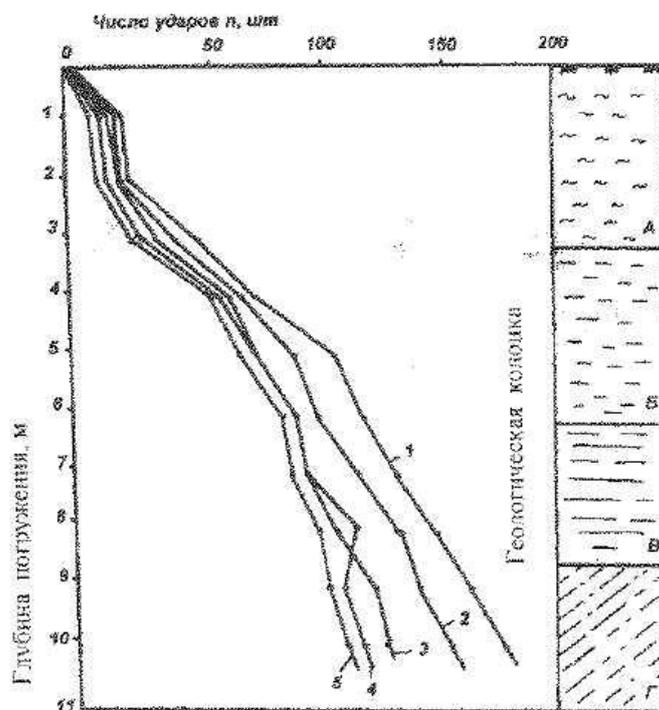
В сухом полиакриламиде амидные и карбоксильные группы обеспечивают молекулярное взаимодействие за счет образования водородных связей цепочками. В водном растворе молекулы полиакриламида умеренно набухают. Так как степень гидролиза ПАА невелика, то он проявляет достаточно высокую клеящую способность. Стоимость одной тонны порошка ПАА в ценах 2016 г. составляла 5253228 тыс. руб.

Эпоксидные смолы (ЭС) более распространены в строительстве. В их состав входит эпоксидная группа, обладающая высокой реакционной способностью. Большинство промышленных смол для изготовления клеевых композиций производится из эпихлоргидрина и дифенилолпропана. В качестве отвердителей ЭС при обычных температурах используют различные алифатические амины. В зависимости от типа отвердителя твердение ЭС колеблется от нескольких минут до нескольких часов. Количество отвердителя оказывает большое влияние на прочность клеевых соединений. Введение сверх меры отвердителя (более 1:7... 1:10) от массы смолы с пластификатором снижает прочность и повышает хрупкость ЭС. Для уменьшения хрупкости в их состав вводят пластификатор-дибутилфталат. В качестве обмазок свай рекомендуется следующий состав в массовых частях: смола (Э-40)-10, пластификатор (дибутилфталат) - 5...7, отвердитель (полиэтилен палиамин) -1,5...2. После перемешивания этих материалов смола имеет незагустевшее состояние медно-желтого (золотистого) цвета. С течением времени вязкость смолы возрастает и через 3...6 часов она затвердевает, приобретая при этом белесый цвет с желтоватым оттенком. Полностью исчезает прозрачность. Недостатком ЭС является их токсичность и высокая стоимость.

Тиксотропные глинистые растворы и суспензии чаще всего приготавливаются из бентонитовых глин, поставляемых на стройплощадку в виде порошка или комьев. При их отсутствии могут использоваться "местные" глины. Однако они должны содержать не менее 10% глинистых частиц размером менее  $10^{-4}$  мм, не менее 30% глинистых частиц размером менее  $5 \cdot 10^{-3}$  мм, 10% песчаных частиц размером 0,05...1 мм, иметь набухание не менее 25% и влажность на границе раскатывания не более 25%. Растворимые в воде глины обладают наиболее выраженными тиксотропными свойствами, которые заключаются в способности загустевать при спокойном состоянии и вновь становиться жидкими и подвижными от перемешивания, встряхивания, удара, вибрации и других механических воздействий.

При использовании "местных" глин применяют механическую (вибропомол, перемешивание в растворомешалках, прокачка через диспергаторы, гидратация - предварительное замачивание водой) и химическую (замена ионов кальция на ионы натрия или введения солей натрия по специальной методике) обработки. Для приготовления глинистых растворов применяют гидравлический смеситель СПП-70, турбинный РН-750 или растворосмеситель-диспергатор. Вид и число добавок подбирают для каждого вида глин. Глинистые растворы и эмульсии лучше всего заливать в приямок, в который будет забиваться свая, и по мере необходимости добавлять порциями.

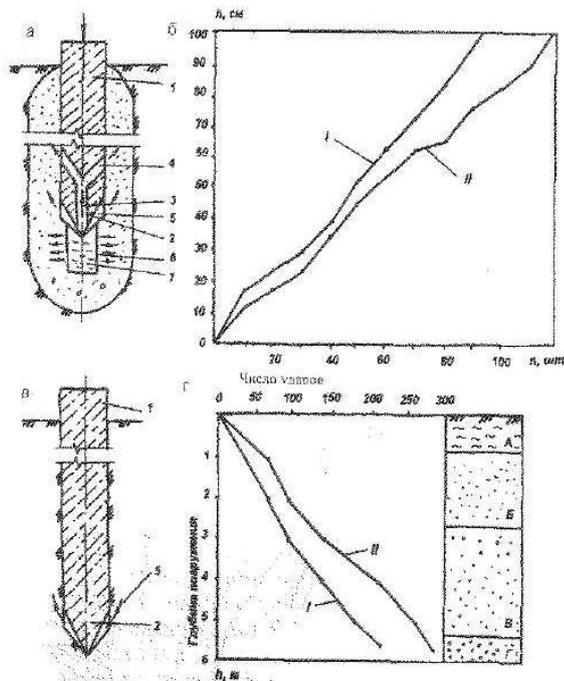
При проведении экспериментальных исследований в производственных условиях энергоемкость погружения обмазанных свай сечением 300x300 мм и длиной 12 м, всегда оказывается более низкой по сравнению с чистыми сваями (рис. 1).



1 - необмазанные контрольные сваи; 2 - сваи, обмазанные жидким стеклом;  
 3 - сваи, обмазанные 0,5%-м раствором ПАА; 4 - сваи, обмазанные бентонитовой пастой, 5 - сваи, обмазанные эпоксидной смолой; А - насыпной грунт;  
 Б - плотные слои, В - мягкопластичные глины; Г - тугопластичный валунный суглинок

**Рисунок 1 – Данные по погружению длинных железобетонных свай. Усредненные графики погружений свай, обмазанных разными реагентами**

Анализируя графики, можно отметить, что сваи с обмазками погружаются быстрее чистых, с меньшими затратами энергии, что заметно как по отдельным отказам, так и по общему количеству ударов, затраченных на их забивку. При этом оказалось, что энергоёмкость (работа) погружения свай, обмазанных жидким стеклом, уменьшилась на 18%, раствором ПАА - до 27%, бентонитовой пастой - до 32 % и эпоксидной смолой - на 35%. Через шесть суток оказалось, что при обмазке жидким стеклом несущая способность свай не повысилась, в то время как обмазка бентонитовой пастой, раствором ПАА и ЭС обусловили ее увеличение соответственно на 24,8%; 27,4% и 23,7%.



1 - ствол; 2 - наконечник; 3 - система каналов; 4 - выходные отверстия каналов; 5 - пазы, 6 - скважина; 7 - закрепляющий (силикатный) раствор;  
I - с пазами; II - без пазов; А - насыпной грунт; Б, В, Г - мелко-, средне- и крупнозернистый песчаный грунт

**Рисунок 2 – Самосмазывающаяся конструкция забивной сваи с пазами и каналами (а), с пазами (в) и графики зависимости глубины погружения  $h$  от числа ударов груза (б, г)**

Аналогичные данные, но с большим эффектом, получены в бывшей ГДР, где глинистая суспензия и цементный раствор подавались в зазор между свайей, имеющей выступы на боковой поверхности ствола, и грунтом. В результате энергоёмкость погружения снизилась в среднем в 3...4 раза, хотя и уменьшилась несущая способность обмазанных свай на 33...44%. Очевидно, свою роль в этом случае оказывает наличие выступов по боковой поверхности ствола, которые при погружении сваи с обмазкой в грунт снижают сопротивление сдвигу на 33...44%, а в процессе работы на столько же процентов уменьшают несущую способность свай по грунту основания.

Использование обмазок из синтетических смол и глинистых паст для погружения свай требует определенных, хотя и небольших, денежных и материальных затрат на производство работ. По этой причине в некоторых случаях (при погружении в лидерные скважины, водонасыщенные и болотистые грунты) может оказаться более целесообразным применение самосмазывающейся конструкции сваи заводской готовности, позволяющей, кроме снижения

энергоёмкости погружения, в определенных условиях (при погружении в лидерные скважины) дополнительно закреплять грунт специальными растворами (рис. 2).

Забивная свая (рис. 2, а) содержит ствол с наконечником и систему каналов, расположенных в нижней части ствола. В наконечнике предусмотрены дополнительные выходы к наружной боковой поверхности ствола. На наружной боковой поверхности наконечника в направлении от острия к стволу выполнены продольные углубления - пазы.

При забивке сваи непосредственно в грунт (без устройства лидерных скважин) выполнение системы каналов не обязательно. При производстве работ сваю погружают в лидерную скважину, заполненную на  $1/2 \dots 2/3$  высоты закрепляющим в грунт раствором (жидким стеклом), или забивают непосредственно в грунт. За счет возможности прохождения раствора по каналам и пазам происходит смазка боковой поверхности ствола раствором, так как в этом случае свая обладает меньшим коэффициентом трения о грунт и испытывает меньшее сопротивление погружению, что облегчает ее забивку в грунт и требует меньших энергетических затрат. Помимо этого, раствор под действием повышенного давления проникает по порам и трещинам в грунт основания и после затвердевания цементирует его, значительно повышая прочность и несущую способность основания.

Как показали многочисленные экспериментальные исследования, забивка свай может быть успешно применена как в обычных, так и слабых болотистых и водонасыщенных грунтах без устройства в них лидерных скважин, а также без выполнения системы каналов в нижней части ствола. Проведенные в различных грунтовых условиях (с изменяющимися грунтовыми характеристиками - видом, влажностью и плотностью) опыты на моделях свай показали стабильные результаты – более низкую энергоёмкость погружения по сравнению с призматическими моделями без пазов и каналов. Результаты одного из опытов, выполненного на двух моделях свай сечением  $5,0 \times 5,0$  м, длиной 1 м, с пазами и без пазов на боковой поверхности наконечника в песчаном грунте влажностью  $W=18\%$ , плотностью  $1,85 \text{ г/см}^3$  при массе ударного грунта  $m=2 \text{ кг}$ , представлены на рис. 2, б.

Аналогичные результаты получены в производственных условиях г. Пинска на мелко- и среднезернистых песчаных грунтах естественной влажности и плотности. Испытывались обычные призматические сваи сечением  $300 \times 300$  мм длиной 6 м и такие же сваи с пазами (рис. 2, в). Результаты опытов приведены на рис. 2, в. Обладая простотой конструкции, забивная свая только за счет наличия пазов на боковой поверхности наконечника обеспечивает снижение энергоёмкости погружения примерно на 20%. Остальные же технико-экономические показатели, характерные для свай заводского изготовления, при прочих равных условиях, одинаковы как для свай с пазами, так и без пазов. Исследования по несущей способности свай проводились ИСиА Госстроя Беларуси и были получены положительные результаты. С целью облегчения погружения свай в несвязные (песчаные) и малосвязные (суглинистые и глинистые) фунты, а также при относительно большой глубине погружения и недостаточной погружающей способности (мощности) сваебойного или вибропогружающего механизма эффективно применение подмыва грунта под сваями. Способ применим в том случае, если это не может вызвать просадки расположенных по соседству зданий и сооружений.

### **Список цитированных источников**

1. Чернюк, В.П. Технология строительства в особых условиях / В.П. Чернюк, В.Н. Пчелин, Н.А. Сташевская. – Брест: Издательство БрГТУ, 2005. – 132 с.
2. Юськович, Г.И. Погружение свай в энергосберегающих рубашках: материалы научно-технической конференции, посвященной 30-летию университета / Г.И. Юськович, И.Г. Томашев. – Брест, 1996. Часть 1. – С. 209.
3. Юськович, Г.И. Энергосберегающие технологии в свайном фундаменте / Г.И. Юськович, В.И. Юськович, И.Г. Томашев, А.И. Веремейчик // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара, Брест, 25 марта 2016 г. – С. 39 – 44.

УДК 667.636.25

**Тур А.В.**

*Научный руководитель: зав. кафедрой, к.т.н., доцент Э.А. Тур*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКРИЛОВОГО И СИЛИКОНОВОГО ПЛЁНКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУР ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЭКОЛОГИЧНЫХ ФАСАДНЫХ КРАСОК**

Основным направлением развития современного строительства является повышение технологичности и качества вновь возводимых объектов.

В связи с крайне неблагоприятной экологической ситуацией все большее значение для окраски фасадов зданий приобретают водно-дисперсионные (ВД) лакокрасочные материалы (ЛКМ), производство и применение которых не связано с использованием токсичных и пожароопасных органических веществ. К их основным преимуществам относятся низкая токсичность, быстрое высыхание, возможность окрашивать влажные поверхности и проводить окрасочные работы при повышенной влажности воздуха. Применение таких материалов позволяет исключить использование токсичных и пожароопасных растворителей, которые при отверждении ЛКМ безвозвратно испаряются в атмосферу. Кроме того, при работе с этими материалами снижаются требования к охране труда, пожаро- и взрывоопасность окрасочных работ, не требуется применение оборудования для производства и нанесения во взрывозащищенном исполнении. Таким образом, использование водно-дисперсионных ЛКМ приводит не только к экономии на себестоимости безвозвратно теряемых растворителей, но и позволяет делать процесс окрашивания безвредным и пожаробезопасным.

Все ЛКМ, предназначенные для отделки фасадов, относятся к защитно-декоративным покрытиям. Они должны соответствовать современным стандартам не только по цвету, структуре, блеску, но и быть атмосферостойкими, устойчивыми к различного рода загрязнениям, выдерживать определенные механические нагрузки, а также быть экологически безопасными, долговечными и ремонтпригодными. ЛКМ должны легко и равномерно наноситься, быстро сохнуть и быть привлекательными для потребителя по стоимости.

При разработке новых ЛКМ следует руководствоваться тем, что краска и окрашиваемая поверхность с точки зрения физических и химических свойств должны быть совместимы друг с другом. Для каждого фасадного строительного материала требуется соответствующая краска. Если, например, на дышащую штукатурку нанести краску с низкой паропроницаемостью, то внутри материала, не имея возможности испаряться, будет накапливаться влага, что в конеч-

ном счете приведет не только к быстрому отслоению краски, но и разрушению самой основы. Для бетонных поверхностей рекомендуется применять щелочестойкие краски, для деревянных – водостойкие, эластичные и желательного негорючие, для черных металлов – обладающие антикоррозийными свойствами.

Облицовка различными минеральными материалами: штукатурками различного состава, декоративными штукатурками, в том числе с крошкой натурального камня, цементными и керамическими плитками, облицовочным кирпичом традиционно применяется для фасадов городских зданий в странах Западной Европы, России и Республики Беларусь. Такие поверхности окрашивают различными красками, как неорганическими, так и на основе полимерных связующих различной природы.

Вода в виде атмосферных осадков (капельная влага) и водяные пары являются основными факторами, приводящими к разрушению лакокрасочных покрытий (ЛКП). Капельная влага поступает внутрь конструкции в основном при выпадении атмосферных осадков, а также через цоколь и кровлю здания при недостаточной гидроизоляции и нарушении действующей системы водостоков. Водяной пар в помещениях имеет биогенное происхождение, либо образуется при работе бытового и промышленного оборудования; он проникает внутрь стен, где может конденсироваться в холодное время года. Повышенная влажность стен увеличивает потери тепла зимой, способствует росту водорослей (на фасаде здания), грибов и плесени (внутри здания). Циклическое замерзание воды в капиллярах искусственного каменного материала (замораживание-оттаивание) приводит к появлению внутренних напряжений, снижению прочности и образованию трещин [1]. Уровень влажности необходимо учитывать при определении сроков проведения окраски фасадов как в новом строительстве, так и при капитальном ремонте зданий и сооружений, когда производится замена кровли, штукатурки и восстановлению утрат каменной кладки.

Как следствие, одним из основных требований к ЛКП является достаточная проницаемость для паров воды. Вместе с тем, фасадное ЛКП должно предотвращать попадание капельной влаги внутрь при атмосферных осадках, то есть обладать гидрофобными свойствами [2].

Фотохимическое старение ЛКП, проявляющееся в изменении его цвета и мелении, вызывает солнечное излучение. Нагрев фасада здания за счёт солнечного излучения интенсифицирует испарение воды из конструкции, значительно увеличивая нагрузку на ЛКП.

Таким образом, целью применения фасадных красок является декоративная отделка здания и защита его наружной поверхности от атмосферных воздействий. Воздействие ультрафиолетового излучения на ЛКП сказывается на потере массы (меление), снижении блеска, повышении хрупкости, но первыми признаками снижения атмосферостойкости являются снижение первоначальных цветовых характеристик, в том числе изменение внешнего вида и цвета ЛКП [3].

В настоящее время при разработке рецептур высококачественных фасадных красок применяют наиболее светостойкие, в основном природные и синтетические неорганические пигменты. Пыль, грязь, жировые загрязнения, кислотные дожди разрушают минеральную подложку и создают условия для развития микроорганизмов в трещинах и на поверхности фасадов, что приводит к биоповреждению конструкции. Качественная фасадная краска должна содержать сбалансированный комплекс биоцидов, обеспечивающий длительную стойкость ЛКП. Использование современных плёнкообразующих веществ препятствует размягчению покрытия при повышении температуры, снижая, таким образом, удержание загрязнений на поверхности фасадов.

Немаловажно, чтобы фасадная краска образовывала ЛКП с достаточной твёрдостью и стойкостью к истиранию, так как эти показатели указывают на способность покрытия противостоять ветровой эрозии.

Традиционные водно-дисперсионные краски для наружных работ отличаются друг от друга содержанием плёнкообразователя и объёмной концентрацией пигмента (ОКП). Композиции с низким ОКП и высоким содержанием плёнкообразователя обладают хорошей водостойкостью, но низкой паропроницаемостью, так как сформированное покрытие является недостаточно пористым. Составы с высоким ОКП и низким содержанием плёнкообразователя имеют достаточную паропроницаемость, но водопоглощение ЛКП на их основе слишком высокое [4].

В данной работе описана разработанная и оптимизированная рецептура водно-дисперсионной фасадной краски на основе комбинированного плёнкообразователя: 50%-ной стиролакриловой дисперсии анионного типа, полученной методом эмульсионной сополимеризации стирола и метилметакрилата, и силиконовой эмульсии. В качестве наполнителей были выбраны природный карбонат кальция (мраморный порошок) различного фракционного состава и микротальк для повышения укрывистости ЛКП, в качестве пигмента – диоксид титана рутильной формы, полученный хлоридным методом. Диоксид титана этой марки отличается повышенной белизной благодаря поверхностной обработке оксидами алюминия, кремния и соединениями циркония, а также высокой устойчивостью к фотоокислительной деструкции. Рецептура содержит комплекс функциональных добавок: диспергатор, агент реологии, коалесцент, тарный консервант, альгицид, обеспечивающий биозащиту ЛКП, пеногаситель и деаэратор (для удаления пены в массе краски). pH композиции регулировали аммиаком водным техническим 25%-ной концентрации. Для получения покрытия с эффектом скатывания капель (эффект «лотоса») в композицию включена гидрофобизирующая добавка. ОКП разработанного состава равно 75%. Оптимизированная рецептура водно-дисперсионной экологичной фасадной краски приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Оптимизированная рецептура водно-дисперсионной фасадной краски

Наименование компонента	Содержание компонента, масс. %
Стиролакриловая дисперсия	12,0
Силиконовая эмульсия	7,0
Полифосфат натрия (умягчитель воды)	0,2
Гидроксиметилцеллюлоза (агент реологии, загуститель)	0,3
Регулятор pH (аммиак водный технический)	0,05
Коалесцент (бутилдигликольацетат)	0,7
Гидрофобизатор	1,30
Диспергатор	0,4
Пеногаситель на основе силикона	0,2
Деаэратор	0,3
Тарный консервант	0,2
Альгицид (биозащита плёнки)	0,2
Полиуретановый загуститель	0,15
Диоксид титана	12,0
Микротальк (Ø ср.= 2 мкм)	6,0
Микромраморный порошок (Ø ср.=5 мкм)	20,0
Микромраморный порошок (Ø ср.=1,8-1,5 мкм)	16,0
Вода	23,0
Σ	100

Испытания водно-дисперсионной экологичной фасадной краски и отверждённого ЛКП проводили по известным методикам [5].

Степень перетира фасадной краски определяли по гриндометру (прибору «Клин»). Твёрдость плёнки ЛКП испытывали прибором У-1, адгезию к бетонному основанию – методом отрыва [5].

Дополнительно исследовали водопоглощение ЛКП на инертных стеклянных подложках. Толщина нанесенного «мокрого» слоя составила 150-200 мкм. Пластинки с отверждённым ЛКП после 72-часовой выдержки в стандартных условиях помещали в эксикатор с дистиллированной водой и испытывали при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. Пластинки были полностью погружены в воду, поверхности с ЛКП не касались друг друга и стенок эксикатора. После извлечения из воды пластинки осушали фильтровальной бумагой и взвешивали с точностью до 0,001 г. Водопоглощение (W) в процентах рассчитывали стандартным методом [5]:

За результат принимали среднее арифметическое пяти параллельных измерений, округлённых до 0,1 г. Допускаемое расхождение между измерениями не превышало 10 % относительно среднего результата.

Паропроницаемость ЛКП оценивали методом, основанным на определении количества водяных паров, прошедших в течении суток через  $1 \text{ см}^2$  поверхности свободной плёнки при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Ускоренные климатические испытания проводили в РУП БелНИИС (г. Минск) по стандартному методу [5], имитирующему воздействие на ЛКП совокупности климатических факторов умеренного климата (переменное циклическое действие УФ-излучения, орошение водой, замораживание-оттаивание). Исследуемые покрытия наносили на цементно-песчаные подложки в два слоя, предварительно загрунтовав поверхность акриловой дисперсией, разбавленной питьевой водой в соотношении 1:7. Толщина выходящего ЛКП составляла 70-80 мкм. Перед проведением исследований образцы с ЛКП выдерживали в течение 72 ч в стандартных условиях.

Результаты лабораторных испытаний ЛКП приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты лабораторных испытаний ЛКП

№	Наименование показателя	Фактическое значение показателя
1	Внешний вид плёнки	Ровная, однородная матовая поверхность
2	Массовая доля нелетучих веществ, %	62,1
3	Укрывистость высушенной плёнки, $\text{г}/\text{м}^2$	170
4	pH	9,0
5	Время высыхания до степени 3 при $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , мин	не более 40
6	Степень перетира, мкм	40
7	Стойкость ЛКП к статическому воздействию воды, ч	более 72
8	Условная светостойкость (изменение коэффициента диффузного отражения) после 168 ч облучения, %	1,1 (норма – не более 5)
9	Смываемость плёнки (устойчивость к мокрому истиранию), $\text{г}/\text{м}^2$	0,96
10	Морозостойкость покрытия, циклы	более 50
11	Адгезия покрытия к основанию (бетон), МПа	2,4
12	Стойкость покрытия к воздействию климатических факторов (атмосферостойкость), циклы	более 100
13	Твёрдость пленки по прибору У-1, усл.ед	0,21
14	Коэффициент паропроницаемости, $\text{мг}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$	0,01 (норма – не менее 0,005)
15	Водопоглощение через 24 ч, %	0,25

Лабораторные исследования показали, что разработанная водно-дисперсионная экологичная фасадная краска на основе комбинированного плёнкообразователя имеет высокую паропроницаемость и низкое водопоглощение, что свидетельствует о формировании «дышащего» ЛКП с высокой гидрофобностью. Сочетание таких характеристик и обуславливает высокую атмосферостойкость покрытия – более 100 циклов, что составляет 10 условных лет эксплуатации в умеренном климате, причём адгезия ЛКП к подложке после проведения испытаний составляет около 90% от начальной ( $A_{100} = 0,9 \cdot A_0$ ). Высокую укрывистость фасадной краски обеспечивает сочетание наполнителей (молотый микромрамор и микротальк) и пигмента с различной формой частиц. Благодаря комбинированному плёнкообразователю, включенному в состав рецептуры фасадной краски, достигается высокая светостойкость ЛКП, которая является важнейшим показателем, характеризующим устойчивость ЛКП к атмосферным воздействиям (воздействию ультрафиолетового излучения, атмосферного кислорода, влажности, кислотных дождей, колебаний температуры).

#### **Список цитированных источников**

1. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
2. Охрименко, И.С. Химия и технология плёнкообразующих веществ / И.С. Охрименко, В.В. Верхованцев. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
3. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. - Л.: Химия, 1981. – 352 с.
4. Стойе, Д. Краски, покрытия и растворители / Д. Стойе, В. Фрейтаг; пер. с англ. под ред. Э. Ф. Ицко. – СПб.: Профессия, 2007. – 528 с.
5. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

УДК 624.012.45

**У ЧжиБинь магистрант**

**Научные руководители: Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И.**

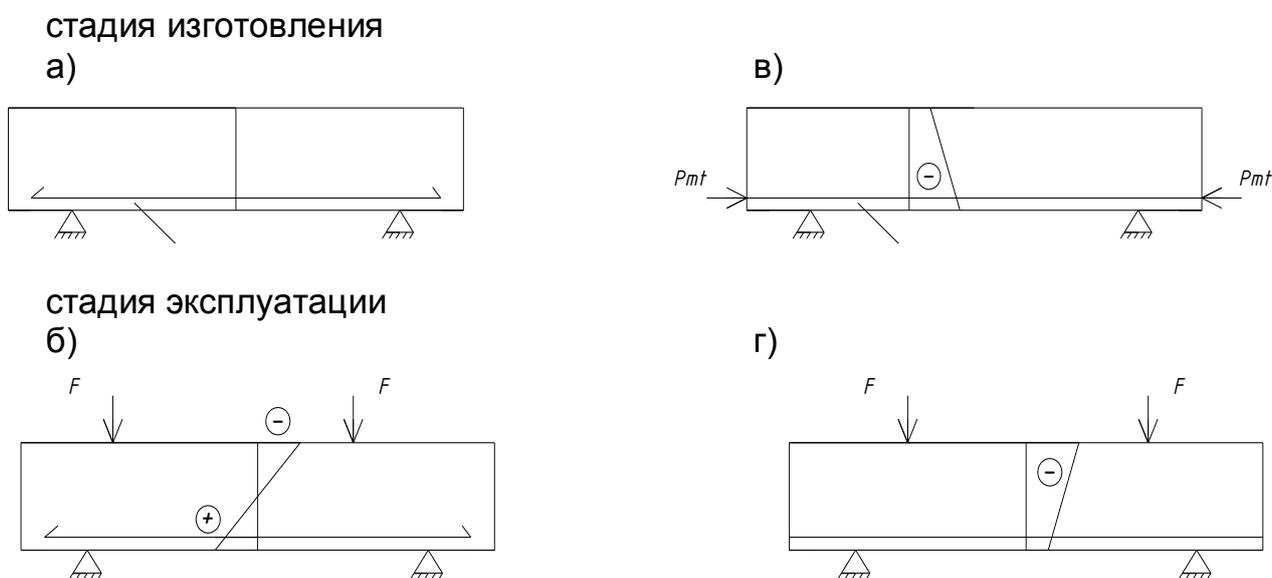
### **ПРИМЕНЕНИЕ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Проектирование железобетонных конструкций базируется на пяти основных принципах. Это: обеспечение безопасности, пригодность к нормальной эксплуатации, долговечность, технологичность, экономичность (см. табл. 1).

Таблица 1 – Основные принципы проектирования железобетонных конструкций

№ п/п	Наименование	Требования при реализации
1	Безопасность	Расчет по первой группе предельных состояний /определение размеров и армирования/
2	Пригодность к нормальной эксплуатации	Расчет по второй группе предельных состояний, /расчет трещиностойкости, по раскрытию трещин, по деформациям/
3	Долговечность	Защита от разрушения /учет агрессивности среды эксплуатации, использование защиты/
4	Технологичность	Снижение затрат при массовом производстве
5	Экономичность	Затраты на изготовление и эксплуатацию

К основным недостаткам железобетонных конструкций отнесем плохую работу на растяжение и усадку бетона, что способствует появлению в ней трещин. Повысить сопротивление бетона появлению трещин можно создавая в сечении искусственно напряжения сжатия (см. рис. 1).



**Рисунок 1 – Распределение напряжений в нормальном сечении балки с обычной (а,б) и преднапряженной (в, г) арматурой**

Создание в сечении элемента напряжений сжатия на практике выполняется предварительным напряжением арматуры до приложения нагрузки (см. табл. 2)

Особый интерес представляет преднапряжение арматуры при расширении бетона, позволяющий моделировать напряжения сжатия в сечении в любом направлении согласно ориентации арматуры. Такой способ предварительного напряжения арматуры получил название физико-химический способ.

Таблица 2 – Приемы создания искусственных напряжений в железобетонных конструкциях.

Приемы создания		Напряженное состояние	
методы	способы	вид	уровень
-на упоры; -на бетон; -при расширении бетона.	-механический; -электротермический; -физико-химический; -комбинированный.	-одноосное; -двухосное; -трехосное (объемное).	-полный; -ограниченное; -частичное.

Расширение бетона происходит при расширении вяжущего-напрягающего цемента (НЦ), а бетон с таким вяжущим называют напрягающим бетоном. Расширение структуры бетона происходит при образовании и увеличении в объеме кристаллов гидросульфатоалюминатов кальция. При наличии сил сцепления между бетоном и арматурой деформируется и арматура (преднапрягается). Благодаря упругим свойствам арматуры, она пытается вернуться в исходное состояние воздействует на бетон, создавая напряжения сжатия. Такие конструкции из напрягающего бетона называют самонапряженными. (см.табл. 3)

Таблица 3 – Классификация самонапряженных конструкций

Характеристика отличительных особенностей	Вид самонапряженных конструкций				
	СУ	С	СК		
			а <sup>3</sup>	б <sup>3</sup>	в <sup>4</sup>
Способ преднапряжения арматуры	физико-химический	физико-химический	физико-химический и комбинированный		
Уровень напряжений обжатия бетона	не нормируется	до 6 МПа	до 0.75 f <sub>cm</sub>		
Использование напряженного состояния	не учитывается в расчете (для компенсации усадки)	учитывается в расчете			

1. С, СУ – конструкции с арматурой напрягаемой физико-химическим способом.  
 2. СК – конструкции, где вся арматура напрягается физико-химическим способом, а рабочая дополнительно и иным способом (комбинированным).  
 3. Рабочая арматура напрягается комбинированным способом вся ( а<sup>3</sup> ) или только часть ( б<sup>3</sup> ).  
 4. Основная рабочая арматура имеет сцепление с бетоном ( а<sup>3</sup> , б<sup>3</sup> ) или не имеет сцепления с бетоном( в<sup>4</sup> ).

Применение напрягающего цемента в бетоне позволяет получить дополнительные качественные характеристики по сравнению с бетоном на портландцементе:

-формируется фиброобразная структура бетона за счет иглоподобных кристаллов этренгита;

-в структуре цементного камня в бетоне объем открытых пор на 20...25% меньше;

-повышается водонепроницаемость бетоне ( $W \geq 12$ ) ;

-снижается газо- и бензопроницаемость;

-возрастает коррозионная стойкость:

- в сульфатной среде – в 3 раза;
- в магниальной среде – в 2 раза;
- в хлорсодержащей среде – в 3 раза.

-возрастает на 50...200 циклов морозостойкость.

Возможность использовать на практике положительные характеристики напрягающего бетона определяет и область его использования в строительстве (см.табл.4).

Таблица 4 – Области применения напрягающих бетонов

№ п/п	Область применения	Новое строительство	Ремонт (усиление)	Достигаемая цель
<b>1 ЖИЛЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗДАНИЯ</b>				
1.1	Жилые дома – объемные блоки типа «колпак»	+	+	Обеспечение трещиностойкости
1.2	Жилые дома – безрулонные кровли	+	+	Обеспечение трещиностойкости
1.3	Производственные здания - полы - фундаментные плиты	+	+	Отсутствие швов, отказ от гидроизоляции, повышение истираемости
1.4	Жилые дома – элементы мокрых помещений	+	+	Обеспечение гидроизоляции
1.5	Производственные здания – покрытия (оболочки)	+	+	Создание монолитной конструкции
1.6	Производственные здания – гаражи (полы)	+	+	Создание бензо-, маслонепроницаемости покрытий, отказ от гидроизоляции
1.7	Перекрытия и покрытия из Мелкоразмерных элементов	+	+	Объединение в монолитную конструкцию, увеличение несущей способности
<b>2 СПОРТИВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ</b>				
2.1	Бассейны – ванны сборно-монолитные и монолитные	+	+	Отказ от гидроизоляции
2.2	Спортивные поля – бесшовные охлаждающие плиты	+	+	Снижение количества швов, отказ от гидроизоляции
2.3	трибуны	+	+	Отказ от гидроизоляции
<b>3 ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ</b>				
3.1	Метро -вибропресованная отделка Тоннелей, швы -траншейные стены	+	+	Водонепроницаемость
3.2	Безнапорные и низконапорные трубопроводы - трубы	+	+	Трещиностойкость, водонепроницаемость
3.3	Мосты – плиты проезжей части	+	+	Отсутствие швов, отказ от гидроизоляции
3.4	Емкостные сооружения – стенки, днища, швы	+	+	Объединение сборных элементов в монолитную конструкцию, обеспечение трещиностойкости и водонепроницаемости
3.5	Аэродромы - покрытие	+	+	Уменьшение количества швов, увеличение долговечности
3.6	Технологические сооружения в агрессивной среде	+	+	Защита от коррозии, герметичность
3.7	Дороги – бетонное покрытие	+	+	Уменьшение количества швов, увеличение долговечности
3.8	Подземные переходы	+	+	Отказ от гидроизоляции, водонепроницаемость

В качестве примера приведем некоторые конкретные конструкции (объекты) в Китае, где был использован напрягающий бетон.

а)



б)



***Рисунки 2 – Использование напрягающего бетона при изготовлении труб***



***Рисунок 3 – Секретный канал в г.Пекине***

a)



b)



**Рисунок 4 – Устройство бетонной дороги**



**Рисунок 5 – Строительство мостов**



**Рисунок 6 – Аоганг плотина в Китае**



**Рисунок 7 – конструкции морских нефтяных платформ**



**Рисунок 8 – Открытие хранилища воды**



**Рисунок 9 – Конструкции лотков**



**Рисунок 10 – Железнодорожные шпалы**



*Рисунок 11 – Отделка тоннелей метро*

УДК 691:620.1

**Цеван А.В.**

**Научный руководитель: доцент Яловая Н.П.**

### **ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ. «СИНДРОМ НЕЗДОРОВОГО ЗДАНИЯ»**

Целью настоящей работы является исследование состава бетона в железобетонных конструкциях и определение причины формирования «синдрома нездорового здания» в помещениях из железобетонных конструкций.

Экология жилища как область знаний призвана систематизировать методы создания и поддержания оптимальной жилой среды. Для этого учитываются климат и ландшафт участка, ориентация и размещение дома, материалы стен и перекрытий, система кондиционирования и вентиляции, звуковой и световой комфорт. Следовательно, актуальной проблемой является соблюдение в зданиях различного назначения, как оптимальных параметров микроклимата, так и экологических требований к состоянию среды внутри помещений.

Для решения данной проблемы необходимо особое внимание уделять:

- изучению влияния материалов на среду обитания и здоровье человека при проведении строительных и ремонтных работ;
- разработке экологически безопасных методов проведения строительных и ремонтных работ, использовании при строительстве и отделке качественных строительных материалов.

Экологическая оценка нагрузок строительных материалов на окружающую среду должна проводиться комплексно, учитывая как экологическую, так и

экономическую составляющие производства и применения строительных материалов [1-4].

Современная технология производства бетона успешно развивается в направлении химизации и использования техногенных отходов различных производств. В настоящее время в развитых странах мира практически весь применяемый в строительстве бетон содержит различного рода химические и минеральные добавки. Применение добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона. Перечень практически применяемых в качестве добавок к бетону веществ насчитывает десятки, а исследованных и предлагаемых – целые сотни. Вводятся они для регулирования свойств бетона, бетонной смеси и экономии цемента. Помимо очевидных преимуществ, химизация технологии производства бетона ставит новые проблемы, связанные с качеством бетона в экологогигиеническом отношении. Если для полимерных материалов уже давно проводится большая работа по их санитарно-гигиенической оценке и разработке норм допустимого применения, то для бетона ощущается недостаток таких исследований. Между тем специалисты [5] одним из источников химического загрязнения воздушной среды жилых помещений видят строительные и отделочные материалы и конструкции, в том числе бетонные, выделяющие токсичные вещества. В результате загрязнения воздуха жилищ неуклонно растет число людей с аллергическими и другими заболеваниями.

В настоящее время в практику архитектурного проектирования во всем мире внедряется концепция экологической оценки строительных материалов и рационального их выбора с точки зрения экологической безопасности для окружающей среды и для человека.

По результатам многочисленных исследований оказалось, что воздух в наших жилищах порой во много раз грязнее, чем на улице. По данным Всемирной организации здравоохранения внутренний воздух загрязнен в среднем до пяти раз сильнее, чем за пределами жилья. По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения, человек проводит в жилом помещении более 80 % своего времени, поэтому микроклимат помещений оказывает большое влияние на самочувствие, работоспособность, общую заболеваемость человека.

Кроме того, в последние годы появилось множество сообщений о так называемом «синдроме больных зданий», т.е. зданий, у жильцов которых наблюдаются признаки ухудшения здоровья: головные боли, увеличение числа простудных заболеваний, умственное переутомление, тошнота, головокружение. Это происходит в основном из-за выделения в окружающее воздушное пространство различных вредных веществ от строительных и отделочных материалов, используемых при строительстве и ремонте.

Выделение аммиака из бетонных конструкций во внутрижилищную среду происходит из-за наличия в них азотсодержащих примесей, которые попадают в бетон вместе с сырьевыми компонентами. Аммиак образуется из тех азотсодержащих веществ, в которых степень окисления азота равна  $-3$  ( $N^{3-}$ ) [6].

В настоящее время можно выделить следующие наиболее вероятные и известные причины и источники появления аммиака в бетоне:

1. транспортировка цемента в неочищенных вагонах-цементовозах;
2. наличие повышенного содержания интенсификаторов помола в цементе;
3. наличие аммиака в золах-уноса, применяемых в качестве минеральной добавки в цементе и бетоне;

4. химические добавки-модификаторы бетонной смеси и бетона, способные к образованию аммиака.

Проведенные аналитические исследования причин и источников появления аммиака в бетоне строительных конструкций показали, что наиболее вероятными причинами являются:

- транспортировка цемента в неочищенных вагонах-цементовозах,
- наличие повышенного содержания интенсификаторов помола в цементе,
- наличие аммиака в золах-уноса, применяемых в качестве минеральной добавки в цементе и бетоне,
- химические добавки-модификаторы бетонной смеси и бетона, способные к образованию аммиака.

Первые три причины в условиях производства бетона на белорусских комбинатах не оказывают значительного влияния на состав бетонов, т.к. сухие смеси, поставляемые на заводы, уже соответствуют по составу нормативным требованиям. Применение же добавок-модификаторов бетонной смеси и бетона используется повсеместно для улучшения свойств и в значительных количествах.

Поскольку в настоящее время в действующих ТНПА не установлены методики определения содержания аммиака в бетоне, при проведении исследований была принята следующая методика.

Наличие аммиака в пробах бетона определяли на основе анализа водной вытяжки бетона при соотношении бетон/вода равном 1:25. Для предотвращения возможных потерь аммиака пробы бетона исследовали при исходной влажности (без высушивания до постоянной массы).

Метод определения основан на способности иона аммония образовывать с реактивом Несслера (щелочной раствор дигидрата тетраиодомеркурата (II) –  $K_2[HgI_4]$ ) комплексное соединение, окрашенное в желтый цвет. Интенсивность образующейся окраски измеряют на фотоколориметре с синим светофильтром ( $\lambda=440$  нм).

Такой метод исследования был принят исходя из того, что вызывать появления запаха аммиака могут только соединения, находящиеся в активной (водорастворимой) форме. Для подтверждения полученных данных были проведены исследования по определению содержания аммиака спектрофотометрическим методом.

Данные, полученные методом потенциометрического определения, получились несколько завышены относительно данных, полученных спектрофотометрическим методом, что обусловлено работой прибора на границе обнаружения и говорит о большой вероятности ошибки. Метод спектрофотометрии считается эталонным, поскольку базируется на реакции ионов аммония с реактивом Несслера, стабилизированного сегнетовой солью, которая является единственной реакцией на ионы аммония, протеканию которой не мешают присутствующие в растворе ионы калия и натрия (мешающие ионы). Данные потенциометрии завышены, поскольку ионоселективный электрод на ионы аммония обратим (чувствителен) на ионы калия и натрия.

Проведенные в лаборатории Брестского государственного технического университета и УП «НИИСМ» исследования на содержание аммиака в образцах бетона, отобранных на строительных объектах, показали, что содержание аммиака в пробах приблизительно одинаково и колеблется в пределах 1,33-3,15 мг/кг (бетона, отобранный в г. Барановичи) и 1,12-3,40 мг/кг (бетон, отобранный в г. Бресте).

В данный момент в Брестском государственном техническом университете проводятся научные исследования по влиянию на определение ионов аммония в бетоне мешающих ионов калия, натрия и железа для разработки экспресс-методики по определению ионов аммония в бетоне в условиях производства и установления четкой причины образования соединений аммиака в бетонных конструкциях.

Также установлено, что на содержание аммиака в цементе, как произведенного на заводах республики, так и импортированного из-за рубежа оказывает влияние его состав: количество и вид добавки. Содержание водорастворимых форм аммонийных солей в цементах с добавкой колеблется от 1,65 до 3,84 мг/кг, для цементов без добавки – от 0 до 0,74 мг/кг.

Установлено, что содержание аммиака в бетоне колеблется в широких пределах: от 0 до 3,6 мг/кг. На содержание аммиака в бетоне оказывает влияние цемент, из которого произведен бетон, вид и количество добавки, а также условия его твердения. Тепловлажностная обработка приводит к удалению (снижению содержания водорастворимых аммиачных соединений).

#### **Список цитированных источников**

1. Тетиор, А. XXI век – век созидания экологической среды обитания // А. Тетиор. – Строительная газета. – 2005. – № 20. – 5 с.
2. Войтович, В.А. Биодegradация строительных материалов и сооружений. Состояние, тенденции, подавление, профилактика / В.А. Войтович, Г.В. Спирин, Т.Г. Монахова. // Строительные материалы. – 2004. – № 6. – С. 64-65.
3. Демин, О.Б. Физико-технические основы проектирования зданий и сооружений: учебное пособие в 2 ч. / О.Б. Демин. – Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, 2004. – Ч. 2. – 84 с.
4. Передельский, Л.В. Строительная экология: учебное пособие / Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2003. – 320 с.
5. Гусев, Б.В. Нормы предельно допустимых концентраций для строительных материалов жилищного строительства / Б.В. Гусев, В.М. Дементьев, И.И. Миротворцев / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – № 5. – 1999. – С. 20-21.
6. Сивков, С.П. Эмиссия аммиака из цементных бетонов / С.П. Сиваков // Технологии бетона. – 2012. – № 5-6. – С. 15-17.

УДК 624.01

**Чугунова С.В., Рацкевич Ю.Д.**

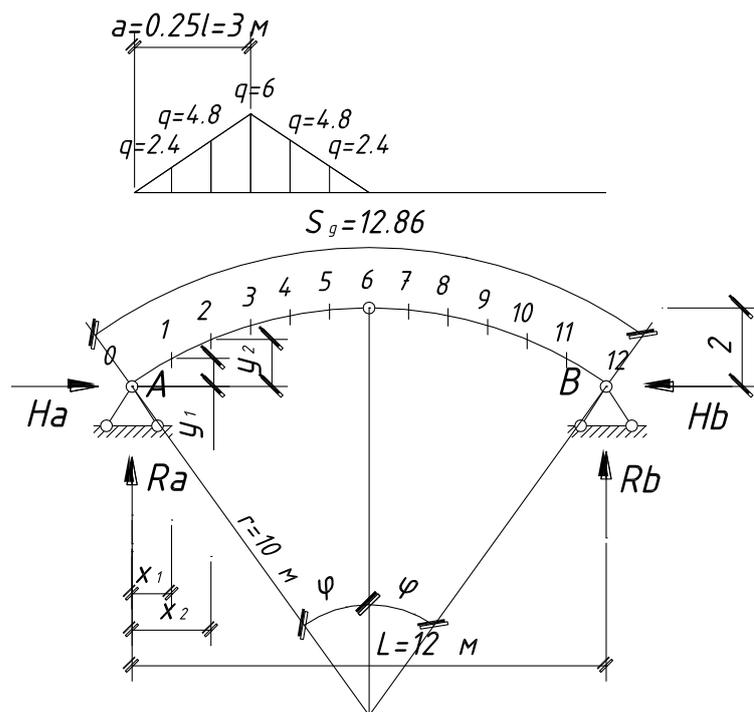
**Научный руководитель: профессор Захаркевич И.Ф.**

### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОД 1**

Целью этой работы является сопоставление снеговых воздействий на цилиндрические поверхности деревянных покрытий в соответствии с ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250)[1] и СНиП 2.01.07-85[2].

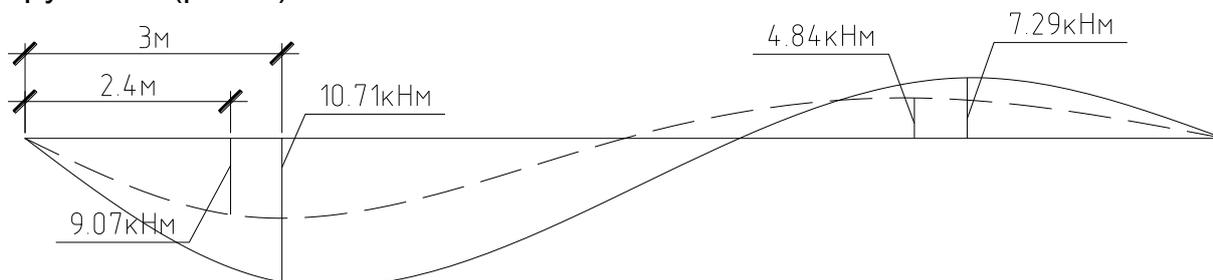
Были выполнены расчеты с учетом снегового заноса по СНиП и по Еврокоду 1 для деревянной арки пролетом  $l=12$  м и сегментной фермы пролетом 20 м. Для обеих конструкций стрела подъема принималась  $h=1/6 l$ , как наиболее распространенная для деревянных конструкций.

Первым этапом расчета являлось определение напряженного состояния трехшарнирной арки кругового очертания  $l=12$  м.



**Рисунок 1 – Геометрические размеры трехшарнирной арки**

Результатами расчета являются значения изгибающих моментов, как по СНиП, так и по Еврокоду 1, по которым построены эпюры при одностороннем нагружении (рис. 2).



**Рисунок 2 – Эпюры изгибающих моментов в арке при снеговой нагрузке при треугольном распределении:  $q=6$  кН/м**  
 ----- - По СНиП 2.01.85, ————— - По Еврокоду 1

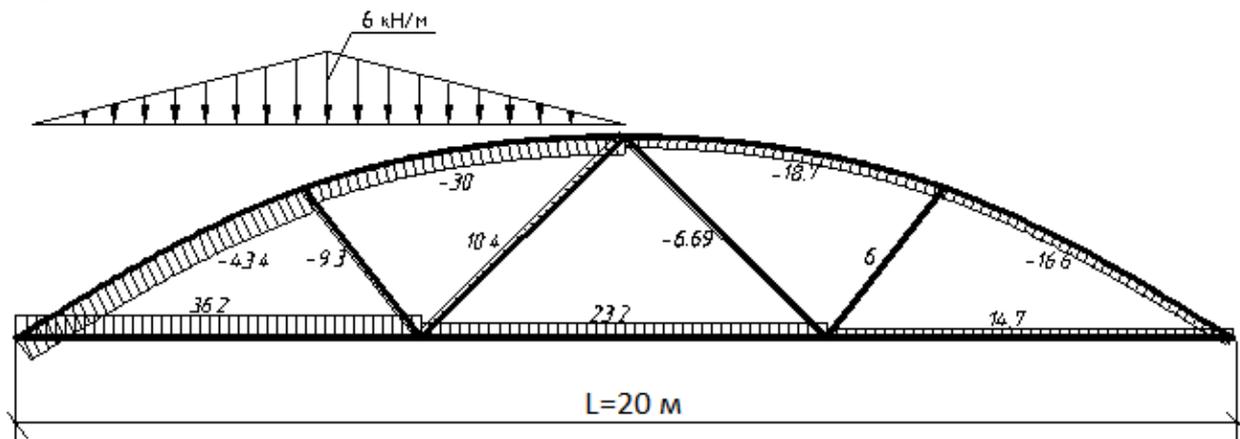
Установлено, что максимальные изгибающие моменты в арке возникают при односторонней нагрузке как по СНиП 2.01.85, так по Еврокод 1. Кроме того значения изгибающих моментов оказались выше по Еврокоду, чем по СНиП.

Известно что верхний пояс арки является сжато-изогнутым элементом. В связи с этим выполнена сравнительная оценка напряженного состояния в сечениях с максимальным изгибающим моментом, с учетом действия продольной силы в соответствии с ТКП 45-5.05-146-2009(02250)[3] для нагрузки (с учетом заноса), как для схемы снеговой нагрузки по СНиП ( $x=2.4$  м), так и для схемы по Еврокоду 1 ( $x=3.0$  м).

В соответствии с такой схемой нагрузки установлено, что напряженное состояние сечения арки при расчете по Еврокоду 1 увеличилось на 28,88% по сравнению с расчетом по СНиП 2.01.85.

Вторым этапом расчета являлось определение напряженного состояния элементов сегментной фермы пролетом  $l=20$  м,  $h=1/6$ ,  $l=3.33$  м.

Статические расчеты фермы выполнялись по программе «Лира 9.6», по результатам расчета построены эпюры продольных сил.



**Рисунок 3 – Эпюры продольных сил в элементе фермы  $L=20$  м**

На основании выше изложенного установлено следующее:

1. Более неблагоприятным для работы конструкций с учетом заносов является распределение снеговой нагрузки по Еврокод 1 в цилиндрических покрытиях. Так, при воздействии снеговой нагрузки одинаковой интенсивности в соответствии с Еврокод 1 по сравнению со СНиП 2.01.07-85 напряжение в сечении трехшарнирной арки пролетом 12 м возрастает на 28.8%, в сегментной ферме пролетом 20 м продольные усилия увеличиваются:

- в верхнем поясе на 7%;
- в нижнем поясе на 34%;
- в раскосах на 86%.

2. При воздействии снеговой нагрузки с учетом заносов только на половине пролета по сравнению со снеговой нагрузкой с учетом заносов по всему пролету усилия в элементах конструкций также возрастают.

В трехшарнирной арке пролетом 12 м изгибающие моменты увеличиваются:

- по СНиП 2.01.07-85 на 35.5%
- по Еврокод 1 на 51.5%.

В сегментной ферме пролетом 20 м изгибающие моменты в верхнем поясе возрастают:

- по СНиП 2.01.07-85 на 22%;
- по Еврокод 1 на 81%.

Продольные усилия в раскосах как по СНиП 2.01.07-85 так и по Еврокод 1 – на 38%.

Это обстоятельство было отражено в СНиП 2.01.07-85. В п. 5.3 предусматривалось, что в тех случаях, когда более неблагоприятные условия работы элементов конструкций возникают при частичном загрузении, следует рассматривать схемы со снеговой нагрузкой действующей на половине или на четверти пролета.

В Еврокоде 1 п. 5.3.5(3) приводится схема распределения снега с учетом заносов по всему пролету и указывается, что альтернативные распределения нагрузок от снега с учетом заносов допускается указывать в национальном приложении. Однако в национальном приложении по этому вопросу никаких указаний нет.

Поэтому рекомендуется предусмотреть в национальном приложении схему распределения снеговой нагрузки с учетом заносов на половине пролета (как по СНиП 2.01.07-85).

### **Список цитированных источников**

1. Воздействия на конструкции, часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3-2009(02250). - Введ. 10.12.2009. – Мн: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 40 с.

2. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. - Введ. 01.01.1987. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 36 с., с изменением №1.

3. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009(02250). - 01.01.2010. – Мн: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 63 с. Технический кодекс установленной практики.

УДК 657.922(476,7)

**Шафранов А.А., Фэн Божань**

**Научный руководитель: к.э.н., доцент Кочурко А.Н.**

## **ОЦЕНКА ФАКТОРОВ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ Г. БРЕСТА**

Местоположение является одним из факторов, существенно влияющих на стоимость объектов коммерческой недвижимости. Причина этого - неоднородность городского маркетингового пространства. Местоположение предполагает специфическую геомаркетинговую среду. Она служит одним из источников сверхнормативных доходов и рисков. Специалисты считают, «что от того, насколько удачно сделан выбор места под будущий магазин, целиком и полностью зависит дальнейшая судьба фирмы, действующей в сфере розничной торговли. Плохой выбор практически означал провал, хороший - успех» [1], [2].

К факторам, оказывающим влияние на стоимость объектов коммерческой недвижимости, относятся макроэкономическая ситуация, отношения с местной властью, макроэкономическая ситуация в регионе, насыщенность рынка офисной недвижимости, соответствие рыночному спросу, репутация застройщика, наличие системы аудита использования помещений, местоположение, инфраструктура, парковка, управление зданием, юридическая документация, соответствие требованиям конечных покупателей и/или арендаторов.

Коммерческая недвижимость обладает целым рядом особенностей, которые характеризуются тем, что недвижимость такого типа обычно располагается в черте города. И это обязательно принимается во внимание как фактор, влияющий на определение стоимости, поэтому местоположение и транспортная доступность являются наиболее значимыми. Также, особенно в исторической части города, особо актуальным фактором является наличие парковки. Поскольку деятельность множества коммерческих объектов направлена на прямое взаимодействие с людьми, отсутствие или нехватка должного количества парковочных мест будет способствовать сокращению людского потока, и доставлять неудобства для сотрудников и других заинтересованных лиц. Данные факторы рассматриваются как основные в данной работе, так как в наибольшей степени влияют на объект, касаясь местоположения.

При небольшом количестве факторов, значительно влияющих на рыночную стоимость объекта, в имеющихся классификациях рассматривается большое количество второстепенных характеристик, дающих незначительное изменение стоимости, что является очевидным для оценщика-профессионала. В то же время рядовой продавец или покупатель недвижимости может утонуть в количестве факторов и их понимании, или просто махнуть рукой и

не тратить время и силы на то, чтобы просто разобраться в приведенных факторах, не являясь профессиональным архитектором или строителем.

Учитывая задачу, – получение краткой классификации факторов местоположения, - коммерческие объекты недвижимости были разделены на 4 класса: А, В, С, D. Каждому классу присваивается определенный балл, исходя из пяти-балльной системы, по мере снижения классности объекта: класс А – 5 баллов, класс D – 2 балла. При этом определены интервалы баллов для отнесения объекта к тому или иному классу. Суммируя баллы факторов, мы получаем некий общий балл объекта, который лежит в том или ином интервале, определяя класс объекта. Классификационные признаки приведены в таблице 1.

Как можно заметить, данная краткая классификация удобна в применении, отражает качество имеющейся недвижимости, и позволяет легко и быстро сориентироваться в отнесении недвижимости к тому, или иному классу.

Для детального сравнения и определения взаимосвязи оценочных факторов произведём оценку десяти объектов коммерческой недвижимости города Бреста по данной классификации.

Таблица 1 – Классификация факторов оценки коммерческой недвижимости

№ п/п	Характеристика	Классы							
		А	В	С	D				
1	Местоположение, транспортная доступность	на главных площадях и магистралях, вблизи ост. общественного транспорта, с удобным подъездом и подходом	на транспортных артериях, вблизи ост. общественного транспорта, с удобным подъездом и подходом	на улицах и площадях, с не совсем удобным подъездом	внутри микрорайона, двора	5	4	3	2
2	Парковка	подземная парковка или многоуровневая наземная парковка с крытым переходом в здание	организованная наземная парковка с достаточным количеством мест; удобный подъезд к территории парковки	недостаточное количество мест на неохраняемой наземной автопарковке, стесненность, неудобный подъезд	отсутствие парковки	5	4	3	2
3	Инфраструктура	развернутая инфраструктура централизованного обеспечения арендаторов оргтехникой, средствами связи и телекоммуникациями, конференц-залы, средства бытового обслуживания, питания и отдыха	недостаточная инфраструктура обслуживания бизнеса и отдыха при наличии развитой инфраструктуры в непосредственной близости от здания	недостаточная инфраструктура обслуживания бизнеса и отдыха	отсутствие инфраструктуры	5	4	3	2
	<b>Интервал класса</b>	<b>14-15</b>	<b>11-13</b>	<b>8-10</b>	<b>6-7</b>				

Рассматриваемые объекты находятся по следующим адресам и будут фигурировать под следующими порядковыми номерами:

Адрес, цена за 1м2:

1. ул. Наганова, 10 – 1093\$;
2. ул. Московская, 202 – 1352\$;
3. ул. Комсомольская, 23/1 – 987\$;
4. ул. Карьерная, 12 – 674\$;
5. ул. Советская, 14 – 1238\$;
6. ул. Московская, 362/3 – 856\$;
7. ул. Брестских Дивизий, 28 – 437\$;
8. ул. Карла Маркса, 56 – 1200\$;
9. пр. Машерова, 30 – 1238\$;
10. ул. Карла Маркса, 34 – 1012\$.

Для наглядности приведём данные в табличной форме и расположим объекты по убыванию получившегося класса, с указанием цены за 1м2 (таблица 2).

Таблица 2 – Сводные данные по объектам.

№	Местоположение		Парковка		Инфраструктура	
	Класс	Цена 1м2, \$	Класс	Цена 1м2, \$	Класс	Цена 1м2, \$
1	5 - А	1093	3 - С	1093	5 - А	1093
2	5 - А	1352	<b>4 - В</b>	<b>1352</b>	<b>4 - В</b>	<b>1352</b>
5	5 - А	1238	3 - С	1238	5 - А	1238
10	5 - А	1012	3 - D	1012	<b>4 - В</b>	<b>1012</b>
8	5 - А	1200	<u>2 - D</u>	<u>1200</u>	<b>4 - В</b>	<b>1200</b>
9	5 - А	1238	<u>2 - D</u>	<u>1238</u>	<b>4 - В</b>	<b>1238</b>
3	5 - А	987	<u>2 - D</u>	<u>987</u>	<b>4 - В</b>	<b>987</b>
4	3 - С	674	3 - С	674	<u>2 - D</u>	<u>674</u>
6	<u>2 - D</u>	<u>856</u>	3 - С	856	<u>2 - D</u>	<u>856</u>
7	3 - С	437	<u>2 - D</u>	<u>437</u>	<u>2 - D</u>	<u>437</u>

где 5 – А - Класс А, **4 – В** – Класс В, 3 – С – Класс С, 2 – D – Класс D.

По результатам сравнительного анализа видна взаимосвязь между оцениваемыми факторами местоположения коммерческой недвижимости. Каждый из факторов оценивался отдельно, после чего оценки по каждому объекту суммировались, и, исходя из этого, был выявлен класс объекта.

Стоит отметить, что в данной работе рассматриваются лишь основополагающие факторы, касающиеся местоположения. Т.к. на стоимость 1м2 объекта влияют множество различных факторов, не учитывающихся в классификации, то указанные цены 1м2 рассматриваемых объектов не следует принимать как точную ценовую характеристику тому или иному классу. Данная классификация и полученные данные по объектам уместны лишь в сравнении основных оцениваемых факторов, а именно: местоположения (транспортной доступности, удалённости от центра города), наличием парковки и инфраструктуры.

Обозначив сравниваемые объекты коммерческой недвижимости на карте города Бреста, визуально можно выделить участки, соответствующие разным классам.

Проанализировав и оценив различные по своим характеристикам объекты и каждый из факторов отдельно, можно сделать вывод, что, безусловно, само местоположение объекта имеет более весомую значимость, нежели остальные факторы, однако именно в комбинации факторы формируют все необходимые критерии, описывая реальное положение объекта на рынке коммерческой недвижимости. Так, например, имея один неудовлетворительный фактор, объект теряет классность и соответственно уменьшается его цена.

#### **Список цитированных источников**

1. Чкалова О.В., Семенычева Е.А. Выбор месторасположения для торгового предприятия // Маркетинг в России и за рубежом. 2002. № 1 – стр. 25.
2. Энциклопедия малого бизнеса, или Как начать свое дело / пер. с англ. Г.Г. Долуда, С.Г. Долуда. М., 2000 – стр. 187.
3. Всё для оценщика и оценки – Режим доступа: <http://www.ocenchik.ru/>
4. Недвижимость и строительство в Беларуси – Режим доступа: <http://www.hata.by/>
5. Кочурко А.Н., Фэн Божань Сравнительный анализ рынка офисной недвижимости в РБ и КНР // Развитие инвестиционно-строительного комплекса в странах восточной европы. Сборник научных трудов. – Брест издательство БрГТУ, 2015 – стр. 145-153.

УДК 69.057.5

*Юркевич И.В., Мирончук В.С.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Шалобыта Т.П.*

### **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НЕСЪЁМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ЦСП И МОНОЛИТНОГО БЕТОНА**

Анализ опыта строительства показывает, что применение монолитных стен в сравнении с конструкциями из кирпича, сборного бетона и других материалов, по мнению архитекторов и инженеров, позволяет расширить возможности объёмно-планировочных решений, а также организовать поточное производство с применением широкой механизации строительных процессов, что позволит снизить стоимость строительства.

В связи с переходом от типового строительства к возведению зданий и сооружений по индивидуальным проектам и возрастающим применением монолитного бетона существенно возросла роль опалубочных работ с использованием нетрадиционных недорогих опалубок, легко приспособляемых к особенностям бетонируемых конструкций. В мировой практике давно и успешно применяется технология строительства с помощью систем несъемной опалубки (СНО).

**Несъёмная опалубка** — блоки или панели из различных материалов, которые монтируются в единую опалубочную конструкцию - форму для укладки монолитного армированного бетона. Применение СНО ускоряет и упрощает строительство за счёт объединения нескольких операций в одном технологическом цикле (несущая стена с нужным сопротивлением теплопередаче возводится за один технологический цикл). Несъёмная опалубка после схватывания в ней бетона становится функциональной частью конструкции готовой стены.

Основные виды несъемной опалубки [1]:

1. Пенополистирольные блоки
2. Щепоцементные блоки и плиты
3. Бетонные блоки

По оценкам экспертов, наиболее широкое применение находит несъемная опалубка из пенополистирольных блоков и цементно-стружечных (древесно-стружечных) плит. Материалами для второго вида опалубок служат древесные плиты, пропитанные (модифицированные) составами. Среди древесных плит для опалубок особый интерес представляют цементно-стружечные плиты (ЦСП), обладающие повышенной прочностью и стойкостью (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Цементно-стружечные плиты**

Изготовленная из древесной стружки, портландцемента и минерализующих добавок, цементно-стружечная плита свое применение получила в самых различных областях строительной отрасли. При изготовлении ЦСП цементные составы смешивают с деревянной стружкой разных фракций, водой и специальными химическими добавками, например, солями алюминия и жидким стеклом. В специальных смесителях водные растворы этих добавок, вступая в реакцию со стружкой, минерализуют ее. После этого добавляются цементные смеси и вода. В состав выпускаемых у нас цементно-стружечных плит входят цемент (65%), древесная стружка (24%), вода (8,5%) и жидкое стекло (2,5%).

Формирование структуры ЦСП [2] происходит таким образом, что внутри размещаются более крупные фракции, снаружи – мельче. Измельченная до длины 6-9 см щепа хвойных деревьев располагается в разном направлении: сверху и снизу – вдоль, а в середине – поперек. Цементно-стружечная масса помещается под пресс, откуда выходит уже готовая монолитная многослойная плита с гладкой поверхностью. Именно многослойность обеспечивает прочность и надежность в эксплуатации. Благодаря этому улучшаются технические характеристики материала и его преимущества. ЦСП не требует финишного выравнивания шпаклевкой. Легкой грунтовки вполне достаточно перед покраской.

Достоинства ЦСП [3]: высокая прочность, устойчивость к влажности и долговечность; превосходная тепло- и звукоизоляция; простота в обработке и применении; стойкость к появлению плесени и грибковых образований; возможность применения любого вида отделки: лакокрасочных составов, штукатурки, облицовки из керамики или пластика; пожаробезопасность обеспечивается за счет входящего в состав цемента; плита не растрескивается от низких или высоких температур благодаря древесной стружке; не повреждается насекомыми и грызунами; в составе плит отсутствуют вредные примеси в виде асбеста или формальдегида.

Благодаря таким преимуществам, ЦСП по праву считается универсальным материалом и используется для внутренних и наружных работ, причем с одинаковым успехом практически в любой климатической зоне.

Несъемная опалубка после укладки монолитного бетона остается в теле забетонированной конструкции, при этом обеспечивается совместная работа всей системы. Опалубка в данном случае является не только формообра-

зующей и архитектурноформирующей системой, но и решает задачи по защите поверхности от агрессивного воздействия среды, повышает прочностные характеристики конструкции, улучшает режим твердения бетона. Применение несъемной опалубки уменьшает финансовые вложения и сокращает сроки строительства, в том числе за счет исключения цикла распалубливания конструкций и затраты на эксплуатацию домов (отопление и кондиционирование воздуха). Переход на несъемную опалубку на 35-60 % снижает затраты труда на отделочные работы, исключает использование металлоемких опалубочных систем (до 60 т на дом), что при современных ценах на металл приобретает исключительное значение [1].

Существует статистика, показывающая технические преимущества монолитных стен, выполненных в несъемной опалубке, заключающиеся в уменьшении массы фрагмента стены до 640 кг, в то время как при использовании съемной опалубки она составляет 742 кг, а из кирпича 2226 кг. Кроме того, экономический эффект, полученный за счет сокращения сроков строительства при использовании несъемной опалубки, позволяет уменьшить стоимость 1 м<sup>3</sup> стены на 24,6% [4].

Важным моментом в выборе эффективной ограждающей конструкции играет региональный фактор, учитывающий социально-экономические, климатические особенности и технические возможности строительного производства данного региона. В Беларуси рынок производителей несъемной опалубки находится пока в стадии становления – линии по ее производству установлены лишь на трех предприятиях: ОАО «Лавсанстрой», стройтрестах № 8 (г. Брест) и № 13 (г. Бобруйск). В 2011 году в г. Бресте, в ОАО «Строительный трест №8», введен в эксплуатацию завод по производству несъемной опалубки для жилищного и гражданского строительства, включающий в себя два цеха: по изготовлению стеновых панелей и плит перекрытий (покрытий). На заводе используется технология несъемной опалубки австрийской фирмы **VST Group**.

В соответствии с проектом в заводских условиях изготавливаются крупные опалубочные пустотелые стеновые панели и панели перекрытия из плит ЦСП. Для соединения элементов опалубки применяются запатентованные стальные профили, закрепляемые стальными шурупами. Перед соединением панель армируется. Перед установкой первого ряда опалубочных блоков необходимо тщательно подготовить основание. Плиты ЦСП, рассортированные по толщине, хранятся в закрытом помещении в пачках. Размер пачки 3200x1250x625 мм. Плиты, раскройка и крепление которых производится на строительной площадке, должны доставляться на объект в контейнерах или на поддонах. Перед монтажом ЦСП могут храниться под навесом или на открытом воздухе, уложенные на поддоны в два яруса. При хранении на открытом воздухе пачки укрываются от дождя и солнца рулонными или плёночными материалами. Для предупреждения коробления верхних ЦСП в пачке на них укладывается пригруз в виде сплошной железобетонной плиты или двух поперечно уложенных широких балочек или плит [3].

Стеновые панели монтируют на строительной площадке (рисунок 2), а затем послойно (на высоту 1–1,2 м), с обеспечением необходимых для твердения бетона технологических перерывов, заполняются самоуплотняющейся бетонной смесью (для уплотнения смеси не требуется ее вибрирование).

Стены могут быть как вертикальными, так и наклонными. Армирование производится на заводе по результатам статического расчета. Общая толщина одного стенового элемента (архитектурный размер) состоит из толщины бетона и двух опалубочных элементов. При помощи системы несъемной опалубки возможно возведение любых несущих конструкций.

а



б)



**Рисунок 2 – Общий вид комнаты со стенами из монолитного бетона в опалубке из ЦСП (а) и жилого дома (б)**

Несъемная опалубка работает совместно с монолитным бетоном и включается в расчетное сечение конструкции [4]. Для комбинированных железобетонных конструкций необходимо выполнение следующих требований:

- прочность контактного соединения монолитного бетона и опалубки должна быть обеспечена на всех этапах работы конструкции, то есть вплоть до наступления предельного состояния (т. е. должны быть исключены предпосылки для расслоения составной конструкции по контакту);
- должна сохраняться сплошность нормального сечения при передаче продольных усилий по его высоте.

Рассматривая работу стыкового соединения, следует иметь в виду следующие обстоятельства: стыковое соединение при действии системы нагрузок находится в условиях плоского напряженного состояния; стыковое соединение представляет собой искусственно созданную трещину между составляющими сечение материалами, работающую в условиях фрикционного среза. Выполнение означенных требований предполагает, что при действии внешних нагрузок после набора монолитным бетоном заданной прочности, составную конструкцию с определенным допущением можно рассчитывать как сплошную.

Для обеспечения совместной работы бетона и опалубки важно надежное сцепление между контактируемыми материалами. Это сцепление зависит от адгезии (прилипания) и когезии (прочности на растяжение пограничных слоев на контакте «опалубка — бетон») бетона, его усадки и характера формирующей поверхности опалубки.

Адгезия обеспечивает между двумя телами соединение определенной прочности благодаря физическим или химическим молекулярным силам [5, 6]. Бетонная смесь имеет свойства пластичности и поэтому сплошность контакта между ней и опалубкой возрастает. Как правило, адгезия и смачивание сопровождают друг друга и соответствующим образом характеризуют межфазное взаимодействие. Отрицательное влияние на адгезию имеет усадка вяжущего. Применение традиционных бетонов на портландцементе, за счет усадки вяжущего при твердении, создает условия для появления дефектов в контактной поверхности [5, 6]. Чем выше значение усадки в конкретной смеси, тем возможнее образование в зонах соприкосновений усадочных трещин, которые ослабляют сцепление. Когезия обусловлена теми же силами притяжения (аттракции) различной природы [5, 6] и определяет существование веществ в конденсированном состоянии.

Для изучения совместной работы соединения бетона и несъемной опалубки проводили испытания образцов (рисунок 3). В качестве обобщенной зависимости, описывающей как прочностные, так и деформативные характеристики

ки стыкового соединения, рассматривали диаграмму деформирования для контакта при статических нагрузках.



**Рисунок 3 – Общий вид образца**

Для правильного подбора бетона предварительно испытали входящие в состав материалы. Для заполнителей определили зерновой состав, плотность зерен и насыпную плотность заполнителей, модуль крупности песка, максимальную крупность щебня, рассчитали пустотность. Определили активность цементного вяжущего, водопотребность, тонкость помола, сроки схватывания. Подбор состава тяжелого бетона осуществляли по методу абсолютных объемов. Рассчитанный состав корректировали по результатам испытания пробных замесов и контрольных образцов. Твердение образцов-кубов с ребром 100 мм проходило при температуре 20°C и влажности 95-100% в течение 28 суток. Готовые образцы испытывали на гидравлическом прессе с программным обеспечением, позволяющем в реальном времени выполнять построение диаграммы деформирования «нагрузка-перемещение». При разрушении наблюдался сдвиг образца.

**Заключение.** В ходе работы были исследованы различные виды несъемной опалубки и процесс ее монтажа. В результате проведенных экспериментальных испытаний выявлена работа систем несъемной опалубки из ЦСП с монолитным бетоном конструкции. Выполненный сравнительный анализ полученных результатов с данными исследований в условиях чистого сдвига при кручении бетонных образцов с несъемной опалубкой из ЦСП показали аналогичный результат [7]. Величина установленных напряжений свидетельствует о высокой адгезионной способности несъемной опалубки из ЦСП с монолитным бетоном конструкции даже при абсолютно гладком стыке.

#### **Список цитированных источников**

1. Теличенко, В.И. Технология возведения зданий и сооружений; Учеб. В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – Москва: Высш. шк., 2004. – 447 с.: ил.
2. <http://osp-3.ru/construction-csp/opalubka-iz-csp/>
3. <http://cementboard.by/prim.html>
4. <http://arcp.by/ru/article/sistema-nesemnoy-opalubki-novye-vozmozhnosti-zhilishchnogo-stroitelstva>
5. <http://www.vevivi.ru/best/YAvlenie-kogezii-i-adgezii-ref120319.html>
6. <http://beton-kz.com/adgezija-ili-prochnost-scepleniya>
7. Шалобыта, Н.Н. Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты / Н.Н. Шалобыта, Т.П. Шалобыта, Е.А. Деркач, Ю.Н. Науменко // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2016. – Т.6. № 1: Тэхніка. – С. 58–66.

УДК 528.48:711

*Аутко М.А., Денисюк Е.В.*

*Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
кафедры Синякина Н.В.*

## **ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ И ПЕРЕКРЕСТКОВ**

Одной из первостепенных и основных задач инженерного благоустройства является вертикальная планировка, обеспечивающая допустимые уклоны улиц, дорог, проездов и территории для оптимального размещения жилых зданий и различных социальных сооружений в жилых кварталах, обеспечение водоотведения ливневых, талых вод, систем ВИК, рассматривается наиболее сложный вопрос вертикальной планировки перекрестков в различных вариантах.

В большом объеме градостроительных работ видное место занимают работы по инженерному благоустройству территории. Инженерное благоустройство территории – это комплекс весьма разнообразных мероприятий, призванных создать благоприятные условия для жизни и деятельности населения, нормальной и бесперебойной работы промышленных предприятий, транспорта, функционирования различных зон городской территории.

Преобразование существующего рельефа с целью приспособления городской территории для эксплуатации и строительства осуществляется на основании проекта вертикальной планировки. В настоящее время, наряду с традиционными методами проектирования, все шире применяются системы автоматизированного проектирования.

### **Вертикальное проектирование городской территории.**

Гражданское и промышленное строительство выполняется на основе проектно-сметной документации. Основные задачи, решаемые при проектировании, сводятся к обеспечению безопасных и технологических условий эксплуатации строящихся объектов, соответствию внешнего вида сооружений их назначению, строительству в установленные сроки при минимальных затратах труда, материальных и денежных ресурсов.

Проектно-сметная документация разрабатывается в одну стадию (технорабочий проект) или в две стадии (технический проект и рабочая документация). Независимо от стадий проектирования, весь комплекс проектной документации обычно подразделяется на три части: технологическую, строительную и технико-экономическую, в которые входят различные разделы по технологическим, строительным решениям, организации строительства, охране окружающей природной среды, жилищно-гражданскому строительству, сметной документации и другие. Генеральные планы служат основными чертежами в комплексе разрабатываемой документации и в зависимости от вида и назначения объекта входят в тот или иной раздел проекта. Для рабочего проекта или на стадии рабочей документации разрабатывают рабочие чертежи генеральных планов. Рабочую документацию генеральных планов выполняют в соответствии с требованиями нормативных документов в РБ [1, 2, 3].

В состав основного комплекта рабочих чертежей генерального плана необходимо включать:

- общие данные по рабочим чертежам;
- разбивочный план (план расположения зданий и сооружений);
- план организации рельефа;

- картограмму земляных работ;
- сводный план инженерных сетей;
- план благоустройства территории.

Более подробное содержание и методы построения приводятся в основном тексте версии конкурсной работы.

Вертикальная планировка – это инженерное мероприятие по искусственному изменению, преобразованию и улучшению существующего рельефа местности срезкой или подсыпкой грунта для использования его в градостроительных целях. Основная цель вертикальной планировки заключается в создании спланированных поверхностей, удовлетворяющих требованиям застройки и инженерного благоустройства территории. Вертикальная планировка территории призвана создать благоприятные условия для размещения зданий и сооружений, прокладки улиц, проездов, подземных инженерных коммуникаций.

К основным задачам вертикальной планировки относятся:

- организация стока поверхностных вод (дождевых, ливневых и талых) с городских территорий;
- обеспечение допустимых уклонов улиц, площадей и перекрёстков для безопасного и удобного движения всех видов городского транспорта и пешеходов;
- создание благоприятных условий для размещения зданий и прокладки подземных инженерных сетей;
- и другие инженерно-эксплуатационные задачи.

Для разработки проектов вертикальной планировки нужно располагать следующие исходные материалы. Это – существующие здания, планировочные решения, материалы предшествующей стадии проектирования и материалы изысканий, в которые входят геодезические, гидрологические, гидрогеологические исследования, данные о расположении в плане и в высотном отношении и типах подземных инженерных сооружений, зелёных насаждений, наземных сооружений, составе и размерах транспортного и пешеходного движения и пр.

Отметки планируемой поверхности назначают таким образом, чтобы максимально сохранить существующий рельеф, зелёные насаждения и почвенный покров. Вертикальная планировка осуществляется с учетом осушения заболоченных и избыточно увлажненных территорий, орошения недостаточно увлажненных территорий, понижения уровня грунтовых вод, борьбы с селевыми потоками. К вертикальной планировке относятся обвалование и досыпки территории, применяемые для защиты города от затоплений, засыпка оврагов, террасирование склонов, выполняемое для предотвращения оползней и др.

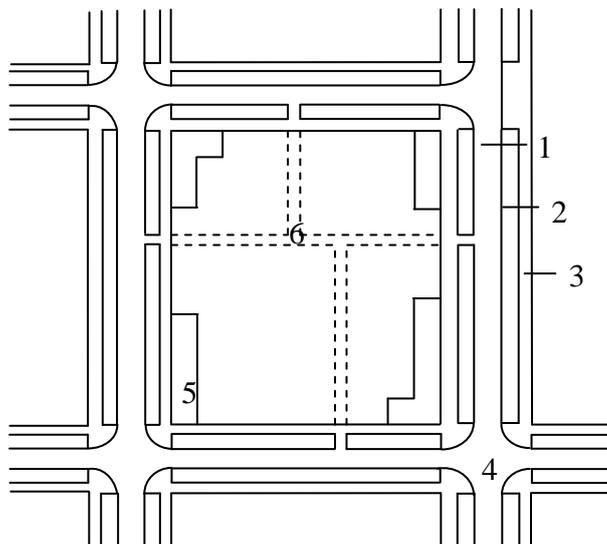
При проектировании перекрестков стремятся обеспечить удобства для движения транспорта и пешеходов и создать условия для отвода воды от перекрестков по лоткам прилегающих улиц.

Одно из важных условий вертикальной планировки перекрестков – плавное сопряжение проектных горизонталей между собой, которое может быть выполнено только путем преобразования поверхностей пересекающихся улиц. Эта задача выполняется путем размости проезжей части, суть которой заключается в переходе от двухскатного профиля к односкатному, и наоборот. Это достигается смещением гребня проезжей части улицы или изменением поперечного уклона половины проезжей части.

В работе приводятся и рассматриваются требования при составлении проекта организации рельефа жилого квартала.

Городская территория квартала жилой застройки условно делится на следующие составные части (рисунок 1):

- улица (проезжая часть, газон, тротуар);
- перекресток;
- проектируемые здания;
- внутриквартальные проезды.



1 – проезжая часть улицы; 2 – газон; 3 – тротуар; 4 – перекрёсток;  
5 – проектируемые здания; 6 – внутриквартальные проезды

**Рисунок 1 – Схема квартала**

Наиболее сложное решение представляет вертикальная планировка перекрестков.

В зависимости от категории пересекающихся улиц, а также от величины и направления их уклонов должны быть соблюдены следующие условия:

- при пересечении магистральной улицы с второстепенной поперечный профиль первой остается без изменения, а профиль второстепенной сопрягается с уклоном главной;

- не допускается устройство поперечных лотков на магистральных улицах и бессточных мест на перекрестках, где не предусмотрено устройство закрытого водотока;

- при пересечении равноценных улиц, улица с меньшим продольным уклоном подчиняется профилю другой улицы, либо профили обеих улиц трансформируются в односкатные, соответствующие общему уклону перекрестка.

В практике планировки перекрестков, в зависимости от общего направления продольных уклонов пересекающихся улиц, характерны следующие решения:

1. Продольные уклоны пересекающихся улиц направлены от перекрестков. В этом случае поверхностные воды отводятся по направлению продольных уклонов проезжей части улицы, то есть в сторону от перекрестков.

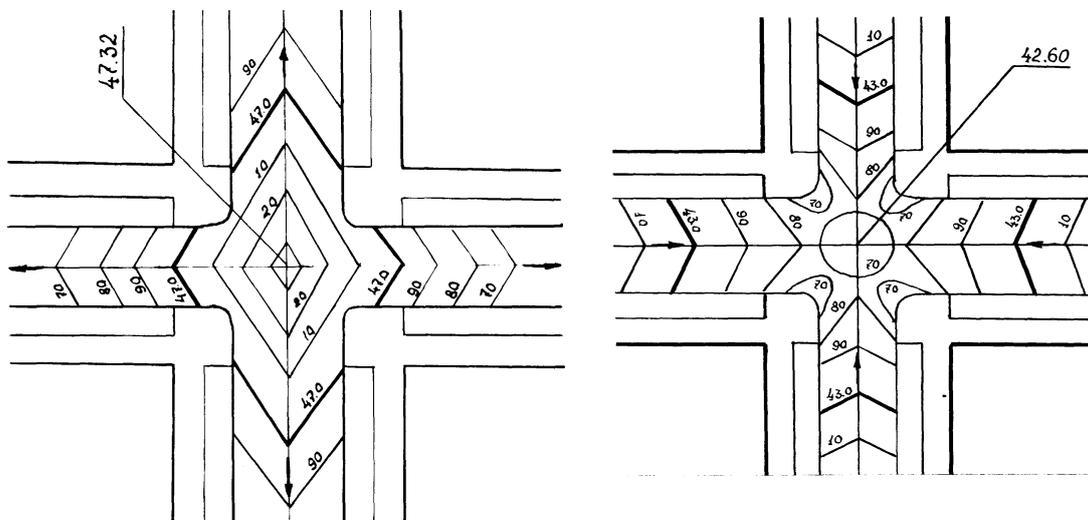
2. Продольный уклон одной улицы направлен к перекрестку, остальных – от перекрестка. Наиболее оптимальным решением является разделение гребня улицы, уклон которой направлен к перекрестку, по трем направлениям.

3. При прохождении по тальвегу главной улицы ее профиль остается без изменения. Профили второстепенных улиц преобразуются в односкатные смещением гребня в сторону более высокой отметки, а их оси увязываются с отметками лотков главной улицы.

4. При пересечении улиц одной категории перекресток проектируется в виде односкатной плоскости, которая наклонена в сторону наибольшего уклона.

5. Продольные уклоны пересекающихся улиц направлены к перекрестку. Для сбора воды центральная часть перекрестка должна быть приподнята так, чтобы образовались замкнутые понижения на углах перекрестка, где проектируют дождеприемные колодцы. Величина подъема центра перекрестка по отношению к проектной отметке принимается +10 см. Для обеспечения плавного сопряжения горизонталей производят незначительное изменение продольного и поперечных уклонов на участках улиц, примыкающих к перекрестку.

6. Перекресток располагается на косогоре при пересечении улиц разной категории, главная улица сохраняет свой поперечный профиль, а верхняя и нижняя части второстепенной улицы сопрягаются в лоток главной путем устройства размоксти.



#### Заключение.

В настоящей работе приведены базовые положения и методика выполнения вертикальной планировки городской территории. Проектирование тротуаров в пределах перекрестков производят после окончательного решения проезжей части. При этом характер вертикальной планировки тротуаров определяется направлением уклонов улиц, образующих перекресток, и может быть сведен к следующим стандартным вариантам.

1. Направление уклона одной из улиц – к перекрестку, а второй улицы – от него. При этом со стороны более высоких отметок поперечный уклон тротуара уменьшается, а затем изменяется на противоположный, соответствующий уклону тротуара пересекающей улицы. Проектные горизонталы, изображающие поверхность тротуара, имеют веерообразное начертание.

2. Если продольные уклоны пересекающихся улиц направлены к перекрестку, то сопряжение осуществляется соединением одноименных горизонталей с плавным изменением поперечного уклона.

3. Продольные уклоны направлены в сторону от перекрестка. В этом случае устраивается гребень, который проходит через угол квартала и середину закругления бортового камня.

Корректировка проектных горизонталей в пределах перекрестков выполняется без точных графических построений, но с соблюдением плавности сопряжения их между собой для обеспечения безопасности движения транспорта и пешеходов.

### **Список цитированных источников**

1. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов: ГОСТ 21.508-93. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 31 с.
2. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения чертежей генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов: СТБ 2073-201. – 40 с.
3. Строительные нормы и правила градостроительства. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СНиП 2.07.01-89. – М.: 1989. – 64 с.

УДК 118:519.3

**Божко А.А.**

**Научный руководитель: Игнатюк В.И.**

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ФИЛОСОФСКИХ КАТЕГОРИЯХ**

Строительная механика и теория сооружений служат расчету реальных зданий и сооружений, которые, являясь объектами строительной механики, представляют собой сложные многоэлементные системы, создаваемые для выполнения большого числа различных функций, а их жизненный цикл связан с возможностью реализации многих рабочих состояний.

Система (от греч. *sistema* – целое, состоящее из частей, соединений) – это совокупность взаимосвязанных, упорядоченных элементов (частей), которая характеризуется структурой и организацией, определенной целостностью.

Системный подход имеет много общего со структурализмом и структурно-функциональным анализом. Системно-структурный анализ – это один из принципов системного анализа, который требует анализировать структуру объекта с учетом назначения (функции) каждого из элементов.

Структура сооружения и функции ее элементов взаимно обуславливают друг друга, взаимозависимы, что находит отражение в категориях диалектики – форме и содержании.

Содержание – это совокупность разных элементов, свойств, связей, внутренних процессов и тенденций, которые образуют данный объект, процесс или явление.

Форма отражает способ существования, законы связи элементов, их структуру, это закон существования содержания.

Различают внутреннюю и внешнюю форму. Внутренняя форма показывает отношения между элементами объекта (сооружения) как целого, а внешняя характеризует способ связи, соотношения данного сооружения с другими объектами: с основанием (землей) и с внешними воздействиями на сооружение – с нагрузками (вес оборудования, людей и т. п., снег, ветер и т. д.), температурными, влажностными, химическими и другими воздействиями.

Анализ взаимосвязи, диалектики формы и содержания позволяет выделить при характеристике их единства несколько этапов:

форма приведена в соответствие с содержанием; она более полно согласуется с развитием содержания, однако при изменении содержания все более проявляется несоответствие формы содержанию;

несоответствие формы содержанию начинает брать верх над соответствием; форма мешает развитию содержания; наступает момент, когда противоречия между ними очевидны;

объективно возникает необходимость приведения формы в соответствие с новым содержанием; старая форма заменяется новой – потеря устойчивости, прочности, разрушение, ремонт, усиление, реконструкция здания, сооружения.

Специфика строительной деятельности такова, что ее конечный продукт – здания или сооружения должны сочетать в себе четыре подчас противоречивых момента: функциональность, эстетичность, конструктивность и экономичность. При этом с точки зрения расчета наибольшее значение имеют конструктивные особенности и экономичность объекта, с которыми связана проблема оценки его несущей способности. И между этими двумя категориями проявляются наиболее серьезные противоречия в теории сооружений: сооружение должно быть прочным, чтобы выполнять свои функции, а для этого сечения элементов должны быть как можно большими. С другой стороны, сооружение должно быть экономичным, стоить как можно меньше, а для этого сечения элементов должны быть как можно меньшими; это противоречие стоит рядом с противоречием между внешними нагрузками на сооружение и внутренними силами, которые должны противостоять внешним воздействиям. В борьбе и единстве этих противоположностей, в разрешении противоречия между ними заключается весь процесс проектирования зданий и сооружений.

Выделяют материальные и идеальные (абстрактные) системы.

Расчет реального (материального) сооружения с полным и точным учетом всех его особенностей является очень сложной и, на любом уровне развития науки, в большинстве случаев, практически неразрешимой задачей. Поэтому этот расчет упрощают, заменяя реальное сооружение его расчетной схемой [1, 2].

Расчетная схема – это упрощенная, идеализированная и формализованная схема реального сооружения, вводимая в расчет, в которой отражены основные его свойства и происходит абстрагирование от второстепенных свойств и несущественных деталей, незначительно влияющих на работу сооружения.

Выбор расчетной схемы для реального сооружения является ярким примером проявления и действия закона единства и борьбы противоположностей, выявления общего между теми и другими противоречиями в сооружении. Расчетную схему надо выбрать так, чтобы максимально учесть все особенности данного сооружения и при этом максимально облегчить расчет. Здесь кроется основное противоречие теории сооружений – противоречие между реальным сооружением и расчетной схемой. Следует сказать, что выбор расчетной схемы во многом определяет трудоемкость расчета и корректность получаемых результатов. При выборе расчетной схемы необходимо хорошо представлять работу сооружения в целом и его отдельных элементов, принципы взаимодействия элементов сооружения между собой.

Например, при выборе расчетной схемы сооружения реальные колонны, стены, плиты перекрытий могут представляться просто стержнями, располагающимися вдоль осей элементов, для которых сечения приводятся к центрам сечений, в которых учитываются, конечно, реальные размеры сечений (площади, моменты инерции, моменты сопротивления и т. д.); реальные опорные устройства заменяются идеальными; не учитываются часто силы трения, упругая податливость в узлах соединения элементов. Еще больше приближений связано с нагрузками, определить точные величины которых в ряде случаев практически невозможно. Нормативные значения снеговых и

ветровых нагрузок рассчитываются на основе статистической обработки величин нагрузок по результатам многолетних наблюдений. Разделение нагрузок на сосредоточенные силы и моменты, на распределенные нагрузки также достаточно условно.

Таким образом, строительные сооружения как реальные объекты в строительной механике рассматриваются и представляются в идеальном (воображаемом, абстрактном) виде – в виде расчетной схемы сооружения. И именно расчетная схема сооружения после ее выбора, определения является объектом исследований в строительной механике. И когда в строительной механике мы говорим о сооружении, мы имеем в виду его расчетную схему.

Каждый объект можно и реально, и мысленно разложить на части, и тогда возникает проблема соотношения между всем объектом и его составляющими, которая может рассматриваться через философские категории: часть, целое, элемент, структура и система.

Строительные сооружения как объекты могут иметь различную структуру, в зависимости от которой они по-разному работают и классифицируются. Выделяют, например, балки, фермы, рамы, арки, комбинированные системы, структуры, плиты, оболочки, массивные сооружения и т. д.

Целое есть взаимосвязь частей (составляющих), характеризующаяся свойствами, которых нет в составляющих, если они не входят в это целое. Часть – элемент целого. Нельзя найти целое, которое было бы только целым, или такую часть, которая навсегда оставалась бы частью. Впервые слово «элемент» употребил Платон для обозначения простейших тел. Эмпедокл под этим термином понимал землю, воду, воздух и огонь. Уже здесь отмечается смысл содержания понятия «элемент» как чего-то самого простого, того, что лежит в основе мира. Элемент – относительно самостоятельная, качественно определенная составная часть сложного целого. Методологическая ценность категории заключается в том, что в познании и перестройке мира он позволяет в каждой системе обозначить относительные границы, мер этой системы и сосредоточить на ней деятельность.

В строительных сооружениях в качестве частей можно выделить конструкции, составляющие сооружения, (например, балки, фермы, структурные покрытия и т. д.) и элементы, как более простые объекты, которые могут быть и составляющими конструкций, и в целом сооружений – это стержневые элементы (стержни), пластины, оболочки и т. п. Эти части (а учитывая, что они должны быть неизменяемыми, их называют дисками) соединяются между собой в единую систему, образуя то или иное сооружение (его расчетную схему), которое опирается на землю (основание) посредством опорных устройств (опор).

Стержневые элементы – это прямолинейные или криволинейные пространственные элементы, у которого один размер (длина) значительно больше двух других (поперечных размеров). На расчетных схемах такие элементы заменяют их осевыми линиями (прямыми, криволинейными или ломаными) и называют стержнями. При этом в расчетах, естественно, учитываются и параметры поперечных сечений этих элементов через соответствующие их характеристики.

Опоры – это тоже части, элементы сооружений, если рассматривать их в единстве с Землей. Опоры могут быть шарнирно подвижными, шарнирно неподвижными, заделками (защемлениями), упругими. Опоры характеризуются числом простых (кинематических) связей, каждой из которых отвечает реакция (реактивная сила), и числом допускаемых степеней свободы. Кинематическая связь – это связь, отнимающая у диска одну степень свободы.

Узлы – это часть сооружений, в которых элементы соединяются друг с другом. Узлы могут быть жесткими, упругими и шарнирными, в зависимости от действующих в них связей. Например, расчетная схема сооружения в методе конечных элементов, являющемся сегодня одним из основных методов расчета сооружений (дискретная схема сооружения), представляется в виде совокупности простых элементов – для стержневых систем в виде стержней и узлов.

Строительные сооружения как материальные и социальные объекты должны выполнять предназначенные им функции, в частности быть неизменяемыми. Выявление изменяемости или неизменяемости сооружений производится в строительной механике на основе кинематического анализа сооружений, а точнее, на основе анализа геометрической структуры сооружений. Одинаковое число дисков, как неизменяемых элементов, и одинаковое число связей (кинематических) не является гарантией неизменяемости сооружений, важным является то, как эти диски соединены друг с другом указанными связями, то есть все определяется структурой сооружения.

Структура (от лат. «structura» – строение, размещение, порядок) – это относительно устойчивый способ (закон) связи элементов (частей) качественно определенного сложного целого, который обеспечивает его целостность при различных изменениях (внутренних и внешних). Структура отражает единство, взаимосвязь внутренних и внешних связей, обеспечивает устойчивость качественных характеристик системы, целостного образования. Иными словами, она фиксирует состояние системы в данный момент. В этом и ценность, и содержание структурного подхода, структурного анализа.

Выполнение анализа геометрической структуры сооружений в строительной механике основывается на заранее определенных, выверенных случаях соединения дисков друг с другом шарнирами или связями (стержнями), являющимися явно неизменяемыми и называемыми признаками геометрической неизменяемости систем. При этом следует иметь в виду, что в определенных случаях соединение дисков друг с другом может быть таким, когда в системе допускается так называемая мгновенная изменяемость, при которой имеется возможность достаточно малых перемещений, после появления которых система начинает удовлетворять признакам геометрической неизменяемости. Такие системы также не допускаются в строительных сооружениях, учитывая, что в их элементах могут возникать очень большие усилия. Отметим, что могут быть сформулированы и аналитические условия геометрической неизменяемости систем.

Подойдем к анализу сооружений с другой стороны. Рассмотрим соотношение в характеристике сооружений философских категорий количества и качества. Эти категории являются отображением закона взаимного перехода количественных и качественных изменений. Согласно данному закону количественные изменения при переходе определенной меры вызывают качественные изменения объекта, протекающие в форме скачков.

Качество – это внутренняя определенность объекта, в которой выражается его специфика, своеобразие, отличие от других предметов. Изменяя качество объекта, мы получаем другой объект, у которого уже будет иная внутренняя определенность, иное качество. Как правило, качество представляется через свойства. Качество – это совокупность существенных свойств объекта, отражающих его коренное отличие (или общность) с другими объектами. В данном отношении качество объекта сближается с его сущностью, но в отличие от по-

следней характеризует предмет с точки зрения того, что он представляет собой в отличие от других предметов, указывает на то, чем он является. В выполнении этой функции качеству «помогает» свойство.

Свойство – категория, отражающая проявление отдельных сторон качества предмета во внешней среде.

Количество, определяя степень развития свойств предмета, становится внешней, более доступной восприятию, характеристикой его качества, определенностью пространственно-временных границ предмета и возможностей его изменений.

Характеристика предмета в его качественной и количественной определенности выражается мерой. Мера определяет те количественные границы, в которых качество предмета сохраняется.

Количественные изменения объекта, то есть прибавление к нему или убавление от него каких-то его свойств, непрерывны до тех пор, пока они не перейдут определенную меру объекта. Качественные изменения представляют собой коренное преобразование существенных свойств объекта. Они происходят в форме скачка. Скачок – это разрыв непрерывности количественных изменений, дающий начало новому качеству. Скачок коренным образом преобразовывает существенные свойства предмета, сооружения. Сюда относятся и величины степени свободы систем, характеризующая изменяемость и неизменяемость сооружений, и величины напряжений в элементах конструкций, определяющая их прочность, устойчивость и надежность, и величины спектра частот собственных колебаний сооружений, определяющие возможность и недопустимость резонансных явлений в сооружениях при динамических внешних воздействиях, приводящих к разрушениям сооружений. Разрушение сооружения – это резкий качественный скачок в состоянии сооружения, который при проектировании и расчете сооружения не должен допускаться никаким образом.

#### **Список цитированных источников**

1. Игнатюк, В.И. Строительная механика : пособие / В.И. Игнатюк, И.С. Сырковашко. – Брест: БрГТУ, 2015. – 152 с.
2. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
3. Снитко, Н.К. Строительная механика. – М. : Высшая школа, 1980. – 431 с.
4. Философия и методология науки : учебное пособие / Ч.С. Кирвель [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 639 с.

УДК 118:519.3

**Божко А.А.**

**Научный руководитель: Игнатюк В.И.**

### **ЗАКОН ОТРИЦАНИЯ ОТРИЦАНИЯ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ**

Закон отрицания отрицания объясняет направление развития из последовательности сменяющих друг друга диалектических отрицаний. Основная категория закона – отрицание. Под отрицанием понимается переход объекта в новое качество, обусловленное развитием свойственных ему внутренних и/или внешних противоречий. При диалектическом отрицании объекта в нем, как правило, осуществляются четыре процесса: что-то уничтожается; что-то преобразуется; что-то сохраняется; что-то создается новое [3].

По глубине преобразования объекта выделяются два вида отрицаний: отрицание-снятие и отрицание-трансформация. Они отличаются главным образом тем, что при отрицании-снятии коренному преобразованию подвергается интегрирующая основа, благодаря которой объект существует в данном качественном состоянии. Старая основа устраняется в качестве определяющей бытие объекта, а в процессе созидания появляется новая основа. В то время как при отрицании-трансформации прежняя основа сохраняется.

Устанавливаемое на основе данного закона направление развития оказывается зависимым от цикличности как способа закономерной связи в цепи отрицаний. Каждый цикл отрицаний состоит из трех стадий: 1) исходное состояние объекта; 2) его превращение в свою противоположность путем отрицания-снятия; 3) превращение этой противоположности в свою противоположность.

Завершая характеристику закона, еще раз отметим, что условием его действия является рассмотрение прогрессивного развития в аспекте отрицания, а признаком его действия является завершение цикла отрицания, когда обнаруживается преемственность между исходным состоянием объекта и его существованием после второго отрицания-снятия.

Диалектическое отрицание не просто удерживает часть отрицаемого, но преобразует его применительно к новому качеству. Развитие совершается таким образом, что оставшиеся от старого элементы структуры и соответствующие им свойства приобретают при этом новые свойства, подчиняются новым законам.

Способы отрицания старого новым могут быть самыми различными. Однако при всем разнообразии способов диалектического отрицания их можно разделить на два вида в зависимости от характера разрешаемых противоречий и содержания качественных изменений.

Первый – отрицание элементов старого при сохранении основ существующего. Так происходит, например, при модернизации данного любого вида техники, при появлении новых идей в науке, при создании новых методов расчета, если они включаются в нее при сохранении ее принципиальных основ.

Второй род диалектического отрицания совершается тогда, когда развитие становится уже невозможным при сохранении данного качества. В этих случаях отрицание совершается более глубоко и основательно.

Таким образом, диалектическое отрицание выполняет роль связующего звена между старым и новым, обеспечивая преемственность в развитии.

Проявлением закона отрицания отрицания в теории сооружений является рассмотренный выше расчет сооружений по предельным состояниям, а также, например, процесс развития методов расчета строительных сооружений и конструкций.

Первые теоретические основы расчета строительных конструкций в строгом виде были сформулированы в XIX веке, когда был разработан метод расчета конструкций по допускаемым напряжениям, который применялся вплоть до 1938 года. По методу допускаемых напряжений требуется [1. 2], чтобы наибольшее напряжение, возникающее в опасной точке, не превышало так называемого допускаемого напряжения:

$$\sigma_{\max} = \frac{S}{\Gamma} \leq \sigma = \frac{\sigma_{оп}}{K}; \quad \Delta \leq \Delta ,$$

где  $S$  – усилие в элементе, сечении и т. д. (продольная сила  $N$ , изгибающий момент  $M$  и т. д.);  $\Gamma$  – геометрический фактор (площадь  $A$ , момент инерции  $I$  поперечного сечения и т. п.);  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения;  $\sigma_{оп}$  – опасные напряжения (для пластических материалов – предел текучести, для хрупких ма-

териалов – предел прочности материала);  $K$  – коэффициент запаса прочности, назначаемый нормативно с учетом ряда факторов;  $\Delta$  – перемещения;  $[\Delta]$  – допускаемые перемещения.

Теория основывалась на предположении об упругой работе материала, пропорциональности напряжений и деформаций до исчерпания возможности эксплуатации конструкций. Недостатком метода расчета по допускаемым напряжениям является то, что влияние различных факторов на прочность элемента учитывается одним (общим) коэффициентом запаса прочности, не учитывается многофакторность причин исчерпания возможностей эксплуатации конструкций, поэтому был неточным. Метод давал надежные результаты, но приводил к неэкономичным решениям, к неоправданному перерасходу материала за счет неизбежного завышения коэффициента запаса  $K$ .

С 1938 г. для расчета железобетонных конструкций стала применяться теория расчета по разрушающим (предельным) усилиям  $S$  (нагрузкам  $F$ ). Ее основное уравнение:

$$S \leq S = \frac{S_{пред}}{K},$$

где  $S_{пред}$  – предельное усилие в элементах – определялось с учетом свойств материала в стадии разрушения (например, с учетом диаграммы Прандтля);  $K$  – коэффициент запаса, по-прежнему общий и поэтому неточный, ведущий к неоправданному перерасходу материала, излишней несущей способности конструкций и неэкономичности решений.

Развитие науки продолжалось, более точными становились экспериментальные методы определения свойств материалов, расширялись теоретические исследования и возможности, используемые теории и методы расчета все больше не удовлетворяли возрастающим объемам строительства и требованиям общества.

И с 1955 г. для расчета строительных конструкции в СССР был принят метод расчета по предельным состояниям, дающий возможность более гибкого учета влияния различных факторов на прочность элементов сооружения и устанавливающий связь расчета с эксплуатационными критериями годности сооружения.

В методе расчета по предельным состояниям принято две группы предельных состояний, ограничивающих нормальную эксплуатацию конструкций или делающих ее вообще невозможной.

1-я группа – по непригодности к дальнейшей эксплуатации. В нее входят:

- вязкое, хрупкое или усталостное разрушение;
- потеря устойчивости формы (общая или местная);
- потеря устойчивости положения (например, для подпорных стенок);
- качественное изменение конструкции, превращение ее в геометрически изменяемую систему;
- чрезвычайно большие деформации, связанные с текучестью материала, резонансом, недопустимые остаточные деформации и др.;
- одновременное действие силовых факторов и окружающей среды.

Переход за предельное состояние первой группы – это всегда большие потери, часто сопровождающиеся утратой ценного оборудования и даже гибелью людей. Поэтому переход за предельные состояния этой группы недопустим ни в коем случае за весь срок эксплуатации конструкций. Тем более, что неизвестно, когда произойдет этот переход за предельное состояние: во время возведения сооружения или после многих лет его эксплуатации.

Основное уравнение предельных состояний 1-й группы:

$$S_p \leq \Phi.$$

Здесь  $S_p$  – самое опасное, вероятное при заданных условиях за весь срок эксплуатации усилие в конструкции, ее элементе при самом невыгодном сочетании нагрузок и воздействий, получаемое от действия расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка определяется путем умножения нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ :

$$F_p = F_n \cdot \gamma_f;$$

$\Phi$  – несущая способность конструкции, ее элемента, определяемая через нормативное сопротивление материала и геометрические характеристики сечения:

$$\Phi = R_{yn} A_c \frac{\gamma_c}{\gamma_m},$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы (учитывает по существу степень идеализации расчетной модели, включая отклонения от заданных размеров, начальные несовершенства, условия эксплуатации, влияние возможной коррозии и т. п.);  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по ответственности (учитывает степень ответственности сооружений).

2-я группа – по непригодности к нормальной эксплуатации или снижению долговечности конструкций. Это появление недопустимых перемещений в широком смысле (линейные, углы поворота, колебания, появление или чрезмерное раскрытие трещин и т. п.). Основное уравнение предельных состояний 2-й группы говорит о том, что расчетное перемещение (прогиб) не должно превышать его предельной величины:

$$\Delta_p \leq \Delta_u.$$

За прошедшие годы эта методика неоднократно модернизировалась, но ее основа – отдельный учет разных факторов, влияющих на пригодность конструкций к эксплуатации и вероятностный подход к обеспечению пригодности конструкций к эксплуатации – сохранилась.

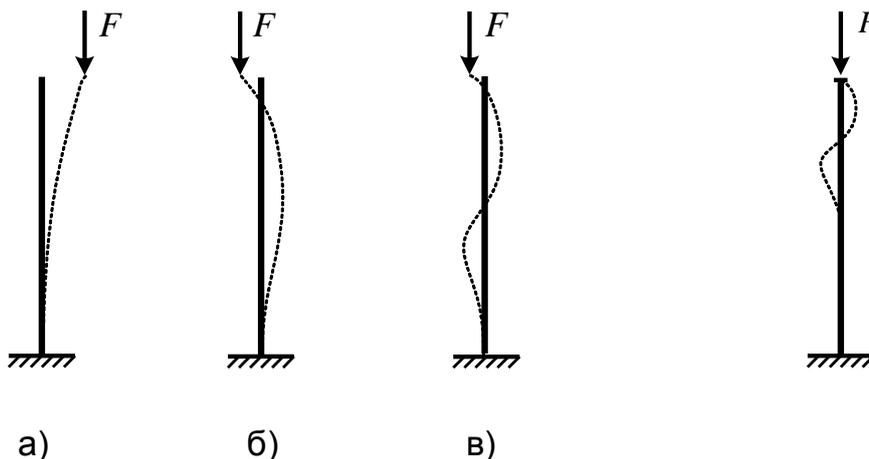
К концу XX века и метод расчета по предельным состояниям перестал соответствовать уровню развития науки и требованиям времени.

Широкое развитие получили вероятностные подходы в оценке свойств материалов, в оценке величин нагрузок, что позволило определять более точные их значения, более глубокое развитие получили методы расчета, учитывающие нелинейную работу материалов, более четко стало возможным определять предельное состояние сечений, а также конструкций и сооружений в целом. Серьезное развитие получили и методы оценки надежности конструкций и сооружений.

Сегодня (с 2015 года) расчет строительных конструкций в Республике Беларусь выполняется по Евронормам.

Примером проявления закона отрицания отрицания может быть также поведение прямолинейного упругого (например, стального) стержня, сжатого некоторой силой  $F$  (см. рис. 1). Если величина этой силы относительно невелика, то от ее действия в стержне возникнет только сжатие (сжимающие напряжения и деформации). Стержень при этом остается прямолинейным. При достижении силой  $F$  некоторого значения, называемого критическим (первая критическая сила), для стержня становится возможным два равновесных состоя-

ния (рис. 1,а) – прежнее прямолинейное и новое изогнутое (отклоненное от прямолинейной формы) состояние. Наблюдается так называемая бифуркация (раздвоение) равновесных состояний. При малейшем увеличении нагрузки (силы  $F$ ) происходит потеря устойчивости (прямолинейного состояния) и стержень принимает простейшее изогнутое состояние (рис. 1,а). При уменьшении силы  $F$  стержень может вернуться в исходное прямолинейное положение. Здесь говорят о потере устойчивости первого рода. Дальнейшее увеличение силы  $F$  может привести к тому, что стержень приобретет более сложную изогнутую форму (рисунок 1,б). Силу, соответствующую этой форме называют второй критической нагрузкой. Если сила  $F$  будет возрастать и дальше, то возможно появление еще более сложных форм деформирования стержня (см. рис. 1,в), которым будут соответствовать более высокие критические нагрузки. На практике эти формы реализуются при быстро возрастающих динамических (импульсных и ударных) нагрузках. Подобное происходит, например, при забивании гвоздей, когда при сильных ударах по гвоздю резко прикладывается большая сила, действие которой (деформации) еще не успевает распространиться по всей высоте стержня (гвоздя), а часть гвоздя (верхняя) уже изгибается, нижняя его часть при этом остается прямой (рис. 2). Во всех этих случаях с увеличением силы и переходом ее через критические значения стержень «отрицает» предыдущую форму равновесия и «перескакивает» на новую более сложную форму. Следует сказать, что здесь проявляется действие не только закона отрицания отрицания, но и закона взаимного перехода количественных изменений в качественные. В начальной стадии нагружения в сечениях стержня имеет место только сжатие, но уже после первой потери устойчивости напряженно-деформированное состояние стержня существенно меняется, он становится сжато-изогнутым – количественные изменения нагрузки приводят к новому качеству работы стержня, описываемому более сложными зависимостями.



**Рисунок 1**

**Рисунок 2**

**Список цитированных источников**

1. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
2. Снитко, Н.К. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1980. – 431 с.
3. Философия и методология науки: учебное пособие / Ч.С. Кирвель [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 639 с.

## **ЗАКОН ВЗАИМНОГО ПЕРЕХОДА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрим соотношение в характеристике сооружений философских категорий количества и качества. Эти категории являются отображением закона взаимного перехода количественных и качественных изменений. Согласно данному закону количественные изменения при переходе определенной меры вызывают качественные изменения объекта, протекающие в форме скачков [4].

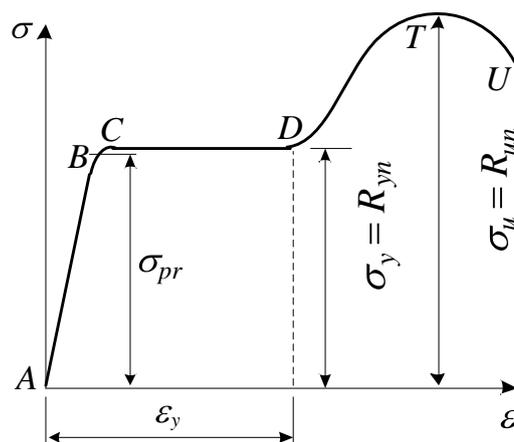
Качество – это внутренняя определенность объекта, в которой выражается его специфика, своеобразие, отличие от других предметов. Изменяя качество объекта, мы получаем другой объект, у которого уже будет иная внутренняя определенность, иное качество. Как правило, качество представляется через свойства.

Количественные изменения объекта, то есть прибавление к нему или убавление от него каких-то его свойств, непрерывны до тех пор, пока они не перейдут определенную меру объекта. Качественные изменения представляют собой коренное преобразование существенных свойств объекта. Они происходят в форме скачка. Скачок – это разрыв непрерывности количественных изменений, дающий начало новому качеству. Скачок коренным образом преобразовывает существенные свойства предмета. В процессе развития качественные изменения обусловлены количественными и наоборот.

Ярким примером этой взаимосвязи в теории сооружений является анализ структуры сооружения как системы элементов (отдельных частей). Важнейшей функцией сооружения в целом является способность нести нагрузку, не изменяясь, сохраняя свою функциональную форму. Уже говорилось об одном из вариантов анализа структуры сооружения, когда оно представляется в виде совокупности (системы) неизменяемых элементов (называемых дисками), связей между ними – стержней, шарниров (в которых выделяются простые кинематические связи, основным свойством которых является то, что каждая из них отнимает у системы одну степень свободы) и опор (важной характеристикой которых является также количество в них простых кинематических связей). В зависимости от количества дисков, связей между ними, связей в опорах сооружения и структуры его, то есть системы соединения и взаимодействия всех этих элементов в общей системе, сооружения могут вести себя по разному. Важным свойством сооружения является степень свободы системы сооружения  $W$ , в зависимости от величины которой сооружения могут и будут качественно отличаться друг от друга – могут быть, с одной стороны, изменяемыми и мгновенно изменяемыми или неизменяемыми, с другой стороны, статически определимыми и статически неопределимыми. И здесь как раз и проявляется закон перехода количественных изменений в качественные. Если степень свободы системы сооружения  $W > 0$ , то система изменяема, является механизмом, не может нести нагрузки и соответственно вообще не может быть строительным сооружением. В случае  $W = 0$ , система уже может быть неизменяемой и будет статически определимой – количественное изменение степени свободы системы привело к новому качеству ее, она уже может выполнять свои функции, может быть строительным сооружением. При этом для расчета такого сооружения достаточно применения обычных уравнений рав-

новесия (уравнений статики) системы в целом либо ее частей. С дальнейшим уменьшением величины степени свободы системы сооружения и переходом в область  $W < 0$  сооружение будет неизменяемым и статически неопределимым, в нем появляются так называемые «лишние» связи – система переходит в новое качество, характеризующееся более надежной работой, сооружения будут более жесткими (при одной и той же нагрузке в них в сравнении со статически определимыми системами будут меньше прогибы и перемещения), при проектировании такие сооружения будут получаться более экономичными. При этом для расчета таких сооружений уже недостаточно обычных уравнений равновесия, необходимо составление дополнительных уравнений, например уравнений совместности деформаций, или могут применяться другие подходы. Так, количественная величина степени свободы системы при ее изменении представляет три качественно отличающихся состояния строительных сооружений. При этом изменения в структуре системы в любой момент времени существования и эксплуатации сооружения могут приводить переходу его в любое из рассмотренных состояний. Выход из строя отдельных элементов сооружения может приводить к изменению степени свободы системы и к качественному переходу ее из статически неопределимой в статически определимую, а, что еще хуже, в мгновенно изменяемую или вообще изменяемую систему, что приведет к разрушению системы (и в наше время известны случаи разрушения зданий и сооружений). Разрушение сооружения – это резкий, качественный скачок в состоянии сооружения.

Закон перехода количественных изменений в качественные наглядно иллюстрирует диаграмма растяжения углеродистой стали (см. рисунок).



В начальной стадии нагружения наблюдается линейная зависимость между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$ , то есть действует закон Гука (участок A–B). При достижении напряжениями предела пропорциональности  $\sigma_{pr}$  (точка B) линейная зависимость нарушается, в элементе вместе с упругими деформациями начинают появляться пластические деформации (участок B–C). При достижении напряжениями определенной величины  $\sigma_y$  (в точке C) материал элемента начинает вести себя особым образом – материал течет, элемент деформируется (существенно удлиняется) при постоянном напряжении, на диаграмме деформирования  $\sigma - \varepsilon$  появляется так называемая площадка текучести (участок C–D). Соответствующее напряжение  $\sigma_y$  называется пределом текучести материала –  $R_{yn}$ . Площадка текучести переходит в кривую упрочнения (участок D–T). Максимальное напряжение  $\sigma_u$ , достигаемое в элементе, называется временным сопротивлением, или пределом прочности ( $R_{un}$ ). Далее нагрузка расти не может, происходит рост деформаций при падении напряжений (участок T–U) и разрушение элемента (разрыв).

Таким образом, с ростом нагрузки происходит изменение условий работы и состояний материала элемента – от работы в пределах упругости до появления пластических деформаций, достижения напряжениями предела текучести

и появления площадки текучести, затем появляется участок упрочнения материала и элемента с достижением предела прочности, после чего начинается процесс разрушения элемента.

Важным понятием и явлением в теории расчета сооружений является устойчивость сооружений. Устойчивость – это способность сооружения сохранять свою форму при действии нагрузок. И здесь возникает понятие – «потеря устойчивости», когда при достижении нагрузкой определенной величины, называемой критической, сооружение теряет свою первоначальную форму, получает существенные качественно новые деформации, которые могут привести сооружение в новое равновесное деформированное состояние (потеря устойчивости первого рода) либо существенно расти до больших величин (потеря устойчивости второго рода). При этом явлению потери устойчивости подвержены только элементы сооружений, работающие на сжатие. Качественные изменения в нагрузке приводят к резкому изменению качества – формы деформирования системы. Например, при потере устойчивости первого рода до потери устойчивости прямолинейные элементы работают только на сжатие, оставаясь прямолинейными, а при достижении критической нагрузки и потере устойчивости эти элементы становятся уже криволинейными (новая форма равновесия), и наряду со сжатием в них появляется изгиб. Впервые явление потери устойчивости обнаружил Л. Эйлер. Следует сказать, что при достижении критической нагрузки в сооружении имеет место так называемая бифуркация форм равновесия, когда в сооружении возможна как исходная (прямолинейная) форма равновесия, так и криволинейная форма потери устойчивости. И в этом плане здесь мы имеем проявление закона единства и борьбы противоположностей. Теоретически каждая система имеет бесконечное число критических нагрузок, каждой из которых соответствует своя форма потери устойчивости. И если при переходе через точку бифуркации с ростом нагрузки система осталась прямолинейной, то далее с увеличением нагрузки может реализоваться новая форма потери устойчивости, отвечающая очередной более высокой критической нагрузке. На практике такое происходит при быстро возрастающих (динамических) и ударных нагрузках. Наглядно это можно увидеть на простом примере забивания гвоздя: гвоздь может быть забит в доску без его изгиба (не потеряв устойчивости); при слабом ударе может просто согнуться (первая форма потери устойчивости); при сильном ударе может искривиться более сложно, несколько раз, что будет соответствовать более высоким критическим нагрузкам и формам потери устойчивости. Здесь мы видим переход количественных изменений в качественные на все более высоком уровне нагрузки (с увеличением нагрузки).

Проиллюстрируем закон взаимного перехода количественных и качественных изменений на другом примере.

Важной характеристикой любого сооружения является частота собственных колебаний, и этих частот для одного сооружения может быть очень много, каждая из которых характеризуется своей формой колебаний (формой деформирования в процессе колебаний). С другой стороны, на сооружение может действовать внешняя нагрузка, также изменяющаяся с определенной частотой (вынуждающая нагрузка). В качестве такой нагрузки могут выступать и ветер, и работающее оборудование (станки), и транспорт. И здесь возникает вопрос взаимоотношения частот собственных колебаний сооружения и вынуждающей нагрузки. Чем ближе частота вынуждающей нагрузки к частоте собственных колебаний сооружения, тем большие внутренние силы возникают в

элементах сооружения (динамический эффект), а при приближении и равенстве частоты вынуждающей нагрузки частоте собственных колебаний происходит резкий качественный скачок в состоянии сооружения, возникает так называемый резонанс, при котором усилия в сечениях элементов сооружения могут быть очень большими (теоретически стремятся к бесконечности), что недопустимо для сооружений. Для недопущения резонанса должны быть приняты соответствующие проектные (подбор соответствующего оборудования) и конструктивные (приводящие к изменению спектра частот собственных колебаний) меры. Таким образом, количественное изменение частоты вынуждающей нагрузки может привести к резонансу (к качественному изменению в сооружении), а для недопущения этого следует количественно менять характеристики используемого оборудования либо геометрические и жесткостные параметры самого сооружения (для перемещения (сдвига) соответствующей частоты собственных колебаний в другую зону.)

Задачи расчета сооружений часто решаются на основе энергетических подходов, на основе анализа полной потенциальной энергии (энергии деформирования) системы. Сооружения могут деформироваться по-разному, и каждой форме деформирования (качеству сооружения) будут соответствовать свои количественные затраты энергии. При этом для определения качественного состояния, которое будет реализовываться в системе, часто используется *принцип возможных перемещений* (принцип Лагранжа) по отношению к энергии системы [1, 2], который определяет экстремальные свойства полной потенциальной энергии системы и гласит:

для системы, находящейся в равновесии, из всех возможных перемещений, удовлетворяющих заданным граничным условиям, в действительности имеют место те, при которых полная потенциальная энергия принимает минимальное значение.

Принцип возможных перемещений, таким образом, характеризует зависимость между количественными (энергетическими) параметрами системы и качественными ее состояниями (формами деформирования), определяя то качественное состояние (форму деформирования), которое в действительности система должна принять.

Рассмотрим расчет статически неопределимых (имеющих «лишние» связи – *Л*) изгибаемых сооружений по предельным состояниям статическим методом [3]. На первом этапе система рассчитывается любым из методов расчета статически неопределимых систем (методом сил, методом перемещений и т. д.), определяются усилия и напряжения в системе. Находится наиболее напряженное сечение (в котором напряжение наибольшее), в котором с ростом нагрузки в первую очередь появится пластический шарнир (сечение, в котором все напряжения равны пределу текучести, которое воспринимает предельный для себя изгибающий момент и которое ведет себя как односторонний шарнир). С появлением этого пластического шарнира число «лишних» связей в системе уменьшается на единицу, при этом в зависимости от количества «лишних» связей система может оставаться статически неопределимой. Соответственно система опять рассчитывается любым из методов расчета статически неопределимых систем (методом сил, методом перемещений и т. д.), определяются усилия и напряжения в системе. Находится наиболее напряженное сечение, в котором с дальнейшим ростом нагрузки во вторую очередь появится пластический шарнир. И так до тех пор, пока система не станет статически определимой, после чего выполняется еще один (последний) расчет

системы, уже как статически определимой. Находится наиболее напряженное сечение, в котором с ростом нагрузки появится последний пластический шарнир, который превратит систему в механизм (в изменяемую систему), который и будет являться предельным состоянием системы. Для этого состояния составляется уравнение, описывающее его, из которого и находится предельная нагрузка для сооружения, то есть максимально возможная нагрузка, которую может выдержать сооружение. Здесь на каждом этапе расчета количественные изменения нагрузки (ее рост) приводили к новому качеству сооружения (в статически неопределимой системе уменьшалось количество «лишних» связей, затем система превращалась в статически определимую, а в конце – вообще в механизм). Закон взаимного перехода количественных изменений в качественные здесь проник в метод расчета и позволил выполнить расчет сооружения.

Из анализа приведенных примеров работы сооружений видно, что переход количества в принципиально новое качество может происходить как резко, одномоментно, так и незаметно, эволюционно.

Исходя из содержания закона перехода количественных и качественных изменений, можно назвать несколько методологических умений, которые должны быть сформированы у субъекта управления сооружением (проектировщика, конструктора):

- умение оценивать качественное состояние рассчитываемой системы;
- умение запроектировать систему в необходимом качественном состоянии;
- умение преобразовывать сооружение, переводя его в новое качество, то есть создавать новое сооружение.

#### **Список цитированных источников**

1. Игнатюк, В.И. Строительная механика: пособие / В.И. Игнатюк, И.С. Сыроквашко. – Брест: БрГТУ, 2015. – 152 с.
2. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
3. Снитко, Н.К. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1980. – 431 с.
4. Философия и методология науки: учебное пособие / Ч.С. Кирвель [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 639 с.

УДК 712.4(476.7)

**Бондарчук О.А.**

**Научный руководитель: Мартысюк Н.А.**

## **ВОДНО-ЗЕЛЁНЫЙ ДИАМЕТР ГОРОДА БРЕСТА**

Исторически ландшафтные и климатические условия имели исключительное значение для выбора местоположения городов, направлений их территориального развития. Во многих случаях люди устраивали свои поселения вблизи водных объектов – рек, озер, морей. При таком выгодном расположении селение обеспечивалось водой, рыбой и возможностью вести торговые отношения. Так начиналось непрерывное взаимодействие города и реки. Сначала город подчинялся, а потом подчинил себе реку. Город победил её, перекинув мосты и одев берега в булыжные набережные и каменные мостовые. Так город Брест подчинил себе реку Мухавец, сделав её заложницей городской инфраструктуры. Градостроительная ситуация Бреста такова, что река становится главной композиционной осью города. Она пересекает город с

востока на запад, разделяя его на право- и левобережную части. Правобережная часть города уже имеет сложившуюся инфраструктуру, а с ней и препятствия на пути к реке. В то время как левобережная часть обладает большим рекреационным потенциалом и ещё только осваивается.

По определению В.А. Горохова, водно-зелёный диаметр (ВЗД) – это система парков, бульваров, открытых пространств вдоль поймы реки [1]. Понятийно-терминологический словарь даёт схожую трактовку понятия ВЗД – система озеленённых и водных пространств, пересекающая территорию города примерно по середине (по аналогии с диаметром круга) [2]. Основываясь на приведенных определениях, можно сказать, что ВЗД – это подсистема городского ландшафта, которая включает озеленённые и водные пространства, обладающие единством планировочной, территориальной и функциональной взаимосвязью элементов и пересекающей город диаметрально. Исходя из этого определения, следует, что главной задачей освоения и модернизации водно-зелёного диаметра Бреста является создание единой ландшафтной системы из имеющихся озеленённых пространств прибрежной части Мухавца. Для подтверждения гипотезы о том, что город утратил связь с рекой, и доказательства того, что в сложившейся градостроительной ситуации необходим новый подход к освоению прибрежных территорий, был проведен аналитический обзор исторического развития города Бреста, а так же существующего положения прибрежных территорий в городе. Этап 1 – Берестье. Город появился на маленьком островке в дельте реки Мухавец, впадающей в Западный Буг. Город рос и развивался на этой территории вплоть до начала XIX в. Окружённый двумя реками, Буг и Мухавец, он находился во всестороннем взаимодействии с ними. По рекам проходили торговые пути, поэтому прибрежные территории использовались очень активно. На берегах располагались лодочные пристани, жилые дома, торговые площади, набережные. Этап 2 – Брест-Литовский. В 1836 году началось строительство Брестской крепости. Средневековый город был снесён, а новый построен в двух километрах восточнее. На этом этапе город Брест утратил взаимосвязь с рекой Буг. Прибрежные территории правого берега граничат с южными окраинами города. Функционально они исполняют жилую и рекреационную функции. Набережная носила название Муховецкой, а к реке в то время выходил городской сад, к 300-летию дома Романовых переименованный в Николаевский парк. Этап 3 – Брест-над-Бугом. С 1921 года Брест входит в состав Польши и носит имя Брест-над-Бугом. В этот период город ещё не распространяется на левый берег Мухавца, но его развитие проходит вдоль реки. Прибрежные территории расширяются вместе с городом в восточном направлении. Расширяются жилые территории, а Николаевский парк носит название: «Miejski park wolności», что значит «Парк свободы». Этап 4 – Брест советского периода. Советская эпоха подарила Бресту новый облик. Город принял в свои границы старинные предместья на востоке и уверенно перешагнул на левый берег Мухавца. Теперь река протекает не около города, а через него, становясь важной частью планировочного каркаса. Пропадает парк на берегу реки, возле него теперь располагается речной порт, набережная с этого времени носит имя Франциска Скорины. Расширяясь на восток, Брест включает в городскую черту несколько деревень на берегу Мухавца. Прибрежные территории добавляются с уже имеющейся жилой функцией. Этап 5 – Брест перспективный. После распада СССР город вновь начал активно расти и развиваться. За последние годы он расширил свои границы в южном и восточном направлениях. И именно

водно-зелёный диаметр является вектором для такого движения. Функциональное назначение уже освоенных прибрежных территорий практически не меняется. Но со строительством на берегу реки спортивных объектов (Гребного канала, Ледового дворца и Дворца водных видов спорта) добавляется новая функция. Левый берег осваивается очень активно. Для этой части города новый генплан предполагает дальнейшее развитие водно-зелёного диаметра города Бреста, формирование новых планировочных районов – Красный Двор и д.д. Гули-Волки, развитие рекреационной функции. Как видно из исторического обзора, в разные периоды развития города имели место различные подходы к освоению прибрежных территорий. Правый берег развивался на протяжении почти двух веков, поэтому имеют место различные градостроительные решения. В этой части находится исторический центр, учреждения образования, городской администрации, здравоохранения. Имеются обширные территории историко-культурных ценностей. Озеленённые территории представлены двумя городскими парками, скверами, бульварами. В этой части Бреста полностью сложилась и сформировалась развитая инфраструктура. Левый берег вошёл в черту города сравнительно недавно. Левобережная территория не имеет крупных административных центров. На этой территории размещаются несколько объектов историко-культурных ценностей, а часть прибрежной зелёной зоны является зоной охраны ландшафта. Инфраструктура налажена ещё не достаточно хорошо, большинство социально значимых объектов культуры, образования, здравоохранения находятся на другом берегу, поэтому горожанам ещё приходится совершать частые поездки из одной части города в другую, что приводит к так называемой маятниковой миграции населения. Территории правого берега Мухавца, входящие в состав ВЗД Бреста, никогда не рассматривались как целостная система. Но озеленённые территории левого берега ещё имеют такую возможность. Эта часть города развивается с учётом новых градостроительных тенденций, а значит и водно-зелёная система должна этому следовать. Для левого берега генплан города Бреста предполагает активное использование территории водно-зелёного диаметра для целей рекреации, спорта и развлечений; охрану и максимальное сохранение каркаса экологической структуры Бреста, создание единой ландшафтно-рекреационной системы города и ближайшего пригорода. Исходя из вышеперечисленного, можно выявить условия дальнейшего освоения озеленённых территорий левого берега реки Мухавец, а в будущем - формирования новой концепции развития водно-зелёного диаметра г. Бреста: недостаточная обеспеченность населения зонами рекреации; необходимость экологического оздоровления и сохранения зоны охраны ландшафта; слабое использование обширных озеленённых территорий; определение этой задачи генпланом города Бреста. Также необходимо учесть факторы такого развития: градостроительный – положение водно-зелёного диаметра в центральной части города; экологический – наличие в прибрежной части зоны охраны ландшафта; социальный – необходимость создания объектов активного и тихого отдыха как мест притяжения людей.

Водно-зелёный диаметр играет особую роль в ландшафте современного города. Благоустройство этих территорий, размещение там мест притяжения людей, организация мест тихого и активного отдыха продолжит формирование единой ландшафтно-рекреационной системы города. Водно-зелёный диаметр Бреста имеет важное место в городской планировочной структуре. Сегодня прибрежные территории очень разнообразны по своему функциональному на-

значению, однако озеленённые территории не представляют собой единую ландшафтную систему. Дальнейшее их освоение должно продолжаться с применением комплексного подхода и рассматриваться как целостная и непрерывная ландшафтная структура, диаметрально пересекающая город и связывающая его с пригородными территориями. Развитие должно протекать с учётом потребностей населения, сформировавшихся функциональных зон, климатических и геологических условий местности. Ориентиром могут служить мировые примеры освоения прибрежных территорий и тенденции их формирования.

#### **Список цитированных источников**

1. Горохов, В.А. Городское зеленое строительство: учеб. пособие для вузов.— М.: Стройиздат, 1991.—416 с.: ил.
2. Градостроительство и территориальная планировка: понятийно-терминологический словарь / Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беоарусь; Редкол.: Г.А. Потаев (отв.ред.), И.А. Иодо, К.К. Хачатрянц, А.И. Ничкасов – Мн.: Минсктиппроект, 1999. – 192 с.
3. Большой строительный терминологический словарь-справочник. Официальные и неофициальные термины и определения в строительстве, архитектуре, градостроительстве и строительной технике / сост. В.Д. Наумов [и др.]; под ред. Ю.В. Феофилова – Минск: Минсктиппроект, 2008. - 816 с.
4. Сычева, А.В. Ландшафтная архитектура : учеб. пособие для вузов / А.В. Сычева – 2-е изд., испр. – М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2004. – 87 с.

УДК 726.71

***Бурова Е.В., Савчук Н.А.***

***Научный руководитель: Коняев П.Н.***

### **СВЯТОКРЕСТОВОЗДВИЖЕНСКАЯ ЦЕРКОВЬ В Д. ВИСТЫЧИ**

В 1471 здесь пан Насута построил костёл в д. Вистычи. Евстафий Тышкевич в 1678 году возле костёла построил монастырь и пригласил сюда монахов-цистерцианцев. Цистерцианцы были третьим и наиболее популярным ответвлением средневекового монашества. Они стремились к тому, чтобы возродить первоначальный бенедиктинский устав во всей его простоте и аскетичности, что вылилось в значительное сокращение вставок, расширявших богослужение, ограничение деятельности по переписыванию книг и возврат к физическому труду, стремились во все внести аскетический и созерцательный элементы.

Однако в 1748 году произошёл пожар, он уничтожил практически весь монастырь - первоначально все постройки монастыря были деревянными. После пожара монахи построили в Вистычах новый каменный костёл и освятили в честь святой Софии. На сегодняшний день от крупного монастырского комплекса сохранился только храм. Однако он существенно отличается от того каким был в XVIII веке. Дело в том, что после подавления восстания под руководством польской аристократии и представителей шляхты против русского царизма, которое перекинулось и на территорию Беларуси 1830-1832 годов, все монастырские строения были ликвидированы. Остался только храм, однако он был переосвящён в 1866 году в православный и поучил имя Свято-Крестовоздвиженская церковь в деревне Вистычи. Когда-то при костеле находилась чудотворная икона Матери Божьей Вистычской. И за исцелением люди сюда съезжались со всей Речи Посполитой. С этой иконой связано выздоровление знаменитого писателя, историка и политического деятеля Юлиана Немцевича.

В 1832 году монастырь в Вистычах был закрыт. На сегодняшний день от монахов-цистерцианцев в Вистычах осталось только здание косёла и полуразрушенные каменные стены монастыря.

Недалеко от костела сохранилась и каменная колонна. Сверху на колонне когда-то стояла мраморная скульптура Матери Божьей Вистычской. Говорят, что эту колонну поставили родители Юлиана в знак благодарности за выздоровление своего сына. Скульптура Матери Божьей Вистычской простояла на колонне до 50-х годов прошлого века. В послевоенное время её зацепили тросом, стянули с колонны и выбросили в речку Лесная, которая возле деревни.

Перед храмом в 1860-е гг. поставлена деревянная 2-ярусная звонница под покатым 4-скатным шатром с маковкой, которая сохранилась на сегодняшний день.

Церковь представляет собой трёхнефную базилику с увеличенным средним нефом, законченным полуциркулярной апсидой. Господствующая роль среднего нефа, нерасчленённое пространство которого является композиционной основой строения, точно выражена в плане, составляя с апсидой одно целое. Боковые нефы значительно уже и короче среднего. По обе стороны от среднего нефа расположены четыре придела: два из них, присоединённые к апсиде, находятся в боковых нефках, а два, которые выходят на главный фасад, выступают с основного объёма почти на 3 м. Нартекс выходит за габариты главного фасада и создаёт его широкую плоскость, над которой возвышается прямоугольный щит с треугольным фронтоном.

Главный фасад имеет симметричную композицию. Ось симметрии подчеркнута арочным порталом входа, оконным проёмом над ним, нишей с лучковым завершением и люкарной в тимпане фронтона. В декоративном украшении фасада использованы двойные полуколонны тосканского ордера, поставленные парно по бокам портала и плавно переходящие в более стройные полуколонны верхнего яруса, профилированные тяги, плоские ниши разнообразных форм.

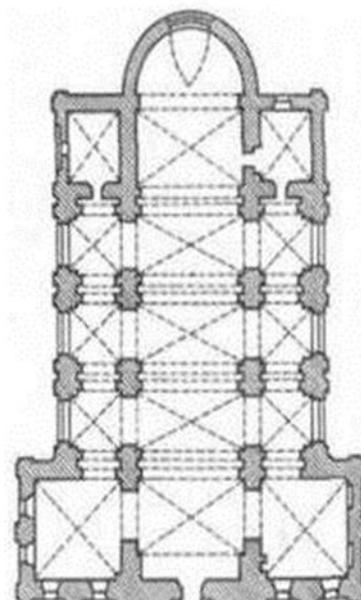
Боковые фасады обработаны двойными пилястрами, окна окружены полуциркулярными архивольтами. Стены основного объёма расчленены окнами и плавно переходят в глухую стену мощной апсиды. В центре её 2-го яруса находится амбразура заложенного окна. Стены боковых нефов расчленены парными пилястрами, между которыми высоко подняты большие полукруглые люкарны. Введение пилястров обогащает пластику боковых фасадов, придаёт им более мелкий масштаб, подчёркивая их подчинённую роль.



**Рисунок 4 – Стены разрушенного монастыря**



**Рисунок 5 – Свято-Крестовоздвиженская церковь (не позднее 1930 г.)**



**Рисунок 6 – Свято-Крестовоздвиженская церковь (план)**

Динамичность пирамидальной композиции, ступенчатость ее строения, пластичная обработка стены, плавные формы кровельных окончаний свидетельствуют о барочном характере архитектуры храма. При наличии внешних признаков итальянского барокко памятник сохраняет монументальность и простоту, что свойственно белорусскому зодчеству XVI-XVII вв.

Интерьер храма разделён двумя рядами столбов сложного сечения, образующих монументальную аркаду, завершённую антаблементом, который окаймляет по периметру весь неф и делит его на два яруса.

Главный и боковые нефы перекрыты цилиндрическими сводами на распалубках. Поверхности стен расчленены спаренными пилястрами. В арочных проёмах свода расположены лучковые оконные проёмы, благодаря чему высоко поднятые своды кажутся лёгкими и воздушными. Декоративное украшение интерьера дополняется архивольтами арок и простыми филегами на массивных столбах и арках. Над главным входом, на мощной покатой арке расположены хоры, на которые ведет витая лестница в толще стены. Спокойный ритм вертикальных членений, четкие пропорции, лаконизм декора – все свидетельствует о ренессансном характере строгого и торжественного интерьера.

Монастырь, который располагался в одноэтажном каменном П-образном здании с южной стороны костёла, упразднён в 1832 году, позже разрушен (согласно обмерочным чертежам 1833 года).

Костёл в 1866 году приспособлен под православную Крестовоздвиженскую церковь. До 2011 года она была заброшена. В настоящее время храм действующий, находится в состоянии реконструкции проводимой за счёт приходских пожертвований, является архитектурным памятником республиканского значения.



**Рисунок 7 – Внешний вид церкви**

#### **Список цитированных источников**

1. Габрусь, Т.В. Мураванья харалы: Сакральная архітэктурна беларускага барока”. – Мінск: “Ураджай”, 2001

2. Габрусь, Т.В. Саборы помняць усё: готыка і рэнесанс у беларускім сакральным дойлідстве. – Мінск: “Беларусь”, 2007. Соавтор коллективных научных изданий: Збор помнікаў гісторыі і культуры Беларусі. – ТТ.1–7. – Мінск, БСЭ, 1984–1987

3. Збор помнікаў гісторыі і культуры Беларусі: у 8 т. – Мінск. Беларус. Савец. Энциклапед. ім. П. Броўкі – 1986-1990.

УДК 711.435(476.7)

**Козлович Ю.Н.**

**Научный руководитель: Фоменкова С.Ф.**

### **МАЛЫЕ И СРЕДНИЕ ГОРОДА БРЕСТЧИНЫ ДО И ПОСЛЕ «ДОЖИНОК»**

Культура белорусов тесно связана с земледелием, землей. Многие праздники, обычаи и традиции берут свое начало из событий, тесно связанных с земледельческим календарем. «Дожинки» самый известный из таких праздников.

Этот древний обряд известен практически всем народам, которые занимаются земледелием. С давних времен «Дожинки» означали конец жатвы, горячей уборочной поры и тяжелой работы, поэтому и праздновали его всегда с размахом.

Эта традиция – проводить «Дожинки» - оказалась такой сильной, что ни годы, ни войны, не смогли ее уничтожить. В 1996 году в Беларуси появился новый праздник – Республиканский фестиваль-ярмарка тружеников деревни. Столь масштабное празднование «Дожинок» характерно лишь для Беларуси.

В настоящее время в Республике Беларусь реализуется Государственная комплексная программа развития регионов, малых и средних городских поселений Республики Беларусь. Настоящей Программой поставлена задача создания условий для превращения городов в наиболее благоприятные для человека, безопасные и устойчиво развивающиеся места проживания.

Всего в Беларуси насчитывается 183 малых и средних городских поселения с численностью населения до 50 тысяч человек. В целях реализации мероприятий Программы должны быть решены задачи по созданию в них новых рабочих мест, ускорению темпов строительства жилья, объектов физической культуры и спорта, развитию сферы услуг.

Долговременный планомерный процесс создания условий для устойчивого развития малых и средних городов нацелен на решение накопившихся социальных, экономических и градостроительных проблем, на обеспечение стабильного роста экономики, благоприятного климата для инвестиций и инноваций, удовлетворение социальных потребностей проживающего в них населения и полностью поддерживается государством, а также является одним из его приоритетных направлений на ближайшую перспективу.

Золотое дожиночное кольцо: 1996 - Столин; 1997 - Мосты; 1998 - Несвиж; 1999 год стал единственным, когда праздник отменили из-за рекордно низкого урожая; 2000 - Шклов; 2001 - Мозырь; 2002 - Полоцк; 2003 - Пружаны; 2004 - Волковыск; 2005 - Слуцк; 2006 - Бобруйск; 2007 - Речица; 2008 - Орша; 2009 – Кобрин; 2010 – Лида; 2011 – Молодечно; 2012 – Горки; 2013 – Жлобин; 2014 – Пинск; 2015 – Вилейка.

Столин — город, расположенный на реке Горынь. Численность населения около 11 тысяч жителей.

Первые дожинки прошли в 1996 году в Столине Брестской области. Начинались они скромно. Так, что даже в самом г. Столине уже не все помнят, что именно их город дал старт празднично-урожайной эстафете.

В 1984 году в районе решили возродить обряд празднования окончания уборки урожая — «Дожинки». Тогда этот праздник назывался Полесский кирмаш, он до сих пор проводится в Столине. К празднику провели небольшой косметический ремонт фасадов и крыш отдельных зданий — биб-



**Рисунок 8 – Золотое дожиночное кольцо**



**Рисунок 9 – «Дожинки» в Столине**

лиотеки, гостиницы, отремонтировали покрытие центральной улицы Ленина, подновили памятник погибшим в Великой отечественной войне. В масштабах всего города ремонт коснулся лишь уличного освещения. К «Дожинкам» приурочили и открытие нового здания местной больницы и поликлиники.

В настоящее время от того, что было сделано к тем «Дожинкам», в Столине фактически не осталось и следа. Парк сильно зарос и теперь выглядит довольно запущенным. Пожалуй, самым стойким памятником первым республиканским «Дожинкам» стало название одной из новых улиц Столина — «Дожиночная».

Пружаны - город с населением 19,3 тыс. чел. Первые косвенные упоминания о населенном пункте можно найти в исторических документах 1433 года. Город известен с 1487 года как Добучин. Современное название закреплено в 1589 году.

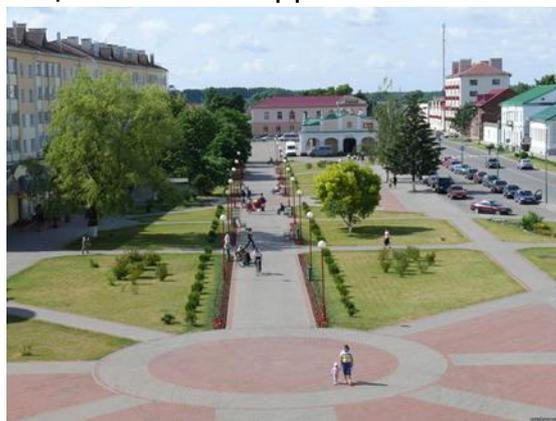
Осенью 2003 года в Пружанах был проведен республиканский конкурс «Дажынки», вследствие чего в городе появились новые архитектурные постройки и облик города существенно изменился. В Пружанах построены Дворец культуры и новая автостанция. В центре города снесены бараки и возведен жилой дом, на первом этаже которого разместились магазин и филиал Беларусбанка. Перестроена на европейский манер городская гостиница «Мухавец». Отремонтированы ресторан, универмаг, рынок. Реконструировали несколько десятков домов. Проложены новые коммуникации; треть улиц заасфальтирована, а тротуары уложены плиткой, обновлены заборы и изгороди.

Вопреки советской привычке облагораживать исключительно центр, фасад города, в Пружанах сложно найти улицы, которые в той или иной степени обошла нынешняя перестройка. Всего отремонтировано 77 улиц протяженностью 42 километра.

Город Кобрин с населением 50.7 тыс.чел. стоит на реке Мухавец. Впервые в летописях Кобрин упоминается в 1287 году как собственность Владимира Васильковича.

8-19 сентября 2009 года в городе состоялся республиканский фестиваль-ярмарка тружеников села «Дожинки-2009». Было отремонтировано 190 жилых домов, 7 школ, 126 км улиц, построена 850-метровая набережная, ледовая арена, аквапарк, дворец культуры, гребной канал, амфитеатр в парке Суворова и другие объекты.

Наиболее экзотическими дарами «Дожинок» Кобрину стали, естественно, аквапарк и ледовая арена. В итоге, они стали своеобразными таранами, расчистившими выход Кобрину к реке. А набережная стала, по сути, крупнейшей (как-никак почти 400 метров протяженности) новостройкой кобринских «Дожинок». Она фактически не только заложила основу нового линейного общегородского парка в пойме реки, но и подвигает корректировать генплан города, существенно поменять его дух и букву, несмотря на то, что он был сделан сравнительно недавно.



**Рисунок 10 –Площадь в Пружанах**



**Рисунок 11 – Набережная в Кобрине**

Пинск - город с населением 131,0 тыс. чел. Город расположен у слияния рек Пина и Припять.

Первое письменное упоминание о Пинске в Ипатьевской летописи относится к 1097 году.

К областному празднику хлебобобов в столице Полесья, который прошёл в сентябре 2014 года, проводилось комплексное обустройство исторического центра города и прилегающих к нему улиц. «Хрущёвки», окружающие площадь Ленина, оштукатурили, на крышах возвели барочные элементы в стиле знаменитого пинского коллегиума. На фасадах домов также появились декоративные барочные элементы, сделали остекление балконов: установили специальные металлические конструкции и смонтировали стеклянные рамы. Был выполнен капитальный ремонт городского Дома культуры. На улице Ленина создана пешеходная зона. Кроме исторического центра города, привели в порядок фасады зданий на улицах Горького, Кирова, Ровецкой. Одним из знаковых событий праздника урожая стало открытие в Пинске памятника хлебу.

Подводя общие итоги преобразований, которые происходят с белорусскими городами, в контексте их развития можно отметить следующее:

Подготовка к "Дожинкам" является одним из мобилизационных механизмов привлечения ресурсов (интеллектуальных, финансовых, организационных) для реализации основных задач развития белорусских городов. Основное направление этого развития видится в улучшении условий жизни населения, описанное рамками социальных стандартов. Данный механизм позволяет решать вопросы обеспечения определенного уровня и качества жизни.

"Дожинки" содержат потенциал развития белорусских городов, заключающийся в масштабах деятельности и выделяемых ресурсах, необходимом времени для планирования и подготовке к преобразованиям и, наконец, во внимании заинтересованных субъектов (жителей города, властей и бизнеса). Для полноценного использования потенциала необходимы переосмысление целей и задач преобразования городского пространства, смены подхода к его планированию и включения в него специалистов и заинтересованных групп по развитию городской среды и культурной идентичности городов.

#### **Список цитированных источников**

1. Государственная комплексная программа развития регионов, малых и средних городских поселений Республики Беларусь на 2007-2010 гг.
2. <http://eurobelarus.info/news/society/2012/12/19/tat-yana-vodolazhskaya-dozhinki-kak-faktor-razvitiya-belarusskih-gorodov.html> Дата доступа: 15.03.2016 14:10;
3. <http://brestobl.com/pruzany/dozinki/glw1.htm> Дата доступа: 15.03.2016 14:50;
4. [http://naviny.by/rubrics/society/2007/09/21/ic\\_articles\\_116\\_152945/](http://naviny.by/rubrics/society/2007/09/21/ic_articles_116_152945/) Дата доступа: 16.03.2016 15:00;

УДК 72.01

*Мулякко П.Ю.*

*Научный руководитель: Кароза А.И.*

## **ЭСТЕТИКА ПУСТОТЫ В АРХИТЕКТУРЕ**

Что же такое «Пустота»? Под «пустотой» мы привыкли понимать отсутствие чего-либо как в материальном, так и в духовном плане. Отсутствие вещей, отсутствие мыслей, отсутствие чего бы то ни было вокруг нас. Однако всё это

лишь субъективная оценка человека относительно того, что его окружает. Верно ли такое отношение к миру вокруг?

Рассуждая объективно и исходя из того, что не существует ничего абсолютного, можно прийти к выводу, что пустота – это лишь одно из состояний существования материи. Даже физическая, казалось бы, пустота, откуда выкачан воздух и удалены все микрочастицы, является лишь состоянием пространства, но никак не абсолютным отсутствием чего-либо. Согласно квантовой теории, это пространство наполнено энергией. Равно как и в философии существует теория, согласно которой существует абсолютно пустое пространство как изначально пространственная бесконечность.

В традиционной эстетике понятие пустоты означало что-то трагическое, конфликтное и совсем несуразное. Однако в свете новейших художественных концепций пустота, даже в архитектуре, уже не кажется столь абсурдной. Произвольно выбрав это слово в качестве оценочной категории, можно предположить, как минимум, четыре аспекта, или семантических уровня, понятия архитектурной пустоты:

- идеологический (философский);
- эстетический;
- формально-пространственный;
- конструктивно-функциональный.

В свете идеологического аспекта можно рассуждать о том, что при помощи пустых пространств создаётся некая атмосфера отрешённости от мира. Здесь играет роль не только сама пустота, но ещё и правильное проектирование пространства. Правильное настолько, чтобы создать некоторое особое ощущение от нахождения в пределах определённого архитектурного объекта или архитектурного ансамбля. Это может достигаться за счёт использования различных композиционных приёмов в облике объектов, создания каких-то пустых площадей, внутренних дворов либо же правильного оперирования материалами, габаритами, объёмами и соотношением измерений. Здесь играет роль и эстетический аспект. Можно предположить, что использование золотого сечения является одним из возможных канонических вариантов создания пустых пространств в соответствии с условиями создания пустоты как чего-то большего, нежели простого отсутствия. Пустого не только по соображениям какой-то идеи, но и из чувства эстетического удовлетворения.

Эстетический аспект пустоты в архитектуре обеспечивается чувством морального и визуального удовлетворения от нахождения в каком-то архитектурном объёме. Будь то небольшое замкнутое пространство или же наоборот: это может быть открытая площадь или небольшое помещение. Надо учесть то, что окружающая среда может как поддержать эту пространственную пустоту, так и разрушить её. Главное — это баланс визуальных и пространственно-композиционных средств. Например, использование ритма в ансамбле городской застройки вокруг пустой площади, а также использование звукоотражающих и зеркальных материалов в отделке внешних или внутренних объёмов. Всё то, что создаст атмосферу пустоты, но не тяжёлой и нависающей над зрителем, а ненавязчивой и в то же время достаточно ощутимой. Это позволит избежать негативных эмоций от нахождения в таких местах, но не лишит чувства завершенности и простоты всего ансамбля или помещения.

С конструктивной и пространственной точки зрения пустоты в архитектуре могут играть совершенно различные функции. Такой функцией может стать простота функционального зонирования при создании пустых промежуточных

пространств, играющих роль разделительной полосы между различными зонами. Всевозможные арки, создающие пустые пространства в архитектурных объектах, их можно использовать как пустые связующие пространства, не лишённые своей эстетики как для восприятия изнутри, так и снаружи. Надо также не забывать о пустых пространствах, появляющихся в большепролётных зданиях при использовании металлоконструкций для их перекрытия. В таких случаях суть не в последующем заполнении этого пространства, а в его изначальной пустоте — как основе всего.

Довольно большую роль пустые пространства играют в мемориальных комплексах. Большие площади и отсутствие застройки более-менее высокой этажности и значимости в достаточно большом радиусе создаёт ощущение какой-то неестественной тишины и напряжения (либо наоборот спокойствия — это зависит от того, как автор объекта хочет воздействовать на зрителя). Пустые площади как будто бы дают место, чтобы мысли могли развернуться, чтобы вышло определённое впечатление без воздействия окружающих зданий, взгляд спокойно уделял внимание лишь доминантам, а общее впечатление не оставалось однозначным.

Пустота в архитектуре не есть одностороннее суждение. Это скорее неоднозначность и нечто более глубокое, чем простая организация пространств: это и поиск ответов на какие-то вопросы, появлению которых способствуют применённые средства; размышление о чём-то извечном, на которое подталкивают особые архитектурные решения, или же это могут быть просто функционально полезные пустые пространства, создание которых позволит не просто чётко разграничить архитектурные ансамбли, но и организовать нечто большее, чем зона прогулок или отдыха.

Эстетика «пустого пространства» свойственна буддийской культуре Японии. В буддизме пустота является важным понятием и не имеет негативного смысла. Пустота представляется безграничной, но не вакуумом (пустотой в европейском смысле слова), а абсолютной сущностью, неизменной и тождественной самой себе. В традиционной китайской и японской живописи тушью отдельные участки бумаги или шелка остаются нетронутыми, создавая «пустоту». Такие «паузы» согласно эстетике саби («скрытая красота») имеют мировоззренческий смысл, они соединяют изображения материальных предметов в ясно ощущаемую целостность. В архитектуре аналогичный прием вызывает впечатление спокойствия, сосредоточенности и важности происходящего, к примеру, в пространстве японского дома. Формально это достигается симметрией парных предметов и свободного пространства между ними, которое воспринимается, несмотря на «пустоту», центром композиции.

Понятие «промежутка» или промежуточной «серой зоны» в японской архитектуре можно сопоставить с европейским понятием интервала. Любимая японцами промежуточная зона воплощена в традиционной архитектуре в виде галереи (энгава), которая создает переход от интерьера к экстерьеру, от внутреннего пространства дома к природе. Промежуточная зона отличается затенённостью. Тень является обязательным наполнением традиционного дома и основной качественной характеристикой галереи энгава. В ней не должно быть мебели, поскольку она представляет собой пространство, окружающее жилые помещения тенью. Главная смысловая нагрузка в данном случае делается именно на пустом теневом пространстве. «Вне действия, производимого тенью, нет красоты: она исчезает подобно тому, как исчезают при днев-

ном свете силуэты деревьев со стен комнаты». Категории традиционной японской эстетики: «пустота», «промежуток», «тень» сохраняют важное формообразующее значение и в современной японской архитектуре, они хорошо сочетаются с модернистским принципом минимализма. Многие проекты и постройки японских архитекторов своей лаконичностью заставляют вспомнить «квадраты» Малевича.



**Рисунок 12– Банк в Фукуока (Япония)**

В здании банка в Фукуока (1976) промежуточное пространство образуется выносом крыши над одним из боковых фасадов. Архитектор рассматривает получившуюся "серую зону" как соответствующую тем же функциям, которые брала на себя энгава традиционного дома. Как в прохладной тени энгава можно пообщаться с гостями, так и в сером пространстве банка в Фукуока создана атмосфера, удобная для общения людей. Это подтверждает преимущество функционального назначения "серой зоны" по отношению к галерее, опоясывающей традиционный дом.

Не только функциональное соответствие, но и содержательные характеристики связывают энгава традиционного дома и "серую зону" банка. Как энгава помогает избежать воздействий внешнего мира и замкнутости жилого помеще-

ния, так и "серая зона", созданная Курокава, позволяет посетителям "уйти" от беспорядка шумной улицы и сухости деловой атмосферы банка.

В архитектуре запоздалого модернизма 1970–1980-х годов проектировщики, следуя постулатам новейшей эстетики, а иногда и моде, стремились к органичным «пустотным» решениям. Так, например, Большая арка района Дефанс в Париже (1983–1989) с одной стороны выглядит «кубистической рамой» для окружающих ее модернистских зданий, а с другой – открывает перспективу на две традиционные арки, расположенные с ней на одной пространственной оси: Арку Карузель (1806–1808) и арку на Площади звезды (Шарля де Голля; 1806–1836). Это не видно со стороны Дефанс из-за небольшого просчета в проекте. Но в противоположном направлении, от Лувра, в хорошую погоду мы это увидим. Однако главное состоит не в видимости или ее отсутствии, а в осознании самого факта. Остроумие замысла заключается в том, что пространственная связь лишь усиливает различия. Если в традиционной композиции триумфальной арки, построенной наподобие древнеримской, несмотря на проемы, важнее собственно архитектура, то в арке Дефанс существенна пустота, а не обрамление.



**Рисунок 13 – Арка района Дефанс в Париже (Франция)**

В постмодернистской архитектуре конца XX – начала XXI века идеология пустоты претворяется в композиционные решения, которые, на первый взгляд, кажутся абсурдными. Но при дальнейшем рассмотрении они выявляют тесную связь внешнего и внутреннего, то есть формы и функционально-конструктивных особенностей здания. Внешнее пространство как бы проникает внутрь, но остается огражденным, что и создает парадоксальный зрительный эффект. Так, в проекте торгово-офисного комплекса «The Opus» (Дубай, ОАЭ, 2007–2015) «пустое пространство» внутри здания, облицованное гнутым стеклом выглядит «дырой», но именно оно обеспечивает максимальную освещенность внутренних помещений. В целом же здание производит впечатление формального опуса – абстрактной скульптуры, наподобие тех, которые десятилетиями ранее создавал английский скульптор Генри Мур.



**Рисунок 14 – Торгово-офисный комплекс «The Opus», Дубай (ОАЭ)**

Весьма необычно жилое многоквартирное здание «Мирадор» близ Мадрида (2005). Дом высотой 63 метра (21 этаж) выделяется среди большого количества стандартных многоэтажек центральным отверстием на высоте около 37 метров от земли, являющимся своего рода огромным балконом, на котором имеется сад. С него открывается вид на окружающий пейзаж. Жилой дом разделен на 9 блоков, каждый из которых выделен собственным цветом. Квартиры разных блоков различаются планировкой и отделкой.

Термин «фрактальность среды» использовал известный американский изобретатель и архитектор Ричард Бакминстер Фуллер (1895–1983). С 1947 г. Фуллер разрабатывал концепцию «геодезических куполов». В 1959 г. для Американской национальной выставки в Москве им был построен «золотой купол» – прозрачная полусфера, собранная из ажурных тетраэдров. В 1967 г. – такой же



**Рисунок 15 – Сфера Фуллера**

купол в качестве павильона США на Всемирной выставке в Монреале.

Абстрактное понятие «пустоты» в проектах Фуллера обретает антропологический и даже космический смысл. Свой самый фантастический проект Фуллер назвал «Девятое небо» (Cloud nine). Изобретатель предположил, что города будущего можно создавать в виде гигантских сфер. По мере увеличения размера, объем внутреннего сферического пространства («пустоты») растет прогрессивнее конструкции, заключающей это пространство. Теоретически это позволяет строить сферы неограниченных размеров. Фуллер подсчитал, что масса сферической оболочки диаметром в милю будет ничтожна в

сравнении с массой заключенного в ней воздуха. Поэтому если нагреть воздух внутри такой сферы всего на один градус, то сферический город сможет летать. «Девятые небеса» могли бы свободно парить в зависимости от изменения климатических условий окружающей среды. В фантазиях Фуллера традиционная архитектурная форма замещается «неформой», или «антиформой», – миражной поверхностью, отрицающей основополагающую для искусства архитектуры идею тектоничности. Идеи Фуллера ассоциируются с фантазиями русских «космистов», «планетарностью» проектов 1920-х годов российско-го конструктивиста И. И. Леонидова и летающими городами «бумажных архитекторов» 1970–1980-х годов.

В приведенных примерах архитектурная пустота не является пустотой в обыденном или функционально-конструктивном смысле. Она обретает собственную эстетику, а включенная в широкий пространственный и исторический контекст, способна создавать художественно-образное целое.

#### **Список цитированных источников**

1. Власова, В.Г. Эстетика пустоты в новейшей архитектуре и дизайне (философский аспект) / «Архитектон: известия вузов» № 52 Декабрь 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://archvuz.ru/2015\\_4/1](http://archvuz.ru/2015_4/1) Дата доступа: 09.03.2016
2. Корнев, С. Столкновение пустот: может ли постмодернизм быть русским и классическим? / С. Корнев // Новое Литературное Обозрение. – 1997. – № 28. – С. 244-259.
3. Коновалова, Н.А. «Триада»: пустота – промежуток – тень в современной архитектуре Японии / Н.А. Коновалова // Япония. Ежегодник. – 2006. – № 35. – С. 106-110.

УДК 378.14(07)

**Новик Т.В.**

**Научный руководитель: зав. кафедрой НГиИГ Винник Н.С.**

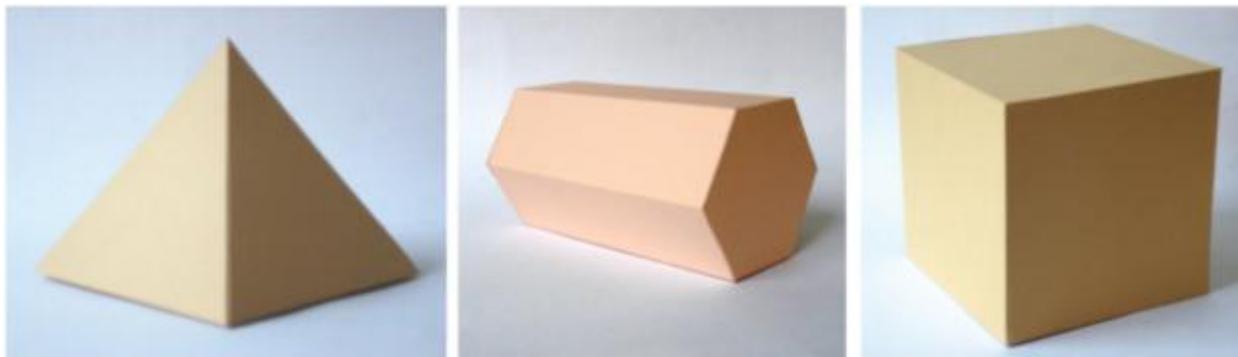
### **РОЛЬ МАКЕТИРОВАНИЯ И БУМАЖНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ**

Пространственное мышление является существенным компонентом в подготовке к практической деятельности в техническом вузе. Практика обучения на первых курсах вуза такой дисциплины как начертательная геометрия постоянно обнаруживает слабое развитие пространственного мышления студентов. Студенты часто не справляются с задачами как теоретического, так и практического характера, в связи с отсутствием специфического вида мыслительной деятельности, а именно пространственного мышления [1].

В процессе обучения начертательной геометрии, помимо 2D-чертежей, необходимо широко пользоваться наглядными учебными пособиями: плакатами, моделями, деталями, различными изделиями и т. д.

Существенную помощь в изучении пространственных форм оказывает макетирование. Роль макетирования в творческой деятельности архитектора имеет большое значение, оказывающее влияние на его профессиональные навыки, умение мыслить комплексно, правильно оценивать объем и форму. **Макетирование** – это творческий процесс, позволяющий визуально оценить объемно-пространственную композицию будущего архитектурного объема, его пропорции и конструктивные особенности. **Макет** - это инструмент, который обладает наглядностью и помогает развить объемно-пространственное представление, один из проверенных способов передачи информации, наиболее зримое средство выражение мысли. В **учебном макете** студентом прежде всего посредством объема производится организация пространства в трех измерениях.

Преподавание макетирования основывается на поэтапном движении от простых 3D-фигур к сложным объемным композициям. Начиная первые шаги в макетировании, студенты знакомятся с элементарными телами: куб, пирамида, шар (рис.1).

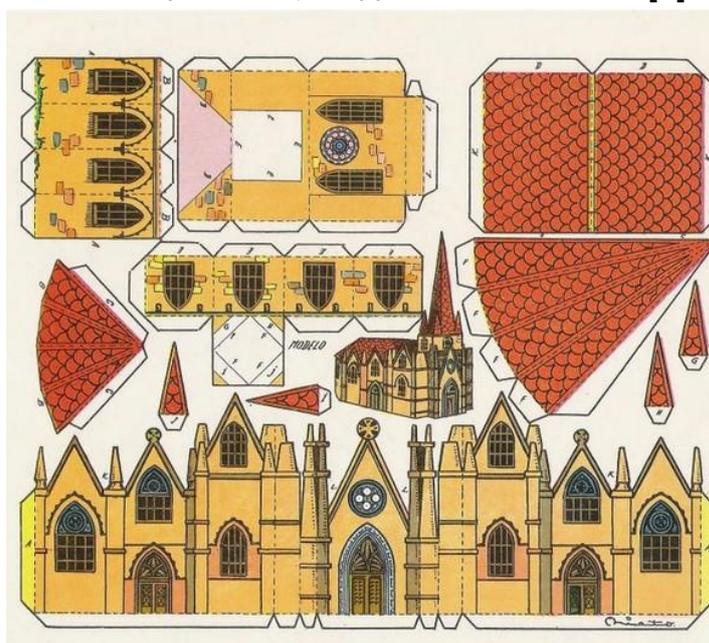


**Рисунок 1**

Если рассматривать архитектуру с точки зрения объемов, то можно сделать вывод, что большинство архитектурных сооружений состоят из простых геометрических форм, которые использовались в глубокой древности, используются в настоящем и будут использоваться во все века — например, пирамиды в Египте и Мексике. Пирамида нового вестибюля Лувра в Париже и здание Мавзолея в Москве. Эмоциональное воздействие на зрителя достигается путем изменением размеров, пропорций, масштаба, массы, материала, фактуры, цвета.

Макеты, выполненные аккуратно, производят сильное впечатление на зрителя. Хороший демонстрационный макет может получиться только при наличии чертежей всех его деталей и элементов.

При изготовлении сложных объемных форм при макетировании проявляется необходимость стадий создания развертки формы, геометрического тела. Для этого необходимо вычертить его развертку на бумаге или картоне (рис. 2). Разверткой поверхности геометрического тела является плоская фигура, которая получается в результате совмещения всех граней или всех поверхностей, ограничивающих тело, с одной плоскостью [2].



**Рисунок 2**

Сложные объемно-пространственные композиции состоят, как правило, из простых линейных, плоскостных или объемных элементов.

Все объемные тела можно разделить на четыре группы [2]:

1. Тела, образованные плоскостями, имеющими перпендикулярные ребра (кубы, прямые призмы);
2. Тела, образованные наклонными плоскостями (пирамиды, наклонные призмы и др.);
3. Тела вращения и формы, образованные криволинейными поверхностями (сфера, конус, цилиндр и др.);
4. Сложные стереометрические фигуры, имеющие прямолинейные и криволинейные поверхности.

К сложным телам вращения можно отнести объемы, имитирующие различные архитектурные формы: луковицы (рис.3), балясины, вазы, параболоиды, эллипсоиды и т. д.



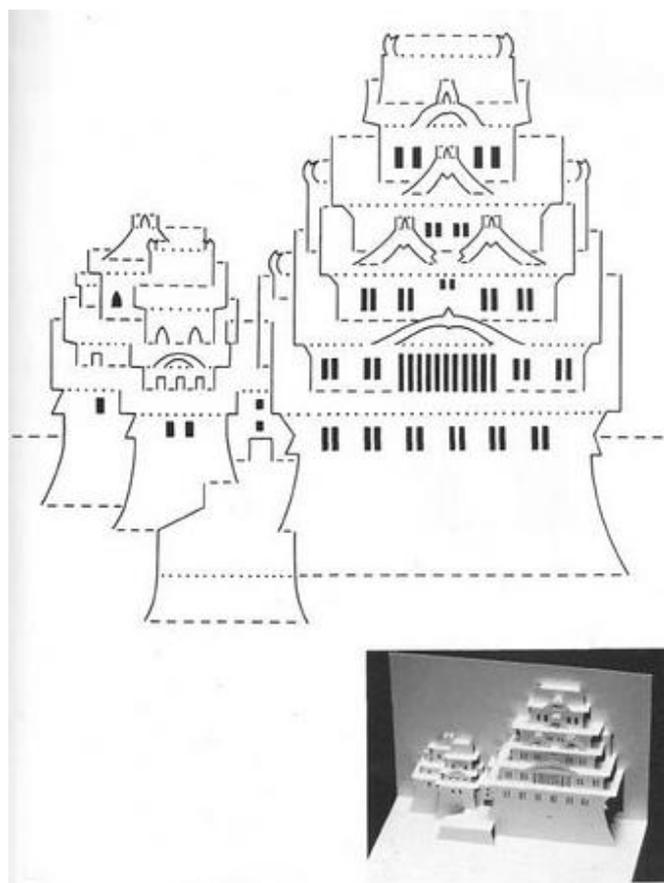
**Рисунок 3**

В моделировании таких объемов требуется знание построения сопряжений. Сопряжением называется плавный переход от прямой линии к дуге окружности и от дуги одной окружности к дуге другой окружности. Закономерности построения сопряжения и создания разверток изучается в курсе черчения и начертательной геометрии.

Одним из способов работы с бумагой и создания макетов является бумажная архитектуры или киригами (pop-up-техника). В этой технике создаются настоящие произведения искусства. Такой прием макетирования широко используется при разработке дробления поверхности в заданиях по композиции и проектированию. Макетирование в технике киригами имеет ряд преимуществ – модель получается не только объемная, но еще и воздушная, и в таком исполнении детали просматриваются намного лучше.

Киригами (бумажная архитектура) – это искусство создания бумажных моделей из одного листа бумаги, который надрезается и складывается самым разнообразным способом. Название искусства полностью отвечает его сущности, ведь с японского языка слово «киру» переводиться, как «резать», а «ками» - «бумага», что в результате и означает – резать бумагу. При создании объемных моделей пользуются специальными схемами, на них сплошные линии необходимо разрезать с помощью ножниц или канцелярского ножа, а по пунктирным – выполнять сгибы (рис.4).

Йозеф Альберс, преподавая макетирование и композицию на вводных курсах Баусауза, к технологической стороне предъявлял строгие формальные ограничения. Например, при раскрое бумаги исключить отходы. Альберс считал, что такие упражнения являются отличной тренировкой в развитии пространственного и конструктивного мышления.



**Рисунок 4**

При помощи начертательной геометрии, анализа упражнений с формой, развивается первоначальное пространственное представление. От умения обобщенно мыслить, от владения мастерством проекционного черчения зависит качество изготовления частей модели. Начертательная геометрия формирует умение выражать мысли и образы посредством чертежей и схем. Для творчества необходимо знания законов, связывающих пространственную форму и ее плоское изображение. Этим обусловлена большая роль начертательной геометрии в формировании будущего специалиста - дисциплина является теоретической базой для последующих общепрофессиональных и специальных дисциплин, в частности макетирования.

#### **Список цитированных источников**

1. Русинова, Л.П. Пространственное мышление студентов при изучении начертательной геометрии // Молодой ученый. — 2010. — №11. Т.2. — С. 144-148.
2. Винокурова, Л.М. Поверхности / Л.М. Винокурова, А.Д. Припадчев. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 65 с.

## Содержание

### ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Агеевец Н.А. Олешко В.В.*

*Научный руководитель: м.т.н., старший преподаватель Янчилин П.Ф.*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ОПТИМАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КОНДИЦИОНЕРА..... 4**

*Луковец А.О.*

*Научный руководитель к.т.н., доцент Шпендик Н.Н.*

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА  
ТКАНЕЙ ИЗ КРАПИВЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ..... 9**

*Матюх К.О.*

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры НГиИГ Матюх С.А.*

**ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ..... 12**

*Поворотная Ю.С.*

*Научный руководитель: к.т.н. Волчек Ан.А.*

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ БЕЛАРУСИ И ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ..... 16**

*Сковбель Т.С., Войтеховская К.Н.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, профессор Житенев Б.Н., доцент Андрюк С.В.*

**МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БРЕСТСКОГО  
РЕГИОНА НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ..... 20**

*Сук Е.В.*

*Научный руководитель: профессор Житенёв Б.Н.*

**ФУЛЬВАТЫ И ГУМАТЫ ЖЕЛЕЗА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ,  
МЕТОДЫ ИХ УДАЛЕНИЯ..... 24**

*Супрунюк В.А.*

*Научный руководитель: старший преподаватель Концевич П.С.*

**СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АВТОТРАНСПОРТА  
НА ЭКОЛОГИЮ ГОРОДА БРЕСТА..... 27**

*Цеван А.В., Антонович А.А.*

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры НГи ИГ Шевчук Т.В.*

**ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЁРТОК СЛОЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВОЗДУХОВОДОВ..... 32**

*Шпока Д.А.*

*Научный руководитель: д.г.н., профессор Волчек А.А.*

**ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
МЕТЕЛЕЙ И СИЛЬНОГО СНЕГОПАДА ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ..... 35**

*Яковец А.А., Климук Д.С.*

*Научный руководитель: к.г.н., доцент Шпендик Н.Н.*

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОТКРЫТЫХ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ  
ВЫСОКОЙ ПОПУЛЯЦИИ БОБРОВ ..... 39**

### ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Антоник И.А.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Хведчук В.И.*

**ПОДХОД К СОБЫТИЙНОМУ ОПИСАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ ..... 45**

<b>Борисюк И.Г., Минько Н.А.</b> <i>Научный руководитель: зав. кафедрой Парфомук С.И.</i> <b>АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННЫХ И ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ</b> .....	48
<b>Голодко А.А., Кондрашук И.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.</i> <b>АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ГОРОДЕ</b> .....	51
<b>Донготаров И.А.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.</i> <b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ. ПРОЕКТ "ИНФОБУС"</b> .....	53
<b>Забродский К.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.</i> <b>СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОМОЩИ НА ДОРОГАХ</b> .....	56
<b>Маркина А.А.</b> <i>Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент</i> <b>ТЕСТИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ОФИСНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ</b> .....	58
<b>Маркина А.А.</b> <i>Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент</i> <b>МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ</b> .....	61
<b>Меньших Т.Ю.</b> <i>Научный руководитель: Дереченник С.С., к.т.н., доцент</i> <b>ПОЛУЧЕНИЕ НОРМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ МАТЛАВ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕОРЕМЫ</b> .....	65
<b>Меньших Т.Ю.</b> <i>Научный руководитель: Дереченник С.С., к.т.н., доцент</i> <b>РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ МАТЛАВ МЕТОДА БОКСА-МЮЛЛЕРА ПОЛУЧЕНИЯ НОРМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ</b> .....	68
<b>Мисюк М.А., Онищук К.В.</b> <i>Научные руководители: к.т.н., доцент Махнист Л.П., к.ф.-м.н., доцент Каримова Т.И.</i> <b>О НЕКОТОРЫХ МОМЕНТАХ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ</b> .....	72
<b>Михно Е.В.</b> <i>Научный руководитель: профессор, д.т.н. Головки В.А.</i> <b>ПРОСТАЯ СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ТОЧНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР</b> .....	77
<b>Наливкин Д.В.</b> <i>Научный руководитель: Глущенко Т.А.</i> <b>ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ НА ГРАФАХ С ПОМОЩЬЮ 2-3 КУЧ</b> .....	81
<b>Никитин С.А.</b> <i>Научный руководитель: доцент Ворсин Н.Н.</i> <b>ГЕНЕРАТОР АРКАДЬЕВА-МАРКСА С НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ ВОЗДУШНЫМИ РАЗРЯДНИКАМИ</b> .....	86
<b>Павлючик А.В.</b> <i>Научный руководитель: старший преподаватель Омесь Д.В.</i> <b>ПОЛЕТ 3D</b> .....	90

**Праневич А.Ф.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент Шуть В.Н.*  
ИЗУЧЕНИЕ ТЕМЫ «РЕФЛЕКСИЯ»..... 93

**Харук Н.В., Радионов А.А.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Н. Шуть*  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НАЗЕМНЫЙ АНАЛОГ МЕТРО..... 95

#### ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

**Карпишук Е.Л.**  
*Научные руководители: Парфиевич А.Н., Сокол В.А.*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ АКУСТИЧЕСКОЙ  
ДИАГНОСТИКЕ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ СОСТОЯНИЯ МНОГОВАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ И ПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ..... 100

**Кухарук Е.С., Титовец Р.А.**  
*Научный руководитель: старший преподаватель Ляшук Н.У.*  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ  
СУБПРОДУКТОВ. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ..... 103

**Кухарук Е.С., Титовец Р.А.**  
*Научный руководитель: старший преподаватель Ляшук Н.У.*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ С/П РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ..... 108

**Марченя Д.Н.**  
*Научный руководитель: старший преподаватель Добрияник Ю.А.*  
ИССЛЕДОВАНИЕ И НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ УЗЛА  
ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИБОЧНОГО СТАНКА..... 113

**Никонов М.Н.**  
*Научный руководитель: доцент Прокопеня О.Н.*  
УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ  
ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ШТАБЕЛИРОВАННЫХ ГРУЗОВ..... 118

**Олехник М.А.**  
*Научный руководитель: доцент Медведев О.А.*  
ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ..... 121

**Сотников А.Е., Рудский Р.А.**  
*Научный руководитель: старший преподаватель Морозова В.А.*  
3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ  
В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ SOLIDWORKS ..... 126

**Хведынич А.И.**  
*Научный руководитель: доцент Прокопеня О.Н.*  
УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO ..... 130

#### ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

**Баканович В.Е.**  
*Научный руководитель: Мартысюк Н.А.*  
ГЕОПЛАСТИКА КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ..... 134

**Беломесова К.Ю.**  
*Научный руководитель: д.т.н., профессор Тур В.В.*  
ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ, АРМИРОВАННЫЕ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ..... 136

<i>Василюк А.А., Станчук В.В.</i> <i>Научные руководители к.т.н., доцент Кузьмич П.М., доцент Срывкина Л.Г.,</i> <b>АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЛОЖЕНИЯ «ОСТОРД»</b> .....	141
<i>Воробей А.П.</i> <i>Научный руководитель: доцент Срывкина Л.Г.</i> <b>МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ</b> .....	148
<i>Горбат Я.В., Лизогуб А.А.</i> <i>Научный руководитель: к.т.н. Тур А.В.</i> <b>РАСЧЕТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ И ПРОВЕРКА ЖИВУЧЕСТИ РАМ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА УПРОЩЕННЫМ МЕТОДОМ</b> .....	152
<i>Иванович В.Е., Алипова Д.А.</i> <i>Научные руководители: старший преподаватель Демина Г.П.</i> <i>старший преподаватель Клебанюк Д.Н.</i> <b>ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ</b> .....	158
<i>Карпучик А.Н., Гутников В.С.</i> <i>Научные руководители: доцент Кофанов В.А., доцент Ракецкий В.М.</i> <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЕГО ПОРИСТОСТИ И ИЗВИЛИСТОСТИ КАПИЛЛЯРОВ</b> .....	162
<i>Лещенко Е.А.</i> <i>Научный руководитель: Мартысюк Н.А.</i> <b>ПОНЯТИЕ О ГЕОПЛАСТИКЕ, ЕЕ ЗАДАЧАХ И МЕТОДАХ</b> .....	166
<i>Люкевич Е.В</i> <i>Научный руководитель: доцент кафедры строительных конструкций,</i> <i>к.т.н., доцент Шурин А.Б</i> <b>ОЦЕНКА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДИАФРАГМ РАЗЛИЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ</b> .....	168
<i>Матяс П.И.</i> <i>Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.</i> <b>УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В MATHCAD В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ</b> .....	172
<i>Матяс П.И.</i> <i>Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.</i> <b>ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ</b> .....	175
<i>Миرونчук В.С., Юркевич И.В.</i> <i>Научный руководитель: старший преподаватель Полюхович А.А.,</i> <i>старший преподаватель Ковенько Ю.Г.</i> <b>АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В УЗЛАХ КАРКАСНЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ СЕРИИ Б1.020.1-7</b> .....	179
<i>Осопрелко А.Г.,Осопрелко Р.М.</i> <i>Научный руководитель – Кисель Е.И., к.т.н., доцент</i> <b>НАДЕЖНОСТЬ ПОДГОТОВКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА</b> .....	184

<b>Петран П.И.</b> <i>Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.</i> О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕГМЕНТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОД .....	187
<b>Шипук В.М., Разуванова Т.С.</b> <i>Научный руководитель: старший преподаватель Рамская Л.К.</i> ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ .....	192
<b>Сковбель Т.С., Мелконян Н.М..</b> <i>Научный руководитель: доцент Белоглазова О.П.</i> РЕФОРМИРОВАНИЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА .....	195
<b>Скрипель М.П., Головчук А.Н.</b> <i>Научный руководитель: доцент Левчук Н.В.</i> НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФАТОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ .....	199
<b>Томашев И.Г.</b> <i>Научный руководитель: доцент Юськович Г.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РУБАШЕК ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ .....	202
<b>Тур А.В.</b> <i>Научный руководитель: зав. кафедрой, к.т.н., доцент Э.А. Тур</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКРИЛОВОГО И СИЛИКОНОВОГО ПЛЁНКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУР ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЭКОЛОГИЧНЫХ ФАСАДНЫХ КРАСОК .....	208
<b>У ЧжиБинь магистрант</b> <i>Научные руководители: Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	212
<b>Цеван А.В.</b> <i>Научный руководитель: доцент Яловая Н.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ. «СИНДРОМ НЕЗДОРОВОГО ЗДАНИЯ» .....	220
<b>Чугунова С.В., Рацкевич Ю.Д.</b> <i>Научный руководитель: профессор Захаркевич И.Ф.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОД 1 .....	223
<b>Шафранов А.А., Фэн Божань</b> <i>Научный руководитель: к.э.н., доцент Кочурко А.Н.</i> ОЦЕНКА ФАКТОРОВ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ Г. БРЕСТА .....	226
<b>Юркевич И.В., Мирончук В.С.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Шалобыта Т.П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НЕСЪМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ЦСП И МОНОЛИТНОГО БЕТОНА .....	229
<b>М.А. Аутко, Е.В. Денисюк</b> <i>Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент кафедры Синякина Н.В.</i> ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ И ПЕРЕКРЕСТКОВ .....	234
<b>Божко А.А.</b> <i>Научный руководитель: Игнатюк В.И.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ФИЛОСОФСКИХ КАТЕГОРИЯХ .....	238

<b>Божко А.А.</b> <i>Научный руководитель: Игнатюк В.И.</i> <b>ЗАКОН ОТРИЦАНИЯ ОТРИЦАНИЯ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ</b> .....	242
<b>Божко А.А.</b> <i>Научный руководитель: Игнатюк В.И.</i> <b>ЗАКОН ВЗАИМНОГО ПЕРЕХОДА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ</b> .....	247
<b>Бондарчук О.А.</b> <i>Научный руководитель: Мартысюк Н.А.</i> <b>ВОДНО-ЗЕЛЁНЫЙ ДИАМЕТР ГОРОДА БРЕСТА</b> .....	251
<b>Бурова Е.В., Савчук Н.А.</b> <i>Научный руководитель: Коняев П.Н.</i> <b>СВЯТОКРЕСТОВОЗДВИЖЕНСКАЯ ЦЕРКОВЬ В Д. ВИСТЫЧИ</b> .....	254
<b>Козлович Ю.Н.</b> <i>Научный руководитель: Фоменкова С.Ф.</i> <b>МАЛЫЕ И СРЕДНИЕ ГОРОДА БРЕСТЧИНЫ ДО И ПОСЛЕ «ДОЖИНОК»</b> .....	256
<b>Мулявко П.Ю.</b> <i>Научный руководитель: Кароза А.И.</i> <b>ЭСТЕТИКА ПУСТОТЫ В АРХИТЕКТУРЕ</b> .....	259
<b>Новик Т.В.</b> <i>Научный руководитель: зав. кафедрой НГиИГ Винник Н.С.</i> <b>РОЛЬ МАКЕТИРОВАНИЯ И БУМАЖНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ</b> .....	264

Научное издание

# СБОРНИК КОНКУРСНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

## Часть I

Ответственный за выпуск: **Рубанов В.С.**

Редактор: **Боровикова Е.А.**

Компьютерная вёрстка: **Соколюк А.П.**

Корректор: **Никитчик Е.В.**

ISBN 978-985-493-374-0



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

Подписано к печати 07.07.2016 г.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».

Усл. п. л. 15,92. Уч.-изд. л. 17,12.

Тираж 45 экз. Заказ № 617.

Отпечатано на ризографе Учреждения  
образования «Брестский государственный  
технический университет»

224017, Брест, ул. Московская, 267.



