

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
Кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

А.А. НИКОЛАЕВ, М.В. САБИРОВА, К.М. ШАНГАЛИНСКИЙ

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ
КЛИМАТОЛОГИИ**

**Методические указания к заданиям
по прикладной климатологии**

Казань – 2022

УДК 551.58
ББК 26.237

*Принято на заседании учебно-методической комиссии ИЭиП
Протокол № 3 от 11 мая 2022 года*

Рецензенты:

кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ

Н.В. Исмагилов;

кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ

Т.Р. Аухадеев

Николаев А.А., Сабирова М.В., Шанталинский К.М.

Практические работы по прикладной климатологии. Методические указания к заданиям по прикладной климатологии / А.А. Николаев, М.В. Сабирова, К.М. Шанталинский. – Казань: Казан. ун-т, 2022. – 60 с.

«Практические работы по прикладной климатологии» включают краткое содержание теоретических основ, расчетных методов, задач по основным разделам дисциплины.

Методические указания адресованы, в первую очередь, студентам четвертого курса бакалавриата, обучающимся по профилю «Метеорология» направления «Гидрометеорология», а также обучающимся в магистратуре по указанным направлениям и читателям, интересующихся вопросами прикладной климатологии.

© Николаев А.А., Сабирова М.В., Шанталинский К.М., 2022
© Казанский университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	6
Задание 1. Коротковолновая радиация, поступающая на стены различной ориентации	6
Задание 2. Вычисление эффективного излучения стены здания	9
Задание 3. Определение радиационного баланса вертикальных поверхностей здания	12
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ	14
Задание 1. Расчет теплового баланса внутреннего воздуха зданий	15
Задание 2. Определение эффективной температуры теплопотерь здания	17
Задание 3. Определение продолжительности отопительного сезона	19
ОСАДКИ, ВЫПАДАЮЩИЕ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ	22
Задание 1. Определение суммы осадков теплого периода	24
Задание 2. Месячные суммы осадков, выпадающих на вертикальные поверхности с учетом градаций скорости ветра	24
Задание 3. Месячные суммы осадков, выпадающие на различно ориентированные стены с учетом повторяемости направления ветра	25
Задание 4. Интенсивность промачивания стыковых швов	26
4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА СООРУЖЕНИЯ	28
4.1. ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ	28
Задание 1. Определение скоростного напора по расчетным скоростям ветра	32
Задание 2. Определение ветровой нагрузки на сооружения по расчетным скоростям ветра	33
Задание 3. Определение ветровой нагрузки на сооружения круговой цилиндрической формы	34

Задание 4. Определение критической скорости ветра	35
4.2. ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ	36
Задание 1. Определение веса гололеда в зависимости от формы поперечного сечения отложения льда на проводе	40
Задание 2. Определение плотности гололеда по весу, измеренному и по рассчитанным объемам	41
Задание 3. Определение гололедно-ветровых нагрузок на проводе ЛС и ЛЭП	44
4.3. НАГРУЗКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА	46
Задание 1. Вычисление веса ($\text{кг}/\text{м}^2$) снежного покрова на горизонтальной поверхности, наблюдаемых 1 раз в 2, 5, 10, 20 лет	49
Задание 2. Определение снеговой нагрузки ($\text{кг}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность с учетом сноса в зависимости от скорости ветра	50
5. МЕТЕЛИ И СНЕГОПЕРЕНОС	52
Задание 1. Определение объема снегопереноса	54
Задание 2. Вычислить объем перенесенного снега при различных видах метелей	55
Задание 3. Определить объем снегопереноса к железнодорожному полотну с южной и северной стороны	56
ЛИТЕРАТУРА	58
Дополнительная литература для самостоятельной работы студента	59

ВВЕДЕНИЕ

Спецкурс прикладной климатологии имеет важное практическое значение. Грамотный учет влияния метеорологических условий на различные виды деятельности человека потенциально повышает экономическую эффективность использования климатологической информации.

Учебно-методическое пособие по прикладной климатологии включает следующие разделы: радиационный баланс вертикальных поверхностей; метеорологические факторы теплового режима зданий; осадки, выпадающие на вертикальные поверхности; метеорологические нагрузки на сооружения; метели и снегоперенос.

В пособии изложены основы теории, практики по соответствующим разделам, а также конкретные задания по расчету характеристик климата, влияющих на различные отрасли: строительство, транспорт, коммунальное хозяйство.

1. РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Тепловой режим зданий в значительной мере зависит от радиационного теплообмена.

В строительной практике используются данные об облучении зданий солнечной радиацией, содержащиеся в "Строительных нормах и правилах" [11, 12]. В СНиПе приведены суммы прямой и рассеянной радиации, приходящей на вертикальные и горизонтальные поверхности в июле при безоблачном небе, характеристики освещения по ориентации здания, для различных климатических районов.

Для расчета прямой радиации, поступающей на вертикальные поверхности, используют эмпирический коэффициент K (отношение радиации, приходящей на вертикальную поверхность, к радиации, поступающей на горизонтальную поверхность). Он меняется в зависимости от времени года и широты места.

Задание 1. Коротковолновая радиация, поступающая на стены различной ориентации

Количество солнечной радиации, поступающей на вертикальную стену определяется:

$$Q_B = S_B + \frac{D}{2} + \frac{R}{2}, \quad (1)$$

где S_B - прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальные поверхности здания, D - рассеянная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, R - отраженная радиация от земной поверхности.

Коэффициент K зависит от облачности и прозрачности атмосферы, опре-

делен эмпирически (табл. 1). Для южной ориентации стен невозможно с достаточной точностью определить значение K . Поэтому коэффициент K' получен из соотношения прямой радиации, приходящей на вертикальную и горизонтальную поверхности (табл. 2).

Таблица 1

Коэффициент K для вычисления суммарной радиации на стены здания

Месяцы							
I	IV	VII	X	I	IV	VII	X
Восточная стена				Северная стена			
0,55	0,57	0,52	0,56	0,38	0,25	0,28	0,31

Таблица 2

Коэффициент K' для вычисления прямой радиации на стены здания

Месяцы				
	I	IV	VII	X
Южная стена	5,1	0,9	0,5	2,0

Отраженная радиация определяется из соотношения:

$$R = \frac{QA}{100}, \quad (2)$$

где Q - средняя многолетняя сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность, A - среднее месячное значение альбедо (%) участков земной поверхности, примыкающих к зданию.

Поглощенная стеной радиация B_k определяется по формуле

$$B_k = Q_B(1 - A) \quad (3)$$

где A - альбедо стены здания.

Дано: месячные суммы солнечной радиации (табл. 3).

Месячные суммы радиации (ккал/см²) по станции Казань, Университет

Радиация	Месяцы			
	I	IV	VII	X
<i>S'</i>	0,286	4,826	8,072	1,143
<i>D</i>	0,818	4,402	5,846	1,803
<i>Q</i>	1,104	9,228	13,918	2,946

Требуется:

1. Определить за центральные месяцы количество суммарной радиации, поступающей на восточные и северные стены (ккал/м²час.), используя данные таблицы 1, 3.

2. Данные таблицы 3 выразить в ккал/м²час делением средних многолетних значений месячных сумм на число дней в месяце и на 24 часа.

3. Определить прямую радиацию, приходящую на южную стену здания, используя данные таблиц 2, 3.

4. Определить величину отраженной радиации в ккал/м²час, по формуле (2). Альбедо $A = 20\%$ для июля и октября, $A = 30\%$ - для апреля, $A = 50\%$ - для января.

5. Определить по формуле (1) количество коротковолновой радиации в ккал/м²час, поступающей на стены южной, восточной и северной ориентации за январь, апрель, июль, октябрь.

6. Рассчитать по формуле (3) величину поглощенной радиации в ккал/м²час для южной, северной и восточной стены. $A=30\%$.

7. Полученные результаты оформить в виде таблицы 4.

8. Сделать вывод, стена какой ориентации получает максимальное и минимальное количество коротковолновой радиации.

Количество коротковолновой радиации, поступающей на стены зданий
(ккал/м²час) по ст. Казань, Университет

Ориентация стены	Месяцы	Характеристики радиации							
		Q	K	K'	$(S_B+D/2)$	S_B	R	Q_B	B_K

Задание 2. Вычисление эффективного излучения стены здания

Эффективное излучение есть разность между длинноволновыми потоками собственного излучения стен и излучения, поступающего на стену из воздуха и от земной поверхности.

В своих расчетах Гандин Д.С. [5] эффективное излучение берет равным половине эффективного излучения земной поверхности без поправки на различия в температурах стены и воздуха. Циценко Г.В. вводит эту поправку и формула расчета эффективного излучения имеет следующий вид:

$$E_c = \frac{1}{2} E_{on} + 4 f \sigma \bar{\theta}^3 (\theta_c - \theta) - 2 f \sigma \bar{\theta}^3 (\theta_o - \theta) \quad (1)$$

или

$$E_c = \frac{1}{2} E_n + 4 f \sigma \bar{\theta}^3 (\theta_c - \theta), \quad (2)$$

где E_n - эффективное излучение земной поверхности, определенное при действительных условиях облачности, E_{on} - эффективное излучение земной поверхности, рассчитанное по температуре наружного воздуха, θ - температура наружного воздуха, θ_c - температура на наружной поверхности стены с учетом радиации, θ_o - температура поверхности почвы, $\bar{\theta}$ - средняя абсолютная температура воздуха, f - коэффициент, характеризующий отличие излучения стены от

излучения абсолютно черного тела (принят равным 0,95), σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Величина $4 f \sigma \bar{\theta}^3$ мало меняется, ее можно считать заданной и равной 4,2 ккал/м²час град. Следовательно, эффективное излучение стены здания зависит от температуры воздуха, температуры на наружной поверхности стены с учетом радиации и от эффективного излучения земной поверхности.

Дано:

1. Эффективное излучение (E_n) (табл. 1).
2. Средняя месячная температура воздуха (табл. 2).
3. Поглощенная стеной коротковолновая солнечная радиация (табл. 3).
4. Температура наружной поверхности стены (табл. 4).

Таблица 1

Эффективное излучение (ккал/см²месяц) земной поверхности
по ст. Казань, Университет

Месяцы			
I	IV	VII	X
1,50	5,30	4,63	2,36

Таблица 2

Средняя месячная температура (θ) воздуха по ст. Казань, Университет

Месяцы			
I	IV	VII	X
-12,8	4,1	20,0	3,8

Требуется: Определить эффективное излучение (ккал/м²час) стен южной,

северной и восточной ориентации за январь, апрель, июль и октябрь, по формуле (2), используя данные таблиц 1 – 4. Результаты оформить в виде таблицы 5.

Таблица 3

Поглощенная стеной коротковолновая солнечная радиация (B_K) и поправка к температуре наружной поверхности стены за счет радиации (Δt)

ккал/м ² час	0	18	30	44	57	70	84	96	109	121	134	146
ккал/см ² месяц	0	1,3	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,0	9,0	9,8	10,8
Δt , °С	-0,6	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Таблица 4

Температура наружного воздуха (θ) и температура наружной поверхности стены без учета радиации (θ_c')

Температура (град)									
θ	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
θ_c'	-18,0	-13,5	-8,5	-4,0	1,0	5,5	10,5	15,2	20,0

Таблица 5

Эффективное излучение (ккал/м²час) стен различной ориентации по ст. Казань, Университет

Расчетные параметры	Месяцы			
	I	IV	VII	X
$\frac{1}{2}E_n$				
θ_c				
$\theta_c = \theta_c' + \Delta t$				
$\theta_c - \theta$				
E_c				

Задание 3. Определение радиационного баланса вертикальных поверхностей здания

Радиационный баланс вертикальных поверхностей, незатененных соседними сооружениями, Циценко Г.В. определяет по формуле

$$B_c = \left(S_B + \frac{D}{2} + \frac{R}{2} \right) (1 - A) - E_c, \quad (1)$$

где B_c - радиационный баланс вертикальной поверхности здания, S_B - прямая солнечная радиация, поступающая на единицу площади вертикальной поверхности здания, D - рассеянная солнечная радиация, поступающая на единицу земной поверхности, R - отраженная от земной поверхности радиация, A - альbedo стен или стекол здания, E_c - эффективное излучение стены или стекол здания.

Дано:

1. Альbedo стен зданий и асфальта (табл. 1).
2. Характеристики радиации (табл. 4, задание 1).
3. Эффективное излучение (табл. 5, задание 2).

Таблица 1

Значение альbedo (A) стен здания и асфальта

Род поверхности	Материал	Фактура	Цвет	Альbedo (%)
Стена	кирпич оштукатурен	новая	белый	71,0
Стена	штукатурка	шероховатая	серая	40,0
Стена	штукатурка	шероховатая	темно-серая	20,0
Тротуар	асфальт	шероховатая	серый	18,5
Тротуар	асфальт	шероховатый незаезженный	серый	26,0

Требуется:

1. На основании формулы (1) определить радиационный баланс (ккал/м²час) кирпичной, оштукатуренной, белого цвета стены южной, северной и восточной ориентации за январь, апрель, июль и октябрь месяцы.

2. Результаты оформить в виде таблицы 2.

Таблица 2

Радиационный баланс (ккал/м²час) стен здания

Расчетные параметры	Ориентация стен и месяцы			
	I	IV	VII	X
Q_b				
$Q_b(1-A)$				
E_c				
B_c				

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ

По определению Гандина Л.С. под тепловым режимом понимается распределение в пространстве и во времени температуры и потоков тепла в здании.

Основным фактором теплоощущения человека внутри здания является температура внутреннего воздуха T_B , которая определяется тепловым балансом помещений. В холодное время года для расчета отопительных систем T_B берется равным 18°C . В модели используется осредненная по всей внутренности здания расчетная температура T_B .

Сложный процесс теплообмена через ограждение описывается с упрощениями: 1) теплообмен одномерный, т.е. не учитываются потоки тепла вдоль поверхности ограждения; 2) теплообмен квазистационарный, т.е. не учитывается термическая инерция здания.

В решении задачи теплового режима здания рассматриваются три вида теплообмена: 1) кондуктивный; 2) инфильтрационный; 3) лучистый.

Кондуктивный теплообмен является основным, он обусловлен теплопроводностью материала ограждения.

Инфильтрационный теплообмен осуществляется вследствие существования воздухообмена сквозь щели и отверстия в остекленной части ограждения.

Лучистый теплообмен требует расчетов составляющих радиационного баланса на вертикальные поверхности ограждений.

Вклад в теплопотери здания последних двух видов теплообмена меньше, чем у кондуктивного, но достигает таких размеров, что ими нельзя пренебрегать.

Задание 1. Расчет теплового баланса внутреннего воздуха зданий

Уравнение теплового баланса внутреннего воздуха, имеет следующий вид:

$$\dot{v} = \dot{v}_K + \dot{v}_B - \dot{v}_E - \dot{v}' \quad (1)$$

Здесь \dot{v}_K - кондуктивные теплопотери через стены:

$$\dot{v}_K = (T_B - T_H) / R, \quad (2)$$

где T_B - температура внутреннего воздуха, T_H - температура наружного воздуха, R - термическое сопротивление стены здания.

Величина \dot{v}_B описывает теплопотери, обусловленные воздухообменом:

$$\dot{v}_B = \sigma_0 [A(\gamma v) - 1] \frac{T_B - T_H}{R_0}, \quad (3)$$

где σ_0 - относительная площадь окон, γ - коэффициент, характеризующий воздухопроницаемость оконной части ограждения, v - скорость ветра.

Величина \dot{v}_E выражает тепlopоступления обусловленные действием коротковолновой радиации Q_B :

$$\dot{v}_E = \sigma_0 \varepsilon_0 Q_B. \quad (4)$$

Величина ε_0 - коэффициент пропускания потока радиации окнами, а σ_0 - коэффициент поглощения радиации окнами.

С учетом изложенного уравнение теплового баланса (2.1) в развернутой форме:

$$\dot{v} = \frac{T_B - T_H}{R} + \sigma_0 [A(\gamma v) - 1] (T_B - T_H) \frac{1}{R_0} - \sigma_0 \varepsilon_0 Q_B - \dot{v}' \quad (5)$$

где R - осредненное по всей поверхности ограждения термическое сопротивление, которое определяется из следующего соотношения:

$$\frac{1}{R} = \frac{1 - \sigma_0}{R_c} + \frac{\sigma_0}{R_0}, \quad (6)$$

где R_C и R_θ – термические сопротивления соответственно стен и окон, без учета радиации.

Уравнение (2.5) позволяет определить требуемую мощность отопления здания с заданными тепловыми характеристиками при заданных метеорологических условиях (T_H , Q_B , V). Если $\nu > 0$, то для поддержания требуемой температуры T_B необходимо помещение отапливать, если $\nu < 0$ – требуется охлаждение.

Дано:

1. $T_B = 18^\circ\text{C}$.
2. T_H - температура наиболее холодной пятидневки = -30°C .
3. $R_\theta = 0,58 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$ - окна двойного остекления.
4. $R_C = 1,09 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$ - стена 2,5 кирпича.
5. $\sigma_\theta = 0,3$
6. $\varepsilon_\theta = 0,67$ (лето) и $0,50$ (зима).
7. Значение $(A - I)$ при $\gamma = 0,20$ сек/м и скоростях ветра:

$V, \text{ м/с}$	2-3	4-5	6-7
	0,09	0,29	0,55

Требуется:

1. Рассчитать осредненное по всей поверхности ограждения термическое сопротивление.
2. Определить кондуктивные теплопотери для холодной пятидневки.
3. Рассчитать инфильтрационные теплопотери, происходящие за счет воздухообмена, в холодную пятидневку для $V = 2, 4, 6 \text{ м/с}$.
4. Определить поступление тепла за счет суммарной коротковолновой радиации, за январь месяц (раздел 1, задание 1).

6. Внутренние тепловыделения не учитываются из-за отсутствия данных.

7. Результат оформить в виде таблицы 1

Таблица 1

Составляющие теплового баланса внутреннего воздуха здания
в самую холодную пятидневку

$V, \text{ м/с}$	ν_K	ν_B	ν_ε	ν
2				
4				
6				

Задание 2. Определение эффективной температуры теплотерь здания

Эффективная температура представляет собой такую температуру наружного воздуха, при которой в условиях штиля и при отсутствии коротковолновой радиации здание имело бы такие же теплотери, какие имеют место при данной температуре наружного воздуха T_H , данной скорости ветра V и данном значении потока суммарной радиации Q_B . Эффективная температура T_ε имеет размерность температуры и зависит от температуры наружного воздуха T_H , скорости ветра V , потока коротковолновой радиации Q_B . В соответствии с определением формула эффективной температуры имеет вид:

$$T_\varepsilon = T_H - \sigma_0 \frac{R}{R_0} [A(\gamma \nu) - 1] (T_B - T_H) + \sigma_0 \varepsilon_0 Q_B, \quad (1)$$

где обозначения всех величин дано в задании 1. Выражение $\sigma R/R_0$ обозначим через переменную m .

Дано: Параметры ограждения: $R_C = 1,09 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$, что соответствует кирпичным стенам толщиной в 2,5 кирпича при обычных коэффициентах

теплоотдачи наружного воздуха $\alpha_H = 220$ ккал/м²час град и внутреннего $\alpha_B = 7,5$ ккал/м²час град, $R_0 = 0,58$ м²час град/ккал, что соответствует двойному остеклению, $\sigma_0 = 0,3$, $\varepsilon_0 = 0,67$, $\gamma = 0,20$ с/м, $T_B = 18^\circ\text{C}$, таблица 1, 2 ($m = 0,56$ соответствует одинарному, $m = 0,45$ – двойному остеклению).

Таблица 1

Значения произведения m (А-1)

V , м/с	$m = 0,56$	$m = 0,45$
2-3	0,04	0,04
4-5	0,13	0,10
6-7	0,25	0,20
8-9	0,39	0,31
10-11	0,54	0,43
12-13	0,70	0,56

Таблица 2

Среднемесячные температуры воздуха T_H

T_H холодной пятидневки	Месяцы			
	I	IV	VII	X
	-12,8	4,1	20,0	3,8

Требуется:

1. Рассчитать осредненное по поверхности ограждения термическое сопротивление.
2. Рассчитать $T_Э$ за самую холодную пятидневку, взяв Q_B за январь месяц, для квартир южной и северной ориентации (табл. 1).
3. По формуле (1) рассчитать $T_Э$ за январь, апрель, июль, октябрь, используя вышеприведенные данные таблицы 1 и 2 для квартир южной и северной ориентации.
4. Внутренние тепловыделения не учитываются из-за отсутствия данных.
5. Результаты расчета оформить в виде таблицы 3.

Эффективные температуры теплопотерь по станции Казань, Университет

Ориентация квартир	Месяцы				
	Самая холодная пятидневка	I	IV	VII	X
южная					
северная					

Задание 3. Определение продолжительности отопительного сезона

Принято определять продолжительность отопительного сезона по времени перехода среднесуточных температур через 8°C . Гандин Л.С. предлагает определять длительность отопительного периода, используя закономерности теплообмена между зданиями и атмосферой.

Перепишем формулу эффективной температуры в следующем виде:

$$T_{\text{Э}} = T_{\text{H}} - \Delta T_{\text{V}} + \Delta T_{\text{P}}, \quad (1)$$

где $\Delta T_{\text{V}} = \frac{\sigma_0 R}{R_0} [A(\gamma \nu) - 1] \Delta T_{\text{H}}$, $\Delta T_{\text{H}} = T_{\text{B}} - T_{\text{H}}$, $\Delta T_{\text{P}} = \sigma_0 \varepsilon_0 Q_{\text{B}}$.

Формула (1) описывает влияние на эффективную температуру соответственно ветра, радиации и внутренних тепловыделений.

Первая из них понижает наружную температуру, вторая существенно положительна и повышает ее.

Введем эффективную разность температур

$$\Delta T_{\text{Э}} = T_{\text{B}} - T_{\text{Э}}. \quad (2)$$

Формула эффективной температуры (1) примет вид:

$$\Delta T_{\text{Э}} = \Delta T_{\text{H}} + \Delta T_{\text{V}} - \Delta T_{\text{P}}, \quad (3)$$

согласно которой эффективная разность температур представляет собой алгеб-

раическую сумму разностей температур, обусловленных влиянием температуры наружного воздуха, ветра, радиации.

Даты начала и конца отопительного периода определяются переходами через нуль величины $\Delta T_{\text{э}}$ в ее годовом ходе. Чтобы определить эти даты (t_1 и t_2) нужно рассчитать кривую годового хода $\Delta T_{\text{э}}$, а продолжительность отопительного периода $\Delta t = t_1 - t_2$.

Дано:

1. Параметры ограждения:

$R_C = 1,09 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$, что соответствует кирпичным стенам толщиной в 2,5 кирпича при обычных коэффициентах теплоотдачи для наружного воздуха $\alpha_H = 220 \text{ ккал/м}^2\text{час/град}$. и внутреннего $\alpha_B = 7,5 \text{ ккал/м}^2\text{час/град}$;

$R_0 = 0,58 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$, что соответствует двойному остеклению;

$\sigma_0 = 0,3$, $\varepsilon_0 = 0,67$;

$T_B = 18^0$, $R = 0,88 \text{ м}^2\text{час град/ккал}$;

$m = 0,45$, $\gamma = 0,20 \text{ с/м}$;

таблица 1 задания 2.

2. Средние месячные значения метеорологических величин таблица 1.

Требуется:

1. Рассчитать эффективную температуру по среднемесячным данным для южной и северной ориентации.

2. Определить эффективную разность температур $\Delta T_{\text{э}}$ за каждый месяц для южной и северной ориентации.

3. Построить кривую годового хода $T_{\text{э}}$ и $\Delta T_{\text{э}}$, определить даты перехода (t_1 и t_2) $\Delta T_{\text{э}}$ через 0°C , рассчитать длину отопительного сезона ($t_1 - t_2 = \Delta t$) для квартир южной и северной ориентации. Результаты расчета оформить в виде таблицы 2.

Таблица 1

Среднемноголетние значения скорости ветра, температуры воздуха T_H и суммарной коротковолновой радиации Q_B , поступающей на вертикальные поверхности на станции Казань – Университет

Метеорологические элементы	Месяцы					
	1	2	3	4	5	6
V , м/с	4,0	4,2	3,9	3,7	3,7	3,0
T_H , °С	-12,8	-12,1	-6,0	4,1	12,9	17,9
Q_B , ккал/м ² час						
Ю	28,98	66,09	92,89	106,11	107,51	114,67
С	9,22	22,96	42,10	47,28	61,34	76,40
В	12,45	33,12	63,06	84,82	106,53	124,24
З	12,84	35,89	65,68	80,56	98,67	117,06
	7	8	9	10	11	12
V , м/с	2,6	3,8	3,2	3,5	3,8	3,5
T_H , °С	20,0	17,8	11,5	3,8	-3,9	-10,2
Q_B , ккал/м ² час						
Ю	111,0	115,47	90,64	50,86	26,86	19,70
С	69,77	49,66	33,14	17,06	7,33	6,01
В	116,43	98,55	62,35	27,50	11,38	8,02
З	109,92	94,78	59,61	27,50	11,38	8,12

Таблица 2

Данные расчета длины отопительного сезона по станции Казань – Университет

Метеорологические элементы	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T_H												
ΔT_H												
ΔT_V												
ΔT_P												
$T_э$												
$\Delta T_э$												
t_1												
t_2												
Δt												

3. ОСАДКИ, ВЫПАДАЮЩИЕ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Дождь с сильным ветром ("косой дождь") вызывает существенное ухудшение санитарно-гигиенических и тепловых условий внутри помещения. Систематическое воздействие косых дождей на стены зданий ухудшает условия эксплуатации, так как чередование увлажнения и высыхания вызывает образование трещин и коррозию стальной арматуры.

За рубежом для оценки условий увлажнения стен здания используется индекс косого дождя (K). Индекс K является условной величиной, характеризующей степень попадания осадков на вертикальные поверхности. Он представляет произведение годовой суммы осадков на среднюю скорость ветра, деленное на 1000:

$$K = \frac{\sum r \cdot \bar{v}}{1000}. \quad (1)$$

Соотношение осадков, приходящихся на горизонтальную и вертикальную поверхности при различных скоростях ветра при дожде, можно выразить эмпирической формулой:

$$Q_B = a Q_G V, \quad (2)$$

где Q_B - осадки (мм), выпадающие на вертикальную поверхность, Q_G - осадки (мм), выпадающие на горизонтальную поверхность, V - скорость (м/с) ветра по флюгеру. Коэффициент a зависит от интенсивности осадков и является величиной обратно пропорциональной скорости равновесного падения дождевых капель (V_p). Коэффициент a меняется в зависимости от времени года и пространства. Экстремальные значения коэффициента a на территории России равны 0,34–0,23, на Дальнем Востоке $a = 0,27$. Величина V_p зависит от размера капель дождя, следовательно, можно установить зависимость между V_p и интенсивностью осадков.

Использование формулы (2) для вычислений включает ошибку, связанную с различием вклада различных скоростей ветра, обуславливающих сумму осадков вертикальных поверхностей, и осредненный коэффициент a в этой

формуле не учитывает спектральные вероятности интенсивности осадков. С целью уточнения результатов вычисления скорости ветра подразделяются на градации: 6-9, 10-14 и ≥ 15 м/с.

Для каждой градации определяется средневзвешенное отношение осадков вертикальной поверхности к горизонтальной и учитываются повторяемости этих градаций, в результате получается формула:

$$Q_B = (1,4 P_1 + 2,4 P_2 + 3,0 P_3) \cdot Q_G, \quad (3)$$

где Q_B - осадки, выпадающие на вертикальную поверхность, Q_G - сумма осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность, P - повторяемости градаций 6-9, 10-14 и ≥ 15 м/с.

При среднесезонном коэффициенте a , равном 0,43, и скорости ветра при дожде коэффициент $K_1 = 1,4$, $K_2 = 2,4$, $K_3 = 3,0$. Количество осадков, выпадающее на вертикальные поверхности, зависит от их ориентации, т.е. пропорционально повторяемости направления ветра. Количество осадков, приходящееся на стену северной ориентации:

$$Q_{B,C} = Q_B \cdot П_C, \quad (4)$$

где Q_B - сумма осадков, выпадающая на наветренные стены сооружения, $П_C$ - повторяемость северных ветров.

Интенсивность промачивания стен и проникание влаги через стыковые швы зависят не только от количества осадков, оседающих на их поверхности, но и от ветрового напора. Для оценки интенсивности промачивания стыковых швов берется величина R , представляющая собою произведение средней за 5 мин. интенсивности дождя (J_B) на ветровой напор, который пропорционален квадрату скорости (V^2) ветра. Теоретически зависимость между J_B и J_G через скорость равновесного падения капель (V_ρ) определяется:

$$J_B = J_G \frac{V}{V_\rho} \quad (5)$$

$$R = J_B V^2 = J_G \frac{V^3}{V_\rho} = a J_G V^3 \quad (6)$$

Установлено, что превышение 100 единиц вызывает просачивание дождя

через стыковые швы и образование влажных пятен внутри помещений. В Европейской части России максимальная интенсивность превышает 2,5 мм/мин. Если при этом наблюдается ветер со скоростью около 7 м/с, то может отмечаться просачивание влаги через стыковые швы в панельных домах.

Задание 1. Определить сумму осадков теплого периода

Дано:

Сумма осадков Q_2 (мм), выпадающих на горизонтальную поверхность, среднемесячные скорости ветра (V) при дожде и среднемесячные величины коэффициента a (табл. 1).

Таблица 1

	Месяцы						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$Q_{Г}$	33	46	59	64	55	57	54
V	4,8	5,1	4,8	4,4	4,2	4,6	5,0
a	0,46	0,46	0,40	0,40	0,41	0,44	0,47
$Q_{В}$							

Требуется:

1. Вычислить месячные суммы осадков $Q_{В}$, приходящиеся на вертикальные поверхности.
2. Определить сезонную сумму осадков $Q_{В}$.
3. Результат оформить в виде таблицы 1.
4. Сделать выводы.

Задание 2. Месячные суммы осадков, выпадающие на вертикальные поверхности с учетом градаций скорости ветра

Дано: Повторяемость различных скоростей ветра (табл. 1), станция Елабуга.

Требуется:

1. Используя данные таблиц 1 (задания 1 и 2 данной главы), вычислить ежемесячные суммы осадков, выпадающие на вертикальные поверхности Q_B по формуле (3) с учетом градации скоростей ветра.
2. Найти сезонную сумму Q_B , сравнить ее с количеством осадков, определенных по формуле (2).
3. Результат оформить в виде таблицы 2. Сделать выводы.

Таблица 1

Повторяемость (%) различных скоростей ветра

Месяцы	V (м/с)			
	1-5	6-9	10-14	≥ 15
IV	65,2	22,4	3,3	0,1
V	64,5	26,3	2,9	0,3
VI	71,7	17,8	1,5	0,0
VII	72,1	17,1	0,8	0,0
VIII	68,2	18,9	0,8	0,05
IX	65,6	24,7	1,5	0,2
X	60,3	29,6	3,8	0,3
ср.	66,8	22,4	2,08	0,136

Таблица 2

Месячные суммы осадков, выпадающие на вертикальные поверхности (Q_B) с учетом градации скоростей ветра

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	сезон
Q_{B1}								
Q_{B2}								
Q_{B3}								
Q_B								

Задание 3. Месячные суммы осадков, выпадающие на различно ориентированные стены с учетом повторяемости направления ветра

Дано: Повторяемость направления ветра на метеостанции (табл. 1).

Таблица 1

Повторяемость (%) направления ветра

Месяцы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
IV	12	9	9	8	15	25	13	9
V	16	13	8	7	11	17	13	15
VI	16	13	8	6	8	18	16	15
VII	18	20	8	6	7	11	12	16
VIII	17	18	12	7	7	13	11	15
IX	14	9	5	9	14	22	16	15
X	10	8	6	5	14	25	17	15

Требуется:

1. Вычислить количество осадков, выпадающих на различно ориентированные стены с учетом повторяемости.
2. Результат оформить в виде таблицы 2.
3. Сделать выводы.

Таблица 2

Сумма осадков Q_v , приходящаяся на различно ориентированные стены

Месяцы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
IV								
V								
VI								
VII								
VIII								
IX								
X								

Задание 4. Интенсивность промачивания стыковых швов

Дано:

Максимальная интенсивность (J_f) осадков для 5- и – минутного интервала времени (мм/мин) и коэффициента a (табл.1).

Требуется:

1. Определить величину R по формуле (6) для станций Татарстана при максимальной интенсивности осадков и скорости ветра, равной 7 м/с.

2. Дать оценку величинам R для различных районов Республики Татарстан.

Таблица 1

	Елабуга	Казань, оп.	Тетюши	Бугульма	Чулпаново
J_G	2,7	2,0	1,7	3,2	2,0
a	0,13	0,14	0,16	0,12	0,14
J_B					
R					

4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА СООРУЖЕНИЯ

Статическая жесткость и другие свойства сооружений подвергаются воздействию погоды. Динамическое воздействие метеорологической среды на сооружения приводит к испытанию ими определенной силы нагрузок, опасных в отношении механического разрушения отдельных его элементов или в целом сооружения.

Важнейшие из метеорологических воздействий введены в строительные нормы и правила в виде «нормированных величин».

Метеорологические нагрузки относят к кратковременным нагрузкам. Важно получить экономически обоснованные нормы нагрузок с оптимальным запасом прочности. Поэтому для выбора нормативных величин нагрузок используется многолетний материал наблюдений, в результате его статистической обработки получают расчетные величины метеорологических характеристик, наблюдаемых раз в 5, 10, 15, 20 лет.

4.1. Ветровые нагрузки

Сооружения, находящиеся на поверхности земли подвергаются воздействиям ветра. Статическая ветровая нагрузка, нормальная к поверхности сооружения, рассчитывается по формуле:

$$Q = c_x q_0, \quad (1)$$

где c_x – аэродинамический коэффициент (коэффициент лобового сопротивления); q_0 – скоростной напор ветра, кгс/м².

Скоростной напор ветра определяется по формуле:

$$q_0 = 1/2 m V^2, \quad (2)$$

где V – скорость ветра (м/с); $m = \rho/g$ – масса воздуха.

При условии $\rho = 1,225$ кг/м³ ($t = 15^\circ\text{C}$, $P = 760$ мм. рт. ст.)

$$q_0 = V^2 / 16. \quad (3)$$

Нормативный ветровой напор на сооружения выше 10 м определяют по формуле

$$q_H^C = K_Z \cdot n \cdot \beta \cdot q_0, \quad (4)$$

где q_0 – нормативный ветровой напор на высоте 10 м, K_Z – коэффициент пересчета ветрового напора с высоты 10 м на другие высоты (табл. 1), n – коэффициент перегрузки, учитывающий запас прочности в зависимости от формы сооружения ($n = 1,3$).

Ветровая нагрузка на здания и сооружения высотой ≥ 40 м определяется как сумма статической (q_H^C) и динамической (q_H^D) составляющих.

Таблица 1

Коэффициенты K_Z

Тип местности	m	Высота над поверхностью земли						
		10	20	40	60	100	200	350 и выше
Отрытая А	0,16	1,0	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1
Защищенная Б	0,22	0,65	0,90	1,2	1,45	1,8	2,45	3,1

Примечание. Тип местности А – степь, пустыня, поле, открытые побережья морей, озер, водохранилищ, Б - города, защищенные массивы, местности, закрытые препятствиями высотой более 10 м, m - степень, характеризующая изменение скорости ветра с высотой в приземном слое атмосферы.

Ветровая нагрузка на высокое сооружение рассчитывается по отдельным участкам в зависимости от направления ветра и формы препятствия, согласно которой изменяются знак и величина аэродинамического коэффициента.

Формула для расчета ветровой нагрузки (кгс/м^2) имеет вид:

$$Q = n \sum C_X K_Z \beta q_0 S, \quad (5)$$

где C_X – аэродинамический коэффициент, S – проекция площади отдельного элемента сооружения на плоскость, перпендикулярную направлению ветра.

Для высоких сооружений с периодом собственных колебаний более 0,25 секунд расчетная ветровая нагрузка должна определяться с учетом динамиче-

ского воздействия пульсаций скоростного напора, вызванного порывами ветра. При этом q_H^C множится на коэффициент β_i , который определяется по таблице.

Коэффициент динамичности β_i изменяется в зависимости от величины скоростного (q_0) напора, от периода собственного колебания (T_i) и логарифмического декремента (δ) колебаний сооружения от 1,2 до 2,8, увеличиваясь с возрастанием T_i и расчетной скорости ветра. Параметр ε_i определяется по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{T_i V}{1200}, \quad (6)$$

где $V = 4\sqrt{nq_0}$ - расчетная скорость ветра в м/сек, n - коэффициент перегрузки.

Нормативное значение динамической составляющей ветровой нагрузки (q_H^D в кгс/м²) для зданий и сооружений с равномерно распределенной массой и постоянной по высоте жесткостью при учете только первой формы собственных колебаний допускается определить по формуле:

$$q_H^D = q_H^C \cdot KV\beta_i m, \quad (7)$$

где q_H^C - нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки на уровне верха сооружений, определяется по формуле:

$$q_H^C = K_z C q_0, \quad (8)$$

K - коэффициент, учитывающий форму собственных колебаний сооружения и характер изменения коэффициента пульсации по высоте (табл. 2), V - коэффициент, учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте к фронту здания или сооружения (табл. 3), m - коэффициент пульсации скоростного напора, определяется для верха сооружения (табл. 4).

Для протяженных в плане зданий величина коэффициента V зависит от соотношения длины (Z) к его высоте (H), от величины ε_i и высоты здания. Он применяется в расчетах динамической составляющей ветровой нагрузки для зданий с высотой ≥ 40 м.

Коэффициент V уменьшается с возрастанием высоты здания, величины

Z/H и ε_i . В отношении параметра ε_i указанная зависимость (6) не выполняется до $H = 50$ м и $Z/H = 0,5$.

Таблица 2

Коэффициент K

	Z/H									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Для сооружений	0,04	0,12	0,23	0,36	0,52	0,69	0,88	1,09	1,32	1,56
Для зданий	0,34	0,52	0,66	0,79	0,90	1,0	1,1	1,19	1,28	1,36

Таблица 3

Коэффициент (V) пространственной корреляции пульсации скорости ветра

ε_i	Высота сооружений, м					
	до 45	60	120	150	300	≥ 450 м
0,05	0	0,65	0,60	0,55	0,45	–
0,1	–	0,75	0,65	0,60	0,50	0,40
0,2	–	–	0,75	0,70	0,60	0,50

H - высота сооружения, здания, Z - расстояние от поверхности земли до рассматриваемого сечения.

Таблица 4

Коэффициенты пульсации скоростного напора ветра (m)

Тип местности	Высота (м), для которой определяется коэффициент пульсации скоростного напора						
	до 10	20	40	60	100	200	350
А	0,60	0,55	0,48	0,46	0,42	0,38	0,35
Б	0,88	0,75	0,65	0,60	0,54	0,46	0,40

Для гибких высоких сооружений цилиндрической формы (дымовые трубы, мачты, башни) кроме расчета на скоростной напор ветра, с учетом его порывов, необходим также поверочный расчет на резонанс, если критическая скорость ветра находится в пределах $2\sqrt{q_0} \leq V_{кр} \leq 25$ м/сек.

Критическая скорость ветра, вызывающая резонансные колебания со-

оружения в направлении, перпендикулярном ветровому потоку, определяется по формуле

$$V_{кр} = \frac{d}{T_i Sh} = \frac{5d}{T_i}, \quad (9)$$

где d - диаметр сооружения в м, T_i - период свободных колебаний сооружений в секундах, Sh - число Струхалия поперечного сечения (для круга $Sh = 0,2$).

Задание 1. Определение скоростного напора по расчетным скоростям ветра

Дано: Расчетные скорости ветра в I и VII климатических районах.

Таблица 1

Расчетные скорости ветра (м/сек) возможные раз в 1, 5, 10, 15, 20 лет

Климатические районы СССР	Число лет				
	1	5	10	15	20
I	17	21	22	23	24
VII	40	47	50	>50	>50

Требуется.

1. Определить величины скоростного напора по формуле (3).
2. Результаты оформить в виде таблицы 2. Сделать выводы.

Таблица 2

Скоростные напоры (кгс/м²), возможные раз в 1, 5, 10, 15, 20 лет

Климатические районы СССР	Число лет				
	1	5	10	15	20
	Скоростные напоры кгс/м ²				
I					
VII					

Задание 2. Определение ветровой нагрузки на сооружения по расчетным скоростям ветра

Дано:

1. Три здания высотой 12, 36 и 60 м, длиной 6, 72 и 60 м соответственно.
2. Аэродинамический коэффициент давления (C) скоростного напора на точку вертикальной поверхности сооружения с подветренной стороны равен $-0,6$, а с наветренной $+0,8$.
3. Скоростные напоры ветра для двух климатических районов (задание 1 табл. 2).

Таблица 1

Статическая составляющая ветровой нагрузки (q^C кгс/м²) на здания с наветренной и подветренной стороны в I и VII климатических районах с различной вероятностью

Климатические районы	Высота зданий H_m K_z C	Наблюдаемая нагрузка (кгс/м ²) 1 раз в число лет					$n' = \frac{q_{20}}{q_5}$	n
		1	5	10	15	20		

Таблица 2

Динамическая составляющая ветровой нагрузки (q^I кгс/м²) на здание с высотой ≥ 40 м в I и VII климатических районах

Климатические районы	Тип местности	Высота здания H	Параметры для вычисления $K V' \beta_i m$	Наблюдаемая нагрузка (кгс/м ²) 1 раз в число лет					$n' = \frac{q_{20}}{q_5}$	
				1	5	10	15	20		

Требуется:

1. Вычислить статическую составляющую ветровой нагрузки (кгс/м²) на вертикальную поверхность 4, 12 и 20-этажных зданий с наветренной и подвет-

ренной стороны в I и VII климатических районах для скоростей ветра с вероятностью 1 раз в 1, 5, 10, 15, 20 лет по формуле (8), используя коэффициент K_Z для крупного города (Б) и для побережья моря (А).

2. Вычислить динамическую составляющую ветровой нагрузки (кгс/м²) по формуле (7) при $Z = H$, $T_i = 0,5$ сек., β_i по $\delta = 0,3$.

3. ε_i вычисляется по формуле (6).

4. Определить суммарную ($q^C + q^D$) ветровую нагрузку для каждого здания.

5. Результат оформить в виде таблиц 1-3.

6. Найти отношение (n') нагрузки наблюдаемой 1 раз в 20 лет к нормативной нагрузке, т.е. к нагрузке, наблюдаемой 1 раз в 5 лет.

7. Дать оценку n' , по сравнению с коэффициентом перегрузки n .

Таблица 3

Ветровая нагрузка на здания с $H \geq 40$ м с учетом динамической составляющей ($q = q^C + q^D$) в I и VII климатических районах

Климатические районы	Тип местности	Наблюдаемая нагрузка (кгс/м ²) 1 раз в число лет					$n' = \frac{q_{20}}{q_5}$	n
		1	5	10	15	20		

Задание 3. Определение ветровой нагрузки на сооружения круговой цилиндрической формы

Дано:

1. Железобетонная башня с диаметром 5 м, высотой (H) 70 м и с периодом собственного колебания (T_i) равным 1 сек.

2. Аэродинамический коэффициент лобового сопротивления (C_X) равен 0,7.

Требуется:

1. Вычислить статическую составляющую ветровой нагрузки (кгс/м^2) по формуле (8) в I и VII климатических районах с вероятностью скоростей 1 раз в 1, 5, 10, 15, 20 лет.
2. Использовать данные таблицы 2 (задание 1) с коэффициентом K_Z для крупного города (Б).
3. Вычислить динамическую составляющую ветровой нагрузки (кгс/м^2) по формуле (7) при $Z=H$, $T_i = 1$ сек, β_i по $\delta = 0,3$, ε_i вычисляется по формуле (6).
4. Определить суммарную ($q_H^c + q_H^d$) ветровую нагрузку.
5. Результат оформить в виде таблиц 1-3 (задание 2).
6. Найти отношение (n') нагрузки наблюдаемой 1 раз в 20 лет к нормативной нагрузке, т.е. к нагрузке, наблюдаемой 1 раз в 5 лет.
7. Дать оценку n' , по сравнению с коэффициентом перегрузки n .

Задание 4. Определение критической скорости ветра

Дано:

Сооружения цилиндрической формы с диаметром (dm) от 0,125 до 20,0 м с периодом возможных собственных колебаний (T_i) каждого из них от 0,3 до 12 сек.

Требуется:

1. Составить таблицу критических скоростей ветра (V_{kpi}), которая определяется по формуле (9) для различных значений d , установив градации диаметра сооружения с шагом до 1 м, удваивая каждое предыдущее значение, до 5 м - через 1 м, до 20 м - через 5 м.
2. Результаты вычислений оформить в виде таблицы 1, где даны градации для периодов собственных колебаний сооружения (T_i).
3. Сделать выводы по результатам расчетов.
4. От чего зависит величина критической скорости ветра?

Критические скорости (м/с) ветра для сооружений круговой цилиндрической формы с различным диаметром и с периодом собственных колебаний

dm	$5dm$	T_i (сек)									
		0,3	0,6	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
0,125											
0,250											
0,500											
1,000											

4.2. Гололёдно-ветровые нагрузки

Для линий связи (ЛС) и линий электропередачи (ЛЭП) большое значение имеет образование различного вида твердых осадков на поверхности провода: гололед (~), иней (_), изморозь (V), смесь.

Образование наледи на проводах может создать помехи или полное нарушение связи. Под действием ветра отяжелевшие провода испытывают вибрации, а при достижении критического веса гололеда на проводах создаются опасные ситуации разрушения ЛС и ЛЭП. В результате таких аварий на некоторых участках ЛС и ЛЭП на длительное время выходят из строя.

При проектировании ЛС и ЛЭП учитываются нагрузки (г/см), связанные с образованием твердых осадков на проводах, и воздействия ветра, наблюдавшиеся с частотой в практически приемлемых пределах.

В прикладной климатологии самым важным всегда является вопрос об определении предельных величин гололедных нагрузок, которые должны быть приняты во внимание при расчетах ЛС и ЛЭП. Превышение их в данном климатическом районе может привести к авариям той или иной интенсивности и содержания, к провисанию, обрыву провода, разрушению опор, поломки каких-либо других вспомогательных частей сооружения.

На уровне 10 м провода диаметром 10 мм могут испытывать нагрузки от

250 г/см в первом районе до 3050 г/см в восьмом районе с вероятностью 1 раз в 10 лет. Во всех случаях используется коэффициент перегрузки 1,3, что примерно соответствует частоте наблюдения гололедных нагрузок 1 раз в 20 лет.

Величина гололедной нагрузки рассчитывается по весу отложения льда на метр провода. Вес гололеда определяется по формуле:

$$P = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\gamma l, \quad (1)$$

где P - вес гололеда в г/м, D - диаметр отложения льда вместе с диаметром провода (мм), d - диаметр провода (мм), γ - плотность отложения льда в г/см³, l - длина провода, равная 1 м.

$$D = 2b + d, \quad (2)$$

где b - толщина стенки гололеда (кругового цилиндра). Подставим формулу (2) в (1) получим:

$$P = \pi b(b+d)\gamma l. \quad (3)$$

Плотность отложения льда для разновидностей: гололеда 0,6 - 0,9, зернистой изморози 0,1 - 0,6, кристаллической 0,01 - 0,08 г/см³. В расчетах наблюдаемая плотность приводится к максимальной ее величине, равной 0,9 г/см³, т.е.:

$$P = \pi b_n(b_n + d) l 0,9. \quad (4)$$

Решая уравнения (1) и (4) относительно b_n , при условии определения веса отложения льда, стенку гололеда можно подсчитать по следующей формуле:

$$b_n = \sqrt{\frac{P}{283} + \frac{d^2}{4}} - \frac{d}{2}, \quad (5)$$

где b_n (см), P (гр/м), d (см).

На метеорологических станциях вес отложения льда не измеряют, а определяют большой (a) и малый (c) диаметры. Эллиптическая форма отложения гололеда приводится к цилиндрической путем замены D^2 в формуле (1) через ac . После ряда преобразований рабочая формула для определения приведенной величины (b_n) толщины стенки гололеда на проводе примет вид:

$$b_n = \frac{1}{2} \sqrt{(ac - d^2) \frac{\gamma'}{\gamma} + d^2} - d. \quad (6)$$

Рабочие формулы для расчета толщины стенки гололеда (7), замерзшего мокрого снега (8), зернистой изморози (9) и кристаллической изморози (10):

$$b_n = 0,5 \sqrt{0,83 \cdot a \cdot c + 0,042} - 0,5 \quad (7)$$

для гололеда $\gamma' = 0,75$ гр/см³.

$$b_n = 0,5 \sqrt{0,22 \cdot a \cdot c + 0,20} - 0,5 \quad (8)$$

для замерзшего мокрого снега $\gamma' = 0,2$ гр/см³.

$$b_n = 0,5 \sqrt{0,11 \cdot a \cdot c + 0,22} - 0,5 \quad (9)$$

для зернистой изморози $\gamma' = 0,1$ гр/см³.

$$b_n = 0,5 \sqrt{0,055 \cdot a \cdot c + 0,236} - 0,5 \quad (10)$$

для кристаллической изморози $\gamma' = 0,05$ гр/см³.

Провода ЛЭП подвешиваются значительно выше уровня гололедного станка, и диаметр провода может быть различным. Нормативный диаметр провода равен 10 мм, а высота подвеса - 10 м. Нормативная толщина стенки гололеда (b_H) определяется по формуле:

$$b_H = K_{bd} \cdot K_{bh} \cdot b_n, \quad (11)$$

где коэффициент K_{bd} является отношением толщины стенки гололеда на проводе с диаметром 10 мм к толщине гололеда на проводе с диаметром 5 мм. K_{bh} – коэффициент, учитывающий изменение метеорологических условий нарастания льда на проводах с высотой.

Произведение двух коэффициентов изменяется от 1,25 (при малых скоростях ветра и больших наростах льда) до 2,48 (при скоростях ветра свыше 16 м/сек и наименьших толщинах стенки гололеда). В СНиПе величина этого коэффициента 1,5.

Ветровая нагрузка на обледеневший провод рассчитывается по формуле:

$$Q = C_x q_0 S = C_x \frac{V^2}{16} S, \quad (1)$$

где C_x – аэродинамический коэффициент сопротивления провода, q_0 – нормативный скоростной напор г/см², V – скорость ветра, наблюдаемая при гололеде, S – площадь осевого сечения обледеневшего провода, она определяется по диаметрам отложения a и c (вместе с проводом) по длине провода l (1 метр) по формуле

$$S = \sqrt{ac}l = Dl . \quad (2)$$

При расчете ветровой нагрузки на провода необходимо размеры отложений на гололедном станке пересчитать на провода воздушных линий, что сводится к пересчету величины D при помощи коэффициента K_{Dhd}

$$K_{Dhd} = \frac{Ddh}{D_0} , \quad (3)$$

где $Ddh = \sqrt{a_1c_1}$ на проводе с диаметром $d = 10$ мм на высоте $h = 10$ м. $D_0 = \sqrt{ac}$ на проводе гололедного станка, коэффициент K_{Dhd} изменяется в зависимости от D_0 и скорости ветра в пределах от 1,70 до 2,80.

Если принять $C_x=1,2$, $K_{Dhd} = 2,0$, то расчетная формула (1) принимает вид:

$$Q = 0,15V^2\sqrt{ac} . \quad (4)$$

Если V (м/с), диаметры отложения на гололедном станке a и c в (мм), то Q выражается в граммах на погонный метр провода.

Результирующая гололедно-ветровая нагрузка на провода воздушных линий равна геометрической сумме двух составляющих вертикальной нагрузки, определяемой весом гололеда и весом провода, и горизонтальной нагрузки, зависящей от воздействия ветра. Формула результирующей нагрузки имеет вид:

$$R = \sqrt{(P_{dh} + p)^2 + Q^2} , \quad (1)$$

где P_{dh} – вес гололеда, приведенный к диаметру провода 10 мм и высоте 10 м, p – вес провода ЛЭП, Q – ветровая нагрузка, R – результирующая нагрузка.

Для приведения веса отложения на гололедном станке к весу на уровне 10 м и диаметру провода 10 мм используется переводный коэффициент K_{pdh}

который изменяется в пределах от 1,7 до 5,6 в зависимости от веса отложения на проводе гололедного станка ρ_0 и расчетной скорости ветра V .

Задание 1. Определение веса гололеда в зависимости от формы поперечного сечения отложения льда на проводе

Дано:

1. Формы поперечного сечения гололеда на проводе, эллипсе, равносоставленном и равнобедренном треугольниках, трапеции с параметрами в таблице 1.
2. Максимальная плотность (γ) гололеда равна 0,9 гр/см³.
3. Диаметр провода (d) 0,5 см, длина (l) 1 м и объем (V) - 20 см³.
4. Нормативная нагрузка гололеда в I климатическом районе - 110 г/м.

Требуется:

1. По данным измерения большого и малого диаметров подсчитать площади ($S_{32}, S_{36}, S_{38}, S_{40}$) и объемы гололеда, приведя указанные выше формы поперечного сечения к форме кругового цилиндра, из предположения равенства $D^2 = ac$, где D - диаметр воображаемого равномерного отложения льда вокруг провода вместе с диаметром провода. Вес гололеда подсчитывается без объема провода.

2. Вес гололеда определяется, исходя из максимально возможной плотности, равной 0,9 гр/см³.

3. Подсчитать площади различных форм поперечных сечений гололедных отложений на проводе по формулам, приведенным в таблице 1, определить объем (V см³) и вес ρ (г/м), предполагая максимальную плотность (γ) равной 0,9 гр/см³.

4. Найти разности между весом, определенным согласно методике и по объемам гололедных образований с поперечным сечением, более точно описывающие их действительные геометрические формы.

5. Установить, какую долю составляют эти разности от наименьшей нор-

мативной нагрузки (СНиП) гололеда, наблюдаемой в I климатическом районе. Результаты оформить в виде таблицы 1.

Задание 2. Определение плотности гололеда по измеренному весу и по рассчитанным объемам

Дано: 1. Станция Казань, опорная, гололед наблюдался 29/X - 4/XI 1966 г. со следующими параметрами:

Диаметр (см)		Вес (P), г/м	Погода	Направление и макс. скорость ветра	Минимальная температура
большой a	малый c				
2,1	1,5	168	ледяной дождь	С - 9 м/с	-11,2°С

2. Длина провода 1 м, диаметр (d) = 0,5 см, объем $V = 20 \text{ см}^3$.

Требуется:

1. Подсчитать объем кругового цилиндра длиной в 1 м из следующих предположений:

а) диаметр (D) его равен большому диаметру гололедного отложения (V_1);

б) диаметр цилиндра равен малому диаметру отложения льда (V_2);

в) $D = ac$ (V_3), 4) $D = \frac{a+c}{2}$ (V_4).

2. Найти объем (V_5) цилиндра как среднее из суммы $V_1 + V_2$.

3. Подсчитать объем отложения льда с эллиптическим поперечным сечением. Подсчеты производятся по формулам, приведенным в табл. 1 задания 1.

4. Определить плотности по известному весу гололеда, выбрать из них наиболее близкие по величине и подсчитать вес гололеда (P , г/м) по формуле (1).

5. По вычисленным весам (P_i) определить нормированную толщину стенки гололеда по формуле (5), где $\gamma = 0,9 \text{ гр/см}^3$. Результаты расчета оформить в виде табл. 1.

Площадь трапеции вычисляется по формуле: $S_5 = \frac{a+b}{2} h$; равносторонне-

го треугольника $S_3 = \frac{1}{4} a^2 \sqrt{3}$; равнобедренного треугольника $S_4 = \frac{1}{2} a \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{4}}$; эллипса $S_2 = \pi a c$; круга $S_1 = \frac{1}{4} \pi D^2$, где $D^2 = ac$, а объем провода длиной в 1 м и диаметром (d) в 5 мм равен 20 см^3 .

Вес гололеда $P_{г/л} = V\gamma$, $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$.

V^* - все объемы гололедных отложений без объема провода.

** - размеры эллипса, равностороннего треугольника с диаметром провода.

Таблица 1

Параметры различных форм поперечного сечения гололеда на проводе

Атлас обле- денения проводов №№ сним- ков	Формы поперечного сечения гололеда на проводе и размеры (см)												
	по мето- дике												
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>2a</i>	<i>2c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>в</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>в</i>	<i>h</i>
	1		2		3			4			5		
	32	2,2	1,0									1,0	0,5
36	2,5	0,6					2,0	0,6	1,9				
38	2,3	1,7			2,5	2,4	2,3						
40	2,7	1,5	2,5	1,4									
Атлас обле- денения проводов №№ сним- ков	Площади поперечного сечения S , м^2 и объемы V^* см^3					Вес гололеда P , г/м					Разность P 1- 2,3,4,5		
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	г/м	% от нор- мативной нагрузки	
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5								
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
	32												
36													
38													
40													

Таблица 1

Плотность гололеда (γ , гр/см³), определенная по весу (P , г/м), измеренному и по рассчитанным объемам

Станция, дата, и параметры гололеда	$S_i = 0,25\pi D_i^2, \quad V_i = S_i l_i, \quad \gamma_i = \frac{168}{V_i}, \quad V_{\text{провода}} = 20 \text{ см}^3$						
	Диаметры поперечного сечения кругового цилиндра (D , см), площади (S_i , см ²), объемы (V_i , см ³) и плотности (γ_i , гр/см ³)						
	$D_1 = aS_1V_1\gamma_1$	$D_1 = cS_2V_2\gamma_2$	$D_3^2 = acS_3V_3\gamma_3$	$D_H = \frac{a+c}{2} S_4V_4\gamma_4$	$\frac{V_1 + V_2}{2} V_5$	γ_5	Эллипс $S_6V_6\gamma_6$
Казань, опорная 29/X-4/XI 1966 г. Гололед	2,1	1,5					
a , см c , см P , г/м 2,1 1,5 168,0							
Ледяной дождь							
Максимальная ско- рость ветра С, 9 м/сек мин. т-ра - 11,2°С							
Расчетный P , г/м							
Нормированная толщина стенки го- лоледа b_n (мм)							

Задание 3. Определение гололёдно-ветровых нагрузок на проводе линий связи и линий электропередач

Дано:

1. Отложения гололеда на ст. Вязовые следующими параметрами:

а) максимальный размер большого диаметра $a = 35$ мм, малого $c = 31$ мм;

б) скорость ветра при достижении отложения максимальных размеров $V = 8$ м/с;

в) максимальная скорость ветра (V) в период обледенения $V = 12$ м/с;

г) размеры отложения гололеда при максимальной скорости ветра $a = 20$ мм, $c = 17$ мм;

д) вес максимального отложения льда на гололедном станке = 304 г/м.

2. Другие данные, необходимые для вычислений:

а) вес провода (P) с диаметром (d) 10 мм равен 200 г/м;

б) коэффициенты $K_{bdh} = 1,77$;

в) коэффициенты K_{pdh} (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты K_{bdh}

Вес гололеда на станке P , г/м	Скорость ветра, м/сек	
	5 – 8	9 – 12
150 - 300	3,2	3,6
300 - 450	2,8	3,2
450 - 600	2,1	2,3
> 600	1,7	1,8

Требуется:

1. По формуле (7) подсчитать толщину стенки (b_n) гололеда на уровне гололедного станка по максимальным размерам, при предположении, что плотность гололеда $\gamma' = 0,75$ г/см³, и определить нормативную толщину стенки гололеда по формуле (11).

2. Вычислить вес гололеда на уровне гололедного станка по формуле (1), предварительно заменив $D^2 = ac$, для условий, заданных в пункте 1 (P_2 , г/м) и 4 (P_3 , г/м) с предполагаемой плотностью, равной $0,75 \text{ г/см}^3$, и привести вес (P_1), измеренный на уровне гололедного станка (пункт 5), вычисленные веса P_2 и P_3 к высоте подвеса 10 м и к диаметру провода 10 мм используя коэффициент K_{pdh} (P_1dh, P_2dh, P_3dh).

3. Вычислить ветровую нагрузку (Q) на обледеневший провод по формуле (4) по условиям, указанным в пунктах 1 - 2 (Q_1) и 3 - 4 (Q_2).

4. Вычислить результирующую гололедно-ветровую нагрузку на ЛЭП по формуле (1) с включением измеренного максимального веса (R_{1dh}) и вычисленным (R_{2dh} и R_{3dh}) при соответствующих скоростях ветра. Результаты вычислений оформить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Результаты вычислений гололедно-ветровой нагрузки на провода ЛС и ЛЭП
(ст. Вязовые, 1958 - 1959)

Максимальные размеры отложения льда ()			Максимальная скорость ветра			Вес провода	Коэффициент для пересчета						
диаметр		м/сек	в период		Макс		P и b на						
большой	малый			обледенения и размеры		вес	=10мм	$h = 10 \text{ м}$					
мм	мм					г/м		cd	$d = 10 \text{ мм}$				
a	c	V	V	a	c	P_1	P	K_{pdh}	$Kbdh$				
35	31	8	12	20	17	304	200						
Вычисленные величины													
Приведенной (b_n) и нормированной толщины (b_H) стенки		Веса (P , г/м), составляющей ветровой нагрузки (Q , г/см), результирующей нагрузки (R , г/см) гололеда на проводе станка и ЛЭП											
b_n мм	b_H мм	P_2	P_3	P_1dh	P_2dh	P_3dh	Q_1	Q_2	R_1dh	R_2dh	R_3dh		

Коэффициент динамичности (β_i)

ε_i	0,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
β_1	1,00	1,15	1,30	1,40	1,50	1,55	1,60	1,70	1,75	1,78	1,80
β_2	1,15	1,35	1,55	1,68	1,80	1,88	1,98	2,05	2,01	2,25	2,30
ε_i	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	
β_1	1,85	1,85	1,88	1,90	1,95	1,98	2,00	2,05	2,10	2,10	
β_2	2,35	2,40	2,48	2,50	2,60	2,65	2,70	2,72	2,75	2,80	

4.3. Нагрузки снежного покрова

Снеговая нагрузка на различного рода покрытия определяется весом снежного покрова на единицу площади. В справочниках по климату содержатся средние многолетние и максимальные запасы воды в снеге. Численно запасы воды в снеге в миллиметрах равны нагрузке в $\text{кг}/\text{м}^2$. Запасы воды в снеге вычисляются умножением высоты снежного покрова на плотность

$$P_0 = \gamma H, \quad (1)$$

где γ - плотность в $\text{г}/\text{см}^3$, H - высота снежного покрова в см, P_0 - нагрузка в $\text{кг}/\text{м}^2$.

В расчетах нагрузок используется максимальная декадная высота снежного покрова, наблюдавшаяся за год с соответствующей плотностью.

Снег, накапливающийся на поверхности сооружений, постепенно уплотняется, в периоды оттепелей тает. Распределение и образование снежного покрова на поверхности сооружений зависит от ветра. Вводится поправка на нагрузки снежного покрова за счет его сноса с поверхности покрытий ветром.

Величина снеговой нагрузки с учетом ветровой поправки определяется по формуле

$$P_0 = P_3 - P_V, \quad (2)$$

где P_3 - вес снежного покрова, образовавшегося за зиму, P_V - вес снега, снесенного с покрытия ветром. Снос снега ветром осуществляется при различных скоростях. Поэтому P_V состоит из количества снега (P_*), который уносится с поверхности покрытий во время выпадения снега сравнительно небольшими скоростями ветра, не менее 4 м/сек и количества снега (P_H), которое уносится большими скоростями, не менее 6,5 м/сек, но без выпадения снега.

На основании наблюдений при метелях получена эмпирическая формула [10] зависимости коэффициента сноса $h' = \frac{P_{vm}}{P_{zm}}$ от скорости ветра во время снегопада (V_*), которая имеет следующий вид:

$$h' = \frac{P_V^A}{P_3} = 0,15 \cdot V_* - 0,39, \quad (3)$$

Для определения P_* необходимо установить количество часов или повторяемость скоростей ≥ 4 м/сек, как отношение к общему числу случаев (Π_*) за период с устойчивым снежным покровом. Тогда коэффициента сноса:

$$h' = (0,15 \cdot V_* - 0,39) \Pi_*. \quad (4)$$

Эмпирическая формула зависимости коэффициента сноса от средней скорости \bar{V} за зиму имеет следующий вид:

$$h'' = 0,13 \bar{V} - 0,24, \quad (5)$$

Формула (5) может быть использована в практических расчетах. Формула для расчета сносимого снега при метелях, без выпадения осадков, имеет вид:

$$P_u = q \Pi_u \tau, \quad (6)$$

где q - средняя интенсивность сноса снега за сутки в кг/м² (таблица 1), Π_u - повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с, τ - продолжительность периода со скоростями ветра ≥ 6 м/сек без снегопада.

На основании (2, 5, 6) рабочая формула для вычисления снеговых нагрузок на покрытия различных сооружений имеет следующий вид:

$$P_0 = (1,24 - 0,13\bar{V})P_3 - q\Pi_u\tau \quad (7)$$

Для определения продолжительности периода τ без снегопадов со скоростями ветра ≥ 6 м/с можно использовать данные продолжительности устойчивого залегания снежного покрова (T) и число дней (n) с осадками за этот период. Тогда продолжительность можно рассчитать так:

$$\tau = T - n - 40, \quad (8)$$

где - 40 учитывает переходные сезоны, когда перенос снега и при скоростях ветра ≥ 6 м/с бывает несущественным.

Таблица 1

Зависимость интенсивности сноса (q кг/м²·сут)
от скорости ветра в периоды без снегопадов

V^B м/с	6	7	8	9	10	11	12	13	14
q	0,0	0,05	0,15	0,25	0,45	0,80	1,3	2,2	3,4

Пересчет веса снежного покрова с горизонтальной поверхности на покрытия, имеющие различный уклон и форму, осуществляется с помощью формулы

$$P_H = c P_0, \quad (9)$$

где P_H - нормативная снеговая нагрузка, c - коэффициент, зависит от технических параметров покрытия, P_0 - снеговая нагрузка на горизонтальную поверхность (кг/м²). Коэффициент перегрузки (n), зависит от отношения нормативного собственного веса покрытия (q) к нормативному весу снеговой нагрузки (P_0).

Таблица 2

Коэффициент перегрузки n

q/P_0			
≥ 1	0,8	0,6	0,4
1,4	1,5	1,55	1,6

В СНиПе поправка на снос снежного покрова ветром вводится через ко-

эффицент c . В зависимости от скорости ветра и крутизны уклона покрытия, несущего нагрузку, он снижается от 10 до 20%.

Для нахождения вероятности периодов любой длины строятся интегральные кривые распределения частот. Интегральная вероятность вычисляется по формуле

$$M = \frac{m - 0,25}{n + 0,50}, \quad (10)$$

где m - порядковый номер члена в ряду, n - длина ряда. $M = T/n$, где T - период повторения, n - число наблюдений в год, в данном случае $n = 1$, т.е. годовые декадные максимумы высот снежного покрова. Повторяемость величин c периодом, равным 2, 5, 10, 20 годам составляет 50, 20, 10, 5%.

Задание 1. Вычисление веса ($\text{кг}/\text{м}^2$) снежного покрова на горизонтальной поверхности, наблюдаемых 1 раз в 2, 5, 10, 20 лет

Дано:

Вес снежного покрова ($\text{кг}/\text{м}^2$) за период с 1940 по 1973 гг. на ст. Казань, опорная, определенная по максимальным декадным высотам (табл. 1).

Таблица 1

Вес снежного покрова (P , $\text{кг}/\text{м}^2$), вычисленный по максимальным декадным высотам снегосъемок на станции Казань, опорная за период с 1940 по 1973 гг.

№№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ГОДЫ	40	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
$\text{кг}/\text{м}^2$	99	120	87	111	84	119	88	79	74	49	89	65	174	84
№№ п/п	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
ГОДЫ	59	66	67	68	69	70	71	72	73					
$\text{кг}/\text{м}^2$	86	125	108	188	129	79	96	66	104					

Требуется:

1. Вычислить интегральную вероятность веса снежного покрова ($\text{кг}/\text{м}^2$) по формуле (10), расположив ряд данных в таблице 1 в возрастающем порядке (m) (табл. 2).

2. Построить интегральную кривую из предположения нормального распределения данного статического ряда и снять с нее вероятности, соответствующие периодам, равным 2, 5, 10, 20 годам. Результат оформить в виде таблицы 3.

Таблица 2

Интегральная вероятность ($M\%$) веса (P , $\text{кг}/\text{м}^2$) снежного покрова на горизонтальную поверхность, ст. Казань, опорная

№№ п/п	Год	P , $\text{кг}/\text{м}^2$	M , %

Таблица 3

Вес снежного покрова ($\text{кг}/\text{м}^2$), наблюдающийся на ст. Казань, Опорная с частотой 1 раз в 2, 5, 10 и 20 лет

Годы	2	5	10	20
$\text{кг}/\text{м}^2$				

Задание 2. Определение снеговой нагрузки ($\text{кг}/\text{м}^2$) на горизонтальную поверхность с учетом сноса в зависимости от скорости ветра

Дано:

Условия снегоотложения на ст. Арск за зимний период:

Дата устойчивого залегания снежного покрова 6/XI - 51г.; дата устойчивого схода снежного покрова 23/IV - 52г.; продолжительность (T) устойчивого

залегания снежного покрова 170 дней; число дней с осадками за период с устойчивым залеганием снежного покрова $n = 64$ дня; средняя скорость ветра за зиму $\bar{V} = 5,3$ м/с; повторяемость ветра $\Pi_u (\geq 6 \text{ м/с}) = 44\%$, средняя скорость $\bar{V}^6 = 8$ м/с; максимальная декадная высота снежного покрова по снегосъемкам на последний день декады равна 55 см с плотностью $\gamma = 0,30 \text{ гр/см}^3$; максимальный вес снегоотложения за зиму $P_3 = 165 \text{ кг/м}^2$.

Требуется:

1. Вычислить нагрузку снежного покрова на горизонтальную поверхность с учетом сноса снега по формуле (7), продолжительность периода со скоростями ≥ 6 м/с без снегопада определяется из условия формулы (8).

2. Дать оценку (в % от P_3) величине снега с поверхности горизонтального покрытия, решая левую (P_{3-V}) составляющую уравнения (7), придавая средней скорости ветра (\bar{V}) за зиму значения от 2 до 6 м/с с шагом через 2 м/с. Результаты вычислений оформить в виде таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Оценка величины сноса снега с поверхности покрытий во время выпадения осадков при различных средних скоростях ветра (\bar{V})

$V, \text{ м/с}$	2	4	6	8
$\frac{P_3 - P_{3-V}}{P_3}$				

Таблица 2

Нагрузка снега ($P_0, \text{ кг/м}^2$) на горизонтальную поверхность на ст. Арск

T	P_3	V	q	Π_u	n	τ	P_0
дни	кг/м ²	м/с	кг/м ² сут	%	дни	дни	кг/м ²

5. МЕТЕЛИ И СНЕГОПЕРЕНОС

Результаты исследований режима метелей и снегопереноса имеет большое теоретическое и практическое значение, необходимы при проектировании автомобильных, железных дорог, населенных пунктов.

Метели вызывают снежные заносы на автомобильных трассах, железных дорогах, взлетно-посадочных полосах, резко снижают работоспособность транспорта, пропускную способность.

Важно изучение метелей и объема переносимого снега и в условиях города. Город является препятствием для развития особо опасных метелей, число их в городе несколько ниже, чем в открытых местах, однако и здесь метели могут ухудшать видимость, заносить снегом трамвайные рельсы, пешеходные дорожки, подходы к зданиям, а также городские участки железных и автомобильных дорог. В результате в городе приходится затрачивать на снегоуборочные работы немалые средства.

Практически используется метод Мельника Д.М., который основан на кубической зависимости скорости ветра (V) на уровне флюгера и интенсивности снегопереноса (J):

$$J = CV^3. \quad (1)$$

Основная масса снега переносится ветром в приземном слое высотой около 2 м. Интенсивность переноса снега определяется как масса его (в граммах), переносимая снегонесущим потоком в единицу времени через сечение, перпендикулярное направлению этого потока и имеющие ширину 1 м и высоту 2 м над поверхностью снежного покрова.

Коэффициент пропорциональности C равен количеству снега, переносимого ветром в 1 м/сек. Интенсивность снегопереноса пропорциональна кинетической энергии ветра:

$$J = K \frac{mV^2}{2}, \quad (2)$$

где K - коэффициент пропорциональности, m - масса воздуха, проходящего через сечение F , перпендикулярное потоку, за единицу времени, V - скорость ветра.

$$m = \rho F V , \quad (3)$$

где ρ - плотность воздуха г/см³, тогда

$$J = \frac{K \rho F V^3}{2} . \quad (4)$$

Если принять $F = 200 \text{ см}^2$ и обозначить $\frac{K \rho F}{2} = C$, то получим

$$J = C V^3 , \quad (5)$$

где $C = 0,0129 \text{ г/см}^3 \text{ мин}$.

Применяя эти расчеты к переносу снега, выраженному в единицах объема на единицу пути (м), единицу времени (час) и плотность снега $\rho = 0,17 \text{ г/см}^3$, получим:

$$C = \frac{0,0129 \cdot 10^2}{0,17 \cdot 10^6} \cdot 60 = 0,00046 \text{ м}^3/\text{пог. м}.$$

Вычисления по формуле Мельника Д.М. можно производить при условии: высота снежного покрова больше 10 см, температура воздуха отрицательная, скорость ветра $6 \leq V \leq 20 \text{ м/с}$.

Коэффициент C найден без разделения метелей на виды. Интенсивность общей (J_O) и низовой метели (J_H) считается одинаковой при одинаковых скоростях ветра. Между тем, при одинаковых скоростях ветра при общих и низовых метелях интенсивности метелей все таки должны различаться. При общих метелях (в отличие от низовых) снегонесущий поток получает питание не только от снежной массы, поднимающейся со снежного покрова, но и от снега, выпадающего из облаков. Вследствие чего коэффициент C_O должен быть больше C_H . С другой стороны, в силу определенных синоптических причин скорость ветра при низовой метели $V_H > V_O$.

В первом приближении можно считать $J_O \approx J_H$ или $C_O V_O^3 = C_H V_H^3$, откуда

$$\frac{C_o}{C_H} = \left(\frac{V_H}{V_o} \right)^3. \quad (6)$$

Установлено, что средние значения скоростей ветра при метелях следующие: $V \approx 11,5$ м/сек, $V_o \approx 10$ м/сек. Подставляя эти величины в формулу (6), получим

$$\frac{C_o}{C_H} \approx \left(\frac{11,5}{10,0} \right)^3 \approx 1,5.$$

Отсюда при низовых метелях C_H уменьшается и становится равной 0,00037, а C_o возрастает до 0,00055.

Объем снега (Q), переносимого во время метели на единицу участка пути, зависит от продолжительности метели τ (часы):

$$Q = J\tau = CV^3\tau \text{ м}^3/\text{пог. м.} \quad (7)$$

Если ветер дует под углом α к объекту, то

$$Q = J\tau \sin \alpha = CV^3\tau \sin \alpha \text{ м}^3/\text{пог. м.} \quad (8)$$

Задание 1. Определение объема снегопереноса

Дано:

1. Средняя многолетняя продолжительность метелей (табл. 1).
2. Вероятность различных скоростей ветра во время метелей (табл. 2).

Требуется:

1. Определить продолжительность метелей с различной градацией скорости ветра.
2. Найти среднемноголетний объем снегопереноса.
3. Результат оформить в таблице 3.
4. Сделать вывод, от чего зависит объем снегопереноса на исследуемых станциях.

Таблица 1

Средняя продолжительность метелей (часы)

Станции		
Агрыз	Мензелинск	Тетюши
297	204	345

Таблица 2

Повторяемость различных скоростей ветра при метелях (%) по РТ

< 6	6-9	10-13	14-17	18-20
3,1	34,4	37,0	20,2	3,4

Таблица 3

Среднемноголетний объем снегопереноса (м³/пог. м. сезон)

	Агрыз	Мензелинск	Тетюши
τ (часы)			
м ³ /пог. м.			

Задание 2. Объем перенесенного снега при различных видах метелей

Дано:

1. Среднемноголетняя продолжительность различных видов метелей на станции Казань, университет (табл. 1).

2. Повторяемость различных градаций скорости ветра при различных видах метелей (табл. 2) на станции Казань, университет.

Требуется:

1. Определить продолжительность различных видов метелей при различных скоростях ветра.

2. Вычислить общий объем перенесенного снега при различных видах метелей, коэффициенты C при низовой метели и поземке равнозначны.

3. Результат оформить в виде таблицы 3. Сделать вывод, при каком виде метели объем снегопереноса наибольший.

Таблица 1

Среднегодовое продолжительность (часы) различных видов метелей

Общая	Низовая	Поземок
159	41	50

Таблица 2

Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра при различных видах метелей

Виды метелей	V, м/сек				
	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
общая	18	46	29	5	2
низовая	17	32	37	12	2
поземок	24	48	23	5	

Таблица 3

Среднегодовой объем снегопереноса при различных видах метелей

	Общая	Низовая	Поземок
C			
τ			
Q			

Задание 3. Определить объем снегопереноса к железнодорожному полотну с южной и северной стороны

Дано:

1. Железнодорожное полотно, направленное с запада на восток.
2. Повторяемость (%) различных направлений ветра при метели (табл. 1) станция Казань, университет.

Таблица 1

Повторяемость (%) различных направлений ветра при метели

Вид метели	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
общая	10	10	3	12	32	18	7	9
низовая	7	10	0	11	30	19	11	12
позе-мок	6	9	1	12	34	23	9	7

Требуется:

1. Определить долю общего объема снегопереноса при различных направлениях ветра для различных видов метелей.
2. Определить общий объем снегопереноса к железнодорожному полотну с южной и северной стороны.
3. Результат оформить в виде таблиц 2, 3.

Таблица 2

Общий объем снегопереноса ($\text{м}^3/\text{пог. м.}$)

Вид метели	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
общая								
низовая								
позе-мок								

Таблица 3

Общий объем снегопереноса ($\text{м}^3/\text{пог. м.}$) к железнодорожному полотну

Направление ветра	Южная	Северная
С		
СВ		
СЗ		
ЮВ		
Ю		
ЮЗ		

ЛИТЕРАТУРА

1. Анапольская Л.Е. Основные принципы климатического районирования для строительства. Л.: Труды ГГО, 1963, вып. 149.
2. Анапольская Л.Е., Гандин Л.С. Метеорологические факторы теплового режима зданий. Л.: Гидрометеиздат, 1973, 225 с.
3. Бёер В. Техническая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1966, 292 с.
4. Бучинский В.Е. Атлас обледенения проводов. Л.: Гидрометеиздат, 1966, 114 с.
5. Гандин Л.С. К теории теплового режима зданий. Л.: Труды ГГО, 1969, вып. 209.
6. Заварина М.В. Строительная климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1976, 314 с.
7. Липовская В.И. Распределение веса снежного покрова на территории СССР. Л.: Труды ГГО, 1967, вып. 210.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1969, вып. 3, часть 1.
9. Пивоварова З.М. Оценка суммарного прихода коротковолновой радиации на стены зданий. Л.: Труды ГГО, 1967, вып. 209.
10. Рекомендации по расчету климатических параметров гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на провода воздушных линий. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 35 с.
11. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. Часть II. М.: Стройиздат, 1976, гл.6.
12. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А, глава 6, Строительная климатология и геофизика СН и П П-А. 6-72. М.: Стройиздат, 1973.
13. Циценко Г.В. Оценка эффективного излучения поверхности наружных стен здания. Л.: Труды ГГО, 1969, вып. 250.

14. Циценко Г.В. Радиационный баланс вертикальных поверхностей здания. Л.: Труды ГГО, 1969, вып. 209.
15. Швер Ц.А. Климатические параметры смачивания стен дождями. Л.: Труды ГГО, 1975, вып. 334.
16. Швер Ц.А. Об оценке смачивания вертикальных поверхностей при косых дождях. Л.: Труды ГГО, 1973, вып. 283.
17. Шталь В.А., Белов Н.Ф., Циценко Г.В. Прикладная климатология. Л.: 1981, 166 с.

Дополнительная литература для самостоятельной работы студента

1. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2003, 470 с.
2. Переведенцев Ю. П. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья. Казань: Казан. федер. ун-т, Центр инновационных технологий, 2011, 295 с.
3. Переведенцев Ю. П. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья. Казань: Казан. федер. ун-т, Центр инновационных технологий, 2011, 295 с. Текст: электронный. – URL: <http://libweb.kpfu.ru/ebooks/publicat/790268.pdf> (дата обращения: 17.03.2020). – Режим доступа: открытый.
4. Пиловец, Г.И. Метеорология и климатология. М.: НИЦ Инфра-М; Минск: Нов. знание, 2013, 399 с. Текст: электронный. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/391608> (дата обращения: 17.03.2020). – Режим доступа: по подписке.
5. Федотова, Е.Л. Прикладные информационные технологии. М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2013, 336 с. Текст: электронный. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/392462> (дата обращения: 17.03.2020). – Режим доступа: по подписке.

6. Шаститко, А.Е. Разработка концептуальных подходов к моделированию результатов гидрометеорологического обеспечения экономической деятельности. М.: МАКС Пресс, 2009, 76 с. Текст: электронный. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/470118> (дата обращения: 17.03.2020). – Режим доступа: по подписке.