

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 625.72
ББК 39.311
С71

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «29» марта 2023 г.,
протокол № 8

Составители: ст. преподаватель О. И. Бродова;
канд. техн. наук А. М. Брановицкий

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для
студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» дневной и заоч-
ной форм обучения.

Учебное издание

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ

Ответственный за выпуск	А. М. Брановицкий
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

1 Практическая работа № 1. Определение потребной длины летной полосы для взлета воздушных судов.....	4
2 Практическая работа № 2. Направления взлетно-посадочных полос от ветрового режима.....	10
3 Практическая работа № 3. Пропускная способность ВПП.....	16
4 Практическая работа № 4. Планировка сети рулежных дорожек..	17
5 Практическая работа № 5. Вертикальная планировка на площадях.....	23
6 Практическая работа № 6. Определение объемов по вертикальной планировке.....	27
7 Практическая работа № 7. Гидравлический расчет быстротока...	30
8 Практическая работа № 8. Расчет водобойного колодца.....	32
9 Практическая работа № 9. Расчёт неармированных и армированных плит на стадии разрушения.....	36
10 Практическая работа № 10. Устойчивость плит покрытий при повышении температуры.....	37
11 Практическая работа № 11. Расчет дорожных одежд по упругому прогибу. Практическая работа № 12. Расчет дорожных одежд по изгибу на сдвиг	41
12 Практическая работа № 13. Установка дорожных знаков на аэропортах.....	44
13 Практическая работа № 14. Методы оценки уровней авиационного шума в окрестностях аэропорта.....	47
Список литературы.....	48

1 Практическая работа № 1. Определение потребной длины летной полосы для взлета воздушных судов

При разработке проектов вновь строящихся аэродромов, а также проектов реконструкции существующих одним из главных вопросов является определение длины и ширины элементов взлетно-посадочных 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.

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 взлетно-посадочных полос с искусственным покрытием (ИВПП).

1.1 Определение потребной 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 (рисунок 1.1):

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 - l_{ст} = L_{взл}^0 \quad (1.1)$$

ИЛИ

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 = l_{ст} + L_{взл}^0 = l_{ст} + l_{разб\ n}^0 + l_{разб\ n-1}^0 + l_{H=10}^0, \quad (1.2)$$

где $L_{ИВПП+КПБ}^0$ – суммарная длина ИВПП и КПБ в стандартных условиях, м;

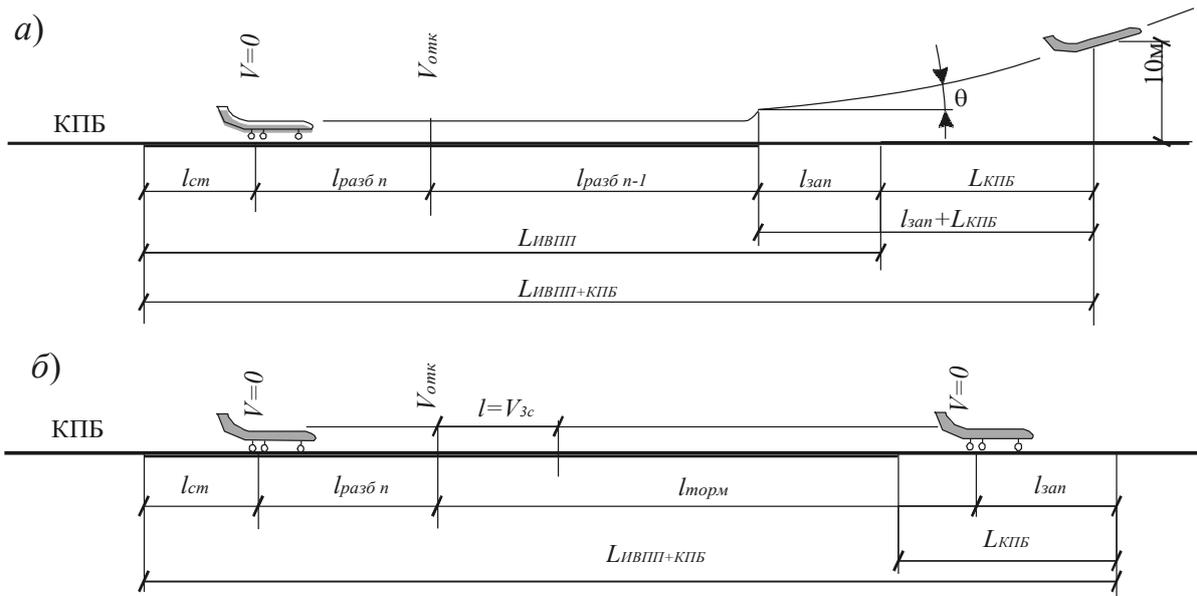
$l_{ст}$ – расстояние от конца ИВПП до начала разбега, равное длине участка, необходимого для выруливания самолета, м;

$L_{взл}^0$ – взлетная дистанция самолета в стандартных условиях, м;

$l_{разб\ n}^0$ – длина разбега самолета при всех работающих двигателях от точки старта до точки отказа двигателя в стандартных условиях, м;

$l_{разб\ n-1}^0$ – 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.



а – в случае продолженного взлета самолета; б – в случае прерванного взлета

Рисунок 1.1 – Расчетные схемы для определения длины ИВПП

Потребная длина ИВПП для безопасного продолжения взлета самолета в стандартных условиях, как следует из рисунка 1.1, а,

$$L_{ИВПП}^0 = l_{ст} + l_{разб\ n}^0 + l_{разб\ n-1}^0 + l_{зап}^0, \quad (1.3)$$

где $l_{зап}^0$ – некоторый запас, учет которого необходим для обеспечения безопасности взлета в случаях возможных отступлений от принятой технологии пило-

тирования на разбеге, $l_{зан}^0 = \frac{1}{3} \cdot l_{H=10}^0$. Обозначение с индексом «0» здесь и далее указывает на то, что численные характеристики параметров соответствуют стандартным условиям.

При прерванном взлете (см. рисунок 1.1, б) длина дистанции движения самолета по летной полосе в стандартных условиях

$$L_{ИВПП+КПБ}^0 = l_{ст} + l_{разб\ n}^0 + l_{торм}^0 + l_{зан}, \quad (1.4)$$

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);

$l_{зан}$ – необходимый запас, определяется из условия обеспечения разворота самолета на КПБ по кривой эксплуатационного радиуса, принимается равным эксплуатационному радиусу разворота самолета, м.

В формуле (1.4) предполагается, что прерванный взлет завершается в пределах КПБ. Для практических расчетов формулу (1.2) целесообразно представить в виде

$$L_{ИВПП+КПБ_1}^0 = l_{ст} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср\ n}} + \frac{V_{отп}^2 - V_{отк}^2}{2j_{ср\ n-1}} + l_{H=10}^0, \quad (1.5)$$

а формулу (1.4) в виде

$$L_{ИВПП+КПБ_2}^0 = l_{ст} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср\ n}} + \frac{V_{отк}^2}{2j_{ср\ торм}} + l_{зан}, \quad (1.6)$$

где $V_{отк}$, $V_{отп}$ – скорость, при которой произошел отказ двигателя, и скорость отрыва самолета, м/с;

$j_{ср\ n}$, $j_{ср\ n-1}$ – среднее ускорение самолета на участке разбега соответственно $l_{ср\ n}$ и $l_{ср\ n-1}$, м/с²;

$j_{ср\ торм}$ – отрицательное среднее ускорение самолета на участке торможения от скорости $V_{отк}$ до полной остановки, м/с².

В формулах (1.5) и (1.6) величины $l_{ст}$, $l_{H=10}$, $l_{зан}$ и $V_{отп}$ 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 при всех работающих двигателях $j_{ср\ n}$.

Из анализа формул (1.6) и (1.7), а также из рассмотрения на рисунке 1.2 кривых 1 и 2, построенных по этим формулам, следует, что суммарная длина ИВПП + КПБ с увеличением скорости $V_{отк}$ уменьшается в случае продол-

женного 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 A кривых 1 и 2 на рисунке 1.2.

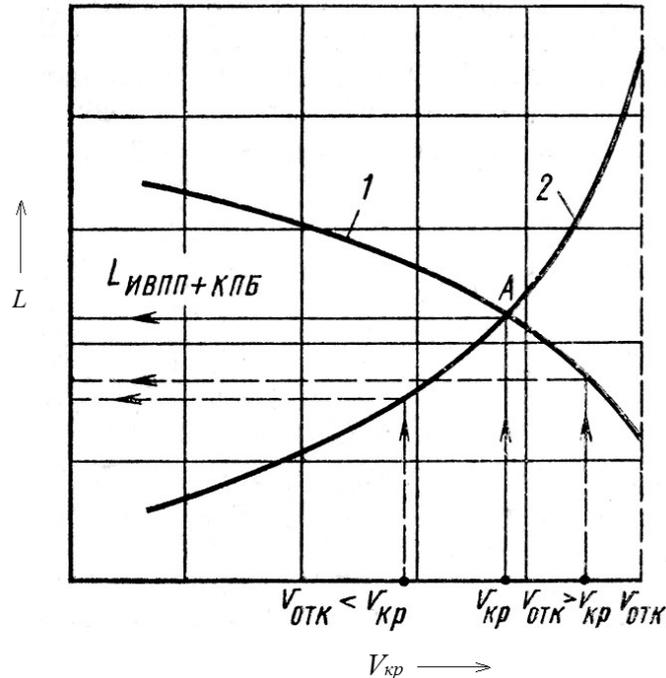


Рисунок 1.2 – Графики зависимости длины ИВПП + КПБ от скорости движения самолета, соответствующей отказу двигателя

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. сбалансированные. 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:

$$L_{ИВПП_{кр}}^0 = l_{ст} + l_{разб.кр n}^0 + l_{разб.кр n-1}^0 + \frac{1}{3} \cdot l_{H=10}^0 = l_{ст} + \frac{V_{кр}^2}{2j_{ср.кр n}} + \frac{V_{отп}^2 - V_{кр}^2}{2j_{ср.кр n-1}} + \frac{1}{3} \cdot l_{H=10}^0; \quad (1.7)$$

$$L_{КПБ_{кр}}^0 = L_{ИВПП+КПБ_{кр}}^0 - L_{ИВПП_{кр}}^0; \quad (1.8)$$

$$L_{ЛП}^0 = L_{ИВПП}^0 + 2 \cdot L_{КПБ}^0, \quad (1.9)$$

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

1.2 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 (рисунок 1.3). 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.

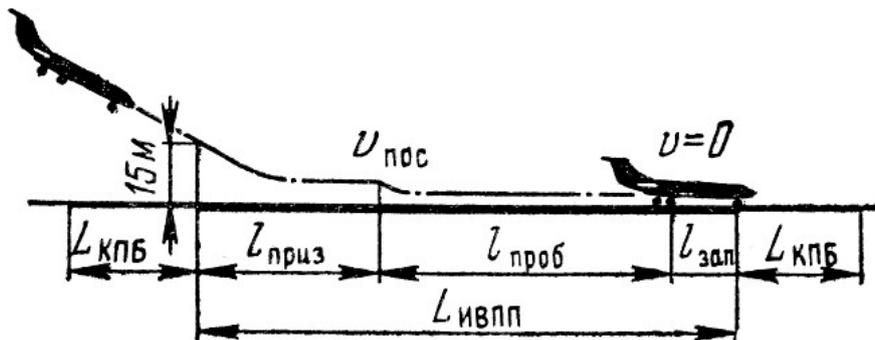


Рисунок 1.3 – Расчетная схема для определения длины ИВПП при посадке самолета

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.

$$L_{ИВПП}^0 = 1,67 \cdot L_{нос}^0, \quad (1.10)$$

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:

$$L_{ЛП}^0 = L_{ИВПП}^0 + 2 \cdot 20, \quad (1.11)$$

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.

Задание к практической работе

1 Рассчитать значения $L_{ИВПП+КПБ1}$ и $L_{ИВПП+КПБ2}$ по формулам (1.5) и (1.6) для трех классов самолетов, представленных Ил-86, Ту-154 Як-40 соответственно. Исходные данные приведены в таблице 1.1. 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 километрах в час необходимо перевести в метры в секунду.

По результатам расчетов необходимо построить графики $L_{ИВПП+КПБ1} = f(V_{отк})$ и $L_{ИВПП+КПБ2} = f(V_{отк})$, аналогичные кривым 1 и 2 на рисунке 1.2. По построенным графикам определить точку их пересечения и значения $L_{ИВПП+КПБкр}^0$ и $V_{кр}$, соответствующие этой точке для каждого типа самолета. Используя значения $V_{кр}$, по формуле (1.7) рассчитать $L_{ИВППкр}^0$. При этом величины $j_{ср\ кр\ n}$ и $j_{ср\ кр\ n-1}$ находятся по таблице 1.1 интерполяцией. По формулам (1.8) и (1.9) рассчитать $L_{КПБкр}^0$ и $L_{ЛПкр}^0$ для каждого типа самолета.

2 Определить длину ИВПП и летной полосы для случая посадки самолета в стандартных условиях по формулам (1.10) и (1.11) для трех типов самолетов. Результаты свести в таблицу.

Кратко описать тормозные площадки и АТУ.

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

Таблица 1.1 – 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	$l_{зан}$, м
I (Ил-86)	150	245	50...210	1,50...1,10	1,15...0,75	1,70...1,30	50	35
II (Ту-154)	120	200	50...170	1,35...0,95	1,00...0,60	1,50...1,10	45	33
III (Як-40)	100	150	50...130	1,20...0,80	0,90...0,50	1,40...1,00	38	15

2 Практическая работа № 2. Направления взлетно-посадочных полос от ветрового режима. Пропускная способность ВПП

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.

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.

Как следует из рисунка 2.1, скорость нормальной составляющей бокового ветра

$$W_{\delta} = W_{\alpha} \cdot \sin \alpha, \quad (2.1)$$

где α – угол между осью движения самолета и направлением бокового ветра («угол скоса»), град;

W_{α} – скорость бокового ветра, действующего под углом α , м/с;

W_{δ} – скорость нормальной составляющей бокового ветра, м/с.

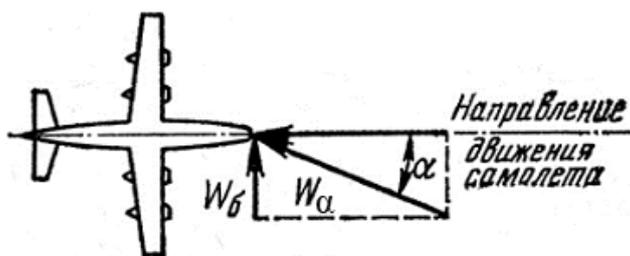


Рисунок. 2.1 – Расчетная схема для определения скорости бокового ветра

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 таблице 2.1. Расчет ветровой загрузки должен выполняться по данным наблюдений за возможно длительный период, но не менее 5 лет по 8 или 16 румбам.

Таблица 2.1 – Ветровая нагрузка аэродрома

Класс аэродрома	Минимальная ветровая нагрузка, %	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 таблицу 2.2. На основании данных таблицы 2.2 строим розу повторяемости ветров по направлениям для $W_{\alpha} = 8$ м/с (рисунок 2.2).

Таблица 2.2 – 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

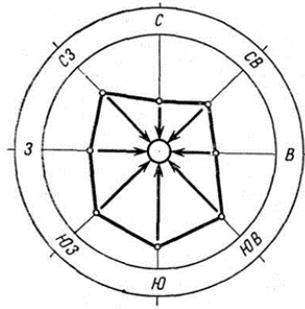


Рисунок 2.2 – Роза повторяемости ветров по направлениям для $W_{\alpha} = 8$ м/с

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 таблицы 2.2 составляем таблицу 2.3 повторяемости ветров по совмещенным направлениям. На основании данных таблицы 2.3 строим розу повторяемости ветров по совмещенным направлениям для $W_{\alpha} = 8$ м/с (рисунок 2.3).

Таблица 2.3 – Повторяемость ветров по совмещенным направлениям

Градация 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

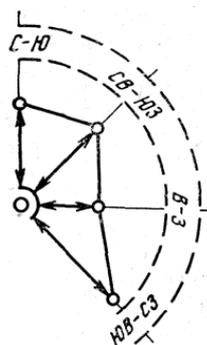


Рисунок 2.3 – Роза повторяемости ветров по совмещенным направлениям для $W_{\alpha} = 8$ м/с

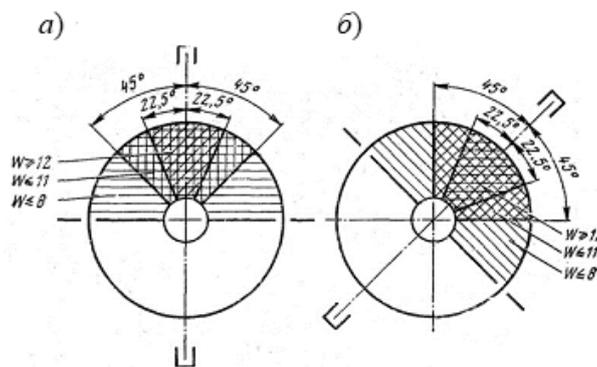
Зная величину $W_{\alpha} = 8$ м/с, с помощью выражения (2.1) определяем значения скорости бокового ветра W_{δ} , соответствующие различным углам скоса. При этом углы скоса α принимаем кратными 90° , 45° и $22,5^{\circ}$. Для углов скоса 45° и $22,5^{\circ}$ значения W_{δ} умножаем соответственно на 2 и 4, т. е. приводим значения

к углу 90° ($45 = 1/2 \cdot 90$ и $22,5 = 1/4 \cdot 90$). Результаты расчетов представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения скоростей бокового ветра

Угол скоса α , град	Скорость бокового ветра W_{δ} , м/с
90	8
45	11
22,5	12 и более

Построим графики охвата ветров по совмещенным направлениям (рисунок 2.4). Аналогичным образом строят графики охвата ветров для совмещенных направлений В-З и ЮВ-СЗ.



a – совмещенное направление С-Ю; *б* – совмещенное направление СВ-ЮЗ

Рисунок 2.4 – Графики охвата ветров

Градации скоростей ветра, приведенные в таблицах 2.2 и 2.3, приводим к расчетным градациям с учетом данных таблицы 2.4.

С учетом градации скоростей ветра 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 таблице 2.5.

После преобразований получим основную расчетную таблицу 2.6 повторяемости ветров по скоростям и направлениям. Повторяемость ветров по скоростям и совмещенным направлениям приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.5 – Сумма процентов повторяемости ветров

Градация скоростей ветра, м/с	Сумма процентов повторяемости ветров, %	Угол скоса α , град
0...8	77,82	90
9...11	16,11	45
12 и более	6,07	22,5

Таблица 2.6 – Повторяемость ветров по скоростям и направлениям

Градация скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по направлениям, %								Сумма повторяемости ветров, %	Угол α , 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	100,0	–

Таблица 2.7 – Повторяемость ветров по скоростям и совмещенным направлениям

Градация скоростей ветра, м/с	Повторяемость ветров по совмещенным направлениям, %				Сумма повторяемости ветров, %	Угол α , 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	100,0	–

Задание к практической работе

1 Рассчитать повторяемость ветров по совмещенным направлениям, используя исходные данные для заданной метеостанции (таблицы 2.8–2.13), название которой задает преподаватель. Результаты расчетов свести в таблицу, аналогичную таблице 2.3.

Таблица 2.8 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Брест

Градация 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 2.9 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Гомель

Градация 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 2.10 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Витебск

Градация 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 2.11 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Минск

Градация 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 2.12 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Гродно

Градация 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 2.13 – Повторяемость ветров по направлениям для метеостанции Могилев

Градация 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 $W_{\alpha} = 8$ м/с (см. рисунки 2.2 и 2.3).

3 Рассчитать значения W_{β} по (2.1). Результаты представить в форме таблицы 2.4.

4 Построить график охвата ветров по совмещенному направлению С-Ю (см. рисунок 2.4). По другим направлениям графики строятся аналогично и их построение в данной практической работе необязательно.

5 Градации скоростей ветра, приведенные в таблицах 2.2 и 2.3, привести к расчетным градациям с учетом данных таблицы 2.4.

6 Рассчитать проценты повторяемости ветров ω для градаций скоростей ветров. Результаты расчетов представить в таблице по форме таблицы 2.5.

7 Аналогичным образом выполнить преобразование составляющих компонентов таблиц 2.2 и 2.3, приведя их в соответствие с градациями, представленными в таблице 2.5. Результаты занести в таблицы, аналогичные таблицам 2.6 и 2.7.

3 Практическая работа № 3. Пропускная способность ВПП

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 загрузка 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° .

Вспомогательные ВПП должны быть короче основной соответственно коэффициентам, приведенным в таблице 3.1.

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 садя-

щихся самолетов будет выше нормы. Учет этих и ряда других факторов весьма важен при проектировании.

Таблица 3.1 – Коэффициенты уменьшения длины вспомогательной ВПП относительно главной ВПП

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

Задания к практической работе

1 Рассчитать длину вспомогательной ВПП с учетом данных таблицы 3.1 для трех типов самолетов. Типы самолетов и длину основной ИВПП взять из практической работы № 1. 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.

2 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.

4 Практическая работа № 4. Планировка сети рулежных дорожек

4.1 Общие требования к планировке и ширине рулежных дорожек

РД отводится не меньшая, чем взлетно-посадочным полосам, роль, т. к., 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 (рисунок 4.1).

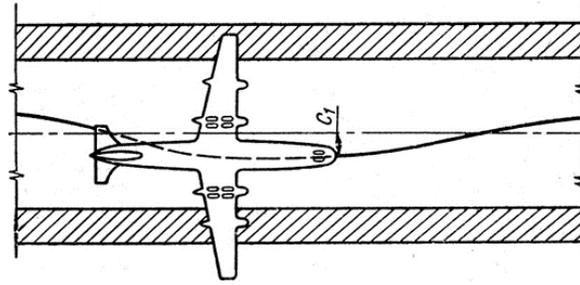


Рисунок 4.1 – Схема движения самолета по РД

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 необходимо 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 рисунка 4.2 ширина РД может быть определена по формуле

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

где $B_{К}$ – колея шасси, м;

$B_{Т}$ – 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.

Ширина РД для расчетного типа самолета зависит от ряда постоянных и переменных параметров.

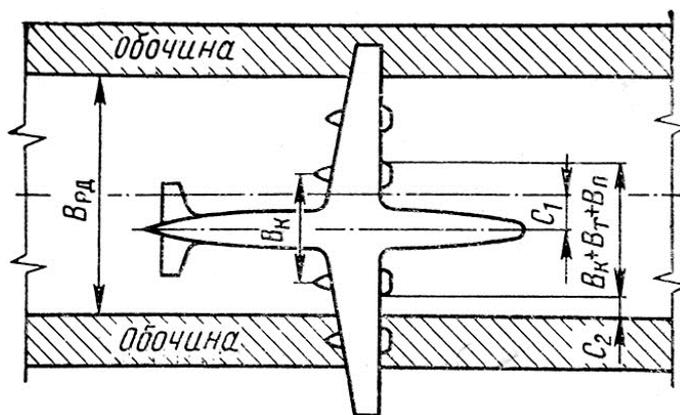


Рисунок 4.2 – Расчетная схема для определения ширины РД

Параметры V_K , V_T и V_P зависят от геометрических размеров шасси самолета (таблица 4.1). Величина C_1 определена в результате экспериментальных исследований и последующей статистической обработки результатов наблюдений (см. таблицу 4.1). Величина C_2 принимается с учетом требований обеспечения прочности и устойчивости краевых участков плиты и зависит от типа самолета.

Таблица 4.1 – Значения параметров для определения ширины РД

Тип самолета	Размах крыла, м	V_K , м	n	m	V_T , м	V_P , 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

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.

При проектировании аэродромов ширина РД назначается по таблице 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

4.2 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 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 $L_{нос}$ и пробега самолета $L_{проб.о}$:

$$L_{приз} = L_{нос} - L_{проб.о}, \quad (4.2)$$

где $L_{нос}$ – длина посадочной дистанции самолета (при стандартных условиях составляет: для Ил-86 $L_{нос} = 1500$ м, для Ту-154 $L_{нос} = 1200$ м, для Як-40 $L_{нос} = 800$ м);

$L_{проб.о}$ – длина пробега до полной остановки самолета в стандартных условиях, м (принять равной для Ил-86 $L_{проб.о} = 1180$ м, для Ту-154 $L_{проб.о} = 770$ м и для Як-40 $L_{проб.о} = 540$ м).

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

$$L_0 = L_{проб.о} \left[1 - \left(\frac{V_{сх}}{V_{нос}} \right)^2 \right], \quad (4.3)$$

а для местных расчетных условий расположения аэродрома формула примет вид

$$L_1 = L_{проб.о} \left[1 - \left(\frac{V_{сх}}{V_{нос}} \right)^2 \right] \cdot k_i \cdot k_p \cdot k_i = L_0 \cdot k_i \cdot k_p \cdot k_i, \quad (4.4)$$

где $V_{сх}$ – скорость схода самолета с ВПП на скоростную РД, км/ч (принять 80 и 100 км/ч);

$V_{нос}$ – посадочная скорость самолета, км/ч (принять для Ил-86

$V_{noc} = 235$ км/ч, для Ту-154 $V_{noc} = 200$ км/ч и для Як-40 $V_{noc} = 180$ км/ч);

k_t, k_p – коэффициенты, учитывающие влияние температуры и давления в конкретных условиях местности;

k_i – коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона $i = 0,005$ при $\delta_i = 3$ для всех типов самолетов).

В практических расчетах потребной длины искусственных взлетно-посадочных полос (далее – ИВП) изменение плотности воздуха учитывается двумя поправочными коэффициентами – k_t и k_p .

Расчетное значение k_t вычисляется по формуле

$$k_t = 1 + 0,01(t_{расч} - t_n), \quad (4.5)$$

где $t_{расч}$ – расчетная температура воздуха, °С.

$$t_{расч} = 1,07 \cdot t_{13} - 3^\circ, \quad (4.6)$$

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 °С; Витебска, Минска – 21 °С; Гродно, Могилева – 22 °С;

t_n – температура, соответствующая стандартной атмосфере при расположении аэродрома на высоте H над уровнем моря, °С.

$$t_n = 15^\circ\text{C} - 0,0065 \cdot H, \quad (4.7)$$

где H – высота расположения над уровнем моря, м.

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.

Значение поправочного коэффициента k_p при использовании вычисляется по формуле

$$k_p = 1 + 0,0026(760 - p), \quad (4.8)$$

где значение $(760 - p)$ принимается с учетом знака;

p – расчетное давление воздуха, определяется в зависимости от высоты расположения аэродрома над уровнем моря H по шкале стандартной атмосферы.

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{5,256}, \quad (4.9)$$

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

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

$$L = L_1 + L_{приз}. \quad (4.10)$$

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

4.3 Определение параметров траектории схода самолетов с ВПП

С учетом обеспечения безопасного движения самолетов и создания более благоприятных условия для их управления на участке схода углы примыкания скоростных РД к ВПП целесообразно принимать в интервале $30^\circ \dots 45^\circ$. С увеличением угла примыкания РД к ВПП расстояние видимости на кривой уменьшается. Чем больше угол примыкания, тем большая часть криволинейного участка входит 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. Одни из решающих факторов, определяющих наиболее приемлемый вид криволинейной траектории, является характер нарастания центробежного ускорения. Применение переходных кривых позволяет обеспечить плавный поворот носовой стойки, постепенное нарастание центробежного ускорения. Наиболее приемлема *клотоида* – радиодальность 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:

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

где V_p – скорость движения самолета в расчетной точке криволинейной траектории, км/ч;

C_z – коэффициент боковой аэродинамической силы;

$C_{y \text{ см}}$, $C_{y \text{ нос}}$ – коэффициента подъемной силы в стояночном и посадочном положении самолета;

$V_{\text{нос}}$ – посадочная скорость самолета, км/ч;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

i – поперечный уклон виража (0,04);

μ – коэффициент поперечной силы, принимаемый в зависимости от состояния покрытия равным 0,15.

Зная радиус R_{\min} и угол α , определяются основные параметры клотоиды.

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

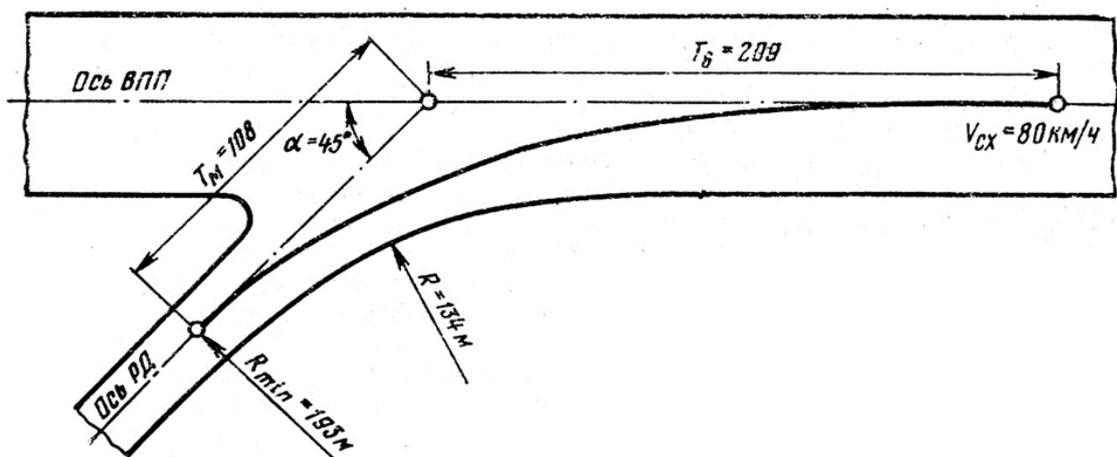


Рисунок 4.3 – Схема скоростной РД при $V_{cx} = 80$ км/ч и угле примыкания РД к ВПП 45°

Задание к практической работе

1 Начертить расчетную схему для определения ширины РД (см. рисунок 4.2) и рассчитать ширину РД по (4.1) для трех типов самолетов. Исходные данные приведены в таблице 4.1.

2 По таблице 4.2 с учетом размаха крыла и колеи шасси назначить трем типам самолетов индексы. Сравнить рассчитанную ширину магистральной РД с нормальной для назначенного индекса ВС 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 расстояние 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.

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. Значения 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 скорости схода 80 и 100 км/ч.

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

Для $R = 100$ м и угла $\beta = 30^\circ$

$$T_B = T_D = 70,843 \text{ м}; T_M = T_K = 35,845 \text{ м}; B_{КЛ} = 5,576 \text{ м}; L = 104,720 \text{ м}.$$

Для $R = 100$ м и угла $\beta = 45^\circ$

$$T_B = T_D = 108,316 \text{ м}; T_M = T_K = 55,645 \text{ м}; B_{КЛ} = 13,030 \text{ м}; L = 157,080 \text{ м}.$$

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

5 Практическая работа № 5. Вертикальная планировка на площадях

5.1 Общие сведения

Рельеф участков, выбранных для строительства автомобильных дорог и 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.

При строительстве современного аэропорта высокого класса требуется разработать и переместить в средних условиях 500...700 тыс. м³ грунта (для некоторых аэропортов объем земляных работ достигает нескольких миллионов метров кубических). Главная часть этого объема приходится на земляные работы, связанные с вертикальной планировкой аэродрома.

Основными характеристиками рельефа аэродрома являются:

- частный уклон поверхности i (уклон на участке между двумя соседними изломами профиля);

- излом поверхности Δi (излом поверхности оценивается величиной излома Δi продольного профиля в данной точке. Величина излома определяется суммой уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами разных направлений. Величина излома определяется разностью уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами одного направления);

- шаг проектирования a (допустимое минимальное расстояние между соседними изломами профиля);

- радиус кривизны поверхности R (характеризует поверхность кругового цилиндра для сопряжения переломов продольного профиля);

- средний уклон i_{cp} (уклон условной линии, соединяющей конечные точки участка, – 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);

- расстояние видимости $l_{вид}$.

Можно установить связь между тремя характеристиками: радиусом кривизны R , шагом проектирования a и изломом поверхности Δi :

$$\Delta i_{\max} = \frac{a}{R_{\min}}. \quad (5.1)$$

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

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

Такие участки называют дефектными.

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

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

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

5.2 Дефектовка участков с недопустимыми уклонами на плане в отметках

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

$$\Delta H_{max} \geq \Delta H \geq \Delta H_{min}; \quad (5.2)$$

$$\Delta H_{max} = a \cdot i_{max}; \quad \Delta H_{min} = a \cdot i_{min}, \quad (5.3)$$

где a – шаг проектирования, принимается 40 м.

Пример расчета.

Произвести дефектовку по уклонам (рисунок 5.1), имея $i_{max} = 0,025$; $i_{min} = 0,005$. В углах квадратов указаны черные отметки.

Используя формулу (5.3), рассчитаем следующее:

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

Определим превышения соседних вершин квадратов:

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

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

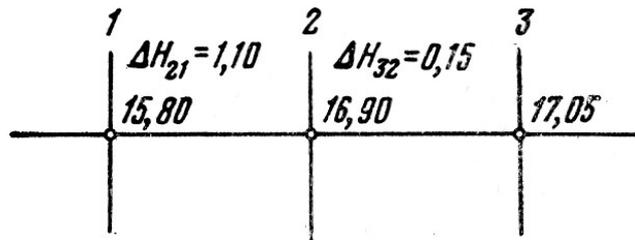


Рисунок 5.1 – Исходные данные к дефектовке рельефа по уклонам на плане в отметках

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 (5.2). Возможны три решения.

Решение в насыпи. В этом случае черная отметка H_1 должна быть увеличена на величину h_n (рабочая отметка). Проектная отметка в вершине 1

$H_{np1} = H_1 + h_{n1} = 15,80 + 0,10 = 15,90$ м, где $h_{n1} = \Delta H_{21} - \Delta H_{\max} = 1,10 - 1,00 = 0,10$ м.

Аналогично производим расчет проектной отметки в вершине 3:

$H_{np3} = H_3 + h_{n3} = 17,05 + 0,05 = 17,10$ м.

Решение в выемке. Для решения, при котором земляные работы будут выполняться только в выемке, проектную поверхность достаточно опустить на величину h_v . После этого проектная отметка вершины 1 станет равной черной отметке H_1 , отметка вершины 2 уменьшится на величину h_{v2} , а вершины 3 – на h_{v3} .

Искомые величины h_v можно вычислить с помощью зависимостей

$h_{v2} = \Delta H_{21} - \Delta H_{\max} = 1,10 - 1,00 = 0,10$ м;

$h_{v3} = \Delta H_{\min} - \Delta H_{32} = 0,20 - 0,15 = 0,05$ м.

Тогда отметки точек получатся равными: $H_{np1} = 15,80$ м; $H_{np2} = 16,80$ м; $H_{np3} = 17,00$ м.

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

$$(H_2 - h_v) - (H_1 - h_n) = \Delta H_{\max}, \quad (5.4)$$

откуда $h_v + h_n = \Delta H - \Delta H_{\max}$, 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_v при их неизменной сумме будут соответствовать различные соотношения объемов земляных работ в насыпи и выемке. Для получения частного баланса следует принять $h_n = h_v$, т. е.

$h_{n1} = h_{v2} = (\Delta H_{21} - \Delta H_{\max}) / 2 = (1,10 - 1,00) / 2 = 0,05$ м.

Тогда проектные отметки составят:

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

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

Если неравенство $H_3 - H_{np2} \geq \Delta H_{\min}$ выполняется, то 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 $h_{н3} = H_{\min} - (H_3 - H_{np2})$ и тогда $H_{np3} = H_3 + h_{н3}$. Проектные отметки подписываются под черными (рисунок 5.2).

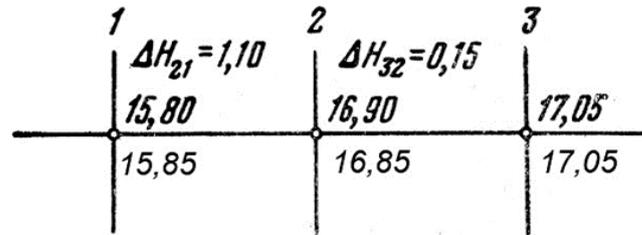


Рисунок 5.2 – Дефектовка рельефа по уклонам на плане в отметках

Задание к практической работе

Произвести дефектовку грунтовой поверхности аэродрома по уклонам на плане в отметках с использованием формул (5.2) и (5.3) и рисунка 5.1. Исправить рельеф с использованием трех решений – в насыпи, в выемке и в выемке-насыпи. Исходные данные приведены в таблице 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
1–3	0,020	0,006	40	15,65	1,6,75	16,85
4–6	0,025	0,010	40	18,48	19,68	19,83
7–9	0,015	0,007	40	32,45	33,25	33,37
10–12	0,025	0,012	40	23,15	24,55	24,72
13–15	0,020	0,008	40	17,43	18,53	18,64
16–20	0,015	0,005	40	19,36	20,16	20,30

6 Практическая работа № 6. Определение объемов по вертикальной планировке на площадях

Объемы земляных работ при вертикальной планировке, выполненной методом проектных горизонталей, определяются расчетом.

Для каждой из фигур сетки вычисляется объём насыпи и выемки. В углах фигуры вписываются проектные отметки (сверху), отметки земли (снизу) и рабочие отметки. Если рабочие отметки по одной стороне фигуры имеют разные знаки, то на этой стороне находится точка с рабочей отметкой, равной нулю (точка нулевых работ).

Через точки нулевых работ показывают границу между выемкой и насыпью, называемую линией нулевых работ (рисунок 6.1). Расстояние до точек ну-

левых работ определяется по формуле

$$X = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot L, \quad (6.1)$$

где h_1 – рабочая отметка со знаком «+» (насыпь), м;

h_2 – рабочая отметка со знаком «-» (выемка), м;

L – расстояние между точками с разноимёнными отметками, м.

Объём насыпи (выемки) можно найти по формуле

$$V_{н(в)} = S_{\text{фигуры}} \cdot h_{\text{ср}}, \quad (6.2)$$

где $S_{\text{фигуры}}$ – площадь фигуры, м²;

$h_{\text{ср}}$ – средняя рабочая отметка.

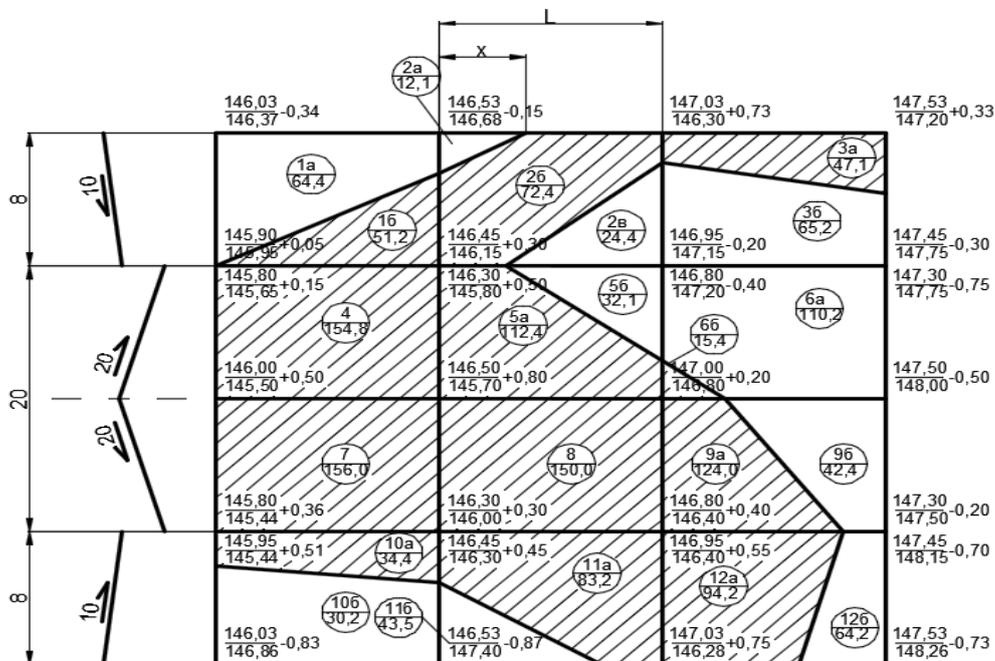


Рисунок 6.1 – Пример картограммы земляных работ участка улицы

Пример расчета.

Найдем расстояние от вершины квадрата до точки нулевых работ (рисунок 6.2).

X_1, X_2, X_3, X_4 – расстояние от вершин квадратов с рабочими отметками +0,78, -0,42, +0,28, -0,42 соответственно до точки нулевых работ.

$$X_1 = \frac{0,78}{0,78 + 0,42} \cdot 11 = 7,15 \text{ м};$$

$$X_2 = \frac{0,42}{0,78 + 0,42} \cdot 11 = 3,85 \text{ м};$$

$$X_3 = \frac{0,28}{0,28 + 0,42} \cdot 12 = 4,8 \text{ м};$$

$$X_4 = \frac{0,42}{0,28 + 0,42} \cdot 12 = 7,2 \text{ м}.$$

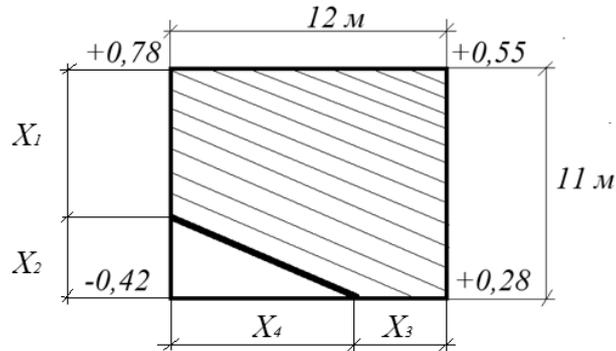


Рисунок 6.2 – Пример картограммы земляных работ

Далее найдем площадь насыпи и площадь выемки:

$$S_{\text{выемки}} = \frac{1}{2} \cdot 3,85 \cdot 7,2 = 13,86 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{насыпи}} = S_{\text{фигуры}} - S_{\text{выемки}} = 11 \cdot 12 - 13,86 = 118,14 \text{ м}^2.$$

Объем насыпи или объем выемки находят по формуле

$$V_{\text{насыпи(выемки)}} = S_{\text{насыпи(выемки)}} \cdot h_{\text{ср}},$$

где $h_{\text{ср}}$ – средняя рабочая отметка.

$$h_{\text{ср(выемки)}} = \frac{0,42 + 0,00 + 0,00}{3} = 0,14 \text{ м};$$

$$h_{\text{ср(насыпи)}} = \frac{0,78 + 0,55 + 0,28 + 0,00 + 0,00}{5} = 0,322 \text{ м}.$$

Таким образом,

$$V_{\text{выемки}} = 13,86 \cdot 0,14 = 1,94 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{насыпи}} = 118,14 \cdot 0,322 = 38,04 \text{ м}^3.$$

Задание к практической работе

Посчитать вариант для своего плана улицы согласно примеру.

В таблице 6.1 даны варианты для проектирования объемов работ.

Таблица 6.1 – Варианты для проектирования объемов работ

Вариант	1–2	3–4	5–6	7–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Фигура	1	2	3	5	6	9	10	11	12

7 Практическая работа № 7. Гидравлический расчет быстотока

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:

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

Расчётная интенсивность дождя представляет собой отношение количества осадков в миллиметрах к времени в минутах, за которое они выпали. Расчётная формула для определения параметров Δ , равного интенсивности одноминутного дождя принятой повторяемости, имеет вид

$$\Delta = \frac{20^n \cdot q_{20} \cdot (1 + c \cdot \lg P)}{166,7}, \quad (7.1)$$

где q_{20} – параметр, равный интенсивности дождя продолжительностью 20 мин. При $P = 1$ год составляет: для Бреста – 80 л/с·га; Гомеля – 111 л/с·га; Гродно – 105 л/с·га; Могилёва – 74 л/с·га; Витебска – 97 л/с·га; Минска – 90 л/с·га;

c – коэффициент, учитывающий климатические особенности районов Беларуси, $c = 1$;

P – период повторяемости расчётных интенсивностей дождей, годы (таблица 7.1);

n – показатель степени, характеризующий ход дождей, $n = 0,75$.

Таблица 7.1 – 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 секунднему 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 водой пути от наиболее отдаленной точки площади водосбора до рассчитываемого сечения водоотводной сети называется *критической продолжительностью дождя*, а интенсивность дождя, соответствующая критической продолжительности, – *предельной интенсивностью*.

Расчётный расход дождевых вод Q в этом случае находят по формуле

$$Q_{\text{дп}} = S \cdot F, \quad (7.2)$$

где F – площадь водосбора для рассчитываемого сечения, га;

S – величина стока, л/с·га, которую определяют по формуле

$$S = \frac{166,7 \cdot \Delta \cdot \varphi}{\tau^n}, \quad (7.3)$$

где φ – 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

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \cdot F_1 + \varphi_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}, \quad (7.4)$$

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

Время добегания дождевых вод по склону определяют по формуле

$$\tau_{\text{скл}} = \left(\frac{2,41 \cdot n^* \cdot B}{\Delta^{0,72} \cdot \varphi^{0,72} \cdot I^{0,50}} \right)^{\frac{1}{1,72-0,72 \cdot n}}, \quad (7.5)$$

где B – длина склона, участвующая в стоке, м;

I – уклон склона;

n^* – коэффициент шероховатости, принимаемый равным для задерненной грунтовой поверхности 0,060.

Время добегания воды по бетонному лотку определяют как

$$\tau_{\text{лот}} = \frac{l_{\text{лот}}}{60 \cdot V_{\text{лот}}}, \quad (7.6)$$

где $l_{\text{лот}}$ – длина участка лотка, м;

$V_{\text{лот}}$ – скорость движения дождевых вод в конце лотка, м/с, определяется

по формуле

$$V_{лот} = \frac{1}{n^*} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}, \quad (7.7)$$

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)

$$Q_{ВП} = 0,95 \cdot \frac{H_c}{T} \cdot F; \quad (7.8)$$

– для водоотводных линий с большими водосборами (нагорные канавы)

$$Q_{ВП} = 2,78 \cdot A \cdot F, \quad (7.9)$$

где H_c – максимальная высота снегового покрова к началу весеннего снеготаяния, м, принимается по таблице 7.2;

T – минимальная продолжительность снеготаяния, сут, принимаемая по таблице 7.2;

A – параметр, характеризующий сток талых вод, мм/ч, принимаемый при средних значениях максимумов стока для территории Беларуси равным 2,5.

Задание к практической работе

Определить расчетные расходы от стока весенних талых вод. Исходные данные принять в соответствии с таблицей 7.2.

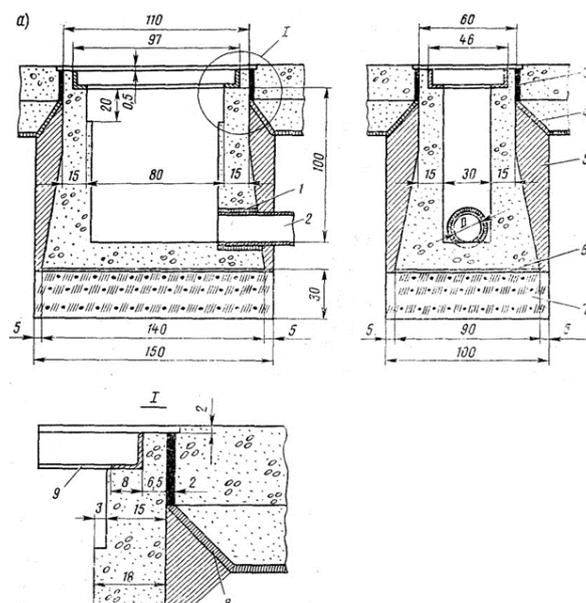
Таблица 7.2 – Значения параметров для расчета стока талых вод

Вариант	Район проектирования	H_c , см	T , сут
1–3	Брест	42	7,0
4–6	Гомель	59	10,0
7–9	Витебск	55	9,0
10–12	Минск	62	11,0
13–15	Гродно	42	6,5
16–20	Могилев	56	9,5

8 Практическая работа № 8. Расчет водобойного колодца

Гидравлический расчет дождеприемных и тальвежных колодцев

Дождеприемные (рисунок 8.1) и тальвежные (рисунок 8.2) колодцы, с помощью которых осуществляется прием стекающей поверхностной воды, устраиваются из сборного или монолитного железобетона и устанавливаются: первые – по оси открытых лотков в кромках покрытий, а вторые – по оси грунтовых лотков.



1 – просмоленная пенька; 2 – перепуск; 3 – битумная мастика; 4 и 8 – песчано-битумный коврик; 5 – водоустойчивый грунт; 6 – цементный раствор состава 1:6–1:8; 7 – шлаковая подушка; 9 – опорная рама

Рисунок 8.1 – Конструкция дождеприемного колодца с решеткой из одного звена

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

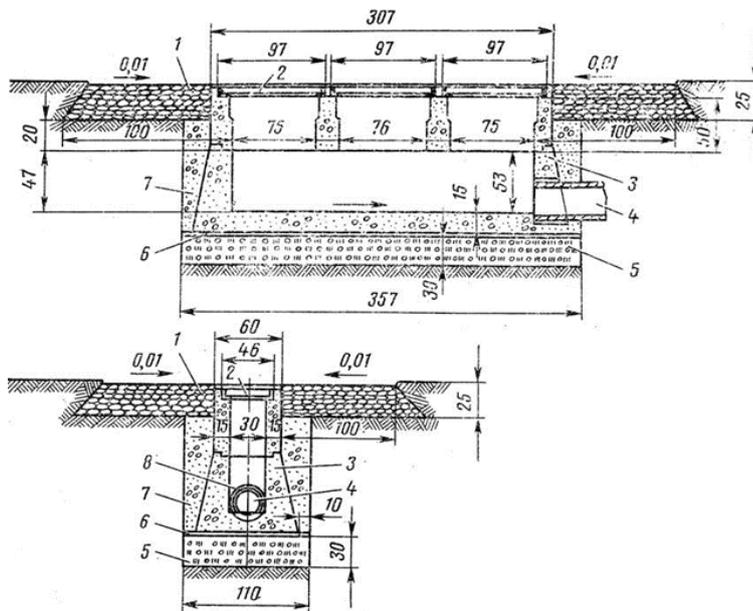
$$Q_{\Pi} = 1,45 \cdot L \cdot \left(h + \frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{при} \quad h_0 \leq c \cdot \frac{\omega_{ome}}{\omega_p}; \quad (8.1)$$

$$Q_{\Pi} = 2 \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{h + \frac{V^2}{2g}} \quad \text{при} \quad h_0 > c \cdot \frac{\omega_{отв}}{\omega_p}; \quad (8.2)$$

где Q_{Π} – водозахватывающая способность дождеприемника, м³/с;
 L – длина водосливного фронта по периметру решетки, м;
 h – глубина потока перед решеткой, м;
 h_0 – напор потока перед решеткой, м,

$$h_0 = h + \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (8.3)$$

V – скорость подхода воды к решетке, равная $V_{лот}$, м/с;
 ω_p – площадь всей решетки, м²;
 $\omega_{отв}$ – площадь отверстий решетки, м²;
 c – ширина дождеприемника, м.



1 – щебеночная отмостка с пропиткой битумом на 6...8 см; 2 – решетка; 3 – стенки колодца; 4 – перепуск; 5 – шлаковая подушка; 6 – слой цементного раствора состава 1:6–1:8; 7 – водоустойчивый грунт; 8 – прокладка из просмоленной пеньки толщиной 1,0...1,5 см

Рисунок 8.2 – Конструкция тальвежного колодца

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

$$D = 0,536 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{H}}}, \quad (8.4)$$

где Q – расчетный расход, равный пропускной способности трубы, м³/с;

μ – коэффициент расхода, определяемый при длине перепуска L_{II} и предварительно принятом диаметре труб D по формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{0,0211 \cdot \frac{L_{II}}{D^{1,33}} + 1,5}}; \quad (8.5)$$

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

После расчета коэффициента μ при предварительно заданном диаметре трубопровода D производят расчет по (8.4) и сравнивают полученный диаметр с принятым. Если они отличаются более чем на 5 %, изменяют заданный D и повторяют расчет и т. д.

Задание к практической работе

Провести гидравлический расчет дождеприемного и тальвежного колодцев, а также определить пропускную способность пропускных труб к коллекторам при стандартных диаметрах. Исходные данные приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Исходные данные к расчету дождеприемного и тальвежного колодцев

Вариант	Параметр		
	h , м	$V = V_{лот}$, м/с	L_n , м
1–3	0,50	0,60	11,0
4–6	0,40	0,40	12,5
7–9	0,45	0,65	13,8
10–12	0,35	0,75	11,6
13–15	0,60	0,62	14,7
16–20	0,55	1,10	13,2

Замечания к расчету:

1) значение L (в метрах) определить по рисунку 8.1 – для дождеприемного и рисунку 8.2 – для тальвежного колодцев (суммированием периметра трех решеток). На рисунках 8.1 и 8.2 размеры даны в сантиметрах;

2) значение $V = V_{лот}$ (в метрах в секунду) принять по таблице 8.1;

3) площадь решетки ω (в метрах квадратных) вычислить по рисункам 8.1 и 8.2;

4) площадь отверстий решетки $\omega_{отв}$ (в метрах квадратных) принять равной $0,75\omega$;

5) ширина s и глубина H' дождеприемника принимаются по рисункам 8.1 и 8.2;

6) расчетный расход пропускной способности перепускных труб Q рассчитать по (8.4) при известных стандартных значениях D труб перепусков: 141, 189, 279 и 368 мм;

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

8) длину перепуска принять по таблице 8.1.

Начертить схемы дождеприемного и тальвежного колодцев (см. рисун-

ки 8.1 и 8.2) и таблицу пропускной способности перепускных труб для двух типов колодцев и четырех диаметров.

9 Практическая работа № 9. Расчёт неармированных и армированных плит на стадии разрушения

Практика определения несущей способности жестких покрытий дорог основана на теории их упругой работы. Расчетным критерием является предельное состояние по прочности:

$$M_p \leq M_{PP}, \quad (9.1)$$

где M_p – расчетный момент в сечении плиты при наиболее невыгодном расположении колес, Н·м;

M_{PP} – предельно допустимый для рассматриваемого сечения изгибающий момент, Н·м.

При расчете железобетонных покрытий с ненапрягаемой арматурой по раскрытию трещин, помимо условия (9.1), требуется выполнить условие

$$\alpha_m \leq [\alpha_m], \quad (9.2)$$

где α_m – ширина раскрытия трещин в расчетном сечении плиты, мм;

$[\alpha_m]$ – предельно допускаемая ширина раскрытия трещины, равная 0,3 мм.

Разрушающая нагрузка, таким образом, является важной характеристикой покрытия как с точки зрения повседневной эксплуатации дорог, так и решения вопроса необходимой конструкции и срока службы покрытия.

Проблемам определения разрушающей нагрузки плит с самыми различными граничными условиями на основе теории кинематической схемы разрушения и теории пластичности посвящены многочисленные работы.

Удовлетворительные результаты, близкие к данным экспериментальных исследований, дает для центральной части плиты формула И. А. Медникова

$$P_p = \frac{\pi \cdot R_{pu}^{(h)} \cdot k_{од} \cdot m \cdot h^2}{3 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{p_0 - \gamma \cdot h}{p}} \right)}, \quad (9.3)$$

где P_p – разрушающая нагрузка, кН;

$R_{pu}^{(h)}$ – нормативное сопротивление бетона растяжению при изгибе, МПа;

$k_{од}$ – коэффициент однородности;

m – коэффициент условий работы;

h – толщина плиты, м;

p_0 – предельное вертикальное давление на основание в зоне разрушения плиты, МПа;

γ – удельный вес бетона;

p – давление нагрузки на поверхность ее отпечатка, принятое равномерным, МПа.

Пример – Определить разрушающую нагрузку в центральной зоне плиты по формуле (9.3) в двух случаях при следующих данных:

$$R_{pu}^{(h)} = 4,2 \text{ МПа}; k_{од} = 0,8; m = 1; h = 30 \text{ см}; \gamma = 24 \text{ кН/м}^3; p = 0,8 \text{ МПа};$$

$p_0 = 0,075 \text{ МПа}$ (грунт – суглинок среднего типа при отсутствии грунтовых вод в активной зоне основания).

По формуле (9.3) при $p_0 = 0,075 \text{ МПа}$ имеем

$$P_p = \frac{3,14 \cdot 4,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 30^2}{3 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{0,075 - 0,00024 \cdot 30}{0,8}} \right)} = 564 \text{ кН.}$$

При $p_0 = 0,182 \text{ МПа}$ получим

$$P_p = \frac{3,14 \cdot 4,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 30^2}{3 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{0,182 - 0,00024 \cdot 30}{0,8}} \right)} = 795 \text{ кН.}$$

Результаты расчетов оформляются студентом в виде отчета.

Задание к практической работе

Провести расчёт неармированных и армированных плит.

10 Практическая работа № 10. Устойчивость плит покрытий при повышении температуры

Надежность работы жестких монолитных покрытий от сжимающих напряжений на контуре плиты ($\sigma_T^{ШВ}$), возникающих при невозможности свободного расширения плит при повышении температуры, определяется расчетом на продольную устойчивость и прочность бетона на скалывание в швах.

Обеспечение продольной устойчивости плит вблизи шва достигается при следующем условии:

$$\sigma_T^{ШВ} \cdot k_{зан} \leq \frac{4 \cdot g \cdot \rho_i \cdot L^2}{10^3 \cdot t}, \quad (10.1)$$

где $\sigma_T^{ШВ}$ – температурные напряжения на краю плиты, МПа;

$k_{зан}$ – коэффициент запаса, рекомендуется принимать равным 2;
 g – ускорение свободного падения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$;
 ρ_i – плотность бетона (армобетона, железобетона), т/м^3 ;
 L – длина плиты покрытия, м;
 t – толщина плиты покрытия, м.

Значения $\sigma_T^{ШВ}$ определяют по номограмме на рисунке 10.1.

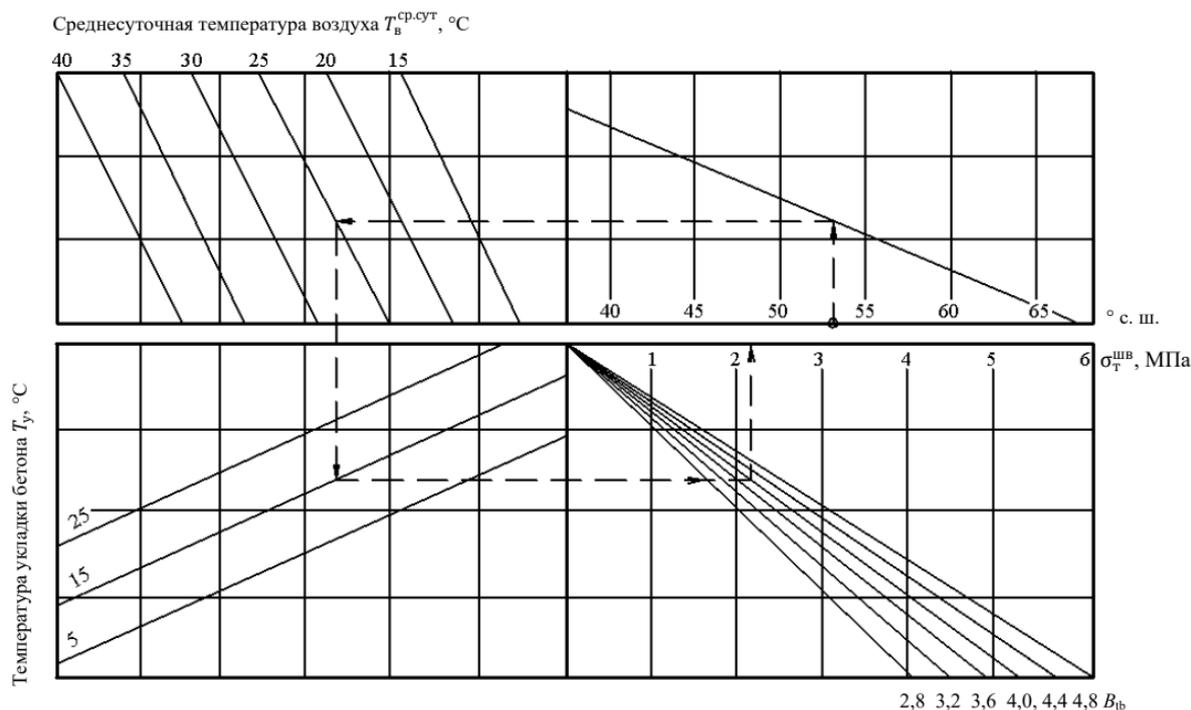


Рисунок 10.1 – Номограмма для определения температурных напряжений $\sigma_T^{ШВ}$ на краю плиты

Исходными данными для определения $\sigma_T^{ШВ}$ являются: географическая широта расположения объекта; средняя максимальная температура самого жаркого месяца T_{θ}^{cp} или средняя из абсолютных максимумов температуры воздуха $T_{\theta}^{cp(a)}$ с учетом суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, поступающей в 12:00–13:00 на горизонтальную поверхность при безоблачном небе, определяемая по климатологическим справочникам; температура укладки бетона ($25^{\circ} \geq T_y \geq 5^{\circ}$); класс прочности бетона на растяжение при изгибе B_{tb} .

Обеспечение прочности бетона на скалывание в швах покрытий определяется условием

$$\sigma_T^{ШВ} \cdot k_{зан} \leq \tau, \quad (10.2)$$

где τ – скалывающие напряжения у кромки плит, МПа, определяемые по формуле $\tau = 0,26 \cdot R_b$;

0,26 – эмпирический коэффициент, учитывающий переход от сжатия к скалыванию;

R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию.

При выполнении условий (10.1) и (10.2) устройство швов расширения не

требуется. Если одно из условий не выполняется, необходимо в покрытии устраивать швы расширения. Максимально допустимое расстояние между швами расширения $L_{ш.р}$ определяют по графику на рисунке 10.2 в зависимости от температурного напряжения $\sigma_T = \sigma_T^{III B}$, при котором соблюдаются условия (10.1) и (10.2).

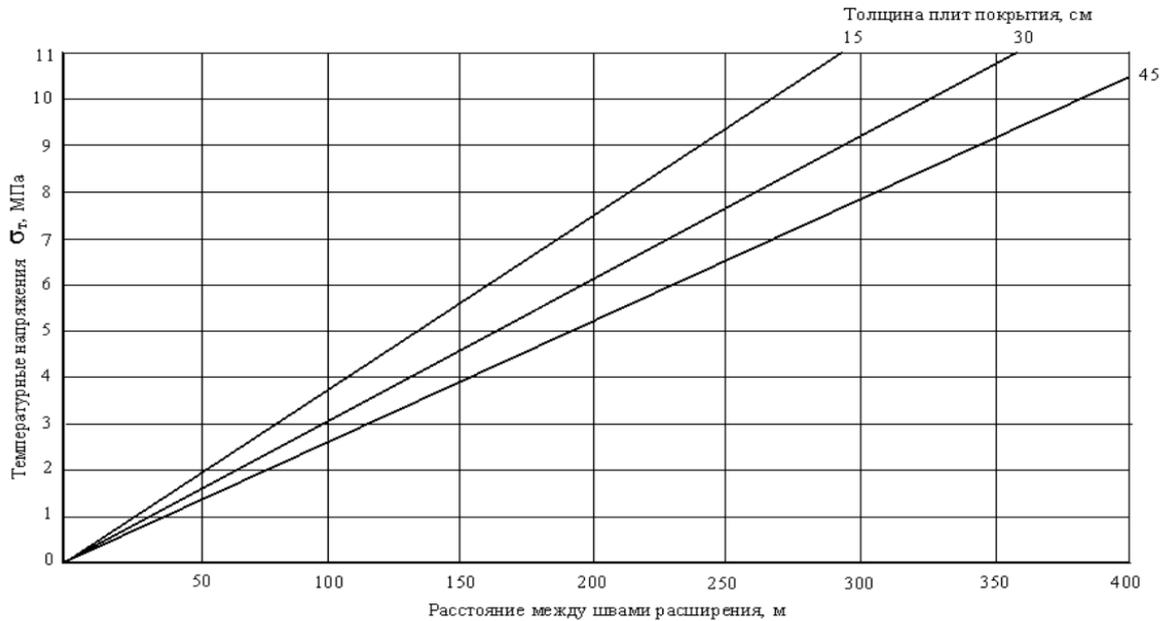


Рисунок 10.2 – Графики для определения максимальных расстояний между швами расширения

Если расстояние между швами расширения по расчету превышает 250 м, то его следует принимать равным 240...250 м. Однако расстояние между швами расширения не должно превышать величины

$$L_{ш.р} = \frac{\Delta}{\alpha \cdot T}, \quad (10.3)$$

где Δ – деформация прокладки в шве, м, $\Delta = a \cdot E_{сж}$;

a – ширина паза шва расширения, максимальное значение которой не должно превышать 3,5 см;

$E_{сж}$ – относительная деформация сжатия прокладки в шве, равная отношению деформации сжатия к первоначальной толщине прокладки, принимаемая, как правило, не менее 0,70 – для полимерных материалов и 0,20 – для дерева;

α – коэффициент линейного расширения бетона, принимаемый равным 10^{-5} , $1/С^\circ$;

T – температура, обуславливающая обжатие прокладок в швах, $С^\circ$, определяется по графику на рисунке 10.3.

Герметизирующую мастику подбирают по величине расчетного значения максимального относительного удлинения $\frac{\Delta_{\max}}{a}$ (отношения максимальной деформации растяжения мастики Δ_{\max} к первоначальному ее размеру, равному ширине паза шва a).

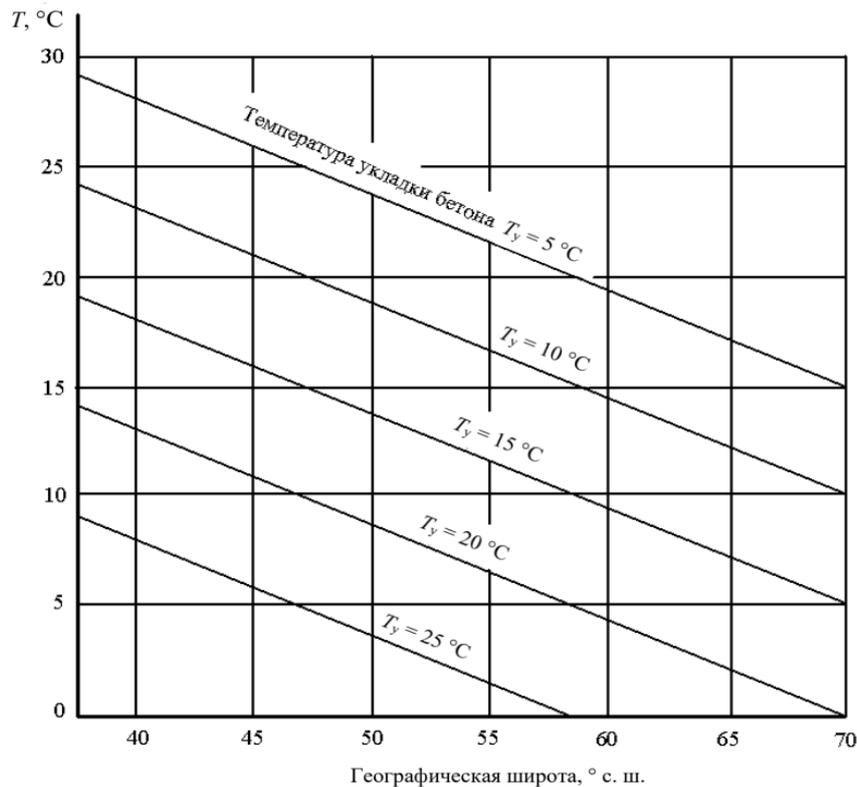


Рисунок 10.3 – Графики зависимости температур, обуславливающих обжатие прокладок, от географической широты расположения объекта и температуры укладки бетона

Величину Δ_{\max} , обусловленную разностью максимальной средней (абсолютной) температуры покрытия $T_{\epsilon}^{cp(a)}$ с учетом радиации и температуры укладки T_y , определяют по формуле

$$\Delta_{\max} = L \cdot \alpha \cdot (T_{\epsilon}^{cp(a)} - T_y). \quad (10.4)$$

Относительное удлинение выбранной мастики, определенное в соответствии с техническими условиями на герметики при температуре минус 20°C , должно быть не менее расчетного значения $\frac{\Delta_{\max}}{a}$.

Задание к практической работе

Изучить обеспечение продольной устойчивости плит вблизи шва и письменно ответить на вопросы.

1 Когда необходимо устраивать швы расширения в покрытии?

2 Как определяется максимально допустимое расстояние между швами расширения $L_{ш.р}$?

11 Практическая работа № 11. Расчет дорожных одежд по упругому прогибу. Практическая работа № 12. Расчет дорожных одежд по изгибу и на сдвиг

Дорожную одежду проектируют так, чтобы при воздействии транспортных нагрузок она не разрушалась, отсутствовали изгибы и не происходил сдвиг между слоями.

Расчет конструкции дорожной одежды по упругому прогибу, по изгибу и на сдвиг осуществляется с учетом требований, представленных в:

- ТКП 45.3.03–112 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования»;
- СН 3.03.04–2019 «Автомобильные дороги»;
- СТБ 1033–2016 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия».

Расчет дорожной одежды можно выполнить как по методикам, представленным в вышеперечисленных нормативах, так и в программном продукте Credo Радон.

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по критерию упругого прогиба при условии

$$K_{np}^{mp} \leq E_{общ} / E_{mp}, \quad (11.1)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба;

$E_{общ}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

E_{mp} – требуемый модуль упругости дорожной конструкции с учетом категории дороги, типа дорожной одежды и интенсивности воздействия группы нагрузок, МПа.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции E_{mp} , МПа, при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$ вычисляют по формуле

$$E_{mp} = 98,65 \cdot [lq(\Sigma N_p) - c], \quad (11.2)$$

где ΣN_p – число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды;

c – коэффициент, равный: для группы нагрузок A_1 – 3,55; для группы нагрузок A_2 – 3,23; для группы нагрузок A_3 – 3,05.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции E_{mp} , МПа, при $\Sigma N_p < 4 \cdot 10^4$.

Общую толщину верхних слоев дорожной одежды (в том числе укрепленного основания) из материалов, содержащих органическое вяжущее, ориентировочно назначают в зависимости от требуемого модуля упругости.

Дорожную одежду проектируют так, чтобы при воздействии транспортных нагрузок в грунте земляного полотна и в неукрепленных материалах дорожной

одежды не возникали деформации сдвига, что достигается выполнением условия прочности

$$K_{np}^{mp} \leq T_{np} / T_a, \quad (11.3)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды;

T_{np} – предельная величина активного напряжения сдвига в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции, МПа;

T_a – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенного внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующего временного нагружения, МПа.

Предельное активное напряжение сдвига T_{np} , МПа, возникающее в грунте рабочего слоя (или в дополнительном слое основания), определяют по формуле

$$T_{np} = CK_1K_2, \quad (11.4)$$

где C – сцепление в грунте земляного полотна (или в песчаном слое), МПа;

K_1 – коэффициент учета особенностей работы рассчитываемого слоя (грунта) на границе с вышележащим слоем дорожной одежды;

K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды.

При расчете на длительное действие нагружения принимают $K_2 = 1,23$, а величину $N_{сум}$ находят по формуле

$$N_{сум} = \Sigma N_p / (T_{pдг} \cdot T_{сл}), \quad (11.5)$$

где ΣN_p – число накопленных осей за расчетный срок службы, шт.;

$T_{pдг}$ – количество расчетных дней в году, сут;

$T_{сл}$ – расчетный срок службы, лет.

Расчетное активное напряжение сдвига T_a , МПа, возникающее в грунте или в неукрепленных материалах, вычисляют по формуле

$$T_n = \overline{\tau_a} p + \tau_\epsilon, \quad (11.6)$$

где $\overline{\tau_a}$ – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам, МПа;

τ_ϵ – активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды, определяемое по номограмме, МПа.

Модуль упругости верхнего слоя дорожной одежды E_ϵ , МПа, принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитанный по формуле

$$E_\epsilon = \sum_{i=1}^n E_i h_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (11.7)$$

где n – количество слоев дорожной одежды, шт.;

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

h_i – толщина i -го слоя, м.

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе дорожной одежды под действием кратковременных повторных нагрузений, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин. Для этого должно выполняться условие

$$K_{np}^{mp} \leq R_{don}/\sigma_r, \quad (11.8)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды с учетом заданного коэффициента надежности;

R_{don} – предельно допустимое напряжение изгиба материала слоя с учетом усталости, определяемое расчетом, МПа;

σ_r – полное растягивающее напряжение при изгибе, определяемое расчетом, МПа.

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r в монолитном слое вычисляют с помощью номограмм.

В практике проектирования дорожных одежд встречаются два характерных случая:

1) монолитный слой или некоторая сумма смежных слоев из однотипных монолитных материалов находится в верхней части дорожной одежды – это асфальтобетоны и подобные им покрытия, асфальтобетонные основания, расположенные непосредственно под асфальтобетонным покрытием;

2) монолитный слой, расположенный в толщине дорожной одежды, – разного рода монолитные основания.

Предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона R_{don} , МПа, определяют по формуле

$$R_{don} = R_u \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_m \cdot K_{kn} \cdot K_t, \quad (11.9)$$

где R_u – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений, МПа;

t – коэффициент нормированного отклонения;

K_m – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона во времени от действия природно-климатических факторов;

K_t – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона в конструкции в результате температурных воздействий;

K_{kn} – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу.

Задание к практической работе

Провести расчет конструкции дорожной одежды по упругому прогибу, по изгибу и на сдвиг.

12 Практическая работа № 13. Установка дорожных знаков на аэропортах

Маркировочные знаки ВПП, РД, МС

Маркировка аэродромных покрытий взлетно-посадочных полос (ВПП), рулежных дорожек (РД), мест стоянки (МС), перронов является обязательной для аэродромов всех классов. Она предназначена для повышения безопасности при рулении, взлете и посадке и для обеспечения четкого управления движением воздушных судов на аэродромах.

На покрытия взлетно-посадочной полосы должны быть нанесены следующие маркировочные знаки:

- порогов ВПП – обозначаются параллельными прямоугольными знаками (полосами), располагающимися в направлении продольной оси ИВПП на расстоянии 6 м от торца и 3 м от края ИВПП с обеих сторон. Количество полос на аэродромах следующее: класса А – 14, Б и В – 10, Г – 8, Д – 6, Е – 4;

- осевой линии – наносятся продольными полосами, расположенными друг от друга на равном расстоянии (30 м на аэродромах классов А, Б, В, Г, Д и 12 м – класса Е);

- посадочных магнитных путевых углов (ПМПУ) – маркируются двухзначными числами у каждого порога ИВПП и обозначают магнитный азимут оси ВПП. Например, ПМПУ 05-14° – цифровой знак ВПП-01; 15-24° – цифровой знак ВПП-02; 106-114° – цифровой знак ВПП-11; 355-004° – цифровой знак ВПП-6;

- зон приземления (кроме ВПП класса Е) – указываются парами прямоугольных знаков, расположенных симметрично оси ВПП. Парные знаки наносятся с интервалами 150 м, начиная от начала маркировки порога. На аэродромах классов А и Б наносятся шесть парных знаков (глубина зоны приземления 900 м), на аэродроме класса В – четыре (600 м), класса Г – три (450 м), Д – два (300 м);

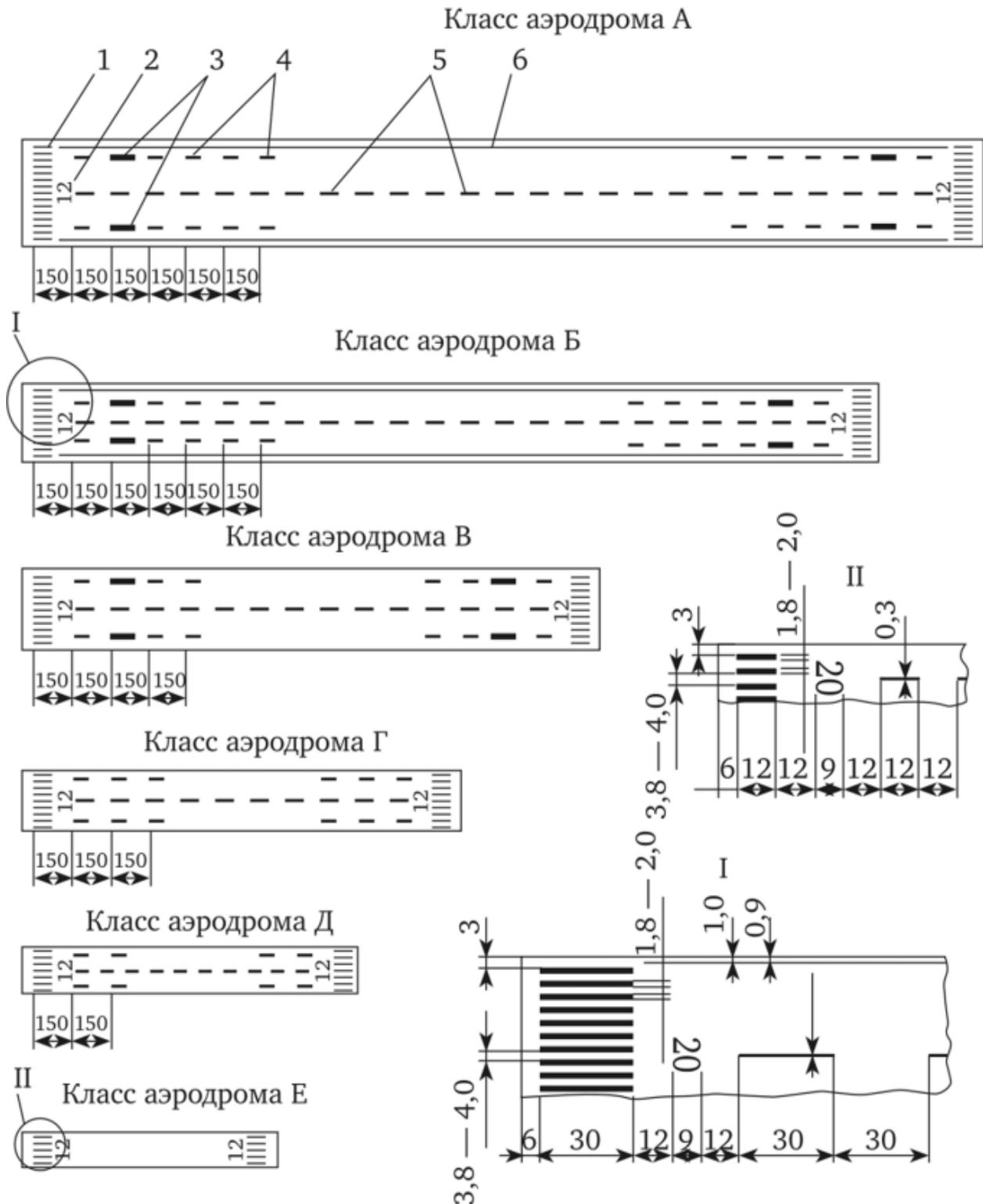
- зон фиксированного расстояния (кроме ВПП классов Г, Д, Е) – наносятся парой увеличенных в размерах прямоугольных знаков только на аэродромах классов А, Б, В симметрично оси ИВПП на расстоянии 300 м от начала маркировки порога;

- краев ВПП аэродромов международных аэропортов и ВПП точного захода на посадку I, II и III категорий, а для иной ВПП в случае отсутствия контраста между ее границами и примыкающей к ней поверхностью обочин (местностью);

- обозначения параллельных ВПП – расположения ВПП со стороны захода на посадку: «Б» – левая, «С» – центральная, «Р» – правая.

Маркировка осевой линии ВПП (рисунок 12.1) должна наноситься по ее оси. На участке пересечения взлетно-посадочных полос маркировка главной ВПП должна сохраняться, а вспомогательной – прерываться. Маркировка края ВПП должна прерываться в местах примыкания РД к ВПП и пересечениях ВПП. На ВПП точного захода на посадку II и III категории осевая линия долж-

на иметь ширину 0,9 м. Маркировочные знаки ВПП должны быть белого цвета (рисунок 12.2). Размеры и форма цифр и букв на ВПП указаны на рисунке 12.3.



1 – порог; 2 – цифровой знак ГТМПУ; 3 – фиксированное расстояние; 4 – зона приземления; 5 – осевая линия; 6 – край

Рисунок 12.1– Схема и параметры маркировки ИВПП (размеры даны в метрах)

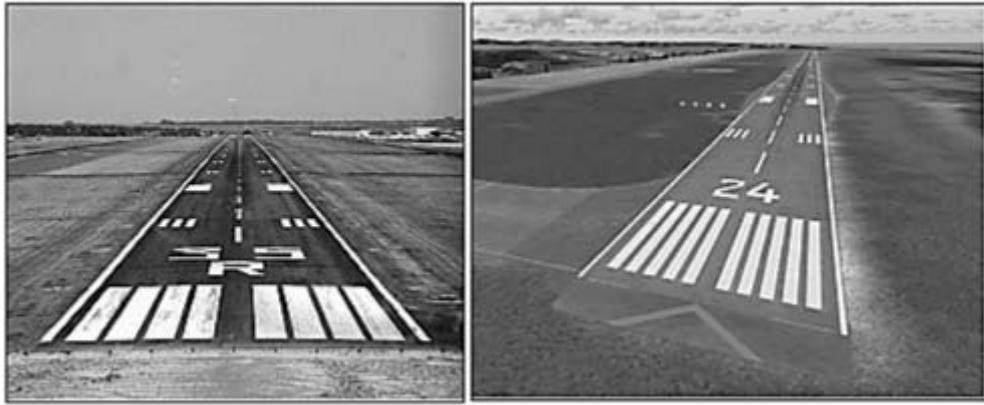


Рисунок 12.2 – Варианты маркировки ИВПП

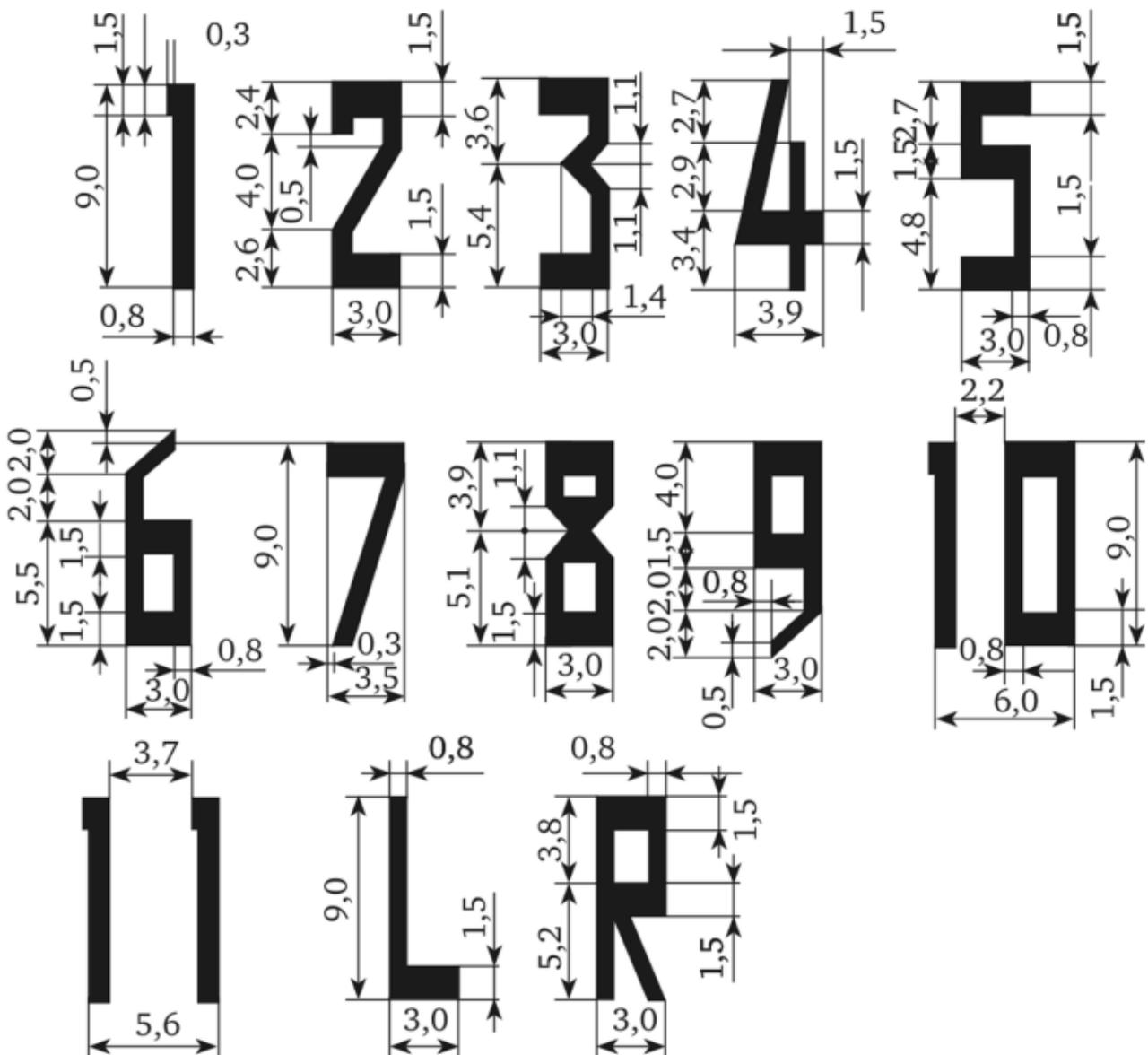


Рисунок 12.3 – Размеры, форма цифр и букв на ИВПП

Задания к практической работе

Вычертить схему маркировки ИВПП по размерам. Исходные данные принять в соответствии с таблицей 12.1.

Таблица 12.1 – Исходные данные

Вариант	1–5	6–10	11–15	16–20
Класс аэродрома	Б	В	Г	Д

13 Практическая работа № 14. Методы оценки уровней авиационного шума в окрестностях аэропорта

Международные требования к шуму воздушных судов изложены в форме стандартов и рекомендуемой практики в документе Международной организации гражданской авиации (ИКАО), Приложении 16 «Охрана окружающей среды» (том 1 «Авиационный шум»), Конвенции о международной гражданской авиации, ГОСТ 17228–2014 *Самолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни шума, создаваемые на местности.*

Авиационный шум, являясь специфическим акустическим раздражителем, зависит от направления взлётно-посадочных полос и трасс пролётов самолётов, интенсивности полётов в течение суток и года, типов воздушных судов и др., и оказывает существенное влияние на шумовой режим территории в окрестностях аэропортов.

Наиболее точная характеристика шумового режима на территории жилой застройки получается при определении эквивалентных уровней звука ($L_{экв}$), учитывающих максимальные уровни шума при пролете отдельных самолетов, время звучания верхних 10 дБ и интенсивность полетов в течение суток.

Эквивалентный уровень звука на жилой территории в окрестностях аэропорта при круглосуточной, интенсивной эксплуатации в дневное время составлял 80 дБА и в ночное время – 78 дБА.

При удалении на 4 км от торца взлетно-посадочной полосы (ВПП) эквивалентные уровни звука уменьшаются до 77...70 дБА – в дневное время и 70...75 дБА – в ночной период суток в зависимости от класса аэропорта. В глубине жилой застройки на расстоянии 2...3 км перпендикулярно к оси ВПП эквивалентные уровни звука значительно меньше – 64...61 дБА – в дневное время и 59...55 дБА – в ночное. Исследования шумового режима в окрестностях аэропортов различных классов позволили установить картину зашумленности и условия распространения шума в жилых районах в радиусе 6 км. В пределах 4...6 км от ВПП, где сосредоточены трассы взлета и захода на посадку, зона ожидания, движение самолетов наиболее интенсивно влияет на шумовой режим местности.

Если учесть, что аэропорты расположены, как правило, в черте города либо непосредственно среди жилой застройки, то не вызывает сомнений тот факт, что создаются крайне неблагоприятные акустические условия для местного населения.

Одновременно с измерениями уровней шума изучается субъективная реакция населения на авиационный шум путем опроса людей, проживающих в населенных пунктах, расположенных в районе аэропортов, методом анкетиро-

вания. Характер субъективного восприятия шума населением различается в зависимости от продолжительности шумовой нагрузки, вида деятельности и отдыха в разные периоды суток. Поэтому в качестве системы оценки используют показатель $L_{экв}$, который позволяет произвести энергетическое суммирование звуковой энергии, воздействующей в течение суток.

Порядок выполнения замеров шума и их последующая оценка выполнялись в соответствии с требованиями гигиенического норматива ГОСТ 22283–2014 *Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения*.

Максимально допустимые значения уровней звука на территории жилой застройки по ГОСТ 22283 приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Максимально допустимые значения уровней звука на территории жилой застройки

Время суток	Эквивалентный уровень звука $L_{экв}$, дБ (А)	Максимальный уровень звука при единичном воздействии $L_{Аmax}$, дБ (А)
День (с 7.00 ч до 23.00 ч)	65	85
Ночь (с 23.00 ч до 7.00 ч)	55	75

Задание к практической работе

На основании теоретических данных из открытых источников произвести оценку уровней авиационного шума в окрестностях аэропортов.

Список литературы

1 **СНБ 3.03.03–97**. Аэродромы. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 1997. – 22 с.

2 Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Основы проектирования, технология и организации строительства аэродромов» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / В. В. Лукша [и др.]. – Брест: БГТУ, 2007. – 72 с.

3 **СТБ 1033–2016**. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2016. – 24 с.

4 **ТКП 45-3.03-112–2008**. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 87 с.

5 **СН 3.03.04–2019**. Автомобильные дороги. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 55 с.

6 **ГОСТ 22283–2014**. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2016. – 18 с.