

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА «ОСНОВАНИЙ, ФУНДАМЕНТОВ,**  
**ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОДЕЗИИ»**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям по дисциплине  
«Основы проектирования, технология и организации  
строительства аэродромов» для студентов специальности  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Брест 2007

**Рецензент:** Начальник отдела содержания автомобильных дорог и безопасности движения ГП «Бреставтодор»  
**О.Р. Чумичев**

В методических указаниях изложены методы и нормы проектирования генерального плана аэродромов, рельефа грунтовых летных полос и искусственных покрытий, водоотвода и осушения территории летного поля. Рассмотрены конструкции монолитных и сборных искусственных покрытий, а также современные методы расчета жестких покрытий по методу предельных состояний.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», а также могут быть полезны инженерам и техникам, занятым проектированием и строительством аэродромов.

Ил. 41, табл. 41, библиогр. 14 назв.

**Авторы-составители:** доцент, к.т.н. В.В. Лукша  
профессор, к.т.н. П.В. Шведовский  
к.т.н. О.Л. Образцов  
ассистент Н.В. Чумичева

## Практическая работа № 1

**Тема:** Основные элементы аэродромов и их назначение

**Цель работы:** 1. Изучить основные элементы аэродрома и их назначение.  
2. Изучить классификацию аэродромов в составе аэропортов.  
3. Начертить схемы одно- и двухполосного аэродромов.

### Общие сведения

Аэропорт представляет собой авиатранспортное предприятие, осуществляющее регулярные прием и отправку пассажиров, багажа, грузов и почты, организацию и обслуживание полетов воздушных судов. Крупнейшие аэропорты мира принимают и обслуживают до 40 млн. пассажиров в год, обеспечивая при этом свыше 660 000 взлетов и посадок самолетов. Ежедневно выполняется примерно 1800 взлетов и посадок самолетов, которые перевозят около 100 000 пассажиров. Число сотрудников аэропорта может превышать 30 000 чел.

**Аэропорт** можно подразделить на аэродром, служебно-техническую территорию, обособленные сооружения и примыкающую к аэродрому приаэродромную территорию (рис. 1.1).

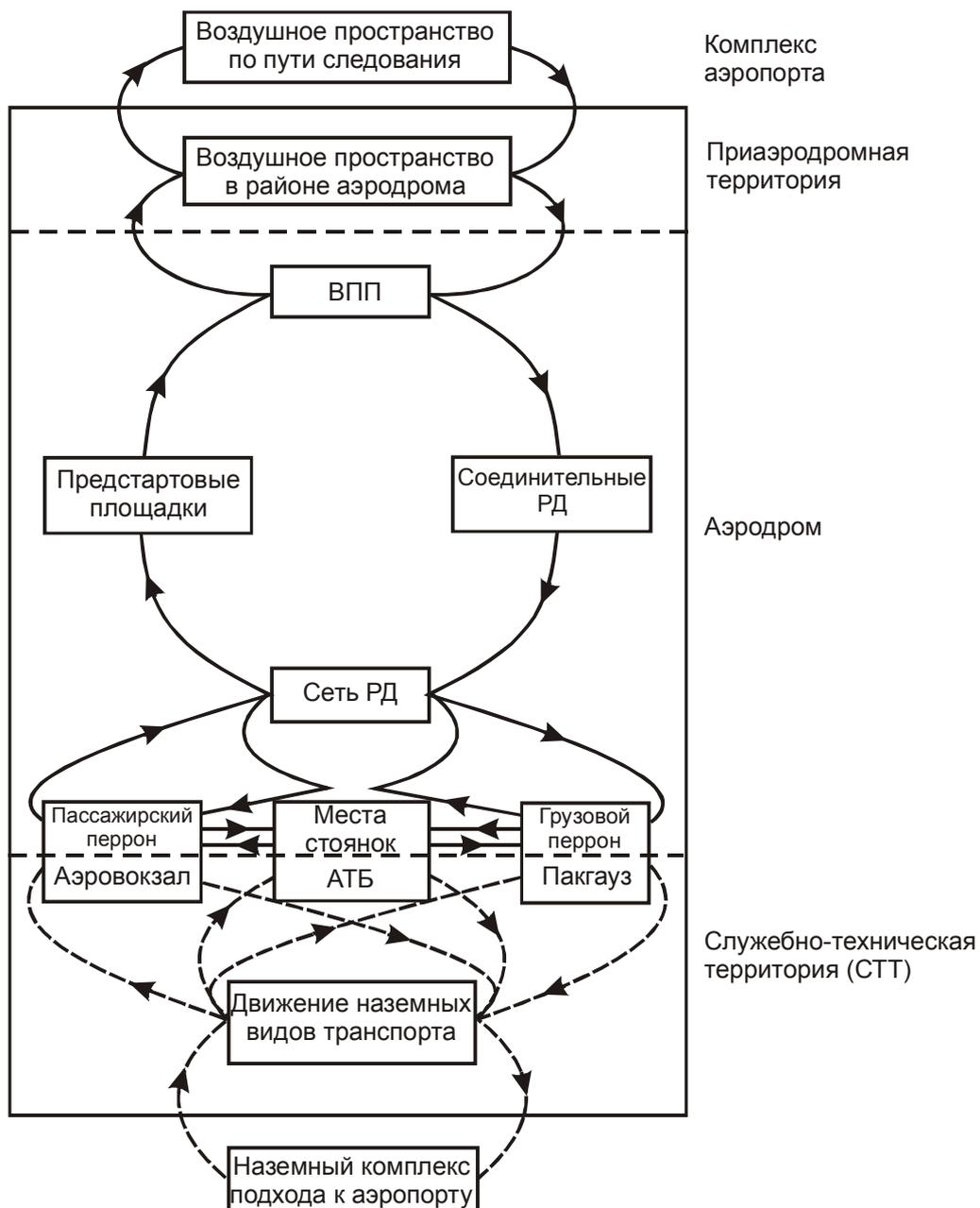


Рис. 1.1. Комплекс аэропорта

**Аэродром** – главная составная часть аэропорта. В современном понимании аэродром представляет собой специально подготовленный земельный участок, имеющий комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий взлеты, посадки, руление, хранение и обслуживание воздушных судов.

Аэродром имеет одну или несколько летных полос (ЛП), рулежные дорожки (РД), перрон, места стоянки (МС) и площадки специального назначения (рис. 1.2).

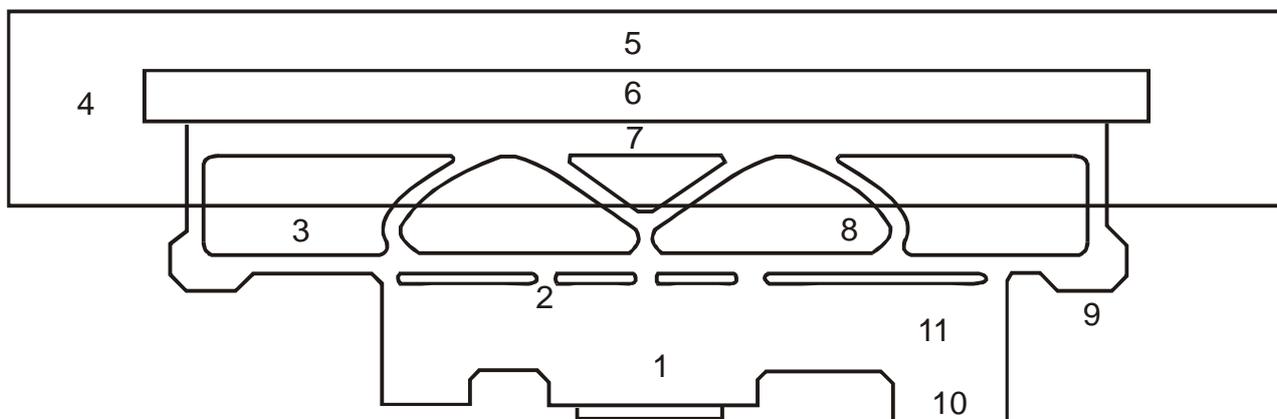


Рис. 1.2. Основные элементы аэродрома: 1 – перрон; 2 – вспомогательные РД; 3 – магистральная РД; 4 – концевые полосы безопасности (КПБ); 5 – боковые полосы безопасности (БПБ); 6 – грунтовая взлетно-посадочная полоса (ГВПП); 7 – взлетно-посадочная полоса с искусственным покрытием (ИВПП); 8 – соединительные РД; 9 – предстартовые площадки; 10 – площадки специального назначения; 11 – места стоянок самолетов (МС)

Летная полоса предназначена для обеспечения взлетно-посадочных операций, выполняемых, как правило, в двух взаимно противоположных направлениях. В тех случаях, когда местные условия аэродрома не позволяют обеспечить взлет и посадку самолетов с двух направлений, допускается устройство летной полосы, обеспечивающей безопасное выполнение этих операций с одного направления, с возможностью ухода на второй круг. Летные полосы подразделяются на главные, имеющие наибольшую длину и, как правило, расположенные в направлении преобладающих ветров, и вспомогательные.

*Летные полосы должны обеспечивать:*

а) при взлете – выруливание самолета на место старта, разбег до скорости отрыва, отрыв от поверхности летной полосы, разгон в воздухе и частичный набор высоты;

б) при посадке – выдерживание самолета в воздухе, выполняемое на высоте 0,5-1,5 м над поверхностью летной полосы с постепенным гашением скорости; приземление, фиксирующее момент касания колесами земли; пробег, выполняемый для гашения скорости самолета от посадочной до безопасной скорости схода самолета с ВПП на соединительную РД; отруливание с ВПП.

Летная полоса включает взлетно-посадочную полосу (ВПП), концевые и боковые полосы безопасности (КПБ и БПБ).

Взлетно-посадочная полоса является частью летной полосы, специально подготовленной и оборудованной для взлета и посадки самолетов. ВПП может быть с искусственным покрытием (ИВПП) или грунтовой (ГВПП). ИВПП, как правило, имеют свето- и радиотехническое оборудование, обеспечивающее круглосуточное выполнение взлетно-посадочных операций, в том числе в условиях плохой видимости при установленном для данного аэродрома минимуме погоды. Искусственные покрытия обеспечивают круглогодичную работу авиации на аэродроме.

Высококласные аэродромы в большинстве случаев имеют ИВПП и ГВПП, причем ГВПП имеет длину несколько больше длины ИВПП. ГВПП совместно с ИВПП составляют рабочую площадь летной полосы. В стесненных условиях расположения аэродрома при наличии ИВПП допустимо устройство летной полосы без ГВПП.

Концевые полосы безопасности (КПБ) представляют собой спланированные участки летной полосы, расположенные у концов ее рабочей площади, предназначенные для случаев выкатывания и преждевременного приземления самолетов при посадке, а также выкатывания за пределы рабочей площади для погашения скорости в случае прерванного взлета.

**Боковые полосы безопасности (БПБ)** – это грунтовые участки летной полосы, расположенные вдоль ее рабочей площади и предназначенные для обеспечения безопасности движения по грунту в случае возможных выкатываний самолетов в сторону за пределы рабочей площади при разбеге и пробеге.

**Рулежные дорожки (РД)** представляют собой специально подготовленные и оборудованные пути, предназначенные для руления и буксировки самолетов. Рулежные дорожки соединяют между собой отдельные элементы аэродрома и подразделяются на магистральные, соединительные и вспомогательные.

**Магистральные РД (МРД)** располагаются, как правило, вдоль летной полосы, обеспечивая руление самолетов от перрона к концам ВПП при взлете и от ВПП к перрону после посадки самолетов.

**Соединительные РД** призваны обеспечить связь ВПП с магистральной РД в местах предполагаемого окончания пробега самолетов после посадки.

**Вспомогательные РД** предназначены для обеспечения связи МС, перрона и отдельных площадок специального назначения с магистральной РД.

**Перрон** представляет собой площадку перед аэровокзалом, как правило, с искусственным покрытием, предназначенную для размещения самолетов при их кратковременной стоянке, во время которой производятся посадка и высадка пассажиров, погрузка и разгрузка почты, багажа и грузов и техническое обслуживание самолетов.

**Места стоянок (МС)** представляют собой специально оборудованные площадки и предназначены для хранения и обслуживания приписных самолетов. Они могут быть групповыми и индивидуальными.

**Площадки специального назначения** – это площадки для стоянки и руления самолетов перед ангаром, для мойки и доводки самолетов, стоянки машин перронной механизации и некоторых других целей.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) использует буквенные обозначения от А до Е для классификации аэропортов. Буквы от А до Е используются соответственно длинам взлетно-посадочных полос в стандартных условиях (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Классификация аэропортов, принятая ИКАО

Класс аэропорта	Длина ВПП, м
А	2134 и выше
В	1524-2133
С	914-1523
Д	762-913
Е	610-761

**Аэродромы имеют независимую от аэропортов классификацию** (табл.1.2).

Таблица 1.2. Общая классификация аэродромов

Факторы, влияющие на классификацию аэродромов	Класс аэродромов
Длина главной ВПП с искусственным покрытием в стандартных условиях	в/к, I, II, III, IV
Категория нормативной нагрузки	в/к, I, II, III, IV, V, VI
Характер использования	Постоянные Временные Дневные Круглосуточного действия
Назначение	Трассовые Заводские Учебные Аэродромы применения авиации в народном хозяйстве
Расположение на трассах	Основные Запасные
Вид покрытий	Аэродромы с искусственными покрытиями Грунтовые

Согласно Постановлению Министерства обороны Республики Беларусь от 01.11.2004г. № 60 «О порядке допуска к эксплуатации аэродромов государственной авиации Республики Беларусь» аэродромы классифицируются в зависимости от длины взлетно-посадочной полосы (ВПП) в стандартных условиях в соответствии со значениями, приведенными в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Классификация аэродромов в зависимости от длины ВПП

Показатель	Класс аэродрома				
	в/к	I	II	III	IV
Минимальная длина ИВПП в стандартных условиях, м	> 2100	2100	1500	1000	< 1000

Тип и конструкцию покрытий аэродромов назначают с учетом класса аэродрома, его назначения и величины нормативной нагрузки по СНБ 3.03.03-97 «Аэродромы» (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Категории нормативной нагрузки на дорожные одежды ИВВП

Категория нормативной нагрузки	Величина нормативной нагрузки на опору, кН	Давление в пневматических шинах, МПа	Тип основной опоры
в/к	850	1,0	Четырехколесная
I	700	1,0	
II	550	1,0	
III	400	1,0	
IV	300	1,0	
V	80	0,6	Одноколесная
VI	50	0,4	

**Примечания.** 1. Расстояния между пневматическими шинами условной четырехколесной опоры приняты равными 70 и 130 см. 2. Заданием на проектирование нормативные нагрузки III и IV категорий могут устанавливаться одноколесными, равными соответственно 170 и 120 кН, а давление в пневматических шинах для V и VI категорий нагрузки равным 0,8 МПа. 3. Для покрытий отмоستков и укрепляемых участков, примыкающих к торцам ИВВП, нормативная нагрузка умножается на коэффициент 0,5.

Таким образом, **на летном поле располагаются** (рис. 1.3 и 1.4):

- одна или несколько летных полос (ЛП);
- места стоянок самолетов (МС);
- рулежные дорожки (РД);
- перроны и площадки специального назначения.

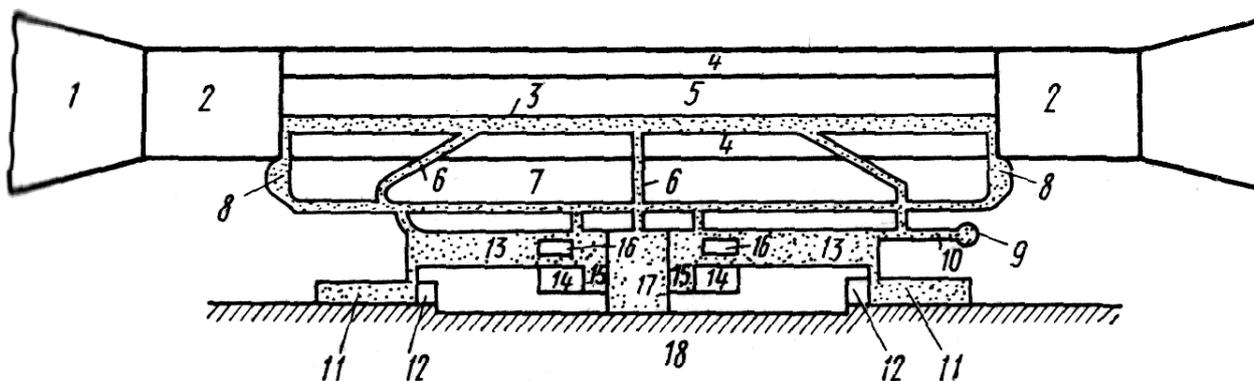


Рис. 1.3. План однополосного аэродрома: 1 – полоса воздушных подходов; 2 – концевая полоса безопасности; 3 – взлетно-посадочная полоса с искусственным покрытием; 4 – боковая полоса безопасности; 5 – грунтовая взлетно-посадочная полоса; 6 – соединительная рулежная дорожка; 7 – магистральная рулежная дорожка; 8 – предстартовая площадка; 9 – площадка девиационных работ; 10 – вспомогательная рулежная дорожка; 11 – предангарная площадка; 12 – моечная площадка; 13 – места стоянок самолетов; 14 – перрон грузовой; 15 – площадка для передвижного оборудования; 16 – заправочная площадка; 17 – перрон пассажирский; 18 – служебно-техническая территория

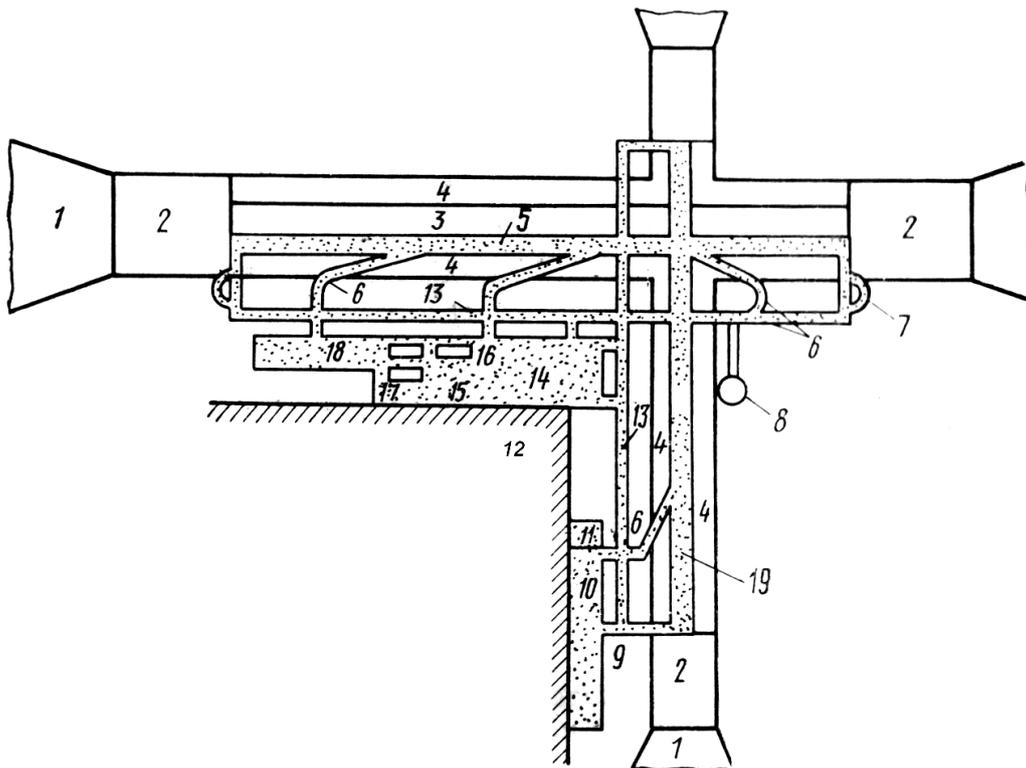


Рис. 1.4. План двухполосного аэродрома: 1 – полоса воздушных подходов; 2 – концевая полоса безопасности; 3 – грунтовая взлетно-посадочная полоса; 4 – боковая полоса безопасности; 5 – главная ВПП; 6 – соединительная рулежная дорожка; 7 – предстартовая площадка; 8 – площадка девиационных работ; 9 – вспомогательная рулежная дорожка; 10 – предангарная площадка; 11 – моечная площадка; 12 – служебно-техническая территория; 13 – магистральная рулежная дорожка; 14 – перрон пассажирский; 15 – площадка для передвижного оборудования; 16 – заправочная площадка; 17 – перрон грузовой; 18 – места стоянок; 19 – вспомогательная ВПП

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить и кратко законспектировать назначение элементов аэродрома.
3. Изучить и начертить таблицы классификации аэродромов.
4. Начертить планы одно- и двухполосного аэродрома.
5. Написать вывод по работе.

## Практическая работа № 2

**Тема:** Определение длин летных полос аэродрома

- Цель работы:**
1. Изучить факторы, влияющие на длину летных полос аэродрома.
  2. Определить длину полос для взлета и посадки воздушных судов в стандартных и расчетных условиях.
  3. Оценить влияние метеофакторов и условий эксплуатации на длину летной полосы.
  4. Изучить назначение тормозных площадок и установок.

### Общие сведения

При разработке проектов вновь строящихся аэродромов, а также проектов реконструкции существующих одним из главных вопросов является определение длины и ширины элементов летных полос (ВПП и полос безопасности) и приаэродромной территории, обеспечивающих безопасность взлета и посадки всех типов самолетов, эксплуатируемых на данном аэродроме.

**Длины летных полос зависят главным образом от:**

- летно-технических характеристик самолетов (величины тяги двигателей при посадке, аэродинамических качеств, удельной нагрузки на крыло и т. п.);
- метеоусловий (температуры и давления воздуха);
- условий эксплуатации (рельефа, типа покрытия ВПП и состояния его поверхности);
- вида взлетно-посадочной операции (взлет или посадка);
- степени оборудованности аэродрома для обеспечения безопасных взлетов и посадок в условиях плохой видимости.

Влияние на длину летных полос большинства из указанных факторов поддается количественной оценке, что позволяет рассчитывать необходимую длину ВПП теоретическим методом. **Теоретический метод расчета** (точнее прогнозирования) длины ВПП используется в процессе разработки новой модели самолета, однако точность расчета указанным методом не следует переоценивать из-за отсутствия или недостаточно точного учета влияния некоторых факторов.

Поэтому в практике проектирования аэродромов в настоящее время применяется так называемый **опытно-теоретический метод определения длины ВПП**. По этому методу длина ВПП определяется путем умножения некоторой стандартной длины ВПП, полученной в результате испытаний самолета в так называемых стандартных условиях, на ряд поправочных коэффициентов, учитывающих различие фактических (местных) условий от стандартных.

Значения **поправочных коэффициентов** рассчитывают по простым зависимостям, полученным теоретическим или опытным путем с учетом некоторых теоретических соображений.

Стандартные условия, принятые за эталон при определении размеров летных полос аэродромов гражданской авиации, включают физические характеристики воздуха, соответствующие так называемой стандартной атмосфере, и показателя поверхности ИВПП.

**Стандартная атмосфера**, принятая в Беларуси, совпадает со стандартной атмосферой, принятой Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), и имеет следующие характеристики:

- воздух является идеально сухим газом;
- физические константы воздуха – плотность на уровне моря  $\rho_0=1,23 \text{ кг/м}^3$ ;
- температура на уровне моря  $T_0=288,15^\circ\text{K}$ , или  $t_0=15^\circ\text{C}$ ;
- давление воздуха на уровне моря 760 мм рт. ст.; состояние воздуха спокойное – штиль; закон падения температуры по высоте (да высоты 11 000 м над уровнем моря)  $t_n = 15^\circ\text{C} - 0,0065H$ , где  $H$  – высота расположения аэродрома над уровнем моря, м.

**Показатели поверхности летной полосы:** продольный уклон летной полосы равен нулю, искусственное покрытие бетонное (бетонное, армобетонное, обычное или предварительно напряженное железобетонное покрытие), поверхность сухая. Эти показатели также соответствуют рекомендациям ИКАО.

Использование стандартных условий в качестве эталонных дает возможность оценивать пригодность аэродрома для приема зарубежных типов самолетов, для которых известны требуемые длины ИВПП в стандартных условиях, сопоставлять между собой требуемые длины взлетно-посадочных полос для различных типов самолетов, выбирать из числа заданных расчетный тип самолета и классифицировать аэродромы не только по прочности покрытия, но и по длине летной полосы при одинаковых стандартных условиях.

При классификации аэродромов для каждого их класса приняты минимальные длины ИВПП и КПБ, обеспечивающие безопасную эксплуатацию расчетного для данного класса аэродрома типа самолета. **При проектировании конкретного аэродрома длина ИВПП и КПБ определяется каждый раз расчетом с учетом расчетных (местных) условий.** Расчетными условиями называются местные условия расположения аэродрома, на которые пересчитывается длина летной полосы, определенная для стандартных условий.

**Расчетными характеристиками местных условий являются:**

- высота расположения аэродрома над уровнем моря;
- расчетная температура воздуха;
- средний уклон взлетно-посадочной полосы.

Показатели других характеристик расчетных условий, влияющих на длину ИВПП – плотность  $\rho$  и давление  $p$  сухого воздуха являются производными высоты  $H$  расположения аэродрома и расчетной температуры воздуха  $t_{расч}$  и определяются расчетом с использованием существующих теоретических зависимостей  $\rho = f(H)$  и  $p = f(\rho_0, p \text{ и } t_{расч})$ , где  $\rho_0$  – плотность сухого воздуха в стандартных условиях.

Таким образом, расчет требуемой длины летной полосы для аэродрома в заданном районе заключается в определении требуемой длины летной полосы отдельно для взлета, и посадки расчетного типа самолета в стандартных условиях, а также в определении значенй поправочных коэффициентов для учета влияния местных условий расположения аэродрома.

### **1. Определение требуемой длины летной полосы для взлета самолета в стандартных условиях.**

В соответствии с рекомендациями ИКАО в настоящее время при определении длины ИВПП и КПБ для безопасного взлета принят в качестве расчетного случай отказа в работе одного из двигателей самолета в процессе его разбега. Все современные отечественные пассажирские самолеты, имеющие не менее двух двигателей, способны продолжать взлет в случае отказа одного из них. Самолет при этом в большинстве случаев не летит по заданному маршруту, а производит посадку на ближайшие аэродромы или аэродром, с которого взлетел.

Таким образом, в случае отказа двигателя пилот должен принять решение продолжать взлет или прервать его. В случае продолженного взлета длина летной полосы должна обеспечивать разбег самолета и подъем его на высоту 10 м над уровнем ИВПП с одновременным разгоном самолета до безопасной скорости взлета при отказавшем одном двигателе, т.е. должна быть равна взлетной дистанции  $L_{взл}$ , определяемой как расстояние, проходимое самолетом от начала разбега до набора высоты 10 м над уровнем ИВПП (рис. 2.1):

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 - l_{см} = L_{взл}^0 \quad (2.1)$$

или

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 = l_{см} + L_{взл}^0 = l_{см} + l_{разбн}^0 + l_{разбн-1}^0 + l_{H=10}^0, \quad (2.2)$$

где  $L_{ИВПП+КПБ}^0$  – суммарная длина ИВПП и КПБ в стандартных условиях, м;  $l_{см}$  – расстояние от конца ИВПП до начала разбега, равное длине участка, необходимого для выруливания самолета, м;  $L_{взл}^0$  – взлетная дистанция самолета в стандартных условиях, м;  $l_{разбн}^0$  – длина разбега самолета при всех работающих двигателях от точки старта до точки отказа двигателя в стандартных условиях, м;  $l_{разбн-1}^0$  – длина разбега самолета при одном отказавшем двигателе от точки отказа до точки отрыва самолета в стандартных условиях; в указанную длину условно включается также длина участка, проходимого самолетом за время реакции пилота, т. е. за время с момента отказа двигателя до принятия решения на продолжение взлета, м;  $l_{H=10}^0$  – воздушный участок взлетной дистанции до набора высоты 10 м в стандартных условиях, м.

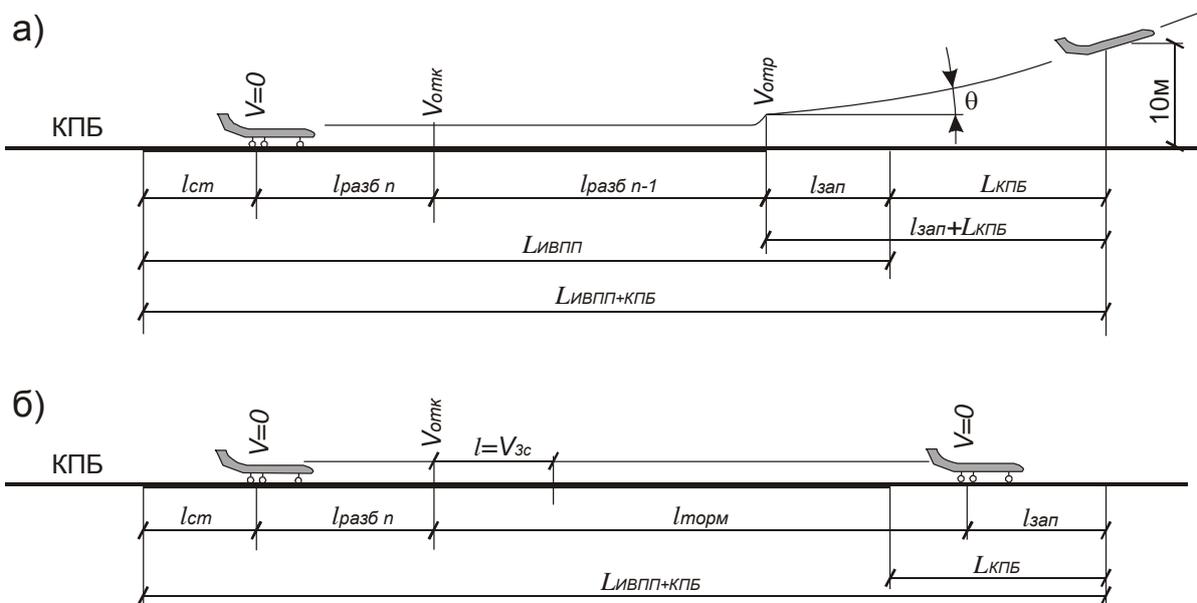


Рис. 2.1. Расчетные схемы для определения длины ИВП: а – в случае продолженного взлета самолета; б – в случае прерванного взлета

Потребная длина ИВП для безопасного продолжения взлета самолета в стандартных условиях, как следует из рис. 2.1а, равна

$$L_{ИВП}^0 = l_{ст} + l_{разб n}^0 + l_{разб n-1}^0 + l_{зап}^0, \quad (2.3)$$

где  $l_{зап}^0 = 1/3 l_{H=10}^0$  – некоторый запас, учет которого необходим для обеспечения безопасности взлета в случаях возможных отступлений от принятой технологии пилотирования на разбеге. Обозначения с индексом «о» здесь и далее указывают на то, что численные характеристики параметров соответствуют стандартным условиям.

При прерванном взлете (рис. 2.1б) длина дистанции движения самолета по летной полосе в стандартных условиях

$$L_{ИВП+КПБ}^0 = l_{ст} + l_{разб}^0 + l_{торм}^0 + l_{зап}, \quad (2.4)$$

где  $l_{торм}^0$  – участок торможения самолета до полной его остановки, условно включает также длину участка, проходимого самолетом за время реакции пилота ( $t \leq 3$  с);  $l_{зап}$  – необходимый запас, определяется из условия обеспечения разворота самолета на КПБ по кривой эксплуатационного радиуса, принимается равным эксплуатационному радиусу разворота самолета, м.

В формуле (2.4) предполагается, что прерванный взлет завершается в пределах КПБ.

Для практических расчетов формулу (2.2) целесообразно представить в виде

$$L_{ИВП+КПБ_1} = l_{ст} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср n}} + \frac{V_{отр}^2 - V_{отк}^2}{2j_{ср n-1}} + l_{H=10}, \quad (2.5)$$

а формулу (2.4) в виде

$$L_{ИВП+КПБ_2} = l_{ст} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср n}} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср торм}} + l_{зап}, \quad (2.6)$$

где  $V_{отк}$  и  $V_{отр}$  – скорость, при которой произошел отказ двигателя и скорость отрыва самолета, м/с;  $j_{ср n}$  и  $j_{ср n-1}$  – среднее ускорение самолета на участке разбега соответственно  $l_{ср n}$  и  $l_{ср n-1}$ , м/с<sup>2</sup>;  $j_{ср торм}$  – отрицательное среднее ускорение самолета на участке торможения от скорости  $V_{отк}$  до полной остановки, м/с<sup>2</sup>.

В формулах (2.5) и (2.6) величины  $l_{ст}$ ,  $l_{H=10}$ ,  $l_{зап}$  и  $V_{отр}$  при прочих равных условиях постоянны, а величины  $j_{ср n}$ ,  $j_{ср n-1}$  и  $j_{ср торм}$  незначительно уменьшаются при увеличении скорости отказа двигателя. Причем среднее ускорение разбега самолета при одном отказавшем двигателе  $j_{ср торм}$  всегда меньше ускорения разбега при всех работающих двигателях  $j_{ср n}$ .

Из анализа формул (2.6) и (2.7), а также из рассмотрения на рис. 2.2 кривых 1 к 2, построенных по этим формулам, следует, что суммарная длина ИВПП+КПБ с увеличением скорости  $V_{отк}$  уменьшается в случае продолженного взлета и увеличивается в случае прерванного взлета. Очевидно, оптимальным будет такое значение  $V_{отк}$ , при котором суммарная длина ИВПП+КПБ оказывается минимальной и одновременно обеспечивается безопасность взлета и посадки самолетов. Этому условию удовлетворяет скорость отказа двигателя, соответствующая точке пересечения А кривых 1 и 2 на рис. 2.2.

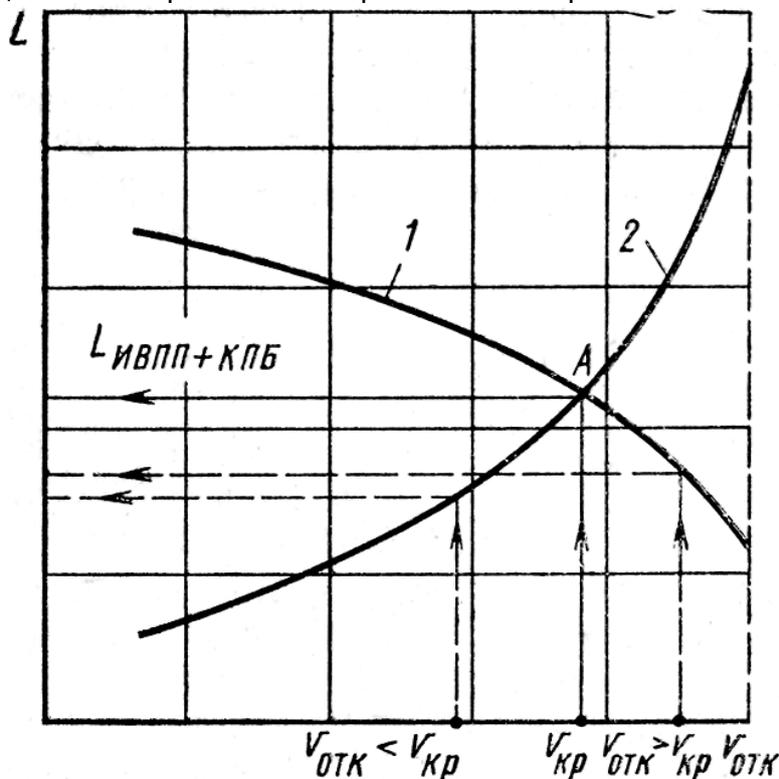


Рис. 2.2. Графики зависимости длины ИВПП+КПБ от скорости движения самолета, соответствующей отказу двигателя

Эта скорость движения самолета называется **критической скоростью взлета  $V_{кр}$** , при которой в случае отказа двигателя возможно как безопасное прекращение взлета в пределах располагаемой длины летной полосы, так и продолжение взлета.

Потребная суммарная длина ИВПП+КПБ при этом для продолженного и прерванного взлета равны между собой, т. е. сбалансированы. Суммарная длина ИВПП+КПБ, соответствующая критической скорости взлета, называется **сбалансированной длиной ИВПП+КПБ**.

В случае отказа двигателя при разбеге до момента достижения критической скорости самолет необходимо перевести на пробег, т. е. на торможение, а при скорости  $V_{отк}$  свыше критической необходимо продолжить разбег и произвести взлет. Размеры элементов летного поля в этом случае выражаются следующими формулами:

$$L_{ИВППкр}^0 = l_{ст} + l_{разбкрn}^0 + l_{разбкрn-1}^0 + 1/3 \cdot l_{H=10}^0 = l_{ст} + \frac{V_{кр}^2}{2j_{сркрn}} + \frac{V_{отп}^2 - V_{кр}^2}{2j_{сркрn-1}} + 1/3 \cdot l_{H=10}^0; \quad (2.7)$$

$$L_{КПБкр}^0 = L_{ИВПП+КПБкр}^0 - L_{ИВППкр}^0; \quad (2.8)$$

$$L_{ЛПкр}^0 = L_{ИВППкр}^0 + 2L_{КПБкр}^0, \quad (2.9)$$

где индекс «кр» показывает, что численные значения характеристик, отмеченных указанным символом, соответствуют случаю отказа двигателя при критической скорости движения самолета.

## 2. Определение потребной длины летной полосы для взлета самолета в расчетных условиях.

Потребная длина ИВПП в расчетных условиях вычисляется по формуле

$$L_{ИВПП} = L_{ИВПП}^0 \cdot k_t \cdot k_n \cdot k_i, \quad (2.10)$$

где  $L_{ИВПП}$  и  $L_{ИВПП}^0$  – потребная длина ИВПП соответственно в расчетных и стандартных условиях, м;  $k_t$ ,  $k_n$  и  $k_i$  – поправки на температуру воздуха, высоту расположения аэродрома и уклон ИВПП.

В практических расчетах потребной длины ИВПП изменение плотности воздуха учитывается двумя поправочными коэффициентами –  $k_t$  и  $k_n$ .

Расчетное значение  $k_t$  вычисляется по формуле

$$k_t = 1 + 0,01(t_{расч} - t_n), \quad (2.11)$$

где  $t_n$  – температура, соответствующая стандартной атмосфере при расположении аэродрома на высоте  $H$  над уровнем моря, определяется по формуле  $t_n = 15^\circ\text{C} - 0,0065H$  в градусах Цельсия;  $t_{расч}$  – расчетная температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;

$$t_{расч} = 1,07t_{13} - 3^0, \quad (2.12)$$

где  $t_{13}$  – среднемесячная температура в 13 ч дня самого жаркого месяца в году за многолетний период наблюдений, определяется по данным наблюдений ближайшей метеостанции и составляет для Бреста, Гомеля –  $23^\circ\text{C}$ ; Витебска, Минска –  $21^\circ\text{C}$ ; Гродно, Могилева –  $22^\circ\text{C}$ .

Высота расположения над уровнем моря  $H$  для Бреста – 130 м, Гомеля – 140 м; Витебска – 160 м; Гродно – 150 м; Минска – 230 м; Могилева – 180 м.

Поправочный коэффициент, учитывающий изменение воздуха в зависимости от высоты  $H$  расположения аэродрома над уровнем моря, определяется как

$$k_n = 1 + 0,09 \frac{H}{300}, \quad (2.13)$$

т. е. длина ИВПП (или КПБ) увеличивается на 9% по сравнению с длиной ИВПП (или КПБ) в стандартных условиях на каждые 300 м увеличения высоты расположения аэродрома над уровнем моря.

Поправочный коэффициент  $k_i$ , учитывающий увеличение потребной длины ИВПП в случае разбега самолета на уклон, вычисляется дифференцированно по группам самолетов:

$$k_i = 1 + \delta_i \cdot i_{cp}, \quad (2.14)$$

где  $i_{cp}$  – средний уклон ИВПП (отношение разности отметок начала и конца ИВПП к ее длине), принять равным 0,005;  $\delta_i$  – норма увеличения длины ИВПП при увеличении продольного уклона, показывающая, на сколько процентов увеличивается длина ИВПП при увеличении среднего продольного уклона полосы на 0,01.  $\delta_i$  равно 9 для самолетов I группы, 8 – для самолетов II группы, 7 – для самолетов III группы и 5 для самолетов IV группы.

Группа самолетов определяются по табл. 2.1.

Таблица 2.1. Классификация самолетов по группам

Группа самолетов	Тип самолета
I	Ту-144, Ил-62, Ил-62М, Ил-96, Ил-86 и др.
II	Ту-104, Ту-154, Ту-154М, Ту-134, Ту-124, Ил-18, Ан-12, Як-42 и др.
III	Ан-24, Як-40, Ил-14 и др.
IV	Ан-2, Л-410 и другие ближние самолеты

Если длина ИВПП по расчету оказалась менее классифицированной величины, то в качестве расчетной принимается 3000 м для Ил-86; 2500 м для Ту-154 и 1500 м для Як-40.

На аэродромах с односторонним направлением взлета в случае разбега самолета в направлении нисходящего уклона длина КПБ рассчитывается аналогично длине ИВПП при  $k_i=1$  по формуле

$$L_{КПБ} = L_{КПБ}^0 \cdot k_t \cdot k_n \cdot k_i, \quad (2.15)$$

где  $L_{КПБ}$  и  $L_{КПБ}^0$  – потребные длины КПБ в расчетных и стандартных условиях;  $k_t$ ,  $k_n$  – поправочные коэффициенты, определяемые по формулам (2.11) и (2.13).

При наличии односторонних воздушных подходов длина ВПП увеличивается на 10% – учитывается действие попутного ветра со скоростью до 5 м/с, т.е.  $L_{ИВПП\text{подн}} = 1,1 \cdot L_{ИВПП}$ .

Если длина КПБ по расчету оказалась менее классифицированной величины, то в качестве расчетной принимается  $L_{КПБ}=200$  м для аэродромов класса в/к, I, II и  $L_{КПБ}=100$  м для аэродромов классов III и IV. Если длина КПБ по расчету оказалась более классифицированной величины, то ее и следует принимать в качестве расчетной.

### 3. Определение потребной длины летной полосы для случая посадки самолета в стандартных условиях.

Потребная длина ИВПП для посадки в стандартных условиях определяется исходя из следующих предпосылок.

1. Начало посадочной дистанции должно совпадать с началом ИВПП (рис. 2.3). Посадочной дистанцией называется суммарная длина горизонтальной проекции воздушного участка и пробега самолета при посадке. За начало посадочной дистанции принимается проекция точки, над которой самолет находится на высоте 15 м.

2. Длина ИВПП должна обеспечивать пробег самолета до его полной остановки.

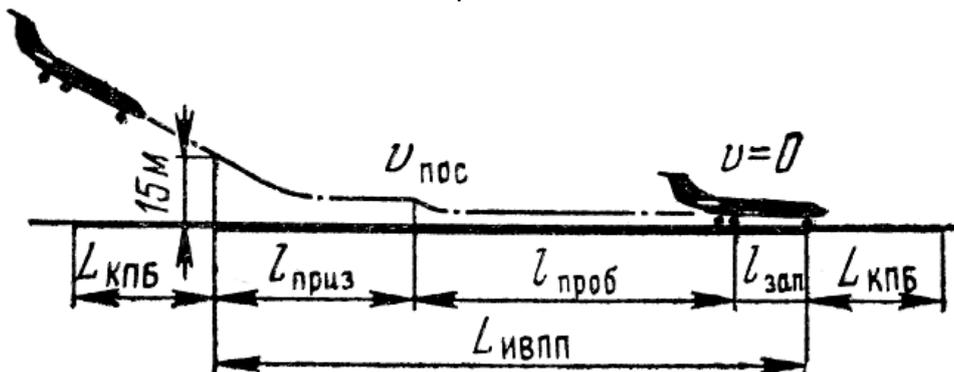


Рис. 2.3. Расчетная схема для определения длины ИВПП при посадке самолета

Руководствами по летной эксплуатации конкретных типов самолетов предусматриваются определенные схемы посадки и режимы полета на каждом этапе посадки. Однако, как показал опыт летной работы, при посадке возможны отклонения от принятой схемы и превышения скоростей движения самолета на различных этапах посадки, что увеличивает длину посадочной дистанции. Поэтому для обеспечения безопасной посадки потребная длина ИВПП должна быть больше посадочной дистанции самолета в 1,43-1,82 раза. Для практических расчетов потребной длины ИВПП эта величина принимается равной 1,67, т. е.

$$L_{ИВПП}^0 = 1,67 L_{нос}^0, \quad (2.16)$$

где  $L_{нос}^0$  – длина посадочной дистанции самолета при стандартных условиях, которая составляет для Ил-86 – 1500 м; для Ту-154 – 1200 м; для Як-40 – 800 м.

Потребная длина летной полосы для посадки самолетов в стандартных условиях определяется как сумма потребной длины ИВПП и двух КПБ:

$$L_{л.п.}^0 = L_{ИВПП}^0 + 2 \cdot 20, \quad (2.17)$$

где 20 – длина концевой полосы безопасности для посадки самолетов, м, имеет искусственное покрытие. Предусматривается для приземления самолета в случае недолета до конца ИВПП при визуальных условиях посадки самолета, а также для защиты участка КПБ, примыкающего к концу ИВПП, от воздействия газовых струй при взлете самолета от начала ИВПП.

### 4. Определение потребной длины летной полосы для посадки самолета в расчетных условиях.

При посадке самолета расчетные условия (температура воздуха, высота расположения аэродрома над уровнем моря и средний уклон ИВПП) учитываются с помощью двух поправочных коэффициентов

$$L_{ИВПП} = L_{л.п.}^0 \cdot k_{\Delta} \cdot k_i, \quad (2.18)$$

где  $k_{\Delta}$  – поправочный коэффициент, учитывающий одновременно влияние расчетной температуры воздуха и высоты расположения аэродрома;  $k_i$  – поправочный коэффициент на средний уклон ИВПП, рассчитываемый по формуле (2.14).

Коэффициент  $k_{\Delta}$  определяется по формуле

$$k_{\Delta} = \frac{1}{\Delta}, \quad (2.19)$$

где  $\Delta$  – относительная плотность воздуха, рассчитываемая по формуле

$$\Delta = 0,379 \cdot \frac{p}{273 + t_{расч}}, \quad (2.20)$$

где  $t_{расч}$  – расчетная температура воздуха, °С, формула (2.12);  $p$  – расчетное давление воздуха определяется в зависимости от высоты расположения аэродрома над уровнем моря  $H$  по шкале стандартной атмосферы, т. е.

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{5,256}, \quad (2.21)$$

где  $p_0$  – давление воздуха на уровне моря – 760 мм рт. ст.;

В зависимости от оборудования аэродрома комплексом средств для автоматического захода самолетов на посадку устанавливаются **три категории метеоминимумов**:

I – высота принятия решения 60 м, дальность видимости на ИВПП 800 м;

II – высота принятия решения 60-30 м, дальность видимости на ИВПП 800-400м;

III – высота принятия решения < 30 м, дальность видимости на ИВПП < 400 м.

Потребная длина ИВПП при визуальной посадке и посадке в условиях метеоминимумов II и III категорий рассчитывается по формуле

$$L_{ИВПП II, III} = L_{ИВПП_{виз}} = L_{Л.П.}^0 \cdot \frac{k_i}{\Delta}. \quad (2.22)$$

Наибольшие отклонения вдоль оси ИВПП от заданной точки приземления имеют место при посадке самолетов в условиях метеоминимума I категории. Потребная длина ИВПП, обеспечивающая безопасность посадки самолета в условиях метеоминимума I категории, принимается наибольшей из двух величин:

$$L_{ИВПП I} = 1,15 L_{ИВПП_{виз}} \text{ или } L_{ИВПП I} = L_{ИВПП_{виз}} + 300, \quad (2.23)$$

где  $L_{ИВПП_{виз}}$  рассчитывается по формуле (2.22).

### **5. Оценка влияния метеорологических факторов и условий эксплуатации на длину летной полосы.**

Размеры ИВПП и КПБ, вычисленные по изложенным выше методикам, соответствуют примерно 85% годовой обеспеченности полетов самолетов по температурным условиям и давлению воздуха, что соответствует требованиям ИКАО. Это означает, что в течение 15% годового времени рассчитанная длина летной полосы оказывается несколько меньше длины, необходимой для обеспечения безопасности взлетно-посадочных операций самолетов расчетного типа, при изменившемся состоянии атмосферы. В этих условиях безопасность взлетно-посадочных операций самолетов расчетного типа обеспечивается путем уменьшения взлетного веса самолета, а также путем использования встречного ветра при взлете или посадке самолета. При невозможности уменьшить вес самолета или использовать встречный ветер рейс с дневного времени суток с высокой температурой воздуха переносится на ранние утренние часы или на другие сутки.

Результаты обработки действующих номограмм для определения длины ИВПП показывают, что повышение температуры на один градус увеличивает длину ИВПП на 30-60 м, а при снижении давления воздуха на 1% длина ИВПП увеличивается в среднем на 2–2,5%.

Влияние встречного ветра на длину ИВПП может быть учтено с помощью поправочного коэффициента

$$k_{\omega} = \frac{V_{omp}^2}{(V_{omp} + \omega \cdot \cos \alpha)^2} < 1, \quad (2.24)$$

$$V_{omp} = \frac{V_{omp}^0}{\sqrt{\Delta}}, \quad (2.25)$$

где  $V_{omp}$  – необходимая скорость отрыва самолета при существующем состоянии атмосферы, м/с;  $V_{omp}^0$  – скорость отрыва при стандартных условиях, м/с;  $\Delta$  – относительная плот-

ность воздуха, определяется по формуле (2.20) для фактических значений температуры  $t$  и давления воздуха  $p$ ;  $\omega$  – скорость встречного ветра, м/с;  $\alpha$  – угол, составляемый направлением ветра и взлета самолета, градусы.

С учетом встречного ветра необходимая длина ИВПП ориентировочно равна

$$L_{ИВПП}^H = L_{ИВПП}^\phi \cdot k_\omega, \quad (2.26)$$

где  $L_{ИВПП}^\phi$  – длина ИВПП, м, рассчитанная для взлета по формуле (2.10), а для посадки по формуле (2.18) с учетом фактических значений температуры и давления воздуха, причем значение поправочного коэффициента  $k_n$  при использовании (2.10) вычисляется по формуле

$$k_n = k_p = 1 + 0,0026(760 - p), \quad (2.27)$$

где значение  $(760 - p)$  принимается с учетом знака;  $p$  – расчетное давление воздуха по (2.21).

Влияние прочности грунта летной полосы на потребную длину ГВПП может быть учтено с помощью поправочного коэффициента  $k_f$

$$L_{ГВПП} = L_{ИВПП}^H \cdot k_f, \quad (2.28)$$

где  $L_{ГВПП}$  – потребная длина ГВПП для расчетных местных условий расположения аэродрома, м;  $L_{ИВПП}^H$  – потребная длина ИВПП, рассчитанная по формуле (2.26) для взлета и посадки, м;  $k_f$  – поправочный коэффициент, учитывающий прочность грунтовой поверхности и  $k_f = 1,2$  для взлета и  $k_f = 1,1$  для посадки.

#### **6. Грунтовые тормозные площадки и тормозные установки.**

Тормозные площадки и тормозные установки предназначены для аварийной остановки самолетов в пределах участков небольшой протяженности.

Необходимость аварийной остановки самолета возникает при отказе тормозов, высокой скользкости поверхности ВПП, приземления самолета с «промазом», когда оставшаяся часть длины ВПП оказывается недостаточной для безопасного завершения пробега и некоторых других случаях.

По статистическим данным ИКАО, вероятность выкатывания самолетов за пределы ВПП (за торец и в боковые стороны от ВПП) составляет  $3,3 \cdot 10^{-6}$ , т. е. в 3,3 случаях на каждый миллион взлетно-посадочных операций.

*Грунтовые тормозные площадки* – участки грунтовой площади КПБ длиной 200 м и более, примыкающие к ее границе и перепаханые на различную глубину, увеличивающуюся по мере удаления от ВПП. В конце тормозной площадки может устраиваться песчаный вал для остановки самолета в том случае, если он не будет заторможен на участках, вспаханных до глубины 5-30 см. Тормозящее действие площадки заключается в существенном увеличении сопротивления движению самолета при качении колес по разрыхленному грунту. Недостатками тормозных площадок являются необходимость частого боронования и периодического вспахивания для поддержания грунта в рыхлом состоянии, а также ограниченная пригодность для работы в зимнее время.

*Аэродромные тормозные установки (АТУ)* представляют собой улавливающие сети или тросы, концы которых прикреплены к энергопоглотительным устройствам фрикционного или гидравлического действия и обеспечивают остановку самолета на участке длиной 50-150 м. АТУ предусматриваются, как правило, на аэродромах с длиной ВПП, недостаточной для прерванного взлета самолета или при примыкании КПБ к препятствиям (овраги, дорога, проходящая в выемке и некоторые другие виды препятствий), которые могут привести к серьезным последствиям в случае выкатывания самолета за КПБ.

Приемная часть АТУ (улавливающая сеть или трос) располагается в конце ВПП или КПБ. В нормальном положении сеть, состоящая из системы поперечных капроновых лент, натянутых между верхним и нижним продольными поясами сети, укладывается в развернутом состоянии на поверхность ВПП (КПБ). В рабочее вертикальное положение сеть переводится автоматически от сигнала, передаваемого с контрольного створа при прохождении через него самолета с аварийной (свыше допустимой) скоростью.

Приемная часть в виде эластичного троса располагается в поперечной прорези ВПП (КПБ), из которой трос после прохода колес носовой стойки автоматически выбрасывается вверх и захватывается стойками главных опор шасси самолета.

## Порядок выполнения работы

1. Рассчитать значения  $L_{ИВПП+КПБ_1}$  и  $L_{ИВПП+КПБ_2}$  по формулам (2.5) и (2.6) для трех классов самолетов, представленных Ил-86, Ту-154, и Як-40 соответственно. Исходные данные приведены в табл. 2.2. При этом изменяющиеся параметры  $V_{отк}$ ,  $j_{ср\ n}$ ,  $j_{ср\ n-1}$  и  $j_{ср\ торм}$  в расчетах учитывать пять раз. Например, для Ил-86  $V_{отк}$  будет изменяться следующим образом: 50, 90, 130, 170, 210 км/ч. **Значения скоростей в км/ч необходимо перевести в м/с.**

Таблица 2.2. Исходные данные к расчету длины ИВПП

Класс самолета	Показатель						
	$l_{ст}, м$	$V_{отпр}, км/ч$	$V_{отк}, км/ч$	$j_{ср\ n}, м/с^2$	$j_{ср\ n-1}, м/с^2$	$j_{ср\ торм}, м/с^2$	$l_{H=10}, м$
I – Ил-86	150	245	50-210	1,50-1,10	1,15-0,75	1,70-1,30	50
II – Ту-154	120	200	50-170	1,35-0,95	1,00-0,60	1,50-1,10	45
III – Як-40	100	150	50-130	1,20-0,80	0,90-0,50	1,40-1,00	38

По результатам расчетов необходимо построить графики  $L_{ИВПП+КПБ_1} = f(V_{отк})$  и  $L_{ИВПП+КПБ_2} = f(V_{отк})$ , аналогичные кривым 1 и 2 на рис. 2.2. По построенным графикам определить точку их пересечения и значения  $L_{ИВПП+КПБкр}^0$  и  $V_{кр}$ , соответствующие этой точке для каждого типа самолета.

Используя значение  $V_{кр}$ , по формуле (2.7) рассчитать  $L_{ИВППкр}^0$ . При этом величины  $j_{ср\ кр\ n}$  и  $j_{ср\ кр\ n-1}$  находятся по табл. 2.2 интерполяцией.

По формулам (2.8) и (2.9) рассчитать  $L_{КПБкр}^0$  и  $L_{ЛШкр}^0$  для каждого типа самолета.

Результаты расчетов свести в таблицу, аналогичную табл. 2.2.

2. По формуле (2.10) рассчитать длину ИВПП в расчетных условиях для трех типов самолетов. Коэффициенты  $k_t$  и  $k_n$  рассчитать по (2.11) и (2.13) для заданного места расположения аэродрома (вариант назначается преподавателем, табл. 2.3)). Коэффициент  $k_i$  рассчитать по (2.14) для  $i_{ср}=0,005$  и трех типов самолетов. При расчетах по (2.10) принять  $L_{ИВПП}^0 = L_{ИВППкр}^0$ . Сравнить  $L_{ИВПП}$  с необходимой для каждого типа самолета и принять для проектирования большее значение с округлением в большую сторону до 50 м.

Таблица 2.3. Месторасположение аэродрома

Вариант	Месторасположение аэродрома
1	Брест
2	Гомель
3	Витебск
4	Минск
5	Гродно
6	Могилев

Используя значение  $L_{КПБкр}^0 = L_{КПБ}^0$  рассчитать длину КПБ по формуле (2.15) для всех типов самолетов и заданного места расположения аэродрома. Сравнить  $L_{КПБ}$  с нормативной и принять для проектирования большее значение.

Рассчитать длину ВПП при наличии односторонних воздушных подходов  $L_{ИВППодн}$  согласно рекомендациям п.2 общих сведений, сравнить с необходимой для каждого типа самолета и принять к проектированию большее значение с округлением до 50 м в большую сторону.

Результаты расчетов свести в таблицу. Форму таблицы разработать самостоятельно.

3. Определить длину ИВПП и летной полосы для случая посадки самолета в стандартных условиях по формулам (2.16) и (2.17) для трех типов самолетов. Результаты свести в таблицу.

4. Определить длину летной полосы для посадки самолета в расчетных условиях по формуле (2.18) для трех типов самолетов и заданного месторасположения аэродрома.

Рассчитать необходимую длину ИВПП для трех категорий метеоминимумов по (2.22) и (2.23) для трех типов самолетов и заданного месторасположения аэродрома.

Результаты расчетов свести в таблицу. Форму таблицы разработать самостоятельно.

**5.** Рассчитать необходимую длину ИВПП с учетом встречного ветра по (2.26) для трех типов самолетов и заданного месторасположения аэродрома. Значения  $V_{отр}^0$  взять из табл. 2.2 и **перевести в м/с**. Угол  $\alpha = 10^\circ$ , скорость встречного ветра  $\omega = 5$  м/с.

Рассчитать потребную длину ГВПП по (2.28) для трех типов самолетов в случае вынужденной посадки и взлета с грунтовой поверхности.

Результаты расчетов свести в таблицу. Форму таблицы разработать самостоятельно.

**6.** Кратко описать тормозные площадки и АТУ.

**7.** Провести анализ расчетных длин ВПП для взлета и посадки и отразить этот анализ в выводе. Выбрать окончательную длину ИВПП для каждого типа самолета.

### Практическая работа № 3

**Тема:** Определение направлений и количества летных полос аэродрома

- Цель работы:**
1. Изучить факторы, влияющие на выбор направления летных полос аэродрома.
  2. Построить розы повторяемости ветров по направлениям и совмещенным направлениям.
  3. Рассчитать суммарные проценты повторяемости ветров.
  4. Построить графики охвата ветров по различным направлениям.
  5. Рассчитать коэффициент ветровой загрузки летной полосы по различным направлениям.
  6. Определить направление, количество летных полос и их длину.

#### Общие сведения

Направление летных полос аэродромов принимается в зависимости от ряда факторов, среди которых первостепенное значение отводится ветровой загрузке. **Ветровой загрузкой или ветровой обеспеченностью летной полосы** называется вероятная частота использования какого-либо определенного направления полосы, выраженная в процентах от всех направлений ветров в течение года.

Ветер оказывает существенное влияние на взлетно-посадочные операции самолетов. Как правило, взлет и посадка производятся против ветра. Взлет и посадка самолетов при попутном и попутно-боковом ветре разрешаются в исключительных случаях, когда не представляется возможным выполнение этих операций при встречном или встречно-боковом ветре. При этом попутная составляющая скорости ветра должна быть не более 5 м/с, а боковая составляющая ветра – не более 6 м/с.

Выполнение взлета и посадки при попутном ветре ведет к увеличению дистанции разбега и пробега самолета. Так, например, при попутном ветре со скоростью 5 м/с длина разбега самолета типа Ил-86 увеличивается на 17%.

**Предельно допустимой скоростью ветра** при эксплуатации самолета считается скорость, выше которой теряется сопротивляемость самолета влиянию ветра. Предельные значения скорости ветра для взлета и посадки устанавливаются аэродинамическими расчетами и летными испытаниями для каждого типа самолета.

Для большинства современных самолетов предельно допустимые скорости встречного ветра у земли составляют 25-30 м/с.

Существующие нормативы ограничивают предельные значения нормальной составляющей бокового ветра в зависимости от класса аэродрома от 6 до 12 м/с. В отдельных случаях в практике эксплуатации при движении самолетов в сложных метеоусловиях на мокрой и скользкой поверхности искусственных покрытии предельные значения нормальной составляющей бокового ветра уменьшаются до 4-10 м/с. Это вызывается необходимостью обеспечения безопасности взлета и посадки самолетов.

При боковом ветре различные самолеты при движении ведут себя по-разному. Одни из них имеют тенденцию к развороту против ветра, особенно на этапе, когда носовая опора поднята, другие – к развороту по ветру, третьи – к накрениению. Самолет накрениется за счет увеличения обжатия пневматиков колес и амортизаторов передней опоры и подветренной главной опоры шасси и за счет уменьшения обжатия пневматиков колес и амортизаторов наветренной главной опоры шасси. Практически этот крен может достигать 3-4° в поперечной плоскости и 1,5-2° в продольной плоскости.

Обтекание самолета косым потоком приводит к перераспределению аэродинамических сил, действующих на боковые поверхности, вследствие чего на подветренной стороне создается повышенное, а на противоположной (наветренной) пониженное давление. В результате появляется **боковая аэродинамическая сила  $Z$**  – результирующая этих сил давления.

При появлении бокового ветра возникает также **разворачивающий момент**, зависящий от угла скольжения. Разворачивающий момент  $M_y$  стремится повернуть самолет в сторону скольжения и тем самым устранить последнее.

Значения боковой аэродинамической силы  $Z$  и разворачивающего момента  $M_y$  растут с увеличением скорости бокового ветра и скорости движения самолета.

Как следует из рис. 3.1, скорость нормальной составляющей бокового ветра равна

$$W_{\alpha} = W \cdot \sin \alpha, \quad (3.1)$$

где  $\alpha$  – угол между осью движения самолета и направлением бокового ветра («угол скоса»), град;  $W$  – скорость бокового ветра, действующего под углом  $\alpha$ , м/с;  $W_{\alpha}$  – скорость нормальной составляющей бокового ветра, м/с.

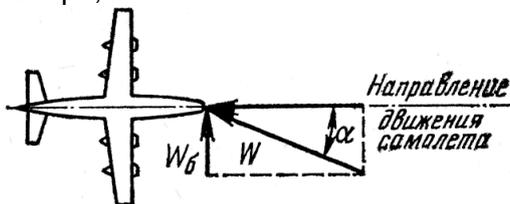


Рис. 3.1. Расчетная схема для определения скорости бокового ветра

Наиболее выгодным с точки зрения ветровой загрузки является направление летной полосы, при котором взлеты и посадки самолетов будут обеспечены в течение наибольшего количества ветренных дней.

Значения ветровой загрузки в зависимости от класса аэродрома представлены в табл. 3.1. Расчет ветровой загрузки должен выполняться по данным наблюдений за возможно длительный период, но не менее 5 лет по 8 или 16 румбам.

Таблица 3.1. Ветровая загрузка аэродрома

Класс аэродрома	Минимальная ветровая загрузка, %	Максимально допустимая скорость нормальной составляющей бокового ветра, м/с
в/к, I, II	98	12
III	95	8
IV	90	6

Для определения ветровой загрузки летной полосы метеорологические данные обрабатываются по **следующей методике**.

Для примера рассмотрим определение наиболее загруженного направления летной полосы при  $W_{\alpha}=8$  м/с.

Определяем повторяемость ветров различных скоростей по направлениям. Данные из климатологического справочника заносим в табл. 3.2. На основании данных табл. 3.2 строим розу повторяемости ветров по направлениям для  $W_{\alpha}=8$  м/с (рис. 3.2).

Таблица 3.2. Повторяемость ветров по направлениям

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,05	1,75	1,00	1,60	1,35	1,75	1,85	2,40	13,75
2-5	3,15	4,45	4,30	6,55	5,85	5,35	5,25	6,85	41,75
6-10	1,40	4,00	2,50	6,60	7,80	7,05	3,65	4,20	37,20
11-15	0,10	0,55	0,25	1,30	1,75	1,15	0,55	0,55	6,15
>15	0,10	0,15	0,05	0,10	0,20	0,30	0,05	0,20	1,15
Итого	6,80	10,90	8,10	16,15	16,95	15,60	11,35	14,15	100,00

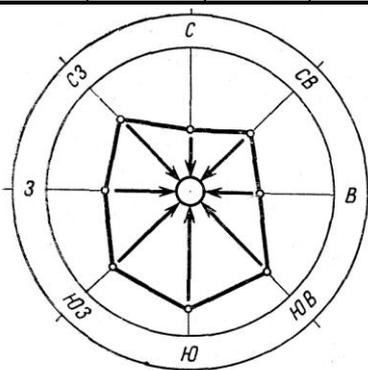


Рис. 3.2. Роза повторяемости ветров по направлениям для  $W_{\alpha}=8$  м/с

Взлетно-посадочные операции на летной полосе выполняются с двух взаимно противоположных направлений. В связи с этим просуммируем значения повторяемости ветров по взаимно противоположным или, как принято называть, **совмещенным направлениям**.

По данным табл. 3.2, составляем табл. 3.3 повторяемости ветров по совмещенным направлениям. На основании данных табл. 3.3 строим розу повторяемости ветров по совмещенным направлениям для  $W_{\alpha}=8$  м/с (рис. 3.3).

Таблица 3.3. Повторяемость ветров по совмещенным направлениям

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по совмещенным направлениям, %				Сумма процентов повторяемости ветров
	С-Ю	СВ-ЮЗ	В-З	ЮВ-СЗ	
0-1	3,40	3,50	2,85	4,00	13,75
2-5	9,00	9,80	9,55	13,40	41,75
6-10	9,20	11,05	6,15	10,80	37,20
11-15	1,85	1,70	0,80	1,80	6,15
>15	0,30	0,45	0,10	0,30	1,15
Итого	23,75	26,50	19,45	30,30	100,00

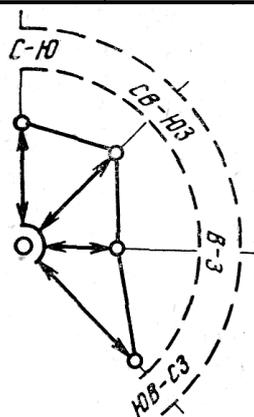


Рис. 3.3. Роза повторяемости ветров по совмещенным направлениям для  $W_{\alpha}=8$  м/с

Зная величину  $W_{\alpha}=8$  м/с, с помощью выражения (3.1) определяем значения скорости бокового ветра  $W_6$ , соответствующие различным углам скоса. При этом углы скоса  $\alpha$  принимаем кратными  $90^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  и  $22,5^{\circ}$ . Для углов скоса  $45^{\circ}$  и  $22,5^{\circ}$  значения  $W_6$  умножаем соответственно на 2 и 4, т.е. приводим значения к углу  $90^{\circ}$  ( $45=1/2 \cdot 90$  и  $22,5=1/4 \cdot 90$ ). Результаты расчетов представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Значения скоростей бокового ветра

Угол скоса $\alpha$ , град.	Скорость бокового ветра $W_6$ , м/с
90	8
45	11
22,5	12 и более

Построим графики охвата ветров по совмещенным направлениям (рис. 3.4). Аналогичным образом строят графики охвата ветров для совмещенных направлений В-З и ЮВ-СЗ.

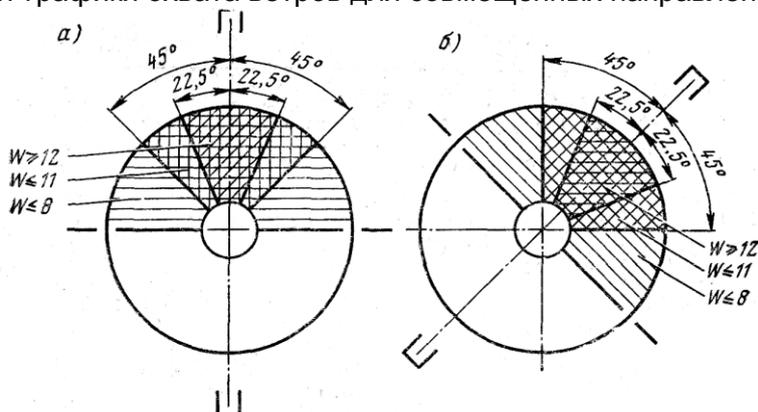


Рис. 3.4. Графики охвата ветров: а – совмещенное направление С-Ю; б – совмещенное направление СВ-ЮЗ

Градации скоростей ветра, приведенные в табл. 3.2, 3.3, приводим к расчетным градациям с учетом данных табл. 3.4. Полученные результаты представим в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Градации скоростей ветра в зависимости от угла скоса

Градации скоростей ветра, м/с	Угол скоса $\alpha$ , °
0-8	90
9-11	45
12 и более	22,5

С учетом данных табл. 3.5 будем иметь следующие проценты повторяемости ветров:

$$\omega_{0-8} = \omega_{0-1} + \omega_{2-5} + 0,6 \cdot \omega_{6-10} = 13,75 + 41,75 + 0,6 \cdot 37,20 = 77,82\%;$$

$$\omega_{9-11} = 0,4 \cdot \omega_{6-10} + 0,2 \cdot \omega_{11-15} = 0,4 \cdot 37,20 + 0,2 \cdot 6,15 = 16,11\%;$$

$$\omega_{12 \text{ и более}} = 0,8 \cdot \omega_{11-15} + \omega_{\text{более} 15} = 0,8 \cdot 6,15 + 1,15 = 6,07\%;$$

Результаты расчетов представим в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Сумма процентов повторяемости ветров

Градации скоростей ветра, м/с	Сумма процентов повторяемости ветров, %	Угол скоса $\alpha$ , °
0-8	77,82	90
9-11	16,11	45
12 и более	6,07	22,5

Аналогичным образом выполним преобразование составляющих компонентов табл. 3.2 и 3.3, приведя их в соответствие с градациями, представленными в табл. 3.5.

После преобразований получим основную расчетную табл. 3.7 повторяемости ветров по скоростям и направлениям. Повторяемость ветров по скоростям и совмещенным направлениям приведена в табл. 3.8.

Таблица 3.7. Повторяемость ветров по скоростям и направлениям

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма повторяемости ветров, %	Угол $\alpha$ , град
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
0-8	6,04	8,60	6,80	12,11	11,88	11,33	9,29	11,77	77,82	90
9-11	0,58	1,71	1,05	2,90	3,47	3,05	1,57	1,78	16,11	45
12 и более	0,18	0,59	0,25	1,14	1,60	1,22	0,49	0,60	6,07	22,5
Итого	6,80	10,90	8,10	16,15	16,95	15,60	11,35	14,15	100,00	–

Таблица 3.8. Повторяемость ветров по скоростям и совмещенным направлениям

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по совмещенным направлениям, %				Сумма повторяемости ветров, %	Угол $\alpha$ , град
	С-Ю	СВ-ЮЗ	В-З	ЮВ-СЗ		
0-8	17,92	19,93	16,09	23,88	77,82	90
9-11	4,05	4,76	2,62	4,68	16,11	45
12 и более	1,78	1,81	0,74	1,74	6,07	22,5
Итого	23,75	26,50	19,45	30,30	100,00	–

Определяем ветровую нагрузку различных совмещенных направлений летных полос.

Расчет ведем с использованием схемы, изображенной на рис. 3.5. Она содержит информацию о расчетных градациях скоростей ветра и о соответствующей им повторяемости ветров по направлениям. Значения повторяемости ветров берем из табл. 3.7.

Выделенная часть расчетной схемы (внутри жирной линии), в пределах которой суммируются значения повторяемости ветров, получена с учетом графиков охвата ветров (см. рис. 3.4) и приведена в качестве примера на рис. 3.5 для совмещенного направления С-Ю. Если необходимо получить выделенную часть расчетной схемы, например, для совмещенного направления  $10^0$ - $190^0$ , то нужно повернуть выделенную часть для направления С-Ю ( $0^0$ - $180^0$ ) на  $10^0$  по часовой стрелке, а для совмещенного направления  $22,5^0$ - $202,5^0$  – на  $22,5^0$  по часовой стрелке и сложить проценты повторяемости ветра по скоростям и углам скоса.

С использованием такого графоаналитического метода наиболее загруженное направление летной полосы может быть выбрано с точностью до  $1^0$ .

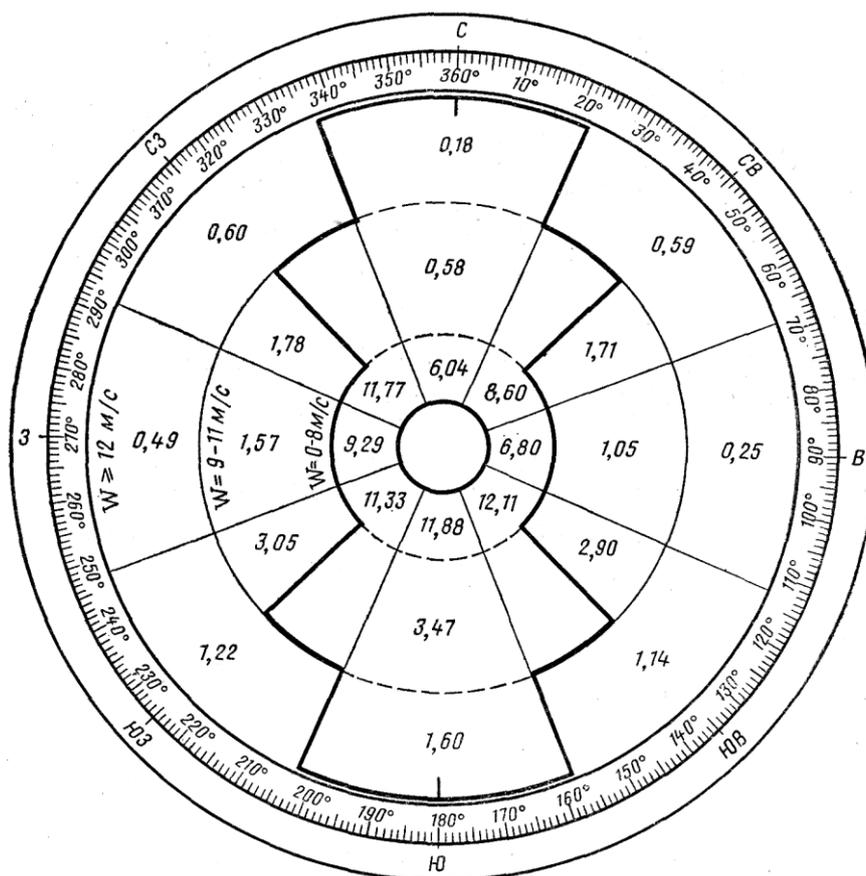


Рис. 3.5. Расчетная схема для определения ветровой загрузки летной полосы

Ветровая загрузка летной полосы характеризуется **коэффициентом ветровой загрузки**  $k_{вз}$ :

$$k_{вз} = \sum_0^{360^\circ} P_{0-8} + \sum_0^{45^\circ} P_{9-11} + \sum_0^{22,5^\circ} P_{12 \text{ и более}}, \quad (3.2)$$

где  $\sum_0^{360^\circ} P_{0-8}$ ,  $\sum_0^{45^\circ} P_{9-11}$  и  $\sum_0^{22,5^\circ} P_{12 \text{ и более}}$  – суммы процентов повторяемости ветров, действующих в пределах углов скоса  $\alpha = 90, 45$  и  $22,5^\circ$  относительно рассчитываемого направления летной полосы.

Используя расчетную схему (рис. 3.5) и выражение (3.2), получим значение коэффициентов ветровой загрузки для различных совмещенных направлений.

**Пример 1.** Совмещенное направление –  $0^\circ$ - $180^\circ$  (С-Ю).

$$k_{вз} = 77,82 + 0,58 + 0,5 \cdot 1,78 + 0,5 \cdot 1,71 + 3,47 + 0,5 \cdot 3,05 + 0,5 \cdot 2,90 + 1,60 + 0,18 = 88,37.$$

**Пример 2.** Совмещенное направление –  $10^\circ$ - $190^\circ$ .

$$k_{вз} = 77,82 + 0,58 + 1/45 \cdot 10 \cdot 1,78 + 1/45 \cdot 35 \cdot 1,71 + 3,47 + 1/45 \cdot 10 \cdot 2,90 + 1/45 \cdot 35 \cdot 3,05 + 1/45 \cdot 35 \cdot 0,18 + 1/45 \cdot 35 \cdot 1,60 + 1/45 \cdot 10 \cdot 0,59 + 1/45 \cdot 10 \cdot 1,22 = 88,399.$$

**Пример 3.** Совмещенное направление –  $22,5^\circ$ - $202,5^\circ$  (СЗВ-ЮЮЗ).

$$k_{вз} = 77,82 + 0,58 + 1,71 + 3,05 + 3,47 + 1/45 \cdot 22,5 \cdot 0,18 + 1/45 \cdot 22,5 \cdot 0,59 + 1/45 \cdot 22,5 \cdot 1,60 + 1/45 \cdot 22,5 \cdot 1,22 = 88,425.$$

Аналогичным образом рассчитывается коэффициент ветровой загрузки для любых других совмещенных направлений.

**Летная полоса ориентируется по наиболее загруженному направлению, для которого коэффициент ветровой загрузки имеет наибольшее из всех полученных значений.**

В ряде случаев не обеспечивается требуемая минимальная нагрузка аэродрома с одной летной полосой. В подобных случаях следует предусматривать **две полосы: основную**, сориентированную по направлению преобладающих ветров, и **вспомогательную**, располагаемую по отношению к главной под углом, близким к 90° (см. рис. 1.3).

Вспомогательные ВПП должны быть короче основной соответственно коэффициентам, приведенным в табл. 3.9.

Таблица 3.9. Коэффициенты уменьшения длины вспомогательной ВПП относительно главной ВПП

Класс аэродрома	Коэффициент
в/к, I, II	0,78
III	0,73
IV	0,65

В отдельных случаях допустимы отклонения от наиболее загруженного направления летной полосы. Эти отклонения могут быть вызваны потребностями обеспечения свободных подходов, нормальной работы соседних аэродромов, наличием населенных пунктов по направлению предполагаемых взлетов и посадок, для которых уровень шума от двигателей взлетающих и садящихся самолетов будет выше нормы. Учет этих и ряда других факторов весьма важен при проектировании.

### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать повторяемость ветров по совмещенным направлениям, используя исходные данные для заданной метеостанции (табл. 3.10-3.15), название которой взять из практической работы №2. Результаты расчетов свести в таблицу, аналогичную табл. 3.3.

Таблица 3.10. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Брест

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,38	1,25	1,58	1,21	1,07	1,83	3,02	1,88	14,22
2-5	3,68	3,18	6,80	4,95	4,62	5,59	8,56	5,37	42,75
6-10	1,63	2,86	3,95	4,99	6,17	7,37	5,95	3,29	36,21
11-15	0,12	0,39	0,40	0,98	1,38	1,20	0,90	0,43	5,80
>15	0,10	0,11	0,08	0,08	0,16	0,25	0,08	0,16	1,02
Итого	7,91	7,79	12,81	12,21	13,4	16,24	18,51	11,13	100,00

Таблица 3.11. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Гомель

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,59	1,24	1,64	1,36	1,26	1,51	2,79	1,75	14,14
2-5	4,00	3,14	7,06	5,56	5,45	4,63	7,91	4,99	42,74
6-10	1,77	2,83	4,10	5,60	7,27	6,10	5,50	3,06	36,23
11-15	0,13	0,39	0,41	1,10	1,63	1,00	0,83	0,40	5,89
>15	0,11	0,11	0,08	0,08	0,19	0,20	0,08	0,15	1,00
Итого	8,60	7,71	13,29	13,70	15,80	13,44	17,11	10,35	100,00

Таблица 3.12. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Витебск

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,89	1,48	1,25	1,31	1,31	1,66	2,90	1,51	14,31
2-5	4,45	3,76	5,36	5,35	5,66	5,08	8,23	4,31	42,20
6-10	1,98	3,38	3,12	5,39	7,55	6,69	5,72	2,64	36,47
11-15	0,14	0,46	0,31	1,06	1,69	1,09	0,86	0,35	5,96
>15	0,07	0,13	0,06	0,08	0,19	0,28	0,12	0,13	1,06
Итого	9,53	9,21	10,10	13,19	16,40	14,80	17,83	8,94	100,00

Таблица 3.13. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Минск

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,74	1,43	1,32	1,24	1,27	1,56	2,77	2,02	14,35
2-5	4,25	3,63	5,68	5,07	5,52	4,77	7,86	5,76	42,54
6-10	1,87	3,27	3,30	5,11	7,36	6,28	5,47	3,53	36,19
11-15	0,13	0,45	0,33	1,01	1,65	1,02	0,82	0,46	5,87
>15	0,08	0,12	0,07	0,08	0,19	0,27	0,07	0,17	1,05
Итого	9,07	8,90	10,70	12,51	15,99	13,90	16,99	11,94	100,00

Таблица 3.14. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Гродно

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,32	1,35	1,70	1,33	1,00	1,71	2,84	1,95	14,20
2-5	3,57	3,43	7,33	5,43	4,35	5,21	8,05	5,57	42,94
6-10	1,59	3,08	4,26	5,48	5,80	6,87	5,60	3,41	36,09
11-15	0,11	0,42	0,43	1,08	1,30	1,12	0,84	0,45	5,75
>15	0,05	0,12	0,09	0,08	0,15	0,29	0,08	0,16	1,02
Итого	7,64	8,40	13,81	13,40	12,60	15,20	17,41	11,54	100,00

Таблица 3.15. Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Могилев

Градации скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма процентов повторяемости ветров
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0-1	2,80	1,28	1,54	1,29	1,18	1,38	2,95	2,04	14,46
2-5	4,31	3,27	6,64	5,27	5,11	4,22	8,37	5,81	43,00
6-10	1,91	2,94	3,86	5,31	6,81	5,56	5,82	3,56	35,77
11-15	0,14	0,40	0,39	1,05	1,53	0,91	0,88	0,47	5,77
>15	0,07	0,11	0,08	0,08	0,17	0,24	0,08	0,17	1,00
Итого	9,23	8,00	12,51	13,00	14,80	12,31	18,10	12,05	100,00

2. Построить розы ветров по направлениям и совмещенным направлениям для заданной скорости ветра, которую принять равной  $W_0=8$  м/с (см. рис. 3.2 и 3.3).

3. Рассчитать значения  $W_6$  по (3.1). Результаты представить в форме табл. 3.4.

4. Построить график охвата ветров по совмещенному направлению С-Ю (см. рис. 3.4). По другим направлениям графики строятся аналогично и их построение в данной практической работе необязательно.

5. Градации скоростей ветра, приведенные в табл. 3.2, 3.3, привести к расчетным градам с учетом данных табл. 3.4. Полученные результаты представить в табл. 3.5.

6. Рассчитать проценты повторяемости ветров  $\omega$  для градаций скоростей ветров с учетом табл. 3.5. Результаты расчетов представить в таблице по форме табл. 3.6.

7. Аналогичным образом выполнить преобразование составляющих компонентов табл. 3.2 и 3.3, приведя их в соответствие с градами, представленными в табл. 3.5. Результаты занести в таблицы, аналогичные табл. 3.7 и 3.8.

8. Построить расчетную схему для определения ветровой загрузки летной полосы (пример приведен на рис. 3.5). Построение схемы начинается с разбивки круга на 8 участков по  $45^\circ$ , затем – вынесение на схему значений из таблицы, аналогичной табл. 3.7 по направлениям сторон света. Выделение линий пока не производить.

9. С использованием построенной схемы рассчитать коэффициенты ветровой загрузки  $k_{вз}$  по (3.2) для следующих четырех совмещенных направлений:  $0^\circ-180^\circ$  (С-Ю);  $45^\circ-225^\circ$  (СВ-ЮЗ);  $90^\circ-270^\circ$  (В-З);  $135^\circ-315^\circ$  (ЮВ-СЗ) и выбрать наибольший из них.

10. Рассчитать длину вспомогательной ВПП с учетом данных табл. 3.9 для трех типов самолетов. Типы самолетов и длину основной ИВПП взять из практической работы №2. При этом для Ил-86 и Ту-154 рассчитать длину вспомогательной ВПП для аэродромов классов в/к-II, а для Як-40 – III и IV классов.

11. В выводе отразить выбранное направление основной полосы по результатам расчетов коэффициентов ветровой загрузки, направление вспомогательной полосы и их длины для различных типов самолетов и классов аэродромов. Эти результаты представить в форме таблицы.

## Практическая работа № 4

**Тема:** Проектирование скоростных рулежных дорожек аэродрома

- Цель работы:**
1. Изучить общие требования к планировке и ширине рулежных дорожек (РД) аэродрома.
  2. Рассчитать ширину РД для трех типов самолетов.
  3. Определить оптимальную зону приземления самолетов.
  4. Рассчитать расстояние от места приземления до начала скоростной РД и расстояние от торца ВПП до начала скоростной РД.
  5. Определить параметры криволинейной траектории движения самолета на режиме схода с ВПП при различных скоростях схода.

### Общие сведения

#### 1. Общие требования к планировке и ширине рулежных дорожек.

РД отводится не меньшая, чем взлетно-посадочным полосам роль, так как, определяя пути следования самолетов, они способствуют лучшей организации движения самолетов, повышению безопасности взлетно-посадочных операций. РД должны обеспечить руление к ВПП по кратчайшим путям и возможность быстрого освобождения ВПП для приема очередного самолета после посадки.

В связи с увеличением интенсивности движения самолетов повысилась роль РД, призванных обеспечить четкое и безопасное движение самолетов на земле, исключить встречные движения самолетов с минимальным количеством пересечений путей их руления. Правильно запроектированные и рационально расположенные РД вносят плановое, организующее начало в движение самолетов на земле, способствуют созданию предпосылок высокоинтенсивной работы авиации, содействуют повышению пропускной способности аэродрома.

Движение самолетов по РД осуществляется на скоростях, при которых разгружающее влияние подъемной силы незначительно, а аэродинамические рули направления недостаточно эффективны. Поэтому управление движением самолета осуществляется главным образом с помощью колес управляемой носовой опоры, а в отдельных случаях – подтормаживанием колес главных опор шасси. Движение самолета на режиме руления осуществляется по сложной траектории, по виду близкой к синусоидальной кривой (рис. 4.1).

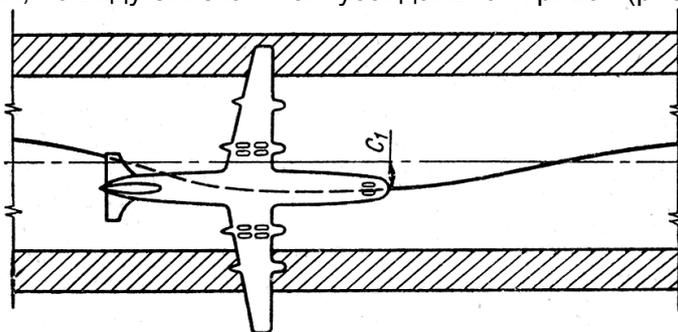


Рис. 4.1. Схема движения самолета по РД

Отклонения центра тяжести самолета от оси РД обусловлены целым рядом факторов, среди которых можно выделить возмущающее влияние порывов ветра, неровности покрытий, особенности работы управляемой носовой опоры и т. д. Естественно, что летчику требуется незначительное время на принятие решения и воздействие на органы управления движением самолета с целью парирования возникающих отклонений от оси руления.

**Ширина рулежной дорожки зависит от ряда факторов**, среди которых необходимо выделить следующие: характеристики самолета; атмосферные факторы; состояние искусственного покрытия; действия пилота.

Ширина РД самым непосредственным образом зависит от колеи шасси самолета, колеи тележки шасси, ширины пневматиков. В дополнение к этому следует отметить, что при рассмотрении движения самолета по искусственным покрытиям на режиме руления следует принимать во внимание величину базы шасси, высоту расположения кабины пилота над искусственным покрытием, особенности расположения двигателей, аэродинамические характеристики самолета.

Среди атмосферных факторов можно выделить действие ветра, существенным образом влияющего на продольную путевую устойчивость самолета.

С учетом рис. 4.2 ширина РД может быть определена по формуле

$$B_{РД} = B_K + n \cdot B_T + m \cdot B_{П} + 2 \cdot C_1 + 2 \cdot C_2, \quad (4.1)$$

где  $B_K$  – колея шасси, м;  $B_T$  – колея тележки шасси, м;  $B_{П}$  – ширина пневматика основной опоры шасси, м;  $C_1$  – расчетная величина отклонения самолета от оси руления, м;  $C_2$  – величина запаса от кромки искусственного покрытия до внешнего пневматика по условию прочности края покрытия, м;  $n$  – количество тележек шасси;  $m$  – количество пневматиков шасси.

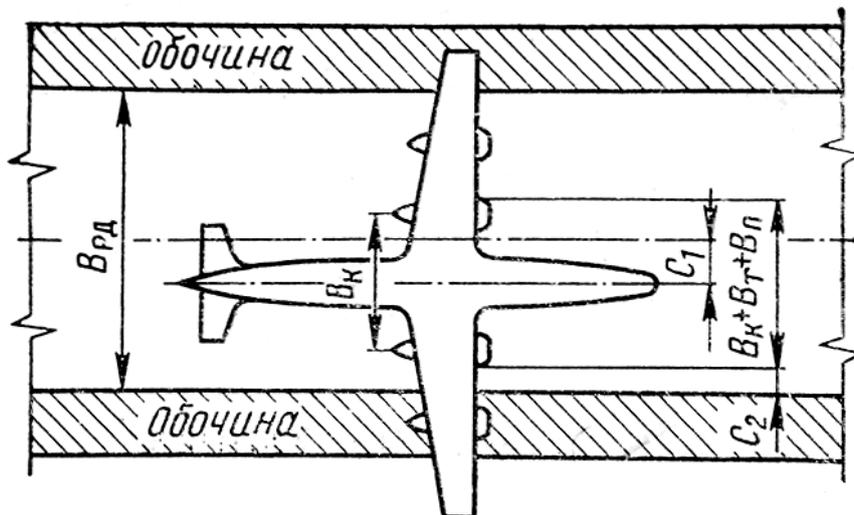


Рис. 4.2. Расчетная схема для определения ширины РД

Из рассмотрения формулы (1.36) следует, что ширина РД для расчетного типа самолета зависит от ряда постоянных и переменных параметров.

Параметры  $B_K$ ,  $B_T$  и  $B_{П}$  зависят от геометрических размеров шасси самолета (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Значения параметров для определения ширины РД

Тип самолета	Размах крыла, м	$B_K$ , м	$n$	$m$	$B_T$ , м	$B_{П}$ , м	$C_1$ , м	$C_2$ , м
Ил-86	56,5	12,3	3	4	0,4	0,5	2,0	3,6
Ту-154	37,6	11,2	2	6	0,3	0,3	1,6	2,3
Як-40	25,0	6,2	2	4	0,2	0,3	1,0	1,5

Величина  $C_1$  определена в результате экспериментальных исследований и последующей статистической обработки результатов наблюдений (табл. 4.1). Величина  $C_2$  принимается с учетом требований обеспечения прочности и устойчивости краевых участков плиты и зависит от типа самолета (табл. 4.1).

При проектировании аэродромов ширина РД назначается по табл. 4.2.

Таблица 4.2. Параметры аэродромов и воздушных судов в зависимости от индексов

Название параметра	Индекс воздушного судна					
	1	2	3	4	5	6
Размах крыла, м	< 24	24-32	24-32	32-42	32-42	42-60
Колея шасси, м	< 4,0	4,0-6,0	6,0-9,0	9,0-10,5	10,5-12,5	10,5-14,0
Ширина магистральной РД, м	7,0	11,0	13,0	17,0	19,0	22,5
Ширина вспомогательной РД, м	5,0	8,0	11,0	14,0	17,0	21,0
Минимальный радиус закругления РД, м	30	30	30	50	50	60
Расстояние между осевой линией РД и неподвижным препятствием, м	25	29,5	29,5	38	38	47,5
Расстояние между осями параллельных РД, м	38	47	47	61	61	80

Вдоль РД должны устраиваться обочины. Ширина укрепляемой части обочины определяется параметрами зоны воздействия газовой струи двигателей за пределами искусственного покрытия РД и принимается не менее 7,5 м для аэродромов классов в/к, I и II для магистральной или соединительной РД и 5 м для вспомогательных РД.

## 2. Проектирование скоростных рулежных дорожек.

После приземления самолета очень важно, чтобы он быстро освободил взлетно-посадочную полосу для приема очередного самолета.

С целью повышения пропускной способности взлетно-посадочных полос аэродромов устраиваются скоростные рулежные дорожки, позволяющие обеспечить сход самолетов с ВПП со скоростью до 100 км/ч. Скоростные РД целесообразно устраивать соответственно индексам воздушных судов.

При проектировании скоростных РД решают следующие задачи по определению:

- оптимальной зоны приземления самолетов;
- расстояния от места приземления до начала скоростной РД;
- расстояния от торца ВПП до начала скоростной РД;
- параметров криволинейной траектории движения самолета на режиме схода с ВПП.

**Оптимальную зону приземления самолетов**, т. е. оптимальное удаление места приземления конкретного типа самолета от торца ВПП, определяют как разность посадочной дистанции  $L_{пос}$  и пробега самолета  $L_{проб\ o}$

$$L_{приз} = L_{пос} - L_{проб\ o}, \quad (4.2)$$

где значения  $L_{пос}$  принимается равным  $L_{пос}^0$  из формулы (2.16) практической работы №2, а  $L_{проб\ o}$  принять равным 1180 м – для Ил-86; 770 м – для Ту-154 и 540 м – для Як-40.

Для зарубежных самолетов, по данным ИКАО, это расстояние практически колеблется от 550 м для турбореактивных самолетов и до 300 м для других типов самолетов.

Определение **расстояния от места приземления до начала скоростной РД** может быть выполнено для стандартных условий расположения аэродрома по формуле

$$L_o = L_{проб\ o} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{V_{сх}}{V_{пос}} \right)^2 \right], \quad (4.3)$$

а для местных расчетных условий расположения аэродрома формула примет вид

$$L_l = L_{проб\ o} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{V_{сх}}{V_{пос}} \right)^2 \right] \cdot k_t \cdot k_p \cdot k_i = L_o \cdot k_t \cdot k_p \cdot k_i, \quad (4.4)$$

где  $L_{проб\ o}$  – длина пробега до полной остановки самолета в стандартных условиях, м;  $V_{сх}$  – скорость схода самолета с ВПП на скоростную РД, км/ч (принять 80 и 100 км/ч);  $V_{пос}$  – посадочная скорость самолета, км/ч (принять для Ил-86 – 235; Ту-154 – 200 и Як-40 – 180 км/ч);  $k_t$ ,  $k_p$  – коэффициенты, учитывающие влияние температуры и давления в конкретных условиях местности (см. формулы (2.11) и (2.27));  $k_i$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона  $i=0,005$  (см. формулу (2.14) при  $\delta_i=3$  для всех типов самолетов).

**Расстояние от торца ВПП до начала скоростной РД  $L$**  в местных (расчетных) условиях выполняют по формуле

$$L = L_l + L_{приз}. \quad (4.5)$$

Если аэропорт должен принимать самолеты типа Боинг-747, то может потребоваться устройство дополнительной скоростной РД, расположенной на расстоянии  $L=1980$  м от торца ВПП.

### Определение параметров траектории схода самолетов с ВПП.

С учетом обеспечения безопасного движения самолетов и создания более благоприятных условий для их управления на участке схода углы примыкания скоростных РД к ВПП целесообразно принимать в интервале 30-45°. С увеличением угла примыкания РД к ВПП расстояние видимости на кривой уменьшается. Чем больше угол примыкания, тем большая часть криволинейного участка выходит за пределы угла острого зрения. Угол острого зрения принимается равным 20°. За пределами этого угла летчик оценивает обстановку на аэродроме путем поворота головы и глаз. Это осложняет управление, требует от летчика большого напряжения при движении по криволинейной траектории.

Одним из решающих факторов, определяющих наиболее приемлемый вид криволинейной траектории, является характер нарастания центростремительного ускорения. Применение переходных кривых позволяет обеспечить плавный поворот носовой стойки, постепенное

нарастание центробежного ускорения. Наиболее приемлема **клотоида** – радиоидальная спираль или радиоида.

В процессе движения по криволинейной траектории скорость самолета постепенно падает, что следует учитывать при определении  $R_{min}$  в конце траектории по следующей формуле

$$R_{min} = \frac{V_p^2}{12,96 \cdot g \cdot \left\{ i + \frac{C_z}{C_{y_{noc}}} \cdot \left( \frac{V_p}{V_{noc}} \right)^2 + \mu \cdot \left[ 1 - \frac{C_{y_{cm}}}{C_{y_{noc}}} \cdot \left( \frac{V_p}{V_{noc}} \right)^2 \right] \right\}}, \quad (4.6)$$

где  $V_p$  – скорость движения самолета в расчетной точке криволинейной траектории, км/ч;  $C_z$  – коэффициент боковой аэродинамической силы;  $C_{y_{cm}}$ ,  $C_{y_{noc}}$  – коэффициент подъемной силы в стояночном и посадочном положении самолета;  $V_{noc}$  – посадочная скорость самолета, км/ч;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $i$  – поперечный уклон виража (0,04);  $\mu$  – коэффициент поперечной силы, принимаемый в зависимости от состояния покрытия равным 0,15.

Зная радиус  $R_{min}$  и угол  $\alpha$  определяются основные параметры клотоиды.

В качестве примера на рис. 4.3 представлена схема скоростной РД для угла примыкания 45° скоростной РД к ВПП при  $V_{cx}=80$  км/ч.

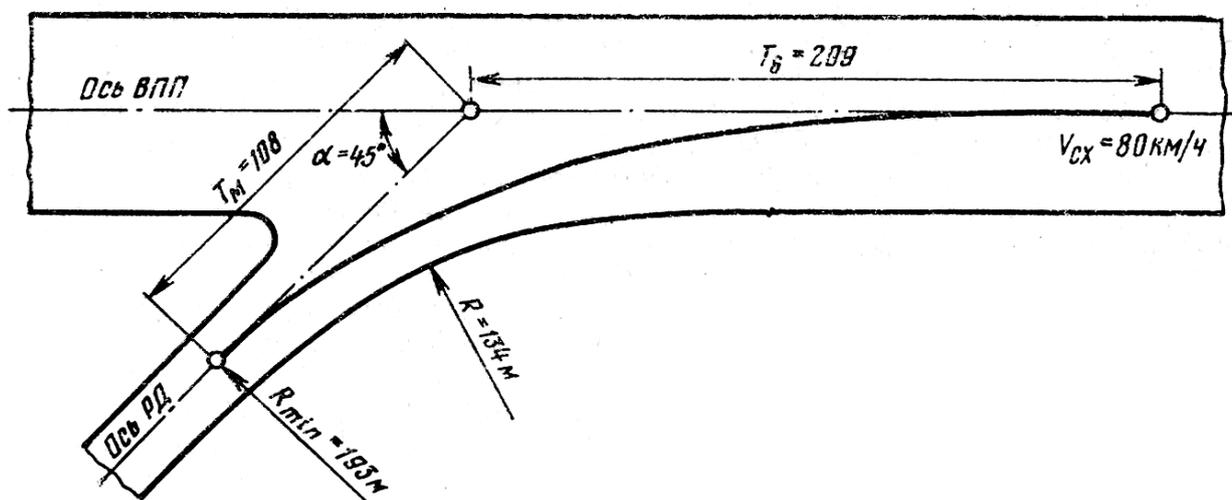


Рис. 4.3. Схема скоростной РД при  $V_{cx}=80$  км/ч и угле примыкания РД к ВПП 45°

### Порядок выполнения работы

1. Начертить расчетную схему для определения ширины РД (см. рис. 4.2) и рассчитать ширину РД по (4.1) для трех типов самолетов. Исходные данные приведены в табл. 4.1.
2. По табл. 4.2 с учетом размаха крыла и колеи шасси назначить трем типам самолетов индексы. Сравнить рассчитанную ширину магистральной РД с нормативной для назначенного индекса ВС (табл. 4.2) и принять для проектирования большее значение.
3. Рассчитать оптимальное удаление места приземления самолета от торца ВПП по (4.2) для трех типов самолетов.
4. Определить расстояния от места приземления до начала скоростной РД в стандартных и местных (расчетных) условиях по (4.3) и (4.4) для двух скоростей схода  $V_{cx}$  – 80 и 100 км/ч. При этом коэффициенты  $k_t$  и  $k_p$  принять для своего района проектирования аэродрома из практической работы № 2.
5. Рассчитать расстояние от торца ВПП до начала скоростной РД в местных (расчетных) условиях по (4.5).
6. Определить параметры траектории схода самолетов с ВПП. Значение  $R_{min}$  рассчитать по формуле (4.6) для  $V_p$ , равной 80 и 100 км/ч и трех типов самолетов. Значение  $C_{y_{cm}}$  принять равным 0,41.  $C_z$  и  $C_{y_{noc}}$  зависят от скорости  $V_p$  и составляют для 80 км/ч – 0,3 и 0,62 и для скорости 100 км/ч – 0,2 и 0,82 соответственно.

Полученные значения  $R_{min}$  округлить в большую сторону с точностью до 5 м. Далее в расчетах использовать два максимальных значения  $R_{min}$  – для скоростей схода 80 и 100 км/ч.

Зная радиус  $R_{min}$  и приняв угол  $\alpha=\beta$ , равным  $30^0$  и  $45^0$  определить основные параметры одной ветви клотоиды.

Для  $R=100$  м и угла  $\beta=30^0$ :  $T_B=T_D=70,843$  м;  $T_M=T_K=35,845$  м;  $B_{кл}=5,576$  м;  $L=104,720$  м.

Для  $R=100$  м и угла  $\beta=45^0$ :  $T_B=T_D=108,316$  м;  $T_M=T_K=55,645$  м;  $B_{кл}=13,030$  м;  $L=157,080$  м.

7. Начертить схемы скоростных РД при  $V_{сх}=80$  км/ч и угле примыкания РД к ВПП  $30^0$ ,  $V_{сх}=100$  км/ч и углах примыкания РД к ВПП  $30^0$  и  $45^0$  (см. рис. 4.3).

8. В выводе привести анализ полученных результатов.

## Практическая работа № 5

**Тема:** Проектирование вертикальной планировки аэродрома

**Цель работы:** 1. Изучить характеристики рельефа и методы вертикальной планировки.  
2. Произвести дефектовку грунтовой поверхности по уклонам и кривизне.  
3. Запроектировать вертикальную планировку искусственных покрытий.

### Общие сведения

Рельеф участков, выбранных для строительства аэродромов, обычно нуждается в исправлении, в результате которого получается проектная поверхность участка. Она должна удовлетворять нормативным требованиям, установленным для определенного класса аэродромов.

Процесс проектирования и графического оформления проектной поверхности называют **проектированием вертикальной планировки**, или проектированием рельефа, а получаемые в результате этого графические и текстовые материалы – проектом вертикальной планировки.

С точки зрения удобства и безопасности выполнения взлетно-посадочных операций, идеальной будет горизонтальная поверхность аэродрома. Однако такое решение неприемлемо по следующим причинам: во-первых, для создания горизонтальной поверхности аэродрома требуется, как правило, выполнить значительные объемы земляных работ, во-вторых, горизонтальная поверхность не обеспечивает стока талых и дождевых вод, что в ряде случаев может служить причиной резкого снижения эксплуатационных качеств и даже выхода из строя аэродрома и значительного увеличения расходов на его содержание и ремонт. Поэтому при разработке проекта аэродрома наряду с требованиями безопасности полетов необходимо соблюдать надлежащие условия водоотвода.

Следует учитывать и другие факторы, которые могут повлиять на прочность и устойчивость аэродрома, например строительные качества грунтов, слагающих участок, возвышение проектной поверхности над уровнем грунтовых вод, наличие условий для произрастания дернообразующих трав и др. При строительстве современного аэропорта высокого класса требуется разработать и переместить в средних условиях 500-700 тыс. м<sup>3</sup> грунта (для некоторых аэропортов объем земляных работ достигает нескольких миллионов м<sup>3</sup>). Главная часть этого объема приходится на земляные работы, связанные с вертикальной планировкой аэродрома.

**Основными характеристиками рельефа аэродрома являются:**

- частный уклон поверхности  $i$ ;
- излом поверхности  $\Delta i$ ;
- шаг проектирования  $a$ ;
- радиус кривизны поверхности  $R$ ;
- средний уклон  $i_{ср}$ ;
- расстояние видимости  $l_{вид}$ .

*Частным* называется уклон на участке между двумя соседними изломами профиля. Если имеется профиль участка (рис. 5.1), то частными будут уклоны  $i_1-i_5$ .

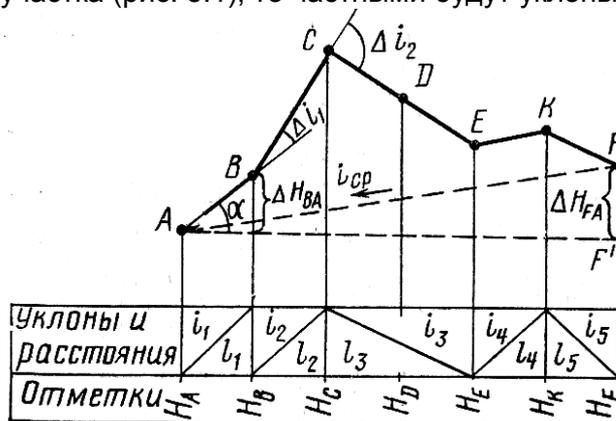


Рис. 5.1. Уклоны и изломы поверхности аэродрома

Частный уклон количественно оценивается частным от деления разности отметок (превышения) крайних точек рассматриваемого отрезка на его заложение

$$i = \frac{H_B - H_A}{l_1} = \frac{\Delta H_{BA}}{l_1} \quad (5.1)$$

Как видно из рис. 5.1, это отношение равно тангенсу угла наклона отрезка  $AB$  к горизонту  $i = \operatorname{tg} \alpha$ .

При малых углах тангенс угла наклона можно считать равным углу наклона, т. е.  $\alpha = i$ . Таким образом, для определения величины уклона достаточно вычислить отношение (5.1).

Частные уклоны в направлении оси летной полосы называют **продольными частными уклонами** или просто продольными уклонами, а в направлении, перпендикулярном к оси летной полосы, – **поперечными уклонами**.

Различают **восходящие и нисходящие продольные уклоны** крайних участков ВПП. Под нисходящим понимают продольный уклон крайнего участка, направленный к торцу ВПП, под восходящим – продольный уклон, имеющий обратное направление. Восходящие и нисходящие продольные уклоны могут иметь концевые полосы безопасности (КПБ). Максимальные значения частных уклонов определяются главным образом условиями взлета, посадки и руления самолетов.

**Излом поверхности** оценивается величиной излома  $\Delta i$  продольного профиля в данной точке. Величина излома определяется суммой уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами разных направлений (рис. 5.2)

$$\Delta i = i_1 + i_2 \quad (5.2)$$

Величина излома определяется разностью уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами одного направления (рис. 5.3)

$$\Delta i = i_1 - i_2 \quad (5.3)$$

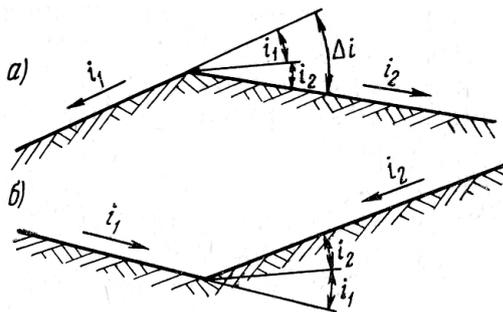


Рис. 5.2. Изломы поверхности ЛП при уклонах разных направлениях: а – трамплин; б – встречный уклон

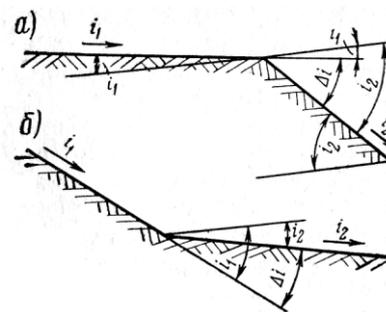


Рис. 5.3. Изломы поверхности ЛП при уклонах одного направления: а – трамплин; б – встречный уклон

Изломы на выпуклых участках профиля (см. рис. 5.2а и 5.3а) называют **трамплинами**, на вогнутых (см. рис. 5.2б и 5.3б) – **встречными уклонами**.

Такое разделение изломов в известной мере условное (особенно для грунтовых элементов аэродромов) и используется лишь для оценки качества вертикальной планировки.

**Шаг проектирования  $a$**  – допустимое минимальное расстояние между соседними изломами профиля. В практике проектирования принято изменять продольные уклоны только в вершинах квадратов нивелировочной сетки. Поэтому шаг проектирования принимается равным размеру стороны квадрата нивелировочной сетки (обычно 40 м). Данная характеристика, как следует из ее названия, относится только к проектной поверхности аэродрома.

**Радиус кривизны поверхности  $R$**  характеризует поверхность кругового цилиндра для сопряжения переломов продольного профиля (рис. 5.4).

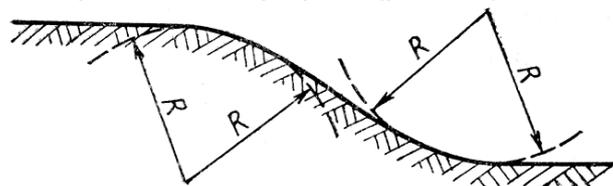


Рис. 5.4. Радиус кривизны поверхности аэродрома

Продольные профили представляют собой сопряженные круговые дуги и отрезки прямых. Кривизну участков такой поверхности в продольном профиле можно характеризовать ее радиусом. Им можно пользоваться для проектирования рельефа и в тех случаях, когда на плане топографической съемки участка отсутствует нивелировочная сетка квадратов и рельеф изображается только горизонталями.

Можно установить связь между тремя характеристиками: радиусом кривизны  $R$ , шагом проектирования  $a$  и изломом поверхности  $\Delta i$

$$\Delta i_{max} = \frac{a}{R_{min}}. \quad (5.4)$$

Однозначная связь между этими величинами позволяет нормировать лишь одну из них. В нормах на проектирование рельефа обычно указывается минимальный вертикальный радиус кривизны, так как эта характеристика является более универсальной.

Исходя из режимов движения и типов эксплуатируемых самолетов требования к кривизне поверхности элементов аэродромов различных классов различны. Кроме того, эти требования различаются и у различных элементов аэродромов одного класса. Для аэродромов классов I и II минимальное значение радиуса кривизны поверхности ИВПП составляет 20 000 м, а КПБ – 6000 м. Тогда максимально допустимые изломы поверхности будут равны: для ИВПП  $\Delta i_{max} = 40 / 20000 = 0,002$ ; для КПБ –  $\Delta i_{max} = 40 / 6000 = 0,007$ .

Для аэродромов классов III и IV требования к кривизне поверхности характеризуются следующими показателями: для ИВПП  $R_{min} = 10\ 000$  м,  $\Delta i_{max} = 0,004$ ; для КПБ  $R_{min} = 4000$  м,  $\Delta i_{max} = 0,010$ .

**Средний уклон  $i_{cp}$**  – уклон условной линии, соединяющей конечные точки участка (на рис. 5.1 линия AF), – определяется как частное от деления разности отметок (превышения) конца и начала участка на его протяженность (горизонтальное продолжение).

Чаще всего понятие среднего уклона относят к длине ИВПП. При этом средний уклон характеризует уклон условной линии, соединяющей концы ИВПП.

Величина среднего уклона нормами не регламентируется, однако эту характеристику следует учитывать при проектировании вертикальной планировки. Величина среднего уклона влияет на длину пробега и разбега самолета. При разбеге самолета против уклона длина разбега увеличивается, при пробеге по уклону увеличивается длина пробега. С увеличением среднего продольного уклона может возникнуть необходимость существенного удлинения летной полосы.

К числу характеристик, обеспечивающих безопасность выполнения взлетно-посадочных операций, можно отнести также **видимость на ВПП**. Продольный профиль ИВПП должен обеспечивать взаимную видимость двух точек, находящихся на высоте 3 м от поверхности, на расстоянии не менее половины длины ИВПП. Указанное расстояние видимости принято на основании опытных данных. Оно позволяет своевременно принять летчику необходимые меры безопасности при выполнении взлетно-посадочных операций и внезапном появлении препятствий на летной полосе.

**Для изображения рельефа применяют способы числовых отметок, горизонталей, вертикальных профилей.**

При **способе числовых отметок** (или способе отметок) рельеф аэродрома изображается системой отметок. Для этой цели территорию аэродрома разбивают на квадраты. Одно из направлений сетки квадратов обязательно должно быть параллельным направлению оси летной полосы (совпадать с осью ВПП). На участках расположения других элементов аэродрома (РД, перрон, специальные площадки) разбивают самостоятельные сетки квадратов, связанные с общей системой отметок. Числовые отметки проставляют в каждой вершине квадратов нивелировочной сетки (рис. 5.5).

При этом различают:

- **черные отметки**, относящиеся к естественной поверхности;
- **красные или проектные отметки**, относящиеся к проектной поверхности;
- **рабочие отметки**, определяющиеся как разность между проектной и черной отметками в данной точке. Рабочая отметка определяет глубину выемки или высоту насыпи в данной точке и указывается обычно в сантиметрах. Рабочая отметка со знаком «–» означает выемку, со знаком «+» – насыпь.

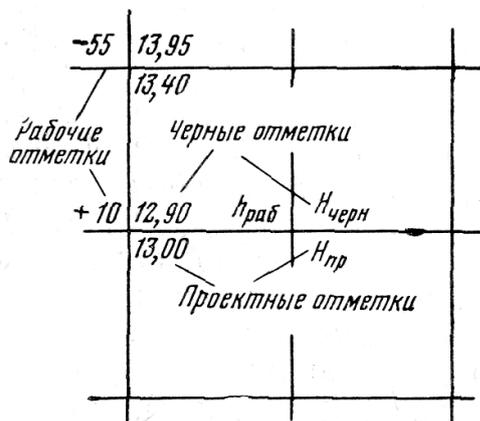


Рис. 5.5. Изображение рельефа числовыми отметками

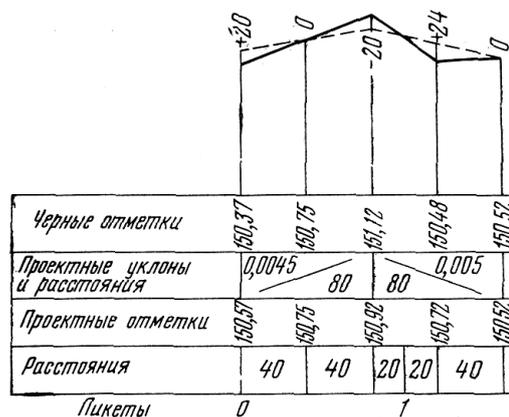


Рис. 5.6. Изображение рельефа с помощью вертикального профиля

При **способе горизонталей** проектная поверхность изображается системой горизонталей. Здесь также различают черные и проектные горизонталы, которые относятся соответственно к естественной и проектной поверхностям. На планах проектные горизонталы вычерчивают красным цветом, а черные – черным или коричневым цветом.

Способ **вертикальных профилей** заключается в изображении естественной или проектной поверхностей с помощью системы вертикальных профилей. Вертикальные профили вычерчивают по нескольким направлениям (обычно взаимно-перпендикулярным продольным и поперечным направлениям). Вертикальные профили дополняют черными, проектными и рабочими отметками (рис. 5.6).

*В соответствии с указанными способами изображения рельефа разработаны и методы вертикальной планировки аэродромов, которые получили наименования методов отметок, горизонталей и вертикальных профилей.*

Метод отметок позволяет определить проектные и рабочие отметки в вершинах квадратов нивелировочной сетки, метод горизонталей – нанести проектные горизонталы, а метод вертикальных профилей – определить проектные и рабочие отметки по заданному направлению.

С точки зрения рассмотренных выше требований к вертикальной планировке аэродромов различают два вида участков местности, требующих исправления:

- участки с недопустимыми уклонами, т. е.  $i_{\text{черн}} > i_{\text{max}}$  и  $i_{\text{черн}} < i_{\text{min}}$ ;
- участки с недопустимой кривизной, т. е.  $R < R_{\text{min}}$  или  $\Delta i > \Delta i_{\text{max}}$ .

**Такие участки называют дефектными.**

Процесс исправления участков с недопустимыми уклонами называют **дефектовкой по уклонам**, а участков с недопустимой кривизной – **дефектовкой по кривизне**.

Рельеф участков можно исправить тремя способами (рис. 5.7): только насыпью, только выемкой, выемкой и насыпью.

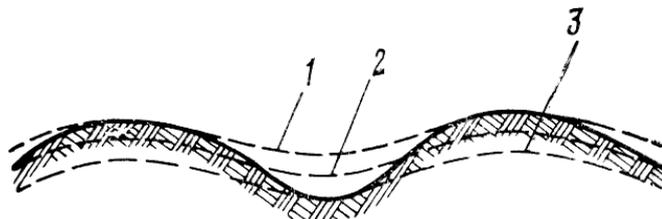


Рис. 5.7. Три способа исправления рельефа: 1 – в насыпи; 2 – в насыпи-выемке; 3 – в выемке

Если грунт перемещают только в пределах данного дефектного участка, т. е. объем насыпи будет равен объему выемки, способ исправления рельефа называют **частным балансом**.

Переход от одного способа исправления рельефа к другому может быть осуществлен путем перемещения проектной поверхности в вертикальной плоскости, т. е. изменением ее высотного положения. Из этого следует, что перемещение проектной поверхности вверх увеличивает объем земляных работ в насыпи, а ее понижение увеличивает объем земляных работ в выемке (см. рис. 5.7).

Таким образом, проектирование рельефа сводится к решению **двух основных задач**:

- определение очертания проектной поверхности, удовлетворяющей нормативным требованиям;
- определение высотного положения проектной поверхности.

Практически вертикальная планировка осуществляется следующим образом.

### 1. Проектирование вертикальной планировки грунтовой поверхности аэродромов методом числовых отметок.

#### 1.1. Дефектовка участков с недопустимыми уклонами на плане в отметках.

Дефектовка по уклонам сводится к сравнению превышения соседних вершин квадратов  $\Delta H$  с допустимыми превышениями, которые должны быть подсчитаны заранее исходя из нормативных требований к уклонам:

$$\Delta H_{max} \geq \Delta H \geq \Delta H_{min}, \quad (5.5)$$

$$\Delta H_{max} = a \cdot i_{max}; \quad \Delta H_{min} = a \cdot i_{min}, \quad (5.6)$$

где  $a$  – шаг проектирования – расстояние между отметками соседних квадратов, принимается 40 м.

**Пример.** Произвести дефектовку по уклонам (рис. 5.8), имея  $i_{max} = 0,025$ ;  $i_{min} = 0,005$ . В углах квадратов указаны черные отметки.

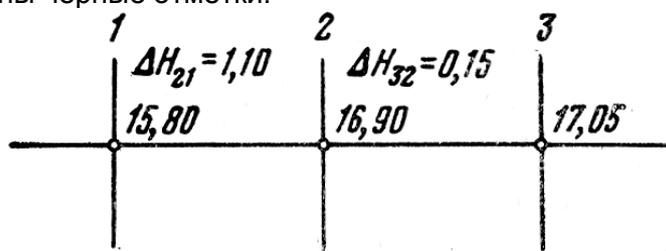


Рис. 5.8. Исходные данные к дефектовке рельефа по уклонам на плане в отметках

Используя (5.6) рассчитаем:

$$\Delta H_{max} = a \cdot i_{max} = 40 \cdot 0,025 = 1,0 \text{ м}; \quad \Delta H_{min} = a \cdot i_{min} = 40 \cdot 0,005 = 0,2 \text{ м}.$$

Определим превышения соседних вершин квадратов:

$$\Delta H_{21} = 16,90 - 15,80 = 1,10 \text{ м} > \Delta H_{max} = 1,0 \text{ м};$$

$$\Delta H_{32} = 17,05 - 16,90 = 0,15 \text{ м} < \Delta H_{min} = 0,2 \text{ м}.$$

Следовательно, на участке 1-2 недопустимо большой уклон, а на участке 2-3 слишком малый.

Исправление рельефа на участках, дефектных по уклону, сводится к определению проектных отметок, разность которых удовлетворяет неравенству (5.5). Возможны три решения.

1. **Решение в насыпи.** В этом случае черная отметка  $H_1$  должна быть увеличена на величину  $h_n$  (рабочая отметка). Проектная отметка в вершине 1 –  $H_{пр1} = H_1 + h_n = 15,80 + 0,10 = 15,90 \text{ м}$ , где  $h_n = \Delta H_{21} - \Delta H_{max} = 1,10 - 1,00 = 0,10 \text{ м}$ .

Аналогично производим расчет проектной отметки в вершине 3

$$H_{пр3} = H_3 + h_{н3} = 17,05 + 0,05 = 17,10 \text{ м}.$$

2. **Решение в выемке.** Для решения, при котором земляные работы будут выполняться только в выемке, проектную поверхность достаточно опустить на величину  $h_e$ . После этого проектная отметка вершины 1 станет равной черной отметке  $H_1$ , отметка вершины 2 уменьшится на величину  $h_{e2}$ , а вершины 3 – на  $h_{e3}$ .

Искомые величины  $h_e$  можно вычислить с помощью зависимостей:

$$h_{e2} = \Delta H_{21} - \Delta H_{max} = 1,10 - 1,00 = 0,10 \text{ м}.$$

$$h_{e3} = \Delta H_{min} - \Delta H_{32} = 0,20 - 0,15 = 0,05 \text{ м}.$$

Тогда отметки точек получатся равными:  $H_{пр1} = 15,80 \text{ м}$ ;  $H_{пр2} = 16,80 \text{ м}$ ;  $H_{пр3} = 17,00 \text{ м}$ .

3. **Решение в выемке-насыпи.** В этом случае проектная поверхность должна занять в высотном отношении некоторое промежуточное положение. Искомые величины  $h_n$  и  $h_e$  определяются из условия

$$(H_2 - h_e) - (H_1 + h_n) = \Delta H_{max}, \quad (5.7)$$

откуда  $h_e + h_n = \Delta H - \Delta H_{max}$ , т. е. вносимые поправки в сумме должны составить такую же величину, как и поправки к черным отметкам для двух рассмотренных случаев.

Разным значениям  $h_n$  и  $h_e$  при их неизменной сумме будут соответствовать различные соотношения объемов земляных работ в насыпи и выемке. Для получения частного (баланса следует принять  $h_e = h_n$ , т.е.  $h_{n1} = h_{e2} = (\Delta H_{21} - \Delta H_{max}) / 2 = (1,10 - 1,00) / 2 = 0,05$  м.

Тогда проектные отметки составят

$$H_{np1} = H_1 + h_{n1} = 15,80 + 0,05 = 15,85 \text{ м}; H_{np2} = H_2 - h_{n1} = 16,90 - 0,05 = 16,85 \text{ м}.$$

$$\text{Разность } H_3 - H_{np2} = 17,05 - 16,85 = 0,20 = \Delta H_{min}, \text{ т.е. } H_{np3} = H_3 = 17,05.$$

Если неравенство  $H_3 - H_{np2} \geq \Delta H_{min}$  выполняется, то необходимо черная отметка в точке 3 равна проектной и  $H_{np3} = H_3$ .

Если неравенство  $H_3 - H_{np2} \geq \Delta H_{min}$  не выполняется, то необходимо увеличить отметку в точке 3 на величину  $h_{n3} = \Delta H_{min} - (H_3 - H_{np2})$  и тогда  $H_{np3} = H_3 + h_{n3}$ .

Проектные отметки подписываются под черными (рис. 5.9).

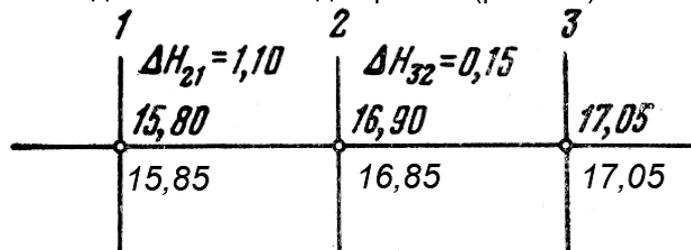


Рис. 5.9. Дефектовка рельефа по уклонам на плане в отметках

## 1.2. Выявление и исправление участков с недопустимой кривизной на плане в отметках.

**Пример.** Произвести дефектовку естественного рельефа по кривизне (рис. 5.10).

Дано:  $R_{min} = 10^4$  м;  $a = 40$  м.

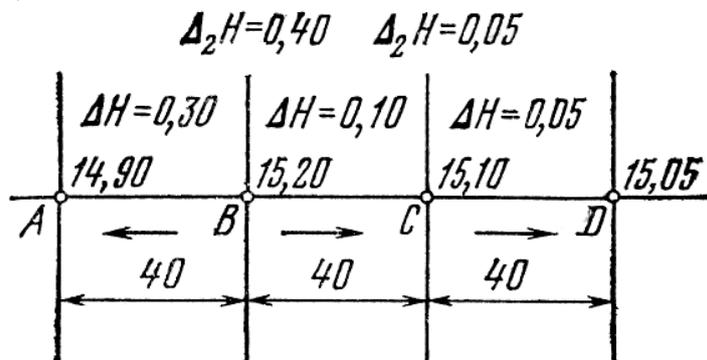


Рис. 5.10. Исходные данные к дефектовке участка с недопустимой кривизной на плане в отметках

Рассчитаем максимально допустимое значение кривизны  $\Delta_2 H_{max} = \frac{a^2}{R_{min}} = \frac{40^2}{10^4} = 0,16$  м.

Сравнивая полученные разности превышений с максимально допустимой, можно сделать следующие выводы:

- кривизна в вершине B недопустима, так как  $\Delta H_{BA} + \Delta H_{BC} = 0,30 + 0,10 = 0,40$  м  $> 0,16$  м;
- кривизна в вершине C допустима, так как  $\Delta H_{BC} - \Delta H_{CD} = 0,10 - 0,05 = 0,05$  м  $< 0,16$  м.

Следующий этап проектирования рельефа – исправление участков, дефектных по кривизне. Исправление дефектного по кривизне участка сводится к назначению таких проектных и рабочих отметок в вершинах квадратов, при которых будет допустимой разность превышений трех соседних вершин, расположенных в плане на одной прямой.

Величина поправки рассчитывается по формуле

$$\Delta y = h_1 + 2h_2 + h_3 = \Delta_2 H_{черн} - \Delta_2 H_{max}. \quad (5.8)$$

Подставляя численные значения в (5.8), получим  $\Delta y = 0,40 - 0,16 = 0,24$  м.

При расчетах по (5.8) возможны три решения:

- принимая  $h_1 = h_3 = 0$  – решение в выемке;

- $h_1=h_2=h_3$  – частный баланс.
- $h_2=0$  – решение в насыпи. В отличие от двух предыдущих частных случаев условию (5.8) удовлетворяет множество решений. Действительно, величинам  $h_1$  и  $h_3$  можно придавать бесконечное множество значений, при которых сумма будет оставаться постоянной. Для выбора однозначного решения необходимо учитывать местные условия, в частности рабочие отметки  $h_1$  и  $h_3$  увязывать с прилегающим рельефом и учитывать получающиеся по сторонам квадратов проектные уклоны.

При решении в выемке из (5.8) определяем  $h_2=0,12$  м,

Тогда проектные отметки составят:

$H_{прА}=H_A=14,90$  м;  $H_{прВ}=H_B-h_2=15,20-0,12=15,08$  м;  $H_{прС}=H_C=15,10$  м.

Проверка:  $\Delta H_{ВА}+\Delta H_{ВС}=0,18-0,02=0,16$  м  $=0,16$  м.

Так как уклон участка  $ВС$  изменил направление, то рассчитаем снова

$\Delta H_{ВС}-\Delta H_{СD}=0,02+0,05=0,07$  м  $< 0,16$  м, значит дефектовка участка  $CD$  не требуется.

Изложенные приемы исправления кривизны поверхности применимы как для выпуклых, так и для вогнутых участков земной поверхности.

## 2. Построение поверхности искусственных покрытий.

Положение проектной поверхности покрытия в пространстве в пределах каждой плоскости однозначно определяется отметками и горизонталями, если заданы:

- не менее двух горизонталей;
- не менее трех отметок точек плоскости;
- хотя бы одна горизонталь и одна отметка точки, расположенной вне горизонтали.

В практике проектирования поверхности аэродромных покрытий используются все три способа задания положения плоскости в пространстве, а именно: горизонталями; отметками; горизонталями и отметками.

Рассмотрим характерные задачи на вычисление отметок и построение горизонталей поверхности покрытия, отличающиеся способом задания проектных плоскостей.

**Задача 1.** Положение участка поверхности искусственного покрытия задано двумя или более горизонталями (рис. 5.11). Заданы горизонтали 52,50 и 52,25. Из условия задачи следует, что заложения  $d_{пр}$  и  $d_{пол}$ , соответствующие продольному и поперечному уклонам плоскости, также известны. Тогда горизонталь 52,00 должна пройти через точки А и В, которые определяются так, как показано на рис. 5.11.

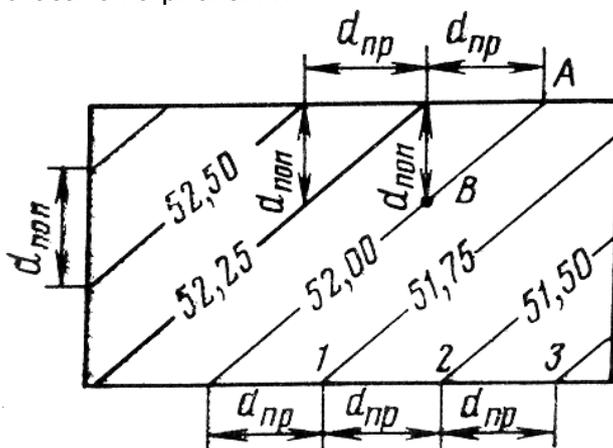


Рис. 5.11. Построение горизонталей участка поверхности искусственных покрытий по двум горизонталям

Последующие горизонтали строят аналогичным образом. Для построения достаточно наметить точки 1, 2 и т. д. и провести через них прямые, параллельные заданным горизонталям.

**Задача 2.** Положение участка проектной поверхности покрытия в пространстве задано отметкой точки  $H_A$  и двумя уклонами  $i_{пр}$  и  $i_{пол}$  (рис. 5.12). Требуется определить отметки угловых точек участка и построить горизонтали.

Если задана отметка  $H_A$ , то отметку любой точки (например,  $H_B$ ), которая лежит на прямой, совпадающей с направлением уклона  $i_{пр}$ , можно определить по формуле

$$H_B = H_A + l_{AB} \cdot i_{пр}. \quad (5.9)$$

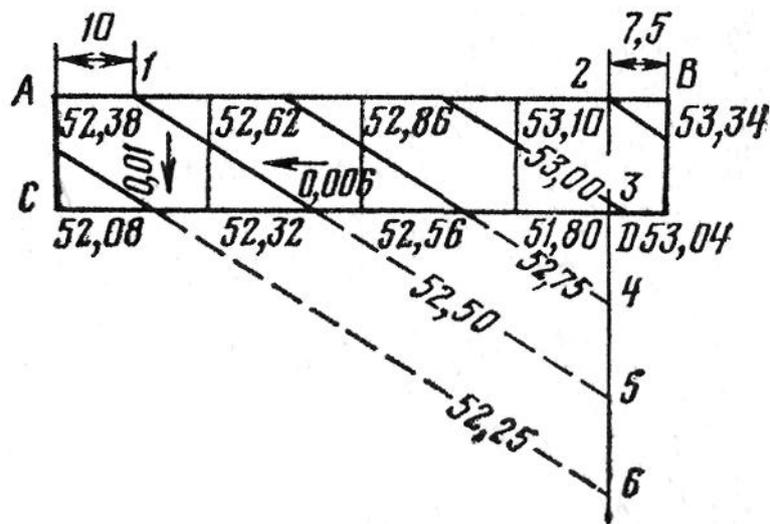


Рис. 5.12. Построение горизонталей и вычисление отметок поверхности покрытий по одной отметке и двум уклонам

Например, задано: отметка  $H_A=52,38$ ; продольный уклон  $i_{пр}=0,006$ ; поперечный уклон  $i_{поп}=0,01$ ; сечение горизонтали  $h_{гор}=0,25$  м; знаменатель масштаба  $\mu=2000$  (М 1:2000);  $l_{AB}=160$  м;  $l_{AC}=30$  м.

Определим отметки вершин заданного прямоугольника:

$$H_B=52,38+160\cdot 0,006=53,34; H_C=52,38-30\cdot 0,01=52,08; H_D=53,34-30\cdot 0,01=53,04.$$

Для построения горизонталей найдем местоположение точки 1, принадлежащей горизонтали 52,50. Расстояние искомой точки 1 с отметкой 52,50 от точки с отметкой  $H_A=52,38$  определим из соотношения  $H_1=H_A+l_{A1}\cdot i_{пр}$ ,

$$\text{откуда } l_{A1} = \frac{(H_1 - H_A) \cdot 10^3}{\mu \cdot i_{пр}} = \frac{(52,50 - 52,38) \cdot 10^3}{2000 \cdot 0,006} = 10 \text{ мм.}$$

Таким же путем определим расстояние точки 2, принадлежащей горизонтали 53,25, от точки с отметкой  $H_B=53,34$

$$l_{B2} = \frac{(H_B - H_2) \cdot 10^3}{\mu \cdot i_{пр}} = \frac{(53,34 - 53,25) \cdot 10^3}{2000 \cdot 0,006} = 7,5 \text{ мм.}$$

Далее определим заложение горизонталей, соответствующее поперечному уклону  $i_{поп}=0,01$

$$d_{поп} = \frac{h_{гор} \cdot 10^3}{\mu \cdot i_{поп}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{2000 \cdot 0,01} = 12,5 \text{ мм.}$$

$$\text{Аналогично } d_{пр} = \frac{h_{гор} \cdot 10^3}{\mu \cdot i_{пр}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{2000 \cdot 0,006} = 20,8 \text{ мм.}$$

Проведем через точку 2 вспомогательный поперечник и отложим на нем вниз отрезки, длиной 12,5 мм. Этим приемом условно расширяется поверхность покрытия в нужном нам направлении. Тогда через точку 3 должна проходить горизонталь 53,00, через точку 4 – горизонталь 52,75 и т. д. В пределах участка поверхности покрытия отметка младшей горизонтали равна 52,25. Поэтому на поперечнике необходимо отложить вниз от точки 2 четыре отрезка. Соединив точки 1 и 5, имеющие одинаковые отметки, получим горизонталь 52,50. Другие горизонталы будут параллельны горизонтали 52,50 и проходить через соответствующие точки, как показано на рис. 5.12.

Второй способ проведения проектных горизонталей – отложить от точки 1 вправо значение  $d_{пр}$  и вниз –  $d_{поп}$  (см. рис. 5.11) и через полученную точку и точку 1 провести проектную горизонталь 52,50.

Все задачи построения поверхности искусственных покрытий, в конечном счете, сводятся к двум рассмотренным выше.

Рассмотрим проектирование виража на участке поворота двускатной магистральной РД (рис. 5.13).

**Пример.** Заданный поперечный уклон РД  $i_{\text{попРД}} = 0,01$ ; ширина РД  $b_{\text{РД}} = 21$  м; уклон виража  $i_B = 0,04$ ; величина уширения РД на повороте  $\Delta = 3,5$  м; радиус закругления РД по ее внутренней кромке  $R = 40$  м; проектная отметка поверхности покрытия  $H_B = H_{B_1} = 100,90$ .

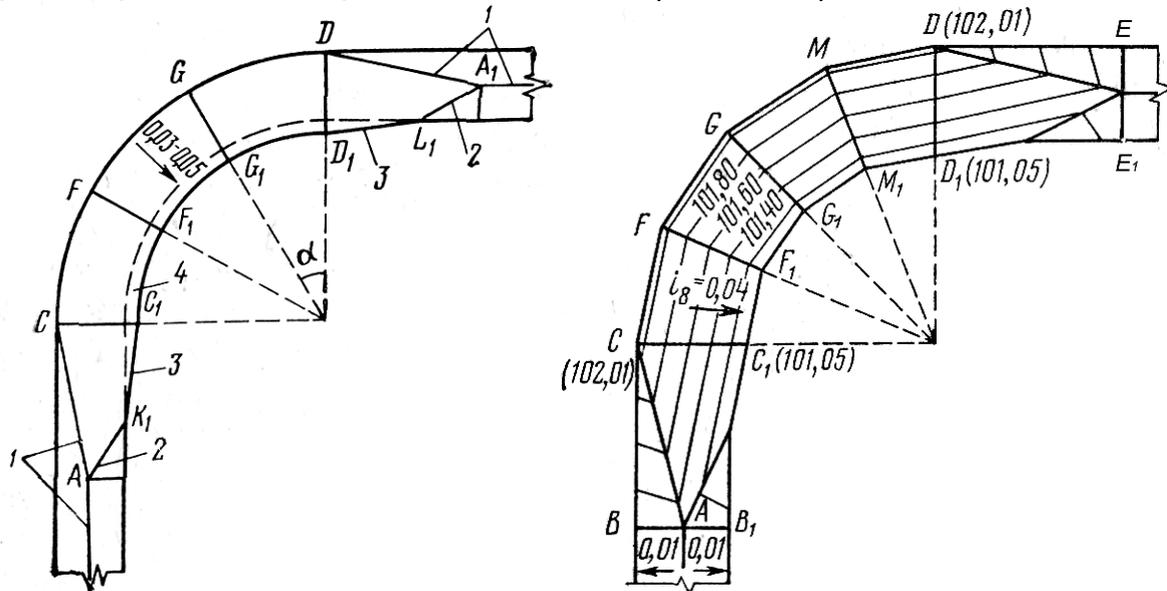


Рис. 5.13. Вертикальная планировка симметричного виража: 1 – гребень; 2 – диагональ; 3 – линия отгона уширения; 4 – уширение РД

Примем  $\alpha = 22,5^\circ$ , при котором будет четыре переходных поверхности.

Проектирование вертикальной планировки виража начнем с назначения проектной отметки точки  $D_1$ , так как в рассматриваемом примере грунтовая поверхность над этой точкой имеет большую отметку, чем над точкой  $C_1$  и  $H_{D_1} = H_{ep} + 0,30 = 100,75 + 0,30 = 101,05$ .

Для симметричного виража проектные отметки точек  $C_1$ ,  $F_1$ ,  $G_1$  и  $M_1$  также будут равны 101,05.

Определим проектные отметки точек С и D.

Из рис. 5.13 следует, что заложения горизонталей  $d_D$  по диагоналям виража связаны с заложением горизонталей  $d_B$ , соответствующих уклону  $i_B$ , зависимостью  $d_D = d_B / \cos \frac{\alpha}{2}$ .

Отсюда следует, что уклоны по диагоналям виража могут быть выражены формулой

$$i_D = i_B \cdot \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда искомые проектные отметки определяются следующим образом

$$H_C = H_D = H_{C_1} + CC_1 \cdot i_B \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 101,05 + 24,5 \cdot 0,04 \cdot 0,98 = 102,01.$$

Такие же проектные отметки будут иметь точки  $F$ ,  $G$  и  $M$ .

Для выноса проекта в натуру вычисляют координаты точек внешней и внутренней кромок РД на закруглениях.

После того, как найдены проектные отметки всех характерных точек узла, определяют продольные уклоны переходных плоскостей, изломы поверхности на образовавшихся поперечниках и сравнивают их с нормативными значениями. Следует обратить внимание, что величина продольных уклонов переходных плоскостей зависит от принятой длины переходных участков  $CB$  и  $DE$ .

Рассмотренное решение виража не всегда может быть рациональным. При повышенных уклонах естественной поверхности может оказаться целесообразным не придерживаться симметричного построения, а придавать, плоскостям, образующим вираж, продольные уклоны в соответствии с рельефом местности.

Проектирование заканчивается построением горизонталей в пределах узла и на участках его сопряжений с прилегающей грунтовой поверхностью.

## Порядок выполнения работы

1. Произвести дефектовку грунтовой поверхности аэродрома по уклонам на плане в отметках с использованием формул (5.5) и (5.6) и рис. 5.8. Исправить рельеф с использованием трех решений – в насыпи, в выемке и в выемке-насыпи. Исходные данные приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Исходные данные к расчетам по дефектовке уклонов

Вариант	Параметр					
	$i_{max}$	$i_{min}$	$a, м$	$H_1, м$	$H_2, м$	$H_3, м$
1	0,020	0,006	40	15,65	16,75	16,85
2	0,025	0,010	40	18,48	19,68	19,83
3	0,015	0,007	40	32,45	33,25	33,37
4	0,025	0,012	40	23,15	24,55	24,72
5	0,020	0,008	40	17,43	18,53	18,64
6	0,015	0,005	40	19,36	20,16	20,30

После расчетов начертить схемы планов (пример на рис. 5.9) и продольных профилей (возможно изображение трех вариантов на одной схеме) для каждого из вариантов исправления рельефа.

2. Произвести дефектовку по кривизне грунтовой поверхности аэродрома. Исправить рельеф с использованием трех решений – в насыпи, в выемке и в выемке-насыпи (частный баланс). Исходные данные приведены в табл. 5.2 (см. рис. 5.10).

Таблица 5.2. Исходные данные к расчетам по дефектовке кривизны

Вариант	Параметр					
	$R_{min}, м$	$a, м$	$H_A, м$	$H_B, м$	$H_C, м$	$H_D, м$
1	13000	40	15,65	15,97	15,84	15,78
2	12000	40	18,48	18,73	18,60	18,53
3	8000	40	32,45	32,80	32,68	32,65
4	9000	40	23,15	23,37	23,24	23,22
5	11000	40	17,43	17,67	17,53	17,49
6	15000	40	19,36	19,69	19,53	19,42

После расчетов начертить схемы планов (пример на рис. 5.10) и продольных профилей для каждого из вариантов исправления рельефа.

3. Построить проектные горизонталы для участка покрытия **двухскатной** ИВПП с использованием исходных данных, приведенных в табл. 5.3 (см. рис. 5.11 и 5.12).

Таблица 5.3. Исходные данные к расчетам по построению проектных горизонталей ИВПП

Вариант	Параметр							
	$H_A, м$	$a, м$	$i_{пр}$	$i_{пол}$	$h_{гор}, м$	$\mu$	$l_{AB}, м$	$l_{AC}, м$
1	15,65	40	0,005	0,010	0,25	2000	200	2x20
2	18,48	40	0,007	0,012	0,25	2000	220	2x30
3	32,45	40	0,010	0,015	0,25	1000	140	2x15
4	23,15	40	0,006	0,011	0,25	2000	240	2x25
5	17,43	40	0,010	0,013	0,25	1000	150	2x10
6	19,36	40	0,006	0,010	0,25	2000	230	2x35

**Основное отличие** данного задания от приведенного примера состоит в том, что в примере рассматривается односкатный поперечный профиль, а в задании – двухскатный.

Рассчитать отметки в узловых точках ИПВВ (по оси и на кромках покрытия) через значение  $a=40 м$ .

4. Запроектировать вертикальную планировку двускатного виража магистральной РД (пример на рис. 5.13) при исходных данных, приведенных в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Исходные данные к расчетам вертикальной планировки двускатного виража

Вариант	Параметр							
	$i_{полРД}$	$b_{РД}, м$	$i_B$	$\Delta, м$	$R, м$	$H_B, м$	$CB=DE, м$	$i_{пр РД}$
1	0,01	22,5	0,04	3,0	40	15,97	50	0,001
2	0,01	19,0	0,04	3,2	50	18,73	50	0,001
3	0,01	17,0	0,04	2,5	40	32,80	50	0,001
4	0,01	15,0	0,04	3,3	50	23,37	50	0,001
5	0,01	20,0	0,04	2,8	40	17,67	50	0,001
6	0,01	18,0	0,04	2,7	40	19,69	50	0,001

Построить схему разбивки виража с указанием всех отметок и размеров.

## Практическая работа № 6

**Тема:** Гидрологический, гидравлический и расчет на прочность водоотводных и дренажных систем аэродрома

**Цель работы:** 1. Ознакомиться с методикой гидрологических, гидравлических и расчетов на прочность водоотводных и дренажных систем аэродрома.  
2. Произвести гидравлический расчет осушителей, коллекторов, нагорной канавы, дождеприемного и тальвежного колодцев, глубинного дренажа.  
3. Рассчитать водопропускную трубу на прочность.

### Общие сведения

#### 1. Основные положения по гидрологическому расчету водоотводных систем.

Водосточные сети рассчитывают на сток дождевых и талых (снеговых) вод. Расчетные расходы водоотводных сетей зависят от факторов метеорологических, характеризующих интенсивность расчетных дождей или снеготаяния, и гидрологических, связанных с величиной потерь атмосферных осадков на водосборных площадях на впитывание и испарение при добегании воды до расчетного сечения.

Для расчета водоотводных сетей необходимы:

- расчетные интенсивность дождя;
- расход дождевых вод;
- расход от стока весенних талых вод.

**Расчетная интенсивность дождя** представляет собой отношение количества осадков в миллиметрах к времени в минутах, за которое они выпали. Расчетная формула для определения параметра  $\Delta$ , равного интенсивности одномоментного дождя принятой повторяемости, имеет вид

$$\Delta = \frac{20^n \cdot q_{20} \cdot (1 + c \cdot \lg P)}{166,7}, \quad (6.1)$$

где  $q_{20}$  – параметр, равный интенсивности дождя продолжительностью 20 мин. при  $P=1$  год, л/с-га и составляет: для Бреста – 80; Гомеля – 111; Гродно – 105; Могилева – 74; Витебска – 97; Минска – 90 л/с-га;  $c$  – коэффициент, учитывающий климатические особенности районов Беларуси и  $c=1$ ;  $P$  – период повторяемости расчетных интенсивностей дождей, годы (табл. 6.1);  $n$  – показатель степени, характеризующий ход дождей и  $n=0,75$ .

Таблица 6.1 Значения периодов повторяемости расчетных интенсивностей дождей

Параметр, характеризующий дождевые осадки $q_{20}$	Значение $P$ при площадях водосбора $F$ , га				
	< 1,5	1,5-3,0	3,1-6,0	6,1-9,0	9,1-15,0
70-90	0,25	0,33	0,50	0,50	0,50
91-115	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50

Расчет водоотводных систем и определение расчетных расходов на дождевой сток производят по методу «предельных интенсивностей». Согласно этому методу расчетную продолжительность дождя и соответствующую ей интенсивность определяют по наибольшему секундному расходу, на пропуск которого должно быть рассчитано каждое сечение водоотводящей сети. Наибольший расход достигается в тот момент, когда к рассчитываемому сечению сети успеют притечь струи от наиболее отдаленной площади водосбора. Время прохождения дождевой воды пути от наиболее отдаленной точки площади водосбора до рассчитываемого сечения водоотводной сети называется *критической продолжительностью дождя*, а интенсивность дождя, соответствующая критической продолжительности, – *предельной интенсивностью*.

**Расчетный расход дождевых вод  $Q$**  в этом случае находят по формуле

$$Q_{дп} = S \cdot F, \quad (6.2)$$

где  $F$  – площадь водосбора для рассчитываемого сечения, га;  $S$  – величина стока, л/с-га, которую определяют по формуле

$$S = \frac{166,7 \cdot \Delta \cdot \varphi}{\tau^n}, \quad (6.3)$$

где  $\varphi$  – коэффициент стока, принимаемый для водосборов с бетонным покрытием и грунтовой обочиной равным  $\varphi_1=0,70$ , для грунтовой поверхности с дерниной –  $\varphi_2=0,15$  и для водосборов с разнородными поверхностями определяется по формуле

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \cdot F_1 + \varphi_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}; \quad (6.4)$$

$\tau$  – продолжительность дождя, равная времени добегаания воды до рассчитываемого сечения, мин, которую определяют как сумму из времени добегаания дождевых вод по склону и лотку, т.е.  $\tau = \tau_{скл} + \tau_{лот}$ .

Время добегаания дождевых вод по склону определяют по формуле

$$\tau_{скл} = \left( \frac{2,41 \cdot n^* \cdot B}{\Delta^{0,72} \cdot \varphi^{0,72} \cdot I^{0,50}} \right)^{\frac{1}{1,72-0,72 \cdot n}}, \quad (6.5)$$

где  $B$  – длина склона, участвующая в стоке, м;  $I$  – уклон склона;  $n^*$  – коэффициент шероховатости, принимаемый равным для задерненной грунтовой поверхности 0,060.

Время добегаания воды по бетонному лотку определяют как

$$\tau_{лот} = \frac{l_{лот}}{60 \cdot V_{лот}}, \quad (6.6)$$

где  $l_{лот}$  – длина участка лотка, м;  $V_{лот}$  – скорость движения дождевых вод в конце лотка, м/с, определяется по формуле

$$V_{лот} = \frac{1}{n^*} \cdot \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}, \quad (6.7)$$

где  $n^*$  – коэффициент шероховатости, принимаемый равным для бетонной поверхности 0,014;  $h$  – глубина потока в лотке в низовом сечении расчетных участков (у дождеприемных и тальвежных колодцев, канав), м;  $I$  – уклон дна лотка.

**Расчетные расходы от стока весенних талых вод** определяют при средних значениях максимумов его в данной местности по формулам:

– для водоотводных линий и систем с водосборами до 80 га (водоотводные системы летных полос)

$$Q_{ВП} = 0,95 \cdot \frac{H_c}{T} \cdot F; \quad (6.8)$$

– для водоотводных линий с большими водосборами (нагорные канавы)

$$Q_{ВП} = 2,78 \cdot A \cdot F, \quad (6.9)$$

где  $H_c$  – максимальная высота снегового покрова к началу весеннего снеготаяния, принимается по табл. 6.2, см;  $T$  – минимальная продолжительность снеготаяния, принимаемая по табл. 6.2; сут;  $A$  – параметр, характеризующий сток талых вод, мм/ч, принимаемый при средних значениях максимумов стока для территории Беларуси равным 2,5.

Таблица 6.2. Значения параметров для расчета стока талых вод

Вариант	Район проектирования	$H_c$ , см	$T$ , сут
1	Брест	42	7,0
2	Гомель	59	10,0
3	Витебск	55	9,0
4	Минск	62	11,0
5	Гродно	42	6,5
6	Могилев	56	9,5

## 2. Гидравлический расчет водоотводных систем грунтовых ВПП.

Для водоотводных систем грунтовых ВПП расчетным случаем является, как правило, отвод дождевых вод. Обычно рассчитывают собиратели, нагорные канавы, грунтовые лотки, коллекторы, а сечения трубчатых осушителей ввиду малых расходов обычно не рассчитывают и принимают конструктивно. Необходимость в расчете осушителей может возникнуть при одиночном или редком расположении их на грунтовой полосе, а также при расположении с верховой стороны осушаемого участка.

Водоотводные линии с грунтовыми водосборами рассчитывают на расчетный расход, определяемый по методу предельных интенсивностей с учетом *минимальной стокообразующей интенсивности дождей*, характеризующей продолжительность дождя, в течение которой осадки формируют поверхностный сток. Это вызвано тем обстоятельством, что сток с водосборов с большой впитывающей способностью, т. е. с грунтовых водосборов, может наблюдаться лишь в случае, когда интенсивность дождей превосходит интенсивность впитывания. **Под минимальной стокообразующей интенсивностью дождей** понимают интенсивность его, равную интенсивности впитывания воды в грунт.

При интенсивности дождей более минимальной стокообразующей наблюдается сток с водосборов, а при интенсивностях менее стокообразующей он отсутствует. Продолжительность стокообразования, соответствующая минимальной стокообразующей интенсивности дождя, определяют по формуле

$$t_{cm} = \left[ \frac{(I-n) \cdot \Delta}{t_{cm}^*} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (6.10)$$

$t_{cm}^*$  – минимальная мгновенная стокообразующая интенсивность дождя, принимаемая равной интенсивности впитывания с учетом характера местности (для глин – 0,04; суглинков – 0,08; супесей – 0,20; песков – 0,50 мм/мин). Для асфальтобетонных и бетонных покрытий интенсивность впитывания принимают равной нулю.

Для расчетных сечений, удаленных по времени добегающего на  $\tau \leq t_{cm}$ , расходы следует определять по методу предельных интенсивностей.

Для сечений, удаленных по времени добегающего на  $\tau > t_{cm}$ , расчетный расход будет равен

$$Q = Q_{t_{cm}} + Q_{cn}, \quad (6.11)$$

где  $Q_{t_{cm}}$  – расход, соответствующий  $\tau = t_{cm}$ , л/с;  $Q_{cn}$  – дополнительный расход, поступающий в систему после дождя  $t_{cm}$ , в соответствии с кривой спада стока за счет воды, лежащей на водосборе, л/с, который определяется по формуле

$$Q_{cn} = 0,0092 \cdot \Delta \cdot B \cdot V \cdot \varphi \cdot t_{cm}^{1-n} \cdot \eta, \quad (6.12)$$

где  $B$  – длина склона водостока (ширина водосбора), м;  $V$  – скорость движения воды в лотке или канаве на расчетном участке, м/мин;  $\eta$  – коэффициент, зависящий от отношения  $\tau / t_{cm}$ , и составляет:

$\tau / t_{cm}$	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	10
$\eta$	0	0,16	0,28	0,52	0,71	0,81	0,86	0,89	0,92	0,95	0,985

Прежде чем перейти к гидравлическому расчету сети, устанавливают исходные данные:

- климатическую зону расположения аэродрома;
- род поверхности и характеристики грунта;
- расположение осушительной сети в плане.

Затем определяют параметр  $\Delta$ , устанавливают коэффициент стока  $\varphi$  и переходят непосредственно к гидравлическому расчету.

### 2.1. Расчет осушителя.

Дрены и осушители устраиваются для перехвата и отвода грунтовой и поверхностной воды на участках с необеспеченным стоком воды, а также для сбора и отвода воды из пористых оснований искусственных покрытий (рис. 6.1). Собранная вода в дренажную трубу поступает через отверстия и щели, устраиваемые по длине трубы. Дрены и осушители устраиваются из асбестоцементных труб диаметром 100 мм и более (обосновывается расчетом); за пределами летного поля возможно применение керамических труб. Длина осушителей 50-125 м, уклоны – не менее 0,005.

Водоприемные щели в асбестоцементных трубах дренажей и осушителей устраивают в виде пропилов снизу трубы на 2/3 ее диаметра на расстоянии 30 см друг от друга. Стыки и прорези труб во избежание их заиливания обкладываются мхом слоем 2 см или минеральной ватой. Стыки труб не заделывают; допускается обертывать их толем или рубероидом насухо.

Вокруг труб устраивается фильтрующая засыпка. В качестве засыпки используется: для дрен песчано-гравийные смеси, гравий; для осушителя гравий с диаметром фракций 20-40 мм, щебень. Засыпка должна обладать достаточной водозахватывающей способностью для приема поступающей воды.

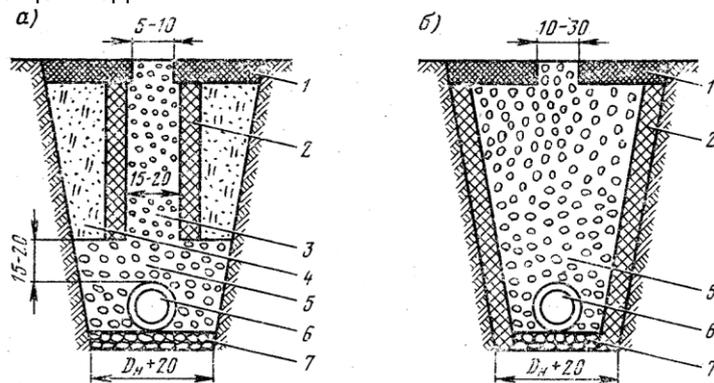


Рис. 6.1. Варианты конструкции осушителя: а – осушитель с фильтрующей колонкой; б – осушитель со сплошной фильтрующей засыпкой; 1 – дерн 5-10 см; 2 – дерн 5-10 см или фильтрующий материал 2-3 см (в плотном теле), обработанный битумом; 3 – гравий (щебень)  $d=1-2$  см; 4 – обратная засыпка грунтом; 5 – гравий (щебень)  $d=5-6$  см; 6 – труба осушителя; 7 – утрамбованный щебень слоем 5-7 см;  $D_n$  – наружный диаметр трубы

Порядок расчета осушителей следующий (рис. 6.2).

1. Для определения диаметра трубы осушителя  $O-III$  находят расчетный расход  $Q_1$ , который для сечения  $I-I$  будет равен  $S_1 \cdot F_1$ . Водосборную площадь (в гектарах), тяготеющую к рассчитываемому осушителю, определяют на основании размеров  $B_1$  и  $L_1$ , т. е.  $F_1 = B_1 \cdot L_1$ .

2. Величину стока  $S$  находят по формуле (6.3), для чего предварительно определяют время добегания воды  $\tau_1$  до осушителя  $O-III$ .

3. Время добегания воды до сечения  $I-I$  осушителя  $O-III$  равно сумме времени добегания вод по склону  $\tau'_{скл}$  и времени добегания воды по осушителю  $\tau'_0$ , т. е.  $\tau_1 = \tau'_{скл} + \tau'_0$ .

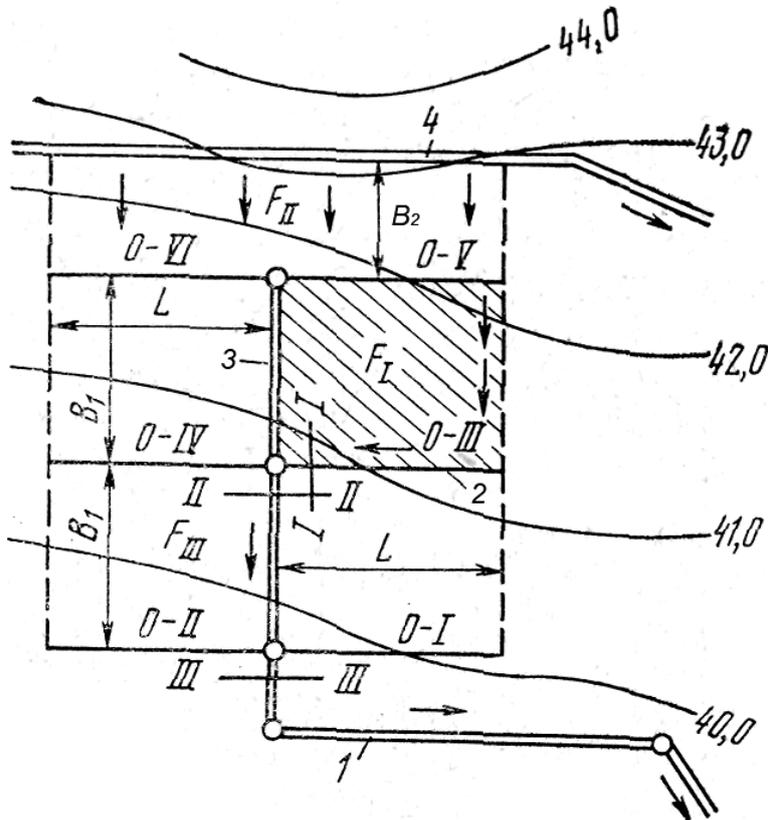


Рис. 6.2. Схема к гидравлическому расчету осушительной сети: 1 – коллектор; 2 – осушитель; 3 – собиратель; 4 – нагорная канава

4. Для определения  $\tau'_{скл}$  находят по линии стока воды расстояние от самой отдаленной точки водосбора до начала осушителя, т. е. длину водосбора  $B_1$  и средний уклон водосбора  $I$ . Затем, зная длину пути стока и уклон по формуле (6.5), определяют время добегающих дождевых вод  $\tau'_{скл}$  до начала осушителя.

5. Время  $\tau'_0$  получают делением длины осушителя на среднюю секундную скорость сечения воды в трубе. Обычно время добегающих воды  $\tau'_0$  по осушителю составляет 5-10% от времени добегающих дождевых вод  $\tau'_{скл}$  по склону, а поэтому можно принять  $\tau'_0 = 0,10 \cdot \tau'_{скл}$ .

6. Далее по расчетному времени добегающих  $\tau_1$  и параметру  $\Delta$  с помощью формулы (6.3) определяют величину стока  $S$  (в л/с с 1 га) и далее по формуле (6.2) расчетный расход  $Q_1$ .

7. Зная  $Q_1$ , проектный уклон труб  $I$  и коэффициент шероховатости  $n_*$  (0,014 – для труб) определяют  $D$  с использованием (6.15).

**2.2. Расчет собирателей и коллекторов** (рис. 6.3) производят по методу предельных интенсивностей с ограничением продолжительности дождей пределом стокообразования  $t_{см}$ . Для грунтовых взлетно-посадочных полос порядок расчета и собирателей и коллекторов одинаков. Собиратели и коллекторы условно разбивают на расчетные участки и по плану расположения систем для расчетных сечений находят водосборные площади: подсчитывают стокообразующую продолжительность дождя по формуле (6.10), вычисляют время добегающих воды до расчетных сечений  $\tau$  и определяют расчетные расходы по формуле (6.2).

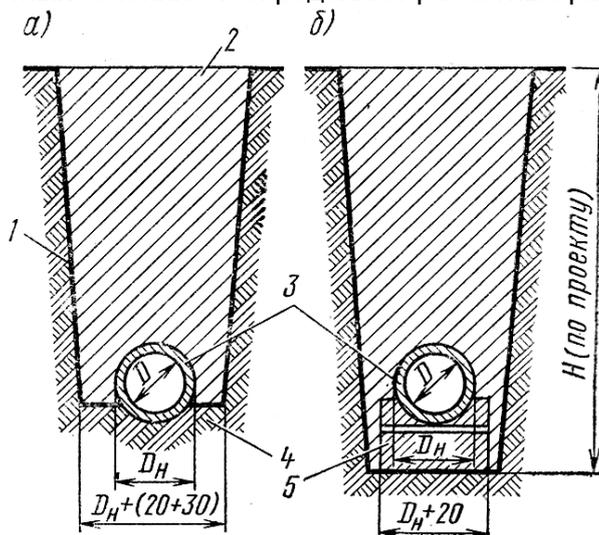


Рис. 6.3. Поперечные разрезы коллекторов: а – при укладке трубы на грунтовое основание; б – то же, на искусственное основание; 1 – стенка траншеи; 2 – засыпка грунтом; 3 – труба коллектора; 4 – грунтовое основание; 5 – искусственное основание;  $D_n$  – наружный диаметр трубы

Порядок расчета следующий.

1. В рассматриваемом примере (см. рис. 6.2) собиратель разбит на два расчетных участка с сечением II-II и III-III.

2. Для первого участка водосборная площадь  $F_{II}$  ограничена нагорной канавой и осушителями О-III и О-IV; для второго водосборная площадь  $F_{III}$  ограничена нагорной канавой и осушителями О-I и О-II.

3. Расчетный расход (в л/с) для сечения II-II первого участка  $Q_{II} = S_{II} \cdot F_{II}$ .

4. Водосборную площадь  $F_{II}$  (в га) определяют на основании принятых размеров и при установленных  $B_1$ ,  $B_2$  и  $L$ , т. е.  $F_{II} = 2L(B_1 + B_2)$ .

5. Величину стока  $S_{II}$  находят по формуле (6.3).

6. Предварительно определяют время добегающих воды  $\tau_2$  до сечения II собирателя, которое равно сумме времени добегающих дождевых вод по склону  $\tau'_{скл}$  до осушителей О-VI и

О-V, времени добегаания воды  $\tau''_{oc}$  по осушителю и времени добегаания воды  $\tau''_c$  по собирателю, т.е.  $\tau_2 = \tau''_{скл} + \tau''_{oc} + \tau''_c$ .

7. Находят расстояние от нагорной канавы до начала осушителей О-V и О-VI (длина водосбора –  $B_2$ ) и средний уклон водосбора  $I$ .

8. По формуле (6.5) определяют время  $\tau''_{скл}$ .

9. Время  $\tau''_{oc}$  и  $\tau''_c$  вычисляют делением длины осушителя  $L$  и собирателя  $B_1$  на скорость течения воды в трубе. Для определения времени добегаания воды по осушителю скорость можно приближенно принимать равной 0,3-0,4 м/с, а по собирателю 0,5 м/с.

10. По вычисленному  $\tau_2$  и параметру  $\Delta$  находят величину стока  $S_{II}$  и расчетный расход  $Q_{II}$ , а по проектному уклону устанавливают диаметр собирателя на первом участке.

11. Расчетный расход для сечения III-III второго участка  $Q_{III}=S_{III}\cdot F_{III}$ , 'здесь водосборная площадь для второго участка  $F_{III} = 2L(B_1+B_2)+2B_1L$ .

12. Время добегаания воды  $\tau_3$  до сечения III-III равно сумме времени добегаания дождевых вод  $\tau_2$  до сечения II-II и времени добегаания  $\tau'''_c$  по собирателю до сечения III-III, т.е.  $\tau_3 = \tau_2 + \tau'''_c$ .

13. По расчетному времени добегаания  $\tau_3$  и параметру  $\Delta$  определяют величину стока  $S_{III}$  и расчетный расход  $Q_{III}$  и затем диаметр собирателя для второго участка с использованием (6.15).

Расчетные расходы в сечениях коллекторов, отводящих воду с грунтовых водосборов, определяют так же, как и для собирателей.

Сечения собирателей и коллекторов рассчитывают в таком же порядке до тех пор, пока расчетное время добегаания дождевых вод не станет равным продолжительности стокообразования, т. е.  $\tau = t_{cm}$ . Для сечений, удаленных по времени добегаания на  $\tau > t_{cm}$ , расчетный расход определяют с учетом дополнительного расхода по формулам (6.11) и (6.12).

После вычисления расчетных расходов определяют для каждого участка водоотводящей сети сечения трубы и проектный уклон. Скорости протекания должны быть такими, чтобы не засорялись трубы, не истирались стенки и не разрушались стыки ее. Допускаемая минимальная скорость воды в трубах коллектора 0,6 м/с, максимальная – 5 м/с. Уменьшение скоростей по длине рассчитываемых водоотводных линий не допускается. Для расчета водоотводящих сетей применяют формулу Шези

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (6.13)$$

и формулу неразрывности

$$Q = \omega \cdot V, \quad (6.14)$$

где  $V$  – скорость течения воды, определяемая путем деления секундного расхода воды на площадь живого сечения;  $I$  – уклон поверхности движения воды;  $R$  – гидравлический радиус, представляющий собой частное от деления площади живого сечения на смачиваемый периметр, т.е.  $R = \omega / \chi$  (для круглых труб –  $R = D/4$ );  $C$  – коэффициент Шези, равный  $C = 1/n_* \cdot R^{1/6}$ ;  $\omega$  – площадь живого сечения трубы;  $n_*$  – коэффициент шероховатости.

Подставляя в (6.14) значения коэффициента  $C$ , получаем формулу для определения расхода

$$Q = \frac{I}{n_*} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \omega \cdot \sqrt{I}. \quad (6.15)$$

Зная расчетный расход  $Q$ , назначая уклон в соответствии с уклоном поверхности, можно методом последовательного приближения определить диаметр труб и скорость течения воды.

### 2.3. Гидравлический расчет коллекторов ВПП, РД, МС и перронов.

Расчетные расходы, поступающие в водоотводные системы с покрытий или с покрытий и грунтовых обочин для систем, устраиваемых по схеме I (рис. 6.4а), определяют методом предельных интенсивностей без учета минимальной стокообразующей интенсивности до-

ждей, так как сток с цементобетонных покрытий наблюдается даже при дождях с интенсивностью 0,015 мм/мин.

Расчетные расходы определяют в характерных сечениях водостоков непосредственно ниже дождеприемников – в местах резкого увеличения расходов и переломов продольных профилей.

Гидравлический расход коллектора производят по участкам, длина которых равна расстоянию между дождеприемниками. Расчетные сечения принимают в начале каждого из участков.

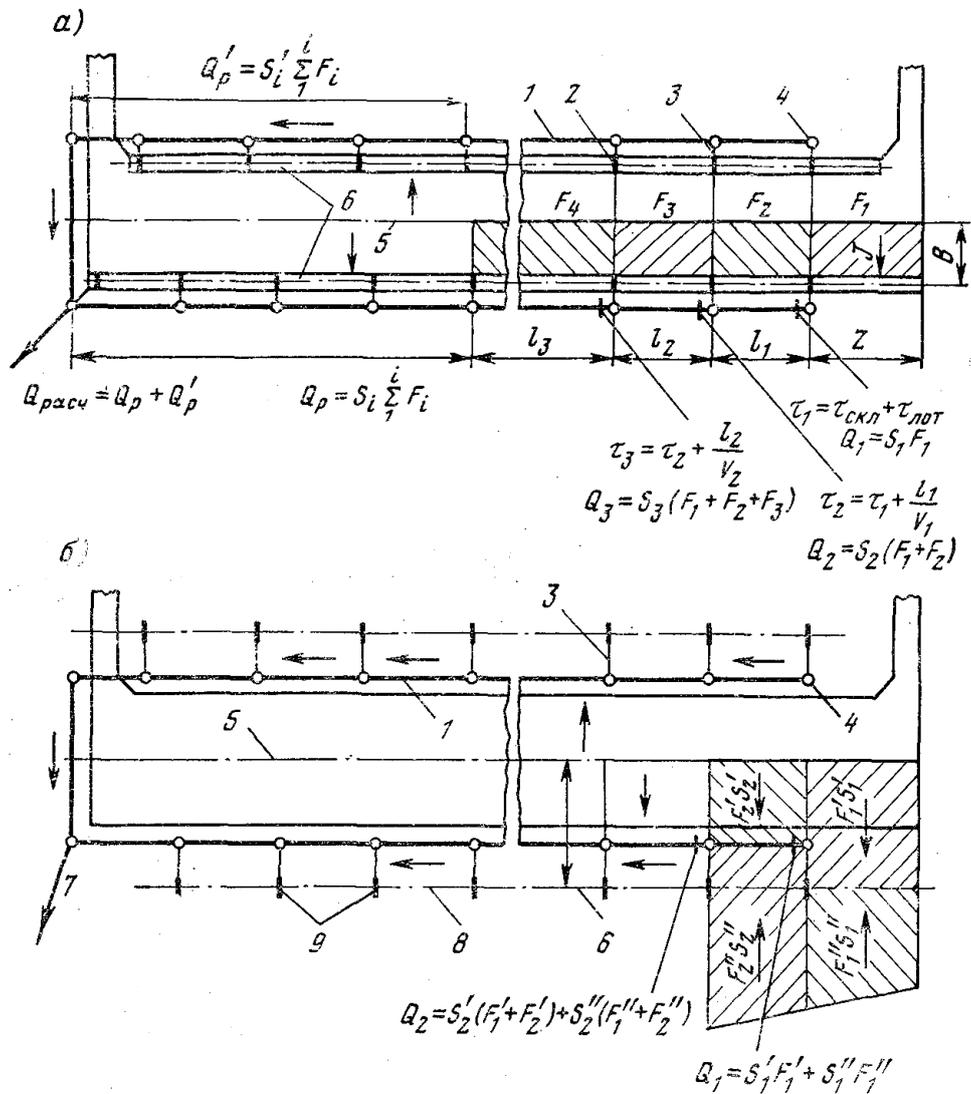


Рис. 6.4. Схема к расчету водостоков искусственных покрытий: а – при устройстве лотков в кромках покрытий; б – при сбросе воды с покрытий в грунтовые лотки; 1 – коллектор; 2 – дождеприемный колодец; 3 – перепуск; 4 – смотровой колодец; 5 – ось ВПП; 6 – ось лотка; 7 – главный коллектор; 8 – ось грунтового лотка; 9 – тальвежный колодец

**При самотечном режиме коллекторы рассчитывают в следующем порядке.**

1. Для первого расчетного участка (см. рис. 6.4) определяют водосборную площадь  $F_1$ , примыкающую к участку коллектора, длину водосбора  $B$  и поперечный уклон покрытия  $I$ .

2. Далее по формуле (6.5) для данной длины водосбора  $B$  и уклона поверхности  $I$  определяют время добегающих дождевых вод по склону  $\tau_{скл}$  (от оси ВПП до оси лотка), а затем по формуле (6.6) находят время добегающих дождевых вод  $\tau_{лот}$  по открытому лотку от самой дальней точки до расчетного сечения (первого дождеприемного колодца).

3. Критическую продолжительность дождя, равную расчетному времени добегающих дождевых вод от самой отдаленной точки площади водосбора до первого расчетного сечения, определяют суммированием времени добегающих по склону и открытому лотку, т. е.

$$\tau_1 = \tau_{скл} + \tau_{лот} \quad (6.16)$$

4. По расчетному времени добегаания  $\tau_1$  и параметру  $\Delta$  по формуле (6.3) для бетонной поверхности определяют модуль поверхностного стока  $S_1$ , а затем для первого участка водосточной сети – расчетный расход дождевых вод  $Q_1=S_1F_1$ .

5. По расходу  $Q_1$  и уклону коллектора  $I$  находят диаметр труб  $D$ .

6. Второй участок коллектора рассчитывают так же, как и первый, причем расчетное время добегаания дождевых вод для второго определяют, суммируя время добегаания  $\tau_1$  и время добегаания по первому предыдущему участку коллектора, т.е.

$$\tau_2 = \tau_1 + \frac{l_1}{V_1}, \quad (6.17)$$

где  $l_1$  – длина первого участка коллектора;  $V_1$  – скорость течения воды в трубах для первого участка.

7. По расчетному времени добегаания  $\tau_2$  определяют модуль поверхностного стока  $S_2$ .

8. Расчетный расход дождевых вод для второго участка сети находят по формуле  $Q_2=S_2(F_1+F_2)$ .

9. По расходу  $Q_2$  и уклону коллектора  $I$  определяют диаметр труб  $D_2$  второго участка.

10. Третий и последующие участки коллектора рассчитывают аналогично первым двум, определяя время добегаания  $\tau_i$  и соответствующую ему величину стока  $S_i$ .

11. Расчетный расход будет равен

$$Q_i = S_i \cdot \sum_1^i F_i, \quad (6.18)$$

12. По вычисленному расчетному расходу  $Q_i$  принятым проектным уклоном  $I$ , находят значения  $D_i$  и  $V_i$ . Так как значения  $Q_i$  по длине коллектора возрастают, происходит возрастание и диаметра труб  $D_i$ .

13. Если к коллектору в каком-либо месте подключаются перепуски от тальвежных колодцев, собирающих воду на грунтовых полосах, то в местах подключений в коллекторе увеличиваются расходы на величину

$$Q_{доп(i)} = S_{сп(i)} \cdot F_{сп(i)}, \quad (6.19)$$

где  $Q_{доп(i)}$  – дополнительный расход, поступающий на  $i$ -м участке коллектора с грунтовой полосы;  $S_{сп(i)}$  – модуль стока с грунтового водосбора при времени добегаания  $\tau_i$ , отсчитываемого по коллектору (коэффициент стока принимают для грунтовой поверхности);  $F_{сп(i)}$  – площадь грунтового водосбора, с которой вода поступает в тальвежный колодец. Величину этой площади находят по  $\tau_i$  с помощью формулы (6.5), решением обратной задачи, т. е. по имеющемуся времени добегаания  $\tau_i$  находят длину склона  $B$ .

Полный расчетный расход для  $i$ -го участка коллектора будет равен

$$Q_{расч} = Q_i + Q_{доп(i)}. \quad (6.20)$$

При расчете главного коллектора определяют суммарный расход, поступающий в него из других коллекторов. Главные коллекторы рассчитывают на время добегаания по одному из примыкающих коллекторов, имеющих наибольшее протяжение. Сечение труб рассчитывают на полное заполнение.

**Для расчета систем, устраиваемых по схеме II** (см. рис. 6.4б), рекомендована следующая методика.

Расчетные расходы в сечениях коллекторов определяют суммированием расходов, одновременно поступающих к этим сечениям (т. е. при одних и тех же  $\tau$ ) с водосбора, имеющего разнородную поверхность (покрытие и грунтовая обочина), и с чисто грунтового водосбора (см. рис. 6.4б). Расходы с первого водосбора определяют по методу предельных интенсивностей без учета минимальной стокообразующей интенсивности дождей, а со второго – с ее учетом, при подсчете продолжительности стокообразования  $t_{см}$  по формуле (6.10). Затем расходы  $Q$ , поступающие в коллекторы с чисто грунтовых водосборов, подсчитывают по формулам (6.11) и (6.12).

Водосточную сеть искусственных покрытий можно проектировать не только с самотечным, но и с напорным режимом. Напорный режим целесообразен для коротких коллекторов с минимальными уклонами при начальном заглублении их более 1,0 м, а также при нескольких выпусках в открытые каналы или естественные водоемы.

**2.4. Гидравлический расчет нагорных канав (грунтовых лотков)** производится на сток дождевых и талых вод, принимая за расчетный наибольший расход.

Гидравлическим расчетом нагорных канав подбирают такое сечение их, чтобы их пропускная способность  $Q_0$  не оказалась меньше расчетного расхода  $Q$  водосборной площади, т.е.

$$Q \leq Q_0. \quad (6.21)$$

При расчете на сток талых вод расчетные расходы подсчитывают по средним значениям максимумов стока талых вод по формулам (6.8) и (6.9).

При расчете канав на дождевой сток расчетные расходы подсчитывают по методу предельных интенсивности с учетом ограничения продолжительности дождей минимальной интенсивностью стокообразования. Значения расчетных расходов  $Q$  в сечениях канав подсчитывают в соответствии с (6.10-6.12).

Пропускная способность канав (в  $\text{м}^3/\text{с}$ ) равна

$$Q_0 = \omega \cdot V, \quad (6.22)$$

где  $\omega = bh + mh^2$  – площадь потока в канаве трапециoidalного сечения,  $\text{м}^2$  ( $b$  – ширина канавы по дну,  $\text{м}$ ;  $h$  – глубина потока,  $\text{м}$ ;  $m$  – коэффициент заложения откосов канавы, принимаемый в соответствии с видом грунтов и типом укрепления откосов: для песка  $m=2,0$ ; супеси и суглинка –  $m=1,5$ ; для глины  $m=1,0$ ) (рис. 6.5);  $V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$  – скорость в расчетном сечении канавы,  $\text{м}/\text{с}$  ( $R$  – гидравлический радиус,  $\text{м}$ ;  $I$  – уклон канавы). Значение коэффициента  $C$  находят по формуле

$$C = \frac{I}{n_*} \cdot R^y; \quad (6.23)$$

$y = 1,5 \cdot \sqrt{n_*}$ , при  $R < 1 \text{ м}$ ;  $y = 1,3 \cdot \sqrt{n_*}$  при  $R > 1 \text{ м}$ , где  $n_*$  – коэффициент шероховатости канавы принимаемый равным 0,025.

Гидравлический радиус потока находится из отношения  $R = \omega / \chi$  при значении  $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$ ,  $\text{м}$ .

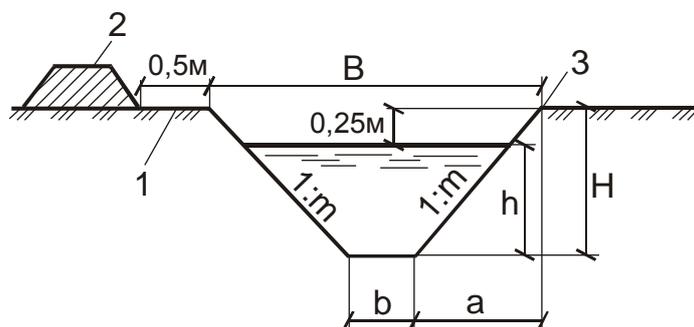


Рис. 6.5. Поперечное сечение нагорной канавы: 1 – берма; 2 – кавальер; 3 – бровка

Расчетные скорости в нагорных канавах и грунтовых лотках не должны превышать допускаемых на размыв  $V_{max}$  (табл. 6.3) и не быть менее  $V_{min} = 0,5 \cdot \sqrt{R}$  из условия заиливания.

Уменьшение скоростей по длине нагорных канав (грунтовых лотков) не допускается.

Таблица 6.3. Значения наибольшей неразмывающей скорости

Грунт	Наибольшая скорость, м/с	Укрепление	Наибольшая скорость, м/с
Мелкий и средний песок	0,4	Одерновка плашмя	1,0
Крупный песок	0,8	Одерновка в стенку	1,6
Средний суглинок	0,6-0,7	Мощение одиночное	2,0
Тяжелый суглинок	0,8-1,0	Мощение двойное	3,0-3,5
Глина	1,2	Бетон	5,0-8,0

**Примечания.** 1. Значения наибольших скоростей движения воды даны при глубине потока от 0,4 до 1 м. 2. При другой глубине потока значения скоростей, указанные в табл. 6.3, следует принимать с коэффициентом 0,85 при глубине потока менее 0,4 м и 1,25 при глубине потока более 1 м.

## 2.5. Гидравлический расчет дождеприемных и тальвежных колодцев

Дождеприемные (рис. 6.6) и тальвежные (рис. 6.7) колодцы, с помощью которых, осуществляется прием стекающей поверхностной воды, устраиваются из сборного или моно-



Дождеприемники и тальвежные колодцы устанавливаются большей стороной, перпендикулярно оси лотка, а также во всех замкнутых понижениях и в конце лотков. Расстояния между колодцами принимаются в пределах 100-300 м. Указанные расстояния уточняются гидравлическими расчетами.

**Водозахватывающая (пропускная) способность** дождеприемных и тальвежных колодцев должна обеспечивать отвод расчетных расходов, формирующихся в открытых лотках. Основные размеры дождеприемных и тальвежных колодцев, т. е. принимающие отверстие, емкость, диаметр отводящей трубы (перепуска), определяют гидравлическим расчетом.

Расчет водозахватывающей способности дождеприемных и тальвежных колодцев производят по формулам:

$$Q_{\Pi} = 1,45 \cdot L \cdot \left( h + \frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ при } h_0 \leq c \cdot \frac{\omega_{отв}}{\omega_p}; \quad (6.24)$$

$$Q_{\Pi} = 2 \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{h + \frac{V^2}{2g}} \text{ при } h_0 > c \cdot \frac{\omega_{отв}}{\omega_p}, \quad (6.25)$$

где  $Q_{\Pi}$  – водозахватывающая способность дождеприемника, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – длина водосливного фронта по периметру решетки, м;  $h$  – глубина потока перед решеткой, м;  $h_0$  – напор потока перед решеткой, м и

$$h_0 = h + \frac{V^2}{2g}, \quad (6.26)$$

где  $V$  – скорость подхода воды к решетке, равная  $V_{лот}$ , м/с;  $\omega_p$  – площадь всей решетки, м<sup>2</sup>;  $\omega_{отв}$  – площадь отверстий решетки, м<sup>2</sup>;  $c$  – ширина дождеприемника, м.

Диаметр перепускных труб от дождеприемных и тальвежных колодцев к коллекторам определяют по формуле

$$D = 0,536 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{H}}}, \quad (6.27)$$

где  $Q$  – расчетный расход, равный пропускной способности трубы, м<sup>3</sup>/с;  $\mu$  – коэффициент расхода, определяемый при длине перепуска  $L_{\Pi}$  и предварительно принятом диаметре труб  $D$  по формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{0,0211 \cdot \frac{L_{\Pi}}{D^{1,33}} + 1,5}}, \quad (6.28)$$

где  $H = H' + L_{\Pi} \cdot I$  – располагаемый напор при истечении воды в смотровом колодце из перепуска в атмосферу (здесь  $H'$  – глубина дождеприемника, м;  $I$  – уклон перепуска).

После расчета по (6.28) коэффициента  $\mu$  при предварительно заданном диаметре трубопровода  $D$  производят расчет по (6.27) и сравнивают полученный диаметр с принятым. Если они отличаются более чем на 5%, изменяют заданный  $D$  и повторяют расчет и т.д.

## 2.6. Расчет глубинного дренажа.

При проектировании мероприятий по понижению уровня грунтовых вод под искусственными покрытиями и на отдельных участках грунтовых летных полос наиболее часто встречаются следующие случаи глубинного дренажа:

– *систематический*, рассчитываемый на случай, когда подземные воды пополняются за счет инфильтрации атмосферных осадков и не имеют ясно выраженного направления потока;

– *однолинейный в виде одиночных дрен*, рассчитываемых на понижение уровня потока грунтовых вод.

В случае расчета систематического дренажа определяют расстояния между дренами в зависимости от нормы осушения и глубины заложения дрены, величину притока воды в дрена, диаметры труб дрен, понижение уровня грунтовых вод на различных удалениях от дрен.

При расчете одиночных дрен определяют величину притока воды в дрена, диаметр труб дрен, величины понижения уровня грунтовой воды на различном удалении от дрены и предел действия (радиуса влияния) дрены.

При неглубоком залегании водоупора производят расчет дренажа *совершенного типа*, укладываемого с целью полного перехвата подземных вод на поверхность водоупора. При глубоком залегании водоупора производят расчет дренажа *несовершенного типа*, закладываемого выше водоупора. Ниже приведены расчетные формулы для различных случаев расчета глубинных дрен (системы дрен и одиночных дрен).

### 2.6.1. Систематический дренаж, дрены на водоупоре (рис. 6.8а, I).

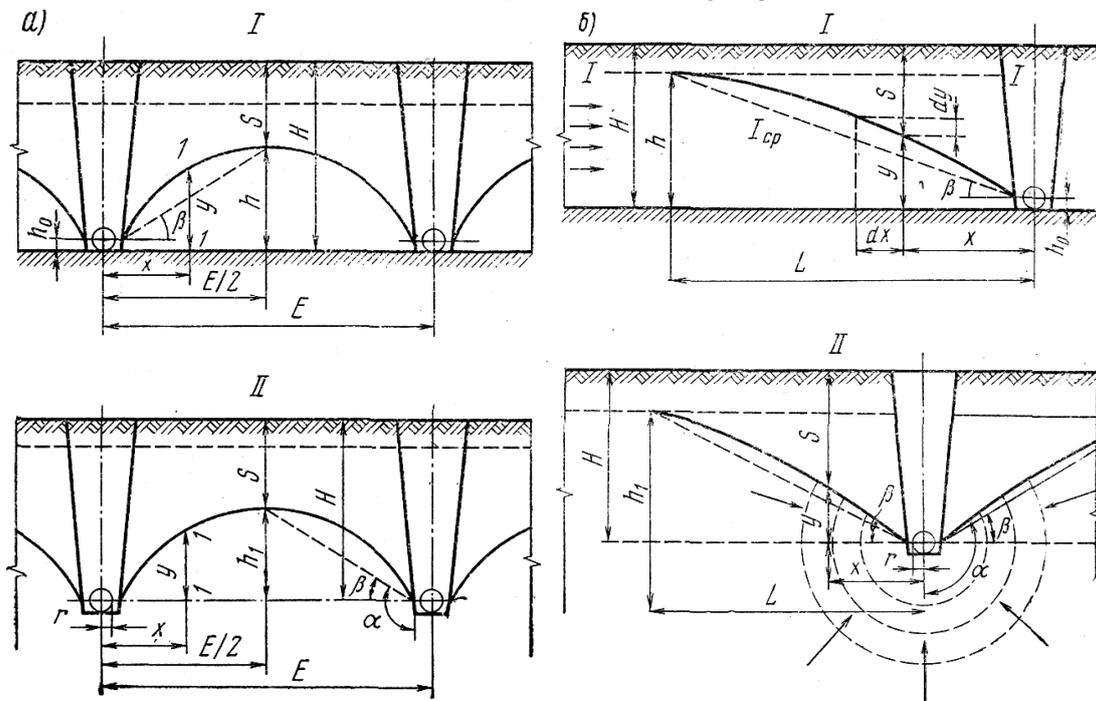


Рис. 6.8. Расчетные схемы глубинного дренажа: а – систематического; б – однолинейного; I – совершенный тип; II – несовершенный тип

Расстояние между дренами определяют по формуле

$$E = 2 \cdot (H - S) \cdot \sqrt{\frac{k}{u}}, \quad (6.29)$$

где  $E$  – расстояние между дренами, м;  $H$  – мощность водоносного слоя до водоупора (глубина дрены), м;  $S$  – норма осушения посередине между дренами, м (принимают для песчаных и супесчаных грунтов 0,6 м; для суглинистых и глинистых – 0,8 м);  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут, принимаемый для песка 1,0; супеси – 0,3; суглинка – 0,1 и глины – 0,02 м/сут;  $u$  – коэффициент инфильтрации дождевых осадков в грунт, м/сут, принимается для песка – 0,0054; супеси и суглинка – 0,0041 и глины – 0,0030 м/сут.

Расход воды (м<sup>3</sup>/сут), поступающий в одну дрена при питании ее с двух сторон равен

$$Q = k \cdot E \cdot l, \quad (6.30)$$

где  $l$  – длина дрены.

Уравнение кривой депрессии определяется уравнением

$$y = \sqrt{\frac{u}{k} \cdot (E \cdot x - x^2)} - h_0^2, \quad (6.31)$$

где  $h_0$  – глубина воды в трубе дрены, м.

### 2.6.2. Систематический дренаж, дрена выше водоупора (рис. 6.8а, II).

Расстояние между дренами находится подбором в соответствии с формулой

$$H - S = \frac{u}{2d \cdot k} \cdot \left[ E \cdot \ln \frac{E}{d} - (E - d) \right], \quad (6.32)$$

где  $d$  – диаметр трубы дрены радиусом  $r$ , м

Расход воды, поступающей в дренаж с двух сторон при длине дрены  $l$  в м рассчитывается по (6.30).

Уравнение кривой депрессии

$$y = \frac{u}{d \cdot k} \cdot \left[ \frac{E}{2} \cdot \ln \frac{x}{r} - (x - r) \right], \quad (6.33)$$

### 2.6.3. Однолинейный дренаж, дренаж расположена на водоупоре (рис. 6.8б, I).

Питание дрены – грунтовый поток, поступающий извне (без пополнения инфильтрацией). Приток воды, поступающий в дренаж с одной стороны, определяется как

$$q = \frac{k \cdot (h^2 - h_0^2)}{2 \cdot L}, \quad (6.34)$$

где  $q$  – приток воды, поступающий на 1 пог. м дрены, м<sup>3</sup>/сут;  $k$  – коэффициент фильтрации водоносного слоя, м/сут;  $h$  – мощность водоносного слоя и  $h=H-S$ , м;  $h_0$  – глубина воды в трубе дрены, м;  $L = (h-h_0)/I_{cp}$  – предел действия (радиус влияния) дрены, м;  $I_{cp}$  – средний уклон кривой депрессии, принимаемы для песка – 0,006; супеси – 0,035; суглинка – 0,075; глины – 0,125.

Суммарный расход воды в дренаже, м<sup>3</sup>/с

$$Q = q \cdot l. \quad (6.35)$$

Уравнение кривой депрессии – формула (6.37).

### 2.6.4. Однолинейный дренаж, дренаж расположена выше водоупора (рис. 6.8б, II).

Питание дрены происходит грунтовым потоком без пополнения инфильтрацией. Приток воды, поступающий в дренаж с одной стороны,

$$q = \frac{\alpha \cdot k \cdot h_1}{\ln \frac{L}{r}}, \quad (6.36)$$

где  $\alpha$  – угол в радианах, приближенно равный  $\alpha = \pi/2 + h_1/L$ ;  $h_1$  – глубина погружения трубы дрены (до центра трубы) в водоносный слой и  $h_1 = h$ , м.

Расход воды, поступающей в дренаж длиной  $l$ , определяется по формуле (6.35).

При двустороннем притоке воды в дренаж величина расхода удваивается.

Уравнение кривой депрессии дрены

$$y = \frac{q}{\alpha \cdot k} \cdot (\ln x - \ln r). \quad (6.37)$$

Уравнение (6.37) позволяет находить ординаты кривой депрессии  $y$  и величину понижения уровня грунтовых вод  $S = H - y$  на любом удалении  $x$  в пределах действия дрены.

**2.6.5. Гидравлический расчет глубинного дренажа** заключается в проверке наполнения труб и скоростей течения воды по (6.13) и (6.14). Скорость течения воды в дренаже должна быть в пределах 0,15-1,0 м/с, а рекомендуемая глубина наполнения не более  $0,5d$ .

## 3. Расчет на прочность элементов водостоков.

К элементам конструкций осушительной сети, рассчитываемым на прочность, относятся трубы, основания под трубами и колодцы (смотровые, тальвежные и дождеприемные). *Цель расчета* – подобрать сечение, гарантирующее конструкцию от разрушения.

Элементы конструкций рассчитывают по *методу предельных состояний*. При этом расчет сводится к удовлетворению условия

$$M_{расч} \leq M_{пр}, \quad (6.38)$$

где  $M_{расч}$  – расчетный изгибающий момент в сечении конструкции;  $M_{пр}$  – предельная несущая способность (момент) сечения конструкции.

**3.1. Расчет труб, уложенных в грунте.** Расчетный изгибающий момент  $M_{расч}$  (в кН·м/пог.м) в стенках трубы определяют по формуле

$$M_{расч} = \frac{0,318}{N} \cdot (P_k + Q) \cdot r_{cp}, \quad (6.39)$$

где  $P_k$  – нагрузка от колес самолета, кН/пог.м над трубой;  $Q$  – нагрузка от веса грунта над трубой, кН/пог.м;  $r_{cp} = (D_{вн} + h)/2$  – средний радиус трубы, м;  $D_{вн}$  – внутренний диаметр трубы, м;  $h$  – толщина стенки трубы, м;  $N$  – коэффициент опирания, равный при укладке трубы нор-

мальной (когда дну траншеи придается вогнутая форма с углом охвата трубы 90°) – 1,50; на бетонные или железобетонные основания – 2,50; на плоское дно – 1,12.

Нагрузку от засыпки  $Q$  над трубой определяют на основе статики предельного равновесия сыпучей среды по формуле

$$Q = k_T \cdot \gamma \cdot H \cdot B_T, \quad (6.40)$$

где  $\gamma$  – объемная масса грунта, кН/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота засыпки грунта над верхом трубы, м;  $B_T$  – расчетная ширина траншеи на уровне верха трубы, м;  $k_T$  – коэффициент вертикального давления грунта в траншее, значение которого определяется по формуле

$$k_T = \frac{B_T \cdot \left( 1 - e^{-1A \cdot \frac{H}{B_T}} \right)}{2H \cdot A}, \quad (6.41)$$

где  $e=2,718$  – основание натурального логарифма;  $B_T$  – расчетная ширина траншеи на уровне верха трубы, м (принимается с учетом переходной ширины  $B_{\Pi}$ );  $A = \xi \cdot f'$  – коэффициент, зависящий от коэффициента трения материала засыпки о стенки траншеи  $f'$  и угла внутреннего трения грунта засыпки  $\varphi$ , °;  $\xi = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$  – отношение бокового давления грунта к вызывающему его вертикальному давлению.

Значения расчетных параметров можно принять осредненными и составляющими для:

- песка –  $\gamma=16$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi=25^\circ$ ;  $f'=0,50$ ;
- супеси –  $\gamma=17$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi=27^\circ$ ;  $f'=0,40$ ;
- суглинка –  $\gamma=18$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi=28^\circ$ ;  $f'=0,35$ ;
- глины –  $\gamma=20$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi=30^\circ$ ;  $f'=0,30$ .

Высоту засыпки грунта над трубой  $H$  принимают при расчетах в соответствии с заглублением труб на основании продольных профилей водоотводных линий.

Ширина траншеи на уровне верха труб  $B_T$  зависит от диаметра труб, глубины траншеи и вида грунта (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Значения ширины траншеи  $B_T$

Тип труб	Внутренний диаметр труб, мм	Ширина траншеи на уровне верха трубы $B_T$ , м, при различной высоте засыпки над трубой $H$ , м					
		0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Бетонные и железобетонные	400	0,78	0,87	1,05	1,14	1,23	1,30
	500	0,90	0,98	1,20	1,32	1,41	1,49
	600	1,00	1,08	1,26	1,45	1,55	1,64
	700	1,12	1,20	1,37	1,60	1,72	1,80
	800	1,22	1,29	1,46	1,67	1,85	1,90
	900	1,33	1,42	1,57	1,77	2,00	2,00
	1000	1,43	1,51	1,68	1,85	2,05	2,10
	1100	1,54	1,62	1,80	1,95	2,16	2,20
	1200	1,67	1,76	1,92	2,08	2,26	2,30

Если ширина траншеи, взятая по табл. 6.4, оказывается меньше переходной ширины ( $B_T < B_{\Pi}$ ), то за расчетную ширину следует принимать табличную величину  $B_T$ . Если же ширина траншеи, взятая по табл. 6.4, превышает переходную ширину ( $B_T > B_{\Pi}$ ), то в качестве расчетной следует принимать переходную –  $B_{\Pi}$ .

Значение переходной ширины  $B_{\Pi}$  устанавливают в зависимости от размера наружного диаметра трубы  $D_H$ , высоты засыпки  $H$  и величин  $\Phi$  и  $\zeta f'$  по табл. 6.5 (интерполяцией).

Значения параметра  $\Phi$  (см. табл. 6.5) устанавливают в зависимости от грунта траншеи:

- при скалистом или ином неподатливом грунте (изверженные породы, кристаллические сланцы, песчаники, известняки, мергели, глинистые сланцы, песок, гравий, щебень)  $\Phi=1,0$ ;
- при жестком грунте (глубинные твердые глины, плотная ледниковая морена)  $\Phi=0,7$ ;
- при податливом грунте (элювиальные, делювиальные и элювиальные глины и суглинки, лёсс, растительные грунты, глина осыпей, свежевыветренная глина, искусственно отсыпанные грунты)  $\Phi=0,3$ ;

- если под трубы сооружается бетонное основание, то независимо от грунта можно принимать  $\Phi = 1,0$ .

Таблица 6.5. Значения расчетных параметров

H/D <sub>H</sub>	B <sub>H</sub> /D <sub>H</sub>								
	Φ=0,3			Φ=0,7			Φ=1,0		
	ζ <sub>f'</sub> =0,130	ζ <sub>f'</sub> =0,165	ζ <sub>f'</sub> =0,192	ζ <sub>f'</sub> =0,130	ζ <sub>f'</sub> =0,165	ζ <sub>f'</sub> =0,192	ζ <sub>f'</sub> =0,130	ζ <sub>f'</sub> =0,165	ζ <sub>f'</sub> =0,192
0,5	1,08	1,20	1,30	1,08	1,23	1,30	1,08	1,20	1,30
1,0	1,21	1,35	1,46	1,21	1,35	1,46	1,91	1,35	1,46
1,5	1,39	1,54	1,66	1,39	1,54	1,66	1,39	1,54	1,66
2,0	1,48	1,65	1,78	1,53	1,70	1,84	1,53	1,70	1,84
3,0	1,64	1,82	1,97	1,80	2,00	2,16	1,87	2,08	2,24
4,0	1,76	1,95	2,10	1,98	2,20	2,38	2,07	2,30	2,48
5,0	1,87	2,08	2,24	2,12	2,35	2,54	2,23	2,48	2,68
6,0	1,98	2,20	2,38	2,23	2,48	2,68	2,36	2,62	2,84
7,0	2,09	2,32	2,50	2,34	2,60	2,81	2,49	2,77	2,90
8,0	2,18	2,42	2,62	2,44	2,72	2,94	2,59	2,88	3,13
9,0	2,27	2,52	2,72	2,55	2,83	3,06	2,70	3,00	3,24
10,0	2,36	2,62	2,83	2,63	2,92	3,15	2,83	3,14	3,39

Для определения нагрузки от колес самолета  $P_k$  пользуются формулой для определения вертикальных напряжений в любой точке массива от сосредоточенной силы, приложенной на поверхности однородного упругого полупространства – (формула Буссинеска)

$$\sigma_z = k \cdot \frac{P}{z^2}; k = \frac{3}{2\pi} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{r}{z} \right)^2 \right]^{-2,5}, \quad (6.42)$$

где  $\sigma_z$  – вертикальное напряжение в грунте, кН/м<sup>2</sup>;  $z$  – расстояние от поверхности грунта до точки, в которой определяется вертикальное напряжение, м;  $P$  – величина сосредоточенной силы, приложенной на поверхности грунта, кН;  $r$  – горизонтальная проекция расстояния от точки, в которой определяется вертикальное напряжение, до точки приложения силы, м;  $k$  – безразмерный коэффициент.

Нагрузку, приходящуюся на колесо, считают равномерно распределенной по площади прямоугольного отпечатка пневматической шины с отношением сторон  $a/c=1/2$ , где  $a = \sqrt{F/2}$ ;  $F$  – площадь отпечатка, м<sup>2</sup>.

Прямоугольный отпечаток разбивают на ряд отдельных площадок, в центре которых прикладывают сосредоточенные силы. Значения  $\sigma_z$  определяют от этих сосредоточенных сил в ряде точек и для определения нагрузки от колеса самолета  $P_k$  применяют метод суммирования.

Предельный изгибающий момент сечения стенки труб  $M_{np}$  определяется по формулам: для бетонных труб

$$M_{np} = m \cdot R_p \cdot \frac{b \cdot h^2}{3,5}; \quad (6.43)$$

для железобетонных труб

$$M_{np} \leq m \cdot m_a \cdot R_a \cdot F_a \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \leq m \cdot R_u \cdot b \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right). \quad (6.44)$$

Положение нейтральной оси при этом находится из условия

$$m_a \cdot R_a \cdot F_a = R_u \cdot b \cdot x, \quad (6.45)$$

где  $R_p = k_\delta \cdot \frac{R_u}{1,7}$  – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, кПа ( $k_\delta$  – коэффициент однородности бетона и  $k_\delta=0,8$ );  $b=L$  – длина рассчитываемого звена трубы, м;  $h$  – толщина стенки трубы, м;  $m$  – коэффициент условий работы стенки трубы, принимаемый равным 1;  $m_a$  – коэффициент условий работы арматуры и  $m_a=1,1$ ;  $F_a$  – площадь сечения продольной растянутой арматуры, м<sup>2</sup>;  $R_u$  – расчетное сопротивление бетона сжатию при изгибе, кПа (принять равным 21МПа);  $x$  – высота сжатой зоны, м;  $R_a$  – расчетное сопротивление растяжению арматуры, кПа;  $h_0$  – полезная высота сечения стенки трубы, м.

Асбоцементные и керамические трубы подбирают из условия сравнения величины разрушающей нагрузки с усилием, возникающим в трубах от действия нагрузок от колес самолета  $R_k$  и веса грунта над трубой  $Q$ . При этом пользуются формулой

$$K \leq \frac{P_p \cdot N}{P_k + Q}, \quad (6.46)$$

где  $K$  – коэффициент запаса, принимаемый для керамических и асбоцементных; труб равным 2;  $P_p$  – разрушающая нагрузка, принимаемая по ГОСТу (например, для керамических труб диаметром 150-200 мм  $P_p = 20$  кН на 1 пог. м, а для труб диаметром 300 мм –  $P_p = 25$  кН на 1 пог. м);  $N$  – коэффициент опирания.

**3.2. Расчет оснований под трубы.** Расчет оснований под трубы производится в продольном и поперечном направлениях. При расчете в продольном направлении основания под трубы рассматриваются как бесконечная балка, лежащая на упругом основании, свойства которого характеризуются коэффициентом постели или модулем деформации и коэффициентом Пуассона.

Расчет оснований в поперечном направлении производится как балки, лежащей на упругом основании. За расчетную нагрузку при расчете оснований в поперечном направлении следует принимать величину реактивного давления грунта, полученную при расчете оснований в продольном направлении.

**3.3. Расчет смотровых, дождеприемных и тальвежных колодцев.** Расчет на прочность устанавливаются необходимые сечения крышки, днища и стенок колодца. При необходимости расчет колодцев производится на прочность и деформацию стыка в месте примыкания трубы к стенке колодца. Колодцы представляют собой конструкцию коробчатого типа, расчет которой как пространственной системы сложен и трудоемок. Для упрощения расчета крышку, днище и стенки колодца рассматривают как отдельные конструктивные элементы.

### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать осушители О-I – О-VI (определить диаметры труб  $D$ ) (см. п. 2.1 «Общие сведения» и рис. 6.2). Исходные данные приведены в табл. 6.1.

Начертить план осушительной сети грунтовой поверхности аэродрома (см. рис. 6.2), используя свои значения исходных данных  $L$ ,  $B_1$  и  $B_2$ .

Таблица 6.1. Исходные данные к расчетам осушителей и коллекторов

Вариант	Параметр						
	Район	$q_{20}$ , л/с-га	$\varphi$	$L$ , м	$B_1$ , м	$B_2$ , м	Грунт
1	Брест	80	0,15	100	50	35	супесь
2	Гомель	111	0,15	70	50	35	песок
3	Витебск	97	0,15	80	50	35	супесь
4	Минск	90	0,15	90	50	35	суглинок
5	Гродно	105	0,15	120	50	35	супесь
6	Могилев	74	0,15	110	50	35	глина

#### Замечания к расчету:

– значение параметра  $P$  в формуле (6.1) определяется по табл. 6.1 после расчета суммарной площади водосбора  $F$ , га по рис. 6.2;

– при расчете по формуле (6.5) значения  $\tau_{скл}$  уклон склона  $I$  определяется с учетом горизонталей местности (см. рис. 6.2). Если полученный уклон будет менее 0,005, то в качестве расчетного принимается  $I=0,005$ ;

– при подборе  $D$  по (6.15) – значение  $n_* = 0,014$ .

После расчета  $D$  по (6.15) уточняют значение диаметра, сравнивая его со стандартными значениями, которые составляют для безнапорных асбестоцементных труб (внутренний диаметр): 100, 141, 189, 279 и 368 мм. Далее окончательно назначается диаметр с округлением в большую сторону до стандартных значений.

Расчет заканчивается определением скорости движения воды в осушителях при окончательно назначенных диаметрах.

После окончания расчетов все результаты свести в таблицу.

2. Рассчитать коллектор грунтовой поверхности аэродрома для двух сечений II-II и III-III (см. рис. 6.2). Исходные данные приведены в табл. 6.1.

**Замечания к расчету:**

- значения уклонов при расчетах  $\tau$  устанавливаются по плану в горизонталях;
- значения скоростей движения воды в осушителях берутся из расчетов осушителей.

После расчета  $D$  по (6.15) уточняют значение диаметра, сравнивая его со стандартными значениями, которые составляют для безнапорных асбестоцементных труб (внутренний диаметр): 100, 141, 189, 279 и 368 мм. Далее окончательно назначается диаметр с округлением в большую сторону до стандартных значений.

Произвести сравнение  $\tau$  и  $t_{cm}$ . Если  $\tau > t_{cm}$ , то необходимо уточнить расчетный расход по формуле (6.11). При расчете  $t_{cm}$  по формуле (6.10) значения  $t_{cm}^*$  берутся для своего типа грунта.

После уточнения значения расхода проверить подобранный ранее диаметр на пропуск воды, и если необходимо, увеличить диаметр до следующего стандартного значения.

Расчет заканчивается определением скорости движения воды в коллекторе при окончательно назначенных диаметрах для двух сечений. Значения скоростей должны находиться в пределах 0,6-5,0 м/с.

После окончания расчетов результаты свести в таблицу.

3. Провести гидравлический расчет коллектора ИВПП по схемам I и II (см. рис. 6.4). Методика и порядок расчета приведен в п. 2.3 «Общие сведения».

Начертить схему к расчету водостоков искусственных покрытий (см. рис. 6.4) с указанием размеров.

Исходные данные приведены в табл. 6.2. Остальные взять из табл. 6.1. Общую длину ИВПП взять из практической работы №2 для самолета Ту-154.

Таблица 6.2. Исходные данные к расчетам коллекторов ИВПП

Вариант	Параметр				
	$L_{ИВПП}, м$	$z=l_1=l_2=l_i$	$B, м$	$i_{пр}$	$i_{пол}$
1	Из п.р. №2	200	37	0,010	0,015
2	Из п.р. №2	200	35	0,012	0,012
3	Из п.р. №2	200	30	0,015	0,010
4	Из п.р. №2	200	28	0,008	0,013
5	Из п.р. №2	200	25	0,009	0,010
6	Из п.р. №2	200	33	0,011	0,010

**Замечания к расчету:**

- полную длину ИВПП разбить на участки по 200 м;
- значение коэффициента стока принять равным 0,70;
- удаление оси грунтового лотка от кромки покрытия – 25 м;
- при расчете по схеме II (см. рис. 6.4б) расчетные участки также принять по 200 м.

При этом приток воды слева происходит с грунтовой поверхности, а справа – со смешанной. Поэтому при расчете по (6.3)  $\varphi$  слева принять равным 0,15, справа – 0,70;

- при расчете по схеме на рис. 6.4б сток с левой стороны определяется по (6.19);

– суммарный расход  $Q_{расч}$  (см. рис. 6.4а) будет равен сумме расходов двух коллекторов справа и слева ИВПП;

– стандартные значения диаметров труб коллекторов ИВПП: 100, 141, 189, 279, 368 и 456 мм.

Расчет заканчивается определением скорости движения воды в коллекторе при окончательно назначенных диаметрах для сечений. Значения скоростей должны находиться в пределах 0,6-5,0 м/с.

После окончания расчетов результаты свести в таблицу.

4. Провести гидравлический расчет нагорной канавы трапецеидального поперечного сечения (см. рис. 6.5) на расход талых вод. Методика и порядок расчета приведен в п. 2.4 «Общие сведения».

Исходные данные приведены в табл. 6.3. Остальные взять из табл. 6.1.

Таблица 6.3. Исходные данные к расчету нагорной канавы

Вариант	Параметр		
	$F, \text{га}$	$I$	$b, \text{м}$
1	70	0,005	0,6
2	85	0,007	0,6
3	90	0,006	0,6
4	65	0,005	0,6
5	100	0,003	0,6
6	50	0,005	0,6

**Замечания к расчету:**

– расход талых вод рассчитать по формуле (6.8) или по (6.9) в зависимости от исходной площади водосбора (см. табл. 6.3). При этом полученный расход в л/с перевести в м<sup>3</sup>/с.

– рассчитанное значение расхода талых вод принять за расход, пропускаемый нагорной канавой, т.е.  $Q_0=Q$ ;

– расчет по формуле (6.22) производится методом подбора значения  $h$  при известном  $b$  (допускаемая погрешность в вычислении  $Q_0$  – 5%) или графоаналитическим методом, суть которого заключается в подставлении в формулу (6.23) различных значений  $h$  и вычислении различных  $Q_0$ , а затем построении графика зависимости  $Q_0=f(h)$  и нахождении нужного значения  $h$  по известному  $Q_0$  с использованием построенного графика.

– значение коэффициента заложения откосов  $m$  принять для своего типа грунта (см. табл. 6.1);

– ширина нагорной канавы по дну  $b$  – из табл. 6.3;

– при расчете показателя степени  $y$  в формуле (6.23) предварительно можно принять  $R < 1$ , но после расчета и вычисления значения  $h$ , если получится, что  $R > 1$ , но необходимо пересчитать значение  $y$  и повторить расчет;

– при полученном значении  $h$  рассчитать скорость  $V$  и сравнить их с допускаемыми  $V_{min}$  и  $V_{max}$ , т.е. должно быть соблюдено условие  $V_{min} < V < V_{max}$ . При несоблюдении условия, необходимо или увеличить уклон (при  $V < V_{min}$ ) или предусмотреть крепление нагорной канавы (при  $V > V_{max}$ ) (см. табл. 6.3).

Начертить схему полученного поперечного сечения нагорной канавы с указанием всех размеров (см. рис. 6.5).

**5.** Провести гидравлический расчет дождеприемного и тальвежного колодцев, а также определить пропускную способность перепускных труб к коллекторам при стандартных диаметрах. Методика и порядок расчета приведен в п. 2.5 «Общие сведения».

Исходные данные приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Исходные данные к расчету дождеприемного и тальвежного колодцев

Вариант	Параметр		
	$h, \text{м}$	$V=V_{ном}, \text{м/с}$	$L_n, \text{м}$
1	0,50	0,60	11,0
2	0,40	0,40	12,5
3	0,45	0,65	13,8
4	0,35	0,75	11,6
5	0,60	0,62	14,7
6	0,55	1,10	13,2

**Замечания к расчету:**

– значение  $L$  (в м) определить по рис. 6.6 для дождеприемного и рис. 6.7 для тальвежного колодца (суммированием периметра трех решеток). На рис. 6.6 и 6.7 размеры даны в сантиметрах;

– значение  $V=V_{ном}$  (в м/с) принять по данным расчета коллектора (см. п. 3 «Порядок выполнения работы») или из табл. 6.4;

– площадь решетки  $\omega$  (в м<sup>2</sup>) вычислить по рис. 6.6 и 6.7;

– площадь отверстий решетки  $\omega_{отв}$  (в м<sup>2</sup>) принять равной  $0,75\omega$ ;

– ширина  $s$  и глубина  $H'$  дождеприемника принимаются по рис. 6.6 и 6.7;

– расчетный расход пропускной способности перепускных труб  $Q$  рассчитать по (6.27) при известных стандартных значениях  $D$  труб перепусков: 141, 189, 279 и 368 мм.

– уклон  $I$  перепуска принять равным 0,025 – при отводе воды из дождеприемных колодцев и 0,015 – из тальвежных;

– длину перепуска принять по табл. 6.4.

Начертить схемы дождеприемного и тальвежного колодцев (см. рис. 6.6 и 6.7) и таблицу пропускной способности перепускных труб для двух типов колодцев и четырех диаметров.

**6.** Провести расчет дренажа: определить расход воды, поступающий в дренаж, расстояние между дренажами и построить депрессионную кривую с использованием уравнения кривой депрессии для различных типов глубинного дренажа.

Методика и порядок расчета приведен в п. 2.6 «Общие сведения».

Исходные данные приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Исходные данные к расчету глубинного дренажа

Вариант	Параметр			
	$H, м$	$l, м$	$d, м$	$h_0, м$
1	1,2	200	0,050	0,03
2	1,1	150	0,075	0,04
3	1,5	180	0,100	0,05
4	1,8	220	0,150	0,08
5	1,5	210	0,125	0,06
6	2,0	170	0,175	0,09

**Замечания к расчету:**

– депрессионную кривую построить минимум по трем точкам, не считая точек начала и конца кривой;

Провести гидравлический расчет глубинного дренажа (подобрать диаметры дрен) для четырех расчетных расходов  $Q$ , полученных при различных расчетных схемах с использованием формул (6.13) и (6.14).

Полученные значения диаметров округлить в большую сторону до стандартных значений: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250 мм и далее через 50 мм.

При расчетах диаметров дрен перевести расходы из  $м^3/сут$  в  $м^3/с$ .

**7.** Рассчитать на прочность трубу, уложенную в грунте.

Методика и порядок расчета приведен в п. 3.1 «Общие сведения».

Исходные данные приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6. Исходные данные к расчету трубы на прочность

Вариант	Параметр				
	$D_{вн}, мм$	$h, см$	$H, м$	$P_k, кН/пог. м$	$b=L, м$
1	400	8,0	1,00	200	2,0
2	500	8,0	1,25	250	2,5
3	600	9,0	1,50	300	3,0
4	700	10,0	1,75	350	3,5
5	800	10,0	2,00	400	4,0
6	900	10,0	2,50	450	5,0

**Замечания к расчету:**

– коэффициент  $N$  при расчете по (6.39) принять равным 1,50;

– при расчетах принять бетонные трубы;

– значение  $\Phi$  принять в зависимости от вида заданного грунта;

В выводе привести анализ полученных результатов.

## Практическая работа № 7

**Тема:** Расчет аэродромных покрытий

- Цель работы:**
1. Определить расчетные нагрузки на покрытие аэродрома.
  2. Рассчитать бетонное покрытие на основе гипотез коэффициента постели и упругого полупространства.
  3. Рассчитать сборное покрытие из предварительно напряженных железобетонных плит ПАГ-20 по образованию трещин.
  4. Рассчитать толщину основания жесткого бетонного покрытия.

### Общие сведения

В зависимости от характера работы аэродромных покрытий под воздействием самолетной нагрузки расчет жестких и нежестких покрытий производится отдельно.

Расчет аэродромных покрытий жесткого и нежесткого типа производят по **методу предельных состояний**.

**Предельное состояние** – это состояние конструкции, при наступлении которого она становится неспособной сопротивляться внешним воздействиям или получает недопустимые по условиям эксплуатации деформации или повреждения. Предполагается, что предельное состояние наступает под действием предельной нагрузки при наименьшей возможной несущей способности конструкции.

**Задача расчета покрытия** состоит в обеспечении гарантии против наступления в нем предельного состояния в период эксплуатации. Для получения экономических решений эти гарантии не должны быть излишними, т. е. усилия, возникающие в плитах, должны быть близкими к допускаемым.

**Расчетными предельными состояниями жестких покрытий являются:**

- для бетонных и армобетонных сечений – предельное состояние по прочности;
- для сечений, армированных ненапрягаемой арматурой, – предельное состояние по прочности и раскрытию трещин;
- для предварительно напряженных сечений – предельное состояние по образованию трещин.

**Расчетным предельным состоянием нежестких покрытий является предельное состояние по деформациям.**

Для проведения расчетов должны быть заданы:

- категория нормативной нагрузки, число колес на условной опоре  $N$  и давление в пневматических шинах  $q$ , МПа (табл. 7.1);
- характеристика района строительства, географическое положение, данные о грунтах, уровень грунтовых вод, глубина промерзания и т. д.;
- количество взлетно-посадочных операций в год и состав нагрузок (под операцией понимают один взлет или одну посадку самолета).

Таблица 7.1. Категории нормативной нагрузки на дорожные одежды ИВВП

Категория нормативной нагрузки	Величина нормативной нагрузки на опору, кН	Давление в пневматических шинах, МПа	Тип основной опоры
в/к	850	1,0	Четырехколесная
I	700	1,0	
II	550	1,0	
III	400	1,0	
IV	300	1,0	
V	80	0,6	Одноколесная
VI	50	0,4	

**Примечания.** 1. Расстояния между пневматическими шинами условной четырехколесной опоры приняты равными 70 и 130 см. 2. Заданием на проектирование нормативные нагрузки III и IV категорий могут устанавливаться одноколесными, равными соответственно 170 и 120 кН, а давление в пневматических шинах для V и VI категорий нагрузки равным 0,8 МПа. 3. Для покрытий отмоستков и укрепляемых участков, примыкающих к торцам ИВВП, нормативная нагрузка умножается на коэффициент 0,5.

В процессе проектирования назначают:

- материалы покрытий и оснований и устанавливают их характеристики (марки бетона и асфальтобетона, класс арматуры и т. д.);

- параметры расчетных сечений: толщины конструктивных слоев, расположение и площадь сечения арматуры; типы швов (для жестких покрытий).
- При расчете конструкций усиления, кроме того, должны быть установлены:
- конструкция и характеристики материалов существующего покрытия и основания;
  - категория разрушения покрытия.

### 7.1. Воздействие самолета на покрытие. Расчетные нагрузки.

Нагрузка на аэродромное покрытие от самолета передается через авиационные колеса главных (основных) и вспомогательных опор шасси. При стоянке самолета его взлетный вес распределяется между основными и вспомогательными опорами

$$G = P_B + P_{ГЛ}, \quad (7.1)$$

где  $G$  – статическая нагрузка от взлетного веса самолета, кН;  $P_B$  – статическая нагрузка на вспомогательную опору, кН;  $P_{ГЛ}$  – статическая нагрузка на главные опоры, кН.

$$P_B = G \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2} = k_B \cdot G; \quad (7.2)$$

$$P_{ГЛ} = G \cdot \frac{L_1}{L_1 + L_2} = k_{ГЛ} \cdot G, \quad (7.3)$$

где  $L_1$  – расстояние вспомогательной опоры до центра тяжести самолета (рис. 7.1), м;  $L_2$  – расстояние главных опор до центра тяжести самолета, м;  $k_B$  – коэффициент, учитывающий долю взлетного веса, приходящуюся на вспомогательную опору и

$$k_B = \frac{L_2}{L_1 + L_2} = \frac{L_2}{L}; \quad (7.4)$$

$k_{ГЛ}$  – коэффициент, учитывающий долю взлетного веса, приходящуюся на главные опоры и

$$k_{ГЛ} = \frac{L_1}{L_1 + L_2} = \frac{L_1}{L}. \quad (7.5)$$

Здесь  $L$  – база шасси самолета (см рис. 7.1).

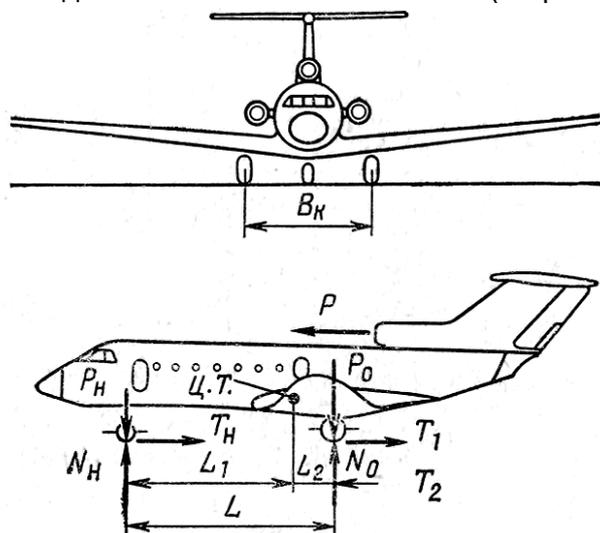


Рис. 7.1. Схема к определению нагрузок от колес самолета на покрытие

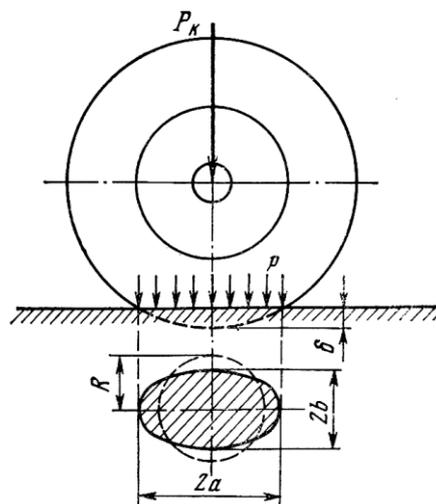


Рис. 7.2. Схема передачи статической нагрузки от колеса самолета на поверхность покрытия

Наибольшая часть нагрузки от взлетного веса самолетов передается на покрытие через колеса главных опор. На основании характеристик заданного типа самолета вычисляют расчетную нагрузку на одно колесо главной опоры

$$P_K = \frac{k_{ГЛ} \cdot G}{N_{ГЛ} \cdot N_K} \cdot k_{ДН} \cdot n_p, \quad (7.6)$$

где  $P_K$  – расчетная нагрузка на колесо, кН;  $k_{ДН}$  – коэффициент динамичности, принимаемый равным 1,25;  $n_p$  – коэффициент перегрузки и  $n_p=1,0$ ;  $N_{ГЛ}$  – число главных опор шасси самолета;  $N_K$  – число колес на главных опорах самолета.

**При расчете жестких аэродромных покрытий** повторность приложения самолетных нагрузок учитывают введением в формулу для определения предельного для сечения изгибающего момента коэффициента условий работы  $m$ , значения которого нормировано для различных групп участков покрытий и интенсивности движения, но для практических расчетов можно принять  $m=1,2$  и

$$P_K^{жк} = m \cdot P_K. \quad (7.7)$$

Принято считать, что коэффициент  $m$  одновременно учитывает температурные напряжения в покрытиях, нарастание прочности бетона во времени и накопление остаточных деформаций в основаниях.

**При расчете нежестких покрытий** многократное воздействие нагрузок учитывается введением в расчет коэффициента  $k_{II}$ , величину которого принимают с учетом интенсивности движения на различных участках аэродрома: для магистральных РД и концевых участков ВПП  $k_{II}=1,5$ ; для остальных участков покрытий –  $k_{II}=1,3$  и

$$P_K^{нжк} = k_{II} \cdot P_K. \quad (7.8)$$

Нагрузка от колеса распределяется пневматической шиной на некоторую площадь, называемую *площадью контакта колеса с покрытием* или *площадью отпечатка пневматической шины*. В общем случае площадь контакта колеса с покрытием имеет форму эллипса (рис. 7.2) с соотношением полуосей – в диапазоне 1,25-2,00. Площадь отпечатка зависит от величины вертикальной нагрузки на колесо и давления воздуха в шинах

$$F = \frac{P_K}{\alpha \cdot q}, \quad (7.9)$$

где  $P_K$  – вертикальная нагрузка на колесо, кН;  $q$  – внутреннее давление воздуха в пневматике, кПа;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от конструкции шины и ее жесткости, значение  $\alpha$  в среднем принимается равным 1,05–1,10.

В целях упрощения расчетов площадь контакта колеса с покрытием  $F$  заменяют круговой радиусом  $R$  (см. рис. 7.2), равновеликой по площади. Величину  $R$  определяют по формуле

$$R = \sqrt{\frac{P_K}{\pi \cdot \alpha \cdot q}}. \quad (7.10)$$

С увеличением нагрузки на колесо площадь контакта колеса с покрытием  $F$  и радиус отпечатка  $R$  возрастают. Благодаря обжатю пневматического колеса под нагрузкой на величину  $\delta$  (см. рис. 7.2), внутреннее давление воздуха в шине  $q$  оказывается почти равным наружному удельному давлению колеса на поверхность покрытия  $p$ , т.е.  $q=p$ .

При движении самолетов, помимо вертикальных нагрузок, на аэродромное покрытие воздействуют и **горизонтальные нагрузки**. Горизонтальные нагрузки возникают при движении самолетов из-за наличия сил трения и вследствие удара при накатывании колес на неровности; в процессе торможения колес при движении самолетов; в момент посадки самолетов по причине инерциального сопротивления колес их раскрутке и при резких поворотах самолетов в процессе руления из-за наличия сил трения бокового скольжения.

Величины горизонтальных нагрузок, действующих при движении самолета на покрытие, равны:

$$\text{при движении без торможения колес} - T_1 = f \cdot P_K; \quad (7.11)$$

$$\text{при движении с торможением колес} - T_2 = \varphi \cdot P_K, \quad (7.12)$$

где  $T_1, T_2$  – горизонтальные нагрузки на покрытие при движении самолета без торможения и с торможением колес, кН;  $f$  – коэффициент сопротивления качению, принимаемый для ровных нежестких и жестких покрытий равным 0,015;  $\varphi$  – коэффициент сцепления, зависящий от состояния покрытия и принимаемый равным для сухого шероховатого покрытия равным 0,85.

Нагрузки  $T_1$  и  $T_2$  действуют кратковременно. Горизонтальные напряжения, возникающие в покрытиях от этих нагрузок, быстро затухают с глубиной. Поэтому при расчетах аэродромных покрытий их не учитывают. Вместе с тем оценка величин  $T_1$  и  $T_2$  необходима для определения требований к устойчивости верхних слоев некоторых покрытий сдвигу, например, при устройстве защитных слоев (слоев износа).

При движении самолета давление на покрытие не остается постоянным. С одной стороны, увеличение скорости движения самолета при разбеге приводит к образованию подъемной силы, которая снижает нагрузку на колесо. С другой стороны, наличие неровностей покрытий (вертикальные смещения плит, выбоины, волны и т. д.) ведет к возрастанию воздействия движущегося колеса на покрытие по сравнению со статическим (в результате колебаний самолета при наезде на неровность и ударов колес о покрытие после перекатывания через нее).

Величина динамической нагрузки на покрытие при движении самолета  $G_{дн}$  (в кН) может быть найдена по формуле

$$G_{дн} = k_{дн} \cdot n_p \cdot G. \quad (7.13)$$

Для аэродромных покрытий характерны многократно повторяющиеся нагрузки. Результаты исследований показали, что распределение проходов самолетов по ширине ВПП и РД следует нормальному закону распределения случайных величин Гаусса. Если известны числовые характеристики (статистики) распределения и объем движения самолетов, то количество воздействий нагрузок в любом сечении плиты жесткого аэродромного покрытия можно определить по формуле

$$N = 365 \cdot n \cdot [P_p(x) \cdot n_0 \cdot N_p + P_1(x) \cdot \beta_1 \cdot n_{01} \cdot N_1 + \dots + P_i(x) \cdot \beta_i \cdot n_{0i} \cdot N_i], \quad (7.14)$$

где  $N$  – количество воздействий нагрузок от колес самолетов на плиту жесткого покрытия за весь период эксплуатации;  $n$  – заданный срок службы покрытия, лет и  $n=12$  лет;  $n_0$  – количество спаренных осей на главной опоре шасси самолета (для Ил-86 – 4; Ту-154 – 3; Як-40 – 2);  $N_p$  – среднесуточная интенсивность движения (количество самолето-вылетов) расчетного самолета (Ил-86 – 6);  $N_i$  – то же,  $i$ -го самолета (Ту-154 – 8; Як-40 – 10);  $\beta_i$  – коэффициент приведения повторности приложения нагрузок от колес  $i$ -го самолета к количеству воздействий расчетного самолета (Ту-154 – 0,67; Як-40 – 0,47);  $P_i(x)$  – вероятность прохода колес главных шасси самолета в расчетном интервале (для Ил-86 – 1,0; Ту-154 – 0,85; Як-40 – 0,55).

Интенсивность эксплуатации определяют по формуле

$$N_p = \sum_I^i N_i \cdot S_i, \quad (7.15)$$

где  $N_i$  – число рулений  $i$ -го самолета в год;  $S_i$  – коэффициент приведения, принимаемый в зависимости от отношения нагрузки на колесо  $i$ -го самолета  $R_i$  к нагрузке на колесо расчетного самолета  $P_p$  (для Ту-154 – 0,35; для Як-40 – 0,15).

Кроме нагрузок от колес самолетов, на аэродромные покрытия воздействуют *газовоздушные струи газотурбинных двигателей*. На покрытие перронов и МС, где производится заправка самолетов, возможно *попадание авиационного топлива*.

Воздействие газовых струй сводится к совместному воздействию скоростного (динамического) напора и температуры. Температура газов современных двигателей на срезе сопла достигает 600-800°C, а скорость 600 м/с. В результате повышения температуры происходит ослабление структурных связей в материалах, особенно изготовленных с применением органических вяжущих, и последующее выдувание и унос частиц материала или грунта под влиянием динамического напора. Длительное воздействие газовых струй газотурбинных двигателей может привести к возникновению недопустимых деформаций и разрушению покрытий. Степень влияния на покрытие струй газов зависит от типа двигателей (турбовинтовой, турбореактивной, турбовентиляторной и т. д.), режима их работы схемы компоновки двигателей (одиночная или пакетная), высоты их расположения и угла наклона к горизонтали.

Глубина и ширина поля газовоздушных струй двигателей самолетов на максимальном режиме составляет: для Ил-86 – 200x44 м; для Ту-154 – 160x32 м; для Як-40 – 65x12 м.

Проведенные исследования показали, что в условиях постоянной эксплуатации аэродрома самолетами с газотурбинными двигателями необходимо учитывать следующие критические значения температур и скорости газовоздушных струй, вызывающих разрушение покрытий:

а) цементобетонные покрытия выдерживают кратковременные (до 30-45 с) воздействия температур до 300-350°C;

б) асфальтобетонные покрытия сохраняют прочность и устойчивость в течение 3-4 мин (в зависимости от начальной температуры покрытия) при температурах до 100° С и скоростях потока до 50 м/с;

в) аэродромные покрытия из материалов, обработанных органическими вяжущими, разрушаются при воздействии температур свыше  $80^{\circ}\text{C}$  и скорости газовой струи 30-40 м/с;

г) разрушение гравийно-щебеночных покрытий имеет место при скорости газовой струи свыше 50 м/с.

В целях уменьшения степени агрессивного воздействия струй газотурбинных двигателей на аэродромные покрытия применяют следующие инженерные мероприятия:

– проектирование устойчивых типов покрытий на участках, подвергающихся наиболее интенсивному воздействию струй газотурбинных двигателей (концевые участки ВПП, МС, площадки для запуска и опробования двигателей);

– укрепление грунтовых участков, примыкающих к покрытиям грунтовых обочин для предотвращения струйной эрозии грунта в зоне контакта с газовой струей; для укрепления грунтовых площадей, примыкающих к покрытиям, применяют щебеночные, гравийные и грунтовые покрытия, обработанные органическими и неорганическими вяжущими материалами;

– установка стационарных и передвижных струеотклоняющих щитов, предназначенных для отклонения и рассеяния энергии газовой струи;

– применение планировочных решений генплана и технологической схемы движения самолетов в аэропорту с учетом агрессивного воздействия газовых струй летательных аппаратов (проектирование специальных площадок для запуска двигателей, рациональное расположение сети РД в плане аэродрома, обоснование формы и габаритов МС, ограничение маневрирования самолетов на тяге собственных двигателей на отдельных участках аэродрома).

Наиболее целесообразным решением вопроса воздействия на покрытие авиационного топлива является устройство на соответствующих участках жестких аэродромных покрытий, стойких против воздействия авиационного топлива: цементобетонных, армобетонных и др.

### **7.2. Расчет бетонных покрытий на основе гипотезы коэффициента постели.**

Расчет бетонных покрытий производят по предельному состоянию, определяемому пределом прочности покрытия.

Это условие для бетонных покрытий сводится к удовлетворению расчетного неравенства

$$M_p \leq M_{np}, \quad (7.16)$$

где  $M_p$  – расчетный изгибающий момент в плитах однослойных бетонных покрытий, кН·м;  $M_{np}$  – предельный для сечения изгибающий момент, кН·м.

Расчетные значения изгибающих моментов в бетонных плитах определяют по формуле

$$M_p = M_{max}^y \cdot K, \quad (7.17)$$

где  $M_{max}^y$  – максимальный изгибающий момент при центральном нагружении, кН·м;  $K$  – коэффициент, учитывающий увеличение изгибающих моментов при приложении нагрузки в краевых зонах плит, принимаемый для бетонных покрытий равным 1,2.

Максимальный изгибающий момент при центральном нагружении плиты вычисляют по формулам расчета плит, имеющих неограниченные размеры в плане, как наибольший суммарный момент, создаваемый колесами самолетной опоры в расчетном сечении, перпендикулярном оси  $x$  или  $y$  (рис. 7.3).

Общая формула для определения максимального момента от действия всех колес опоры самолета имеет вид

$$M_{max}^y = M_1 + \sum_{i=2}^{i=N_k} M_{x(y)}^i, \quad (7.18)$$

где  $M_1$  – изгибающий момент от действия колеса, центр отпечатка которого совпадает с расчетным сечением, кН·м;  $M_{x(y)}^i$  – изгибающий момент, создаваемый действием  $i$ -го колеса, расположенного за пределами расчетного сечения, кН·м;  $N_k$  – количество колес на опоре самолета.

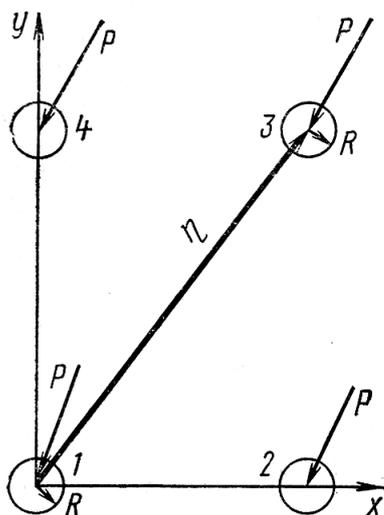


Рис. 7.3. Расчетная схема опоры самолета

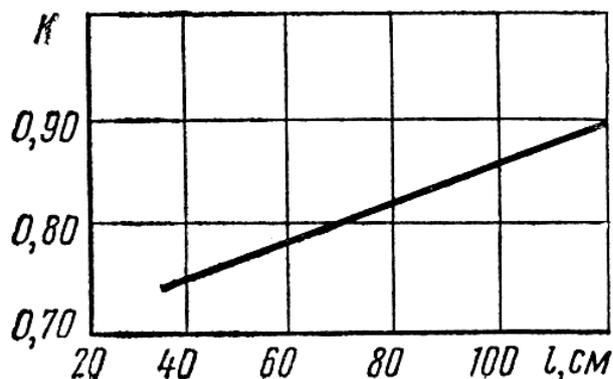


Рис. 7.4. График для определения коэффициента  $K_u$

При расчете монолитных жестких покрытий, укладываемых на грунтоцементных и пескоцементных основаниях толщиной 20 см, значения изгибающих моментов  $M_{max}^y$ , вычисленные по формуле (7.18), необходимо умножить на коэффициент  $K_u$ , определяемый по графику (рис. 7.4).

Изгибающий момент от действия колеса, центр отпечатка которого совпадает с расчетным сечением (см. рис. 7.3), определяют по формуле

$$M_l = P_k \cdot f(\alpha), \quad (7.19)$$

где  $P_k$  – расчетная нагрузка на колесо, кН, определяемая по формуле (7.7) для Ил-86;  $f(\alpha)$  – функция, значения которой принимают в зависимости от приведенного радиуса нагрузки  $\alpha=R/l$  (табл. 7.2);  $R$  – радиус круга, равновеликого площади отпечатка колеса по (7.10), м;  $l$  – упругая характеристика плиты, м, определяемая по формуле

$$l = 4 \sqrt{\frac{B}{b \cdot C}}, \quad (7.20)$$

$B$  – жесткость сечений плиты и

$$B = 1,02 \cdot E_b \cdot I; \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (7.21)$$

$E_b$  – модуль упругости бетона и  $E_b=33000$  МПа;  $I$  – момент инерции сечения, м<sup>4</sup>;  $b$  – расчетная ширина сечения (обычно принимаемая равной 1,0 м);  $h$  – высота сечения, м;  $C$  – расчетный коэффициент постели грунтового основания, определяемый по результатам полевых испытаний грунтов, кН/м<sup>3</sup>.

Таблица 7.2. Значения функций

$\alpha$	$f(\alpha)$	$g(\alpha)$
0,16	0,2278	0,0104
0,18	0,2169	0,0130
0,20	0,2072	0,0159
0,22	0,1984	0,0191
0,24	0,1904	0,0225

Изгибающий момент в расчетном сечении от действия колеса, расположенного за пределами этого сечения (см. рис. 7.3), определяют по формуле

$$M_{x(y)}^i = \bar{M}_{x(y)}^i \cdot P_k, \quad (7.22)$$

где  $\bar{M}_{x(y)}^i$  – единичный изгибающий момент, определяемый в зависимости от приведенных расстояний от центра отпечатка колеса до расчетного сечения:

$$\xi = \frac{x}{l}; \quad \eta = \frac{y}{l}. \quad (7.23)$$

Для самолета Ил-86, имеющего 4 колеса (по 2 на оси) на одной опоре (рис. 7.5) значения  $x$  и  $y$  составляют при расчетном левом заднем колесе (вид самолета сзади):

- для заднего правого колеса –  $x_2=1,5$  м и  $y_2=0,0$  м;
- для переднего правого колеса –  $x_3=1,5$  м и  $y_3=2,3$  м;
- для переднего левого колеса –  $x_4=0,0$  м и  $y_4=2,3$  м.

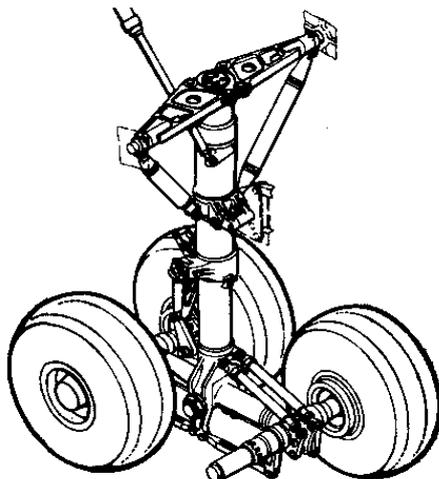


Рис. 7.5. Средняя опора самолета Ил-86

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^2$  для  $x_2=1,5$  м,  $y_2=0,0$  м и  $l_p = 1,00$  м составляет 0,0273.

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^3$  для  $x_3=1,5$  м,  $y_3=2,3$  м и  $l_p = 1,00$  м составляет -0,0123.

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^4$  для  $x_4=0,0$  м,  $y_4=2,3$  м и  $l_p = 1,00$  м составляет -0,0201.

Отрицательные значения  $\bar{M}_{x(y)}^i$  при расчетах не учитываются, т.е. далее расчет ведется для 1 основного и 1 дополнительного колеса.

Для своих значений  $l$  необходимо умножить значения  $\bar{M}_{x(y)}^i$  на отношение  $l/l_p$ .

Далее при расчете по (7.22) и (7.18) необходимо учитывать одно значение  $\bar{M}_{x(y)}^i$ .

Прогибы центра плиты определяют по формуле

$$W = \frac{q}{C} \cdot g(\alpha) + \sum_2^{N_k} \frac{P_k}{4 \cdot l^2 \cdot C} \cdot f_0(\xi), \quad (7.24)$$

где  $g(\alpha)$  – функция, определяемая по табл. 7.2 в зависимости от приведенного радиуса нагрузки  $\alpha=R/l$ ;  $f_0(\xi)$  – функция, принимаемая в зависимости от приведенного расстояния  $\xi$  и составляет при  $x_2=1,5$  м – 0,2110 для  $l_p = 1,00$  м. Для своих значений  $l$  необходимо умножить значения  $f_0(\xi)$  на отношение  $l/l_p$ .

При расчете по (7.24) необходимо учитывать воздействие от одного дополнительного колеса (2-го).

Предельный для сечения изгибающий момент для бетонных покрытий определяют по формуле

$$M_{np} = m \cdot R_{pu} \cdot W_o, \quad (7.25)$$

где  $m$  – коэффициент условий работы сечения и  $m=1,2$ ;  $R_{pu}$  – предел прочности бетона на растяжение при изгибе и  $R_{pu} = 3800$  кПа;  $W_o$  – упругий момент сопротивления сечения  $W_o = b \cdot h^2 / 6$ , м<sup>3</sup>;  $h$  и  $b$  – толщина и ширина расчетного сечения плиты, м.

### 7.3. Расчет бетонных покрытий на основе гипотезы упругого полупространства.

При использовании в качестве модели грунтового основания гипотезы линейно-деформируемого полупространства величины изгибающих моментов в плите покрытия от воздействия колес самолетной опоры определяют по формулам:

- момент от колеса, центр отпечатка которого совпадает с расчетным сечением

$$M_I = P_K \cdot (0,0592 - 0,0928 \cdot \ln \lambda), \quad (7.26)$$

где  $\lambda$  – приведенный радиус отпечатка, м и

$$\lambda = \frac{R}{L}; \quad (7.27)$$

$L$  – упругая характеристика плиты, м и

$$L = h \cdot 3 \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu_o^2)}{6 \cdot E_o \cdot (1 - \mu^2)}}; \quad (7.28)$$

$h$  – толщина плиты, м;  $E$  и  $E_o$  – модули деформации бетона ( $E=33000$  МПа) и грунтового основания, кПа;  $\mu$  и  $\mu_o$  – коэффициенты Пуассона соответственно бетона и грунта, которые для практических расчетов можно принять равными 0,6 и 0,2 соответственно;

– изгибающие моменты от действия колес, расположенных вне рассматриваемого сечения:

$$M_x^i = P_K \cdot \bar{M}_x^i; \quad M_y^i = P_K \cdot \bar{M}_y^i, \quad (7.29)$$

где  $\bar{M}_x^i$  и  $\bar{M}_y^i$  – единичные моменты от действия колес, определяемые в зависимости от

приведенных координат  $\xi_i = \frac{x_i}{L}$ ;  $\eta_i = \frac{y_i}{L}$ ;  $x_i$  и  $y_i$  – координаты точки приложения сил от воздействия  $i$ -го колеса, м.

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^2$  для  $x_2=1,5$  м,  $y_2=0,0$  м и  $L_p = 2,0$  м составляет 0,080.

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^3$  для  $x_3=1,5$  м,  $y_3=2,3$  м и  $L_p = 2,0$  м составляет 0,001.

Значение  $\bar{M}_{x(y)}^4$  для  $x_4=0,0$  м,  $y_4=2,3$  м и  $L_p = 2,0$  м составляет -0,004.

Отрицательные значения  $\bar{M}_{x(y)}^i$  при расчетах не учитываются, т.е. далее расчет ведется для одного основного и двух дополнительных колес.

Для своих значений  $L$  необходимо умножить значения  $\bar{M}_{x(y)}^i$  на отношение  $L/L_p$ .

Далее при расчете по (7.29) и (7.18) необходимо учитывать два значения  $\bar{M}_{x(y)}^i$ .

Значение  $M_p$  рассчитывается по (7.17), а  $M_{np}$  – по (7.25).

Прогиб покрытия в центре плиты вычисляются по формуле

$$W = W_I + \sum_{i=2}^{i=N_K} W_i, \quad (7.30)$$

где  $W_I$  – прогиб покрытия от колеса, центр отпечатка которого совпадает с расчетным сечением, м и

$$W_I = 0,385 \cdot P_K \cdot \frac{(1 - \mu_o^2)}{E_o \cdot L}; \quad (7.31)$$

$W_i$  – прогиб покрытия от воздействия колеса, расположенного за пределами расчетного сечения, м и

$$W_i = \bar{W}_i \cdot P_K \cdot \frac{(1 - \mu_o^2)}{E_o \cdot L}; \quad (7.32)$$

$\bar{W}_i$  – единичный прогиб покрытия, определяемый в зависимости от приведенного расстояния  $\rho_i = r_i / L$  по формуле  $\bar{W}_i = 0,0034 \cdot \rho_i^3 - 0,0077 \cdot \rho_i^2 - 0,0983 \cdot \rho_i + 0,3933$  при значениях  $r_2=1,50$  м и  $r_3=2,75$  м.

Далее при расчете по (7.30) необходимо учитывать два значения  $\bar{W}_i$ .

**7.4. Расчет сборных покрытий из предварительно напряженных железобетонных плит.** При расчете сборных покрытий из предварительно напряженных железобетонных плит учитывают принципиальные особенности сборных покрытий по сравнению с монолитными:

– меньшие размеры плит в плане и менее плотный контакт между плитами в покрытии, что нашло отражение в значении переходных коэффициентов для определения расчетных изгибающих моментов в разных зонах плиты;

– условия заводского изготовления плит, обеспечивающие более высокое качество изделия с систематическим контролем прочности бетона на сжатие и изгиб: величины предварительного напряжения арматуры и трещиностойкости плит учтены значением соответствующих расчетных характеристик материалов и коэффициентов условий работы конструкций.

Расчет предварительно напряженных плит для сборных аэродромных покрытий производится по предельным состояниям.

*Расчетными предельными состояниями для плит сборных покрытий являются:*

– для предварительно напряженных сечений – по образованию трещин и прочности;  
– для сечений, армированных ненапрягаемой арматурой, – по прочности и раскрытию трещин.

**При применении типовых плит расчет производят только по образованию трещин предварительно напряженного сечения в средней части плиты.** Проверку краевых участков плиты, а также расчет прочности сечений, армированных напрягаемой и ненапрягаемой арматурой, в этом случае можно не производить.

Расчет сечений предварительно напряженных железобетонных плит сборных покрытий по образованию трещин производят исходя из условия (7.16), т.е.  $M_p \leq M_{np}$ .

Расчетный изгибающий момент  $M_p$  определяется по формуле (7.17) и  $M_p = M_{max}^u \cdot K$ , где  $M_{max}^u$  рассчитывается по формуле (7.18).

Предельный для сечения изгибающий момент  $M_{np}$  определяют по формуле

$$M_{np} = m \cdot (R_{mu} \cdot W_o + M_{o\sigma}^{\lambda}), \quad (7.33)$$

где  $R_{mu}$  – расчетное сопротивление растяжению при изгибе при расчете по образованию трещин и  $R_{mu} = 4200$  кПа;  $W_o = b \cdot h^2 / 6$ , м<sup>3</sup>;  $h$  и  $b$  – толщина и ширина расчетного сечения плиты, м, принимается 0,1 и 1,0 м соответственно;  $M_{o\sigma}^{\lambda}$  – момент равнодействующей усилий в нижней и верхней напрягаемой арматуре относительно оси, нормальной к плоскости изгиба и проходящей через ядровую точку, наиболее удаленную от зоны сечения, проверяемого по условиям трещинообразования, кН·м.

Ширину раскрытия трещин в сечениях  $a_m$ , армированных ненапрягаемой арматурой, определяют по формулам

$$a_m = \frac{\sigma_a}{E_a} \cdot l_m; \quad a_m \leq 0,3 \text{ мм}, \quad (7.34)$$

где  $\sigma_a$  – напряжение в арматуре, кПа, определяемое по формуле

$$\sigma_a = \frac{M_p}{F_a \cdot h}; \quad (7.35)$$

где  $l_m$  – расстояние между трещинами, м, определяемое по формуле

$$l_m = \kappa_1' \cdot \frac{F_a}{S_a} \cdot \frac{E_a}{E_b} \cdot \eta_1, \quad (7.36)$$

где  $S_a$  – периметр сечения арматуры и  $S_a = 0,05338$  м;  $\kappa_1'$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\kappa_1' = \frac{b \cdot h \cdot E_b}{35 \cdot F_a \cdot E_a} - 2, \quad (7.37)$$

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый равным 0,7 для арматуры периодического профиля;  $F_a$  – площадь сечения растянутой арматуры и  $F_a = 0,000227$  м<sup>2</sup>;  $E_b$  и  $E_a$  – модули упругости бетона и арматурной стали и  $E_b = 33000$  МПа,  $E_a = 180000$  МПа;  $b$  и  $h$  – то же, что и в (7.33), м.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин составляет 0,3 мм.

После проверки предварительно напряженных сечений плит расчетом по образованию трещин и ширины раскрытия трещин в сечениях, армированных ненапрягаемой арматурой,

рекомендуется производить расчет требуемой толщины искусственных оснований под сборные покрытия, ход которого приведен ниже.

### 7.5. Расчет толщины оснований жестких покрытий.

Для определения потребной толщины искусственного основания под жесткие аэродромные покрытия используют зависимость

$$\frac{h_1}{d_1} = \frac{1}{1,41 \cdot n} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{1,57 \cdot \left( 1 - \frac{E_o \cdot K_{ep}}{E_{экв}} \right)}{1 - \frac{1}{n^{3,5}}} \right), \quad (7.38)$$

где  $h_1$  – потребная толщина искусственного основания, м;  $d_1$  – условный диаметр круга, эквивалентного площади передачи нагрузки от плиты на искусственное основание, м и

$$d_1 = \frac{2,5}{\sqrt{K_\omega}} \cdot l_{mp}; \quad (7.39)$$

$l_{mp}$  – упругая характеристика плиты, м, определяемая по формуле

$$l_{mp} = 4 \sqrt{\frac{B}{b \cdot C_{mp}}}; \quad (7.40)$$

$B$  – жесткость плиты, рассчитываемая по (7.21);  $C_{mp}$  – коэффициент постели основания, при котором обеспечивается с отклонением не более  $\pm 5\%$  равенство  $M_p = M_{пр}$ , кН/м<sup>3</sup>;  $K_\omega$  – коэффициент, зависящий от отношения жесткостей покрытия в продольном и поперечном направлениях, принимается равным 1,2;  $E_{экв}$  – эквивалентный модуль деформации системы «грунт+искусственное основание», кПа и

$$E_{экв} = 1,8 \cdot 4 \sqrt{B \cdot C_{mp}^3}; \quad (7.41)$$

$n$  – безразмерный коэффициент и

$$n = 2,5 \sqrt{\frac{E_1 \cdot K_n}{E_o \cdot K_{ep}}}; \quad (7.42)$$

$E_1$  – модуль деформации материала искусственного основания, для щебня, обработанного вяжущим  $E_1 = 200$  МПа;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий увеличение модуля деформации материала искусственного основания под жесткими покрытиями вследствие уменьшения относительных осадок, принимается равным 6,0 для материалов и грунтов обработанных органическими или неорганическими вяжущими,  $E_o$  – модуль деформации грунта, соответствующий расчетному коэффициенту постели  $C$

$$E_o = 1,8 \cdot 4 \sqrt{B \cdot C^3}; \quad (7.43)$$

$K_{ep}$  – коэффициент, учитывающий увеличение модуля деформации грунта в основании жестких покрытий и

$$K_{ep} = 1,12 \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{h_1}{d_1} \right)^2 \cdot \left( \frac{E_1}{E_o} \right)^{0,8}}. \quad (7.44)$$

При расчетах по (7.38) предварительно задаются величиной  $K_{ep} = 3,0$  и в первом приближении определяют относительную толщину искусственного основания по формуле (7.38) и теоретическое значение коэффициента  $K_{ep}$  по формуле (7.44).

Вычисленное по формуле (7.44) значение  $K_{ep}$  сопоставляют с принятым. Если вычисленное значение отличается от принятого, то необходимо изменить исходное значение  $K_{ep}$  и снова вычислить теоретическое с использованием зависимостей (7.38) и (7.44). Расчет повторяют до тех пор, пока не будет достигнуто совпадение принятого и вычисленного значений  $K_{ep}$ . При достижении равенства значений коэффициентов вычисляют потребную толщину искусственного основания с использованием зависимости (7.38).

### 7.6. Расчет нежестких аэродромных покрытий.

Расчет нежестких аэродромных покрытий на прочность производят по методу предельных состояний аналогично расчету нежестких дорожных одежд капитального типа с введением дополнений, касающихся условия работы конструкции и воздействия многоколесных опор тяжелых самолетов (см. формулу (7.8)).

Также как и дорожных одежд, расчет асфальтобетонных и облегченных покрытий аэродромов осуществляется по трем критериям – сдвигу в несвязных и малосвязных материалах, растяжению при изгибе в связных слоях и общему упругому прогибу покрытия. Покрытия переходного типа рассчитывают только по одному критерию – величине упругого прогиба.

Методика расчета нежестких аэродромных покрытий аналогична расчету нежестких дорожных одежд и поэтому здесь не приводится.

### Порядок выполнения работы

1. Определить расчетные нагрузки на покрытие для трех типов самолетов. Методика приведена в п. 7.1 «Общие сведения». Исходные данные приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Исходные данные к определению расчетных нагрузок

Тип ВС	Параметр					
	$G, кН$	$L_1, м$	$L_2, м$	$N_{эл}$	$N_к$	$q, кПа$
Ил-86	1982	28,1	3,1	3	4	1000
Ту-154	1000	23,4	2,6	2	6	1000
Як-40	158	9,9	1,1	2	4	600

Начертить рис. 7.1. Произвести расчет по формулам (7.1)-(7.15). Результаты расчетов свести в таблицу аналогичную табл. 7.3.

2. Рассчитать бетонное покрытие на основе гипотезы коэффициента постели для самолета Ил-86. Методика приведена в п. 7.2 «Общие сведения». Исходные данные приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Исходные данные к расчету бетонного покрытия

Вариант	Параметр	
	$h, м$	$C, кН/м^3$
1	0,28	60000
2	0,30	80000
3	0,33	60000
4	0,27	50000
5	0,25	60000
6	0,31	50000

При несоблюдении условия  $M_p \leq M_{np}$  необходимо увеличить толщину плиты до 0,35 м или применять двухслойное бетонное покрытие.

3. Рассчитать бетонное покрытие на основе гипотезы упругого полупространства для нагрузки от самолета Ил-86. Методика приведена в п. 7.3 «Общие сведения». Исходные данные приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5. Исходные данные к расчету бетонного покрытия

Вариант	Параметр	
	$E_0, кПа$	$h, м$
1	20000	0,28
2	35000	0,30
3	20000	0,33
4	12500	0,27
5	20000	0,25
6	11000	0,31

При несоблюдении условия  $M_p \leq M_{np}$  необходимо увеличить толщину плиты до 0,35 м или применить двухслойное бетонное покрытие.

4. Рассчитать сборное покрытие из предварительно напряженных железобетонных плит ПАГ-20 по образованию трещин предварительно напряженного сечения в средней ча-

сти плиты для нагрузки от самолета Ил-86. Методика приведена в п. 7.4 «Общие сведения». Исходные данные приведены в табл. 7.6.

Таблица 7.6. Исходные данные к расчету сборного бетонного покрытия из плит ПАГ-20

Вариант	Параметр
	$M_{об}^Я, кН·м$
1	62,5
2	64,3
3	70,6
4	78,3
5	75,6
6	86,5

При несоблюдении условия  $a_m \leq 0,3 мм$  необходимо увеличить диаметр используемой арматуры.

5. Рассчитать толщину основания жесткого бетонного покрытия для нагрузки от самолета Ил-86. Методика приведена в п. 7.5 «Общие сведения». Исходные данные приведены в табл. 7.7.

Таблица 7.7. Исходные данные к расчету толщины основания бетонного покрытия

Вариант	Параметр	
	$C, кН/м^3$	$C_{пр}, кН/м^3$
1	60000	85000
2	80000	105000
3	60000	85000
4	50000	75000
5	60000	85000
6	50000	75000

Полученное значение толщины основания жесткого бетонного покрытия округлить в большую сторону с точностью до 5 см.

## Литература

1. СНБ 3.03.03-97. Аэродромы. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997. – 22с.
2. СТБ 1033-2004. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 24с.
3. Постановление Министерства обороны Республики Беларусь от 1 ноября 2004 г. №60 «О порядке допуска к эксплуатации аэродромов государственной авиации Республики Беларусь».
4. СТБ 943-93. Грунты. Классификация. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1993. – 40с.
5. СТБ 1310-2002. Бетоны. Классификация. Общие технические требования. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. – 46 с.
6. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. Пособие 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85 / Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск: 1997. – 86 с.
7. Глушков Г.И., Раев-Богословский Б.С. Устройство и эксплуатация аэродромов. – М.: Транспорт, 1977. – 320с.
8. Изыскания и проектирование аэродромов. Справочник. / Под ред. Г.И. Глушкова и Д.А. Могилевского. – М.: Транспорт, 1979. – 327с.
9. Блохин В.И. Вертикальная планировка аэродромов. – М.: Транспорт, 1978. – 136с.
10. ГОСТ 25912.0 – 91. Плиты железобетонные предварительно напряженные ПАГ для аэродромных покрытий. Технические условия. – М.: Госстройкомитет СССР, 1991. – 12с.
11. ГОСТ 25912.1 – 91. Плиты железобетонные предварительно напряженные ПАГ-14 для аэродромных покрытий. Конструкция. – М.: Госстройкомитет СССР, 1991. – 4с.
12. ГОСТ 25912.2 – 91. Плиты железобетонные предварительно напряженные ПАГ-18 для аэродромных покрытий. Конструкция. – М.: Госстройкомитет СССР, 1991. – 3с.
13. ГОСТ 25912.3 – 91. Плиты железобетонные предварительно напряженные ПАГ-20 для аэродромных покрытий. Конструкция. – М.: Госстройкомитет СССР, 1991. – 3с.
14. ГОСТ 25912.4 – 91. Арматурные и монтажно-стыковые изделия железобетонных плит для аэродромных покрытий. Конструкция. – М.: Госстройкомитет СССР, 1991. – 5с.

Учебное издание

Составители:

*Лукша Владимир Валентинович*  
*Шведовский Петр Владимирович*  
*Образцов Олег Леонидович*  
*Чумичева Наталья Валентиновна*

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине  
«Основы проектирования, технология и организации  
строительства аэродромов» для студентов специальности  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Ответственный за выпуск: ***В.В. Лукша***

Редактор: ***Т.В. Строкач***

Художник: ***В.В. Лукша***

Компьютерный набор и верстка: ***В.В. Лукша***

---

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г. Сдано в набор 15.07.2006.  
Подписано к печати 15.01.2007. Бумага «Снегурочка». Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Гарнитура Arial. Усл.п.л. .... Уч.изд.л. .... Тираж 100 экз. Заказ № ....  
Отпечатано на ризографе Учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.