

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

Под редакцией В. В. Тура, А. Б. Шурина

ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением в области
строительства и архитектуры Республики Беларусь в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»*

Брест 2022

УДК 624.011/.014(035)
ББК 38.54я 2
В64

Рецензенты:

Декан строительного факультета БНТУ, д. т. н., профессор **С. Н. Леонович**;

Генеральный директор РУП «Институт БелНИИС», к. т. н. **О. Н. Лешкевич**

В64 **Воздействия на строительные конструкции, здания и сооружения** / В. В. Тур, А. Б. Шурин [и др.]; под ред. В. В. Тура, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – 102 с.

ISBN 978-985-493-547-8.

Настоящее пособие составлено сотрудниками кафедр строительных конструкций и технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета в соответствии с требованиями норм, действующих на территории Республики Беларусь по состоянию на 01 января 2022 года.

Пособие предназначено для использования студентами при выполнении курсового и дипломного проектирования по дисциплинам «Металлические конструкции», «Железобетонные и каменные конструкции» и «Конструкции из дерева и пластмасс», а также проектировщиками и научными работниками, занимающимися проектированием и обследованием конструкций зданий и сооружений.

УДК 624.011/.014(035)
ББК 38.5 я 2

ISBN 978-985-493-547-8.

© Коллектив авторов, 2022
© Издательство БрГТУ, 2022

Оглавление

Введение	5
Термины и определения	8
Обозначения	10
Глава 1 Основы проектирования строительных конструкций	11
1.1 Основные требования.....	11
1.2 Принципы проверок предельных состояний	11
1.2.1 Предельные состояния несущей способности.....	12
1.2.2 Предельные состояния эксплуатационной способности.....	12
1.2.3 Методы проверок предельных состояний	12
1.3 Проверки предельных состояний по методу частных коэффициентов.....	13
1.3.1 Классификация воздействий	13
1.3.2 Расчетные значения воздействий.....	13
1.3.3 Свойства материалов и изделий.....	14
1.3.4 Сочетание воздействий для проверок предельных состояний несущей способности (ULS) (за исключением проверок на выносливость).....	14
1.3.5 Надежность и классы последствий.....	16
1.4 Нагрузки и воздействия на строительные конструкции	17
1.4.1 Собственный вес.....	17
1.4.2 Функциональные нагрузки.....	18
1.4.3 Снеговые нагрузки	23
1.4.4 Ветровые воздействия.....	27
1.4.4.1 Аэродинамические коэффициенты давления для зданий	33
1.4.4.2 Вертикальные стены прямоугольных в плане зданий.....	33
1.4.4.3 Внутреннее давление	34
1.5 Предельные состояния эксплуатационной пригодности.....	40
Глава 2 Примеры подсчёта нагрузок на здания	42
2.1 Пример подсчёта нагрузок на одноэтажное производственное здание	42
2.1.1 Исходные данные	42
2.1.2 Определение нагрузок на раму	43
2.1.2.1 Постоянная нагрузка	43
2.1.2.2 Снеговая нагрузка	43
2.1.2.3 Ветровая нагрузка	45
2.1.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности.....	54
2.2 Пример подсчёта нагрузок на арочное сельскохозяйственное здание	55
2.2.1 Исходные данные	55
2.2.2 Определение нагрузок на арку.....	56
2.2.2.1 Постоянная нагрузка	56
2.2.2.2 Снеговая нагрузка	56
2.2.2.3 Ветровая нагрузка	59
2.2.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности	63

2.3 Пример подсчёта нагрузок на двухпролётное сельскохозяйственное здание	65
2.3.1 Исходные данные	65
2.3.2 Определение нагрузок на раму	65
2.3.2.1 Постоянная нагрузка.....	65
2.3.2.2 Снеговая нагрузка	67
2.3.2.3 Ветровая нагрузка	68
2.3.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности.....	76
2.4 Пример подсчёта нагрузок на стропильную систему.....	77
2.4.1 Исходные данные	77
2.4.2 Подсчет нагрузок на обрешётку.....	77
2.4.2.1 Постоянная нагрузка	77
2.4.2.2 Снеговая нагрузка.....	79
2.4.3 Подсчет нагрузок на стропильную систему	79
2.4.3.1 Постоянная нагрузка	79
2.4.3.2 Снеговая нагрузка.....	79
2.4.3.3 Ветровая нагрузка.....	80
2.4.4 Расчетные сочетания нагрузок на обрешётку	83
2.4.5 Расчетные сочетания усилий на обрешётку	85
2.4.6 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок на стропильную ногу для предельных состояний несущей способности	86
2.5 Подсчет расчетных усилий в несущем простенке каменного здания	88
2.5.1 Исходные данные	88
2.5.2 Определение нагрузок на простенок	92
2.5.2.1 Постоянная и переменная (функциональная) нагрузка.....	92
2.5.2.2 Снеговая нагрузка	94
2.5.2.3 Ветровая нагрузка	94
2.5.3 Подсчет вертикальных усилий в рассматриваемом простенке	97
2.5.4 Расчетные сочетания усилий	98
Приложение А Схемы распределения снеговых нагрузок на арочные покрытия (Изменение № 1 к СНиП 2.01.07-85) (<i>рекомендуемое</i>)	100
Список использованных источников	101

Введение

При изучении комплекса дисциплин, включённых в учебные планы инженерно-строительных специальностей, будущий инженер-строитель постоянно, осознанно или неосознанно, сталкивается с воздействиями на строительные конструкции. При этом традиционно воздействия представляют как механические нагрузки. Однако, по мнению проф. А. В. Перельмутера, «понятие нагрузки является удобным способом описания взаимодействия конструкции с окружающей средой, но это не единственная форма такого взаимодействия». Здесь имеется в виду, что, кроме прямых воздействий в виде нагрузок, значительное место в названном взаимодействии занимают непрямые воздействия от вынужденных деформаций, перемещений, эффект от которых играет порой определяющую роль при проектировании и выведении статически неопределимых конструктивных систем. Следует отметить, что при рассмотрении воздействий на элементы конструкций различные дисциплины уделяют этому вопросу довольно ограниченное внимание, не стремясь к изложению материала на основе единого методологического подхода. Так, в курсах «теоретической механики» и «сопротивления материалов» воздействия представляют идеализированным набором физических абстракций (равномерно распределённая нагрузка, сосредоточенная сила, импульсное воздействие, гармоническая осцилляция) без анализа их природы, правил моделирования, в том числе с учётом различных видов изменчивости. Статический подход просматривается и в курсе «строительная механика», в котором основной целью является формулирование законов и правил определения эффектов воздействий (внутренних усилий), опираясь на расчётные схемы элементов конструкций, включающие идеализацию собственно конструкции, граничных условий и действующих нагрузок. При этом нагрузки представляют абстракциями, предполагая, что детальному рассмотрению воздействий будет уделено должное внимание в специальных курсах конструкторских дисциплин. Следует отметить, что в реальном проектировании статические расчётные схемы разрабатывают таким образом, чтобы с одной стороны они наиболее точно и полно отражали фактическую работу конструкции под нагрузкой, а с другой – обеспечивали достижение требуемого уровня надёжности конструктивной системы с учётом неопределённостей принятых расчётных моделей.

Итак, при переходе к реальному проектированию появляется обязательное требование обеспечения заданного уровня надёжности конструктивной системы, да ещё и для установленного срока службы объекта. Данные требования в современном проектировании реализованы в рамках концепции проектирования по предельным состояниям. Здесь моделирование воздействий, эффектов воздействий и их сочетаний приобретает особое значение. В основу действующих норм проектирования положены проверки предельных состояний с применением полувероятностного метода частных коэффициентов. В рамках данного метода все базисные переменные, включенные в модели сопротивлений и эффектов воздействий, определены с учётом их статистической изменчивости, а проверки предельных состояний сведены к детерминистическим неравенствам традиционного вида ($F_d \leq R_d$ или $C_d \leq C_{lim}$), где в левой части неравенства содержатся расчётные значения эффектов воздействий. Таким образом, без правильного и обоснованного моделирования воздействий и их эффектов выполнить проверки предельных состояний не предоставляется возможным. Ошибки, допущенные на стадии определения воздействий и их комбинаций, приводят к отказам, которые могут иметь трагические последствия. И вот, переходя к блоку конструкторских дисциплин («железобетонные и каменные конструкции», «металлические конструкции», «конструкции из дерева и пластмасс»), следовало бы ожидать, что их программы будут содержать разделы, посвящённые как детальному рассмотрению воздействий, так и правилам их применения. Но и здесь нас постигнет разочарование – только очень ограниченные сведения реферативного характера относятся к описанию и нормированию воздействий, а основное внимание курсов сосредоточено на моделировании сопротивлений элементов из определённого материала. Следует подчеркнуть ещё раз – даже самые замечательные решения, описывающие сопротивление, имеющие очень низкие показатели неопределённостей, оказываются беспомощными, если там плохо подсчитаны воздействия и эффекты воздействий. Другими словами, какой толк из этого, что студент прекрасно изучает расчётные модели сопротивления железобетона, метал-

лических или деревянных конструкций, если он не умеет практически собрать нагрузки и определить их эффект? К сожалению, в учебных планах строительных специальностей отсутствует отдельная дисциплина «воздействия на конструктивные системы зданий и сооружений», а выполнять сбор нагрузок будущие специалисты учатся факультативно, либо уже в процессе своей производственной деятельности. Ведь, даже при развитии BIM-технологий, процесс проектирования не может быть реализован без задания или хотя бы проверок исходных данных, относящихся к описанию воздействий. Здесь вряд ли кто-либо будет полагаться на знания компьютера. Проблема усложняется ещё и тем обстоятельством, что в современном обществе постоянно происходит переработка и обновление технических нормативных правовых актов в строительстве. Особенно это относится к нормам, связанным с определением воздействий на строительные конструкции с учётом сформулированной концепции надёжности при проектировании.

В настоящее время в Республике Беларусь активно осуществляются работы, направленные на совершенствование Национального комплекса нормативных правовых актов в строительстве. В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь № 217 от 5 июня 2019 г. «О строительных нормах и правилах» и постановлении Совета Министров Республики Беларусь № 517 от 7 июля 2019 г. «О реализации Указа Президента Республики Беларусь» предполагается развитие, переработка и обновление целого ряда нормативных документов, касающихся проектирования строительных объектов. Создание новой системы технического нормирования в строительстве имеет цель, с одной стороны, упростить процесс строительства, а с другой – конкретизировать и упорядочить требования технических нормативных правовых актов. В соответствии с принятой концепцией проектирования, возведение и эксплуатация строительных сооружений осуществляются на основании Строительных норм (СН), содержащих обязательные для соблюдения требования при проектировании и строительстве, а также Строительные правила (СП), в которые включены добровольные для применения правила. Следует особо подчеркнуть, что требования, относящиеся к назначению воздействий, являются обязательными и включены в блок Строительных норм: СН 2.01.02-2019 [6] (взамен ТКП EN 1991-1-1), СН 2.01.04-2019 [7] (взамен ТКП EN 1991-1-3), СН 2.01.05-2019 [8] (взамен ТКП EN 1991-1-4). Для сравнения, проектирование конструкций включено в блок Строительных правил (например, СП 5.03.01 «Железобетонные конструкции»).

В основу действующих в настоящее время Строительных норм, относящихся к воздействиям, положены хорошо зарекомендовавшие себя действующие ранее ТКП EN 1991 (Еврокод 1) с Национальными приложениями, учитывающими национальные особенности нормирования воздействий. Здесь следует уделить внимание судьбе технических нормативно-правовых актов после их отмены. Действовавшие ранее документы не исчезают, а переходят в разряд научно-технической литературы наравне с методическими указаниями и учебниками, на которые можно далее выполнять ссылки. Следует отметить, что строительные нормы являются документами, содержащими главным образом принципы проектирования и декларативные требования, не подкреплённые практическими примерами. Парадоксальность ситуации заключается ещё и в том, что в настоящее время невозможно найти ни одного комментария или учебного пособия, содержащего примеры определения воздействий на конструктивные системы зданий и сооружений. Вообще, о воздействиях написано крайне мало. Исключения составляют монографии исследователей, посвященные узким вопросам, связанным с определением и нормированием отдельных воздействий, и обстоятельная книга, выпущенная под общей редакцией проф. А. В. Перельмутера «Нагрузки и воздействия на здания и сооружения» [11], разъясняющая принятые подходы к моделированию воздействий. Но и она, представляя большой познавательный-теоретический интерес, мало пригодна для практического проектирования.

Настоящее пособие не является комментарием к действующим нормам, а содержит лишь конкретные выдержки из их различных частей, применяемые при проектировании. Основную ценность данного пособия составляют оригинальные практические примеры, выполняемые в процессе проектирования реальных конструктивных систем. Ряд этих примеров прошли практическую апробацию в проектных организациях и в студенческой аудитории в рамках изданных ранее пособий.

Пособие составлено сотрудниками кафедр строительных конструкций и технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета и предназначено для использования студентами 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» при выполнении курсового и дипломного проектирования по дисциплинам «Металлические конструкции», «Железобетонные и каменные конструкции» и «Конструкции из дерева и пластмасс», а также проектировщиками и научными работниками, занимающимися проектированием и обследованием конструкций зданий и сооружений.

Пособие состоит из двух частей. Первая часть посвящена основам проектирования строительных конструкций в соответствии с требованиями СН 2.01.01 [5] и содержит основные принципы проверок предельных состояний, значения функциональных нагрузок на перекрытия, снеговых и ветровых воздействий.

Во второй части приведены примеры подсчёта нагрузок на одноэтажное производственное здание, однопролетное арочное и двухпролётное сельскохозяйственные здания, на стропильную систему и на кирпичный простенок двухэтажного здания.

Термины и определения

В настоящем пособии применяются термины и определения:

воздействие F (action): а) совокупность сил (нагрузок), приложенных к конструкции (прямое воздействие); б) совокупность вынужденных деформаций или ускорений, вызванных, например, изменениями температуры и влажности, неравномерной осадкой опор или землетрясениями (косвенное воздействие) [5];

эффект воздействия E (effect of action): результат воздействия(-ий) на элементы конструкции (например, внутреннее усилие, момент, напряжение, деформация) или на конструкцию в целом (например, прогиб, поворот, смещение, осадка) [5];

постоянное воздействие G (permanent action): воздействие, значение которого в течение заданного периода времени изменяются незначительно или изменения которого происходят в одном направлении (монотонно возрастают или убывают) до достижения установленного предельного значения [5];

переменное воздействие Q (variable action): воздействие, для которого изменение значения во времени является значительным и не является монотонным [5];

особое воздействие A (accidental action): воздействие значительное по величине, но непродолжительное по времени, которое имеет очень малую вероятность появления в течение проектного срока эксплуатации для данной конструкции [5];

сейсмическое воздействие A_E (seismic action): Воздействие, являющееся результатом землетрясения [5];

геотехническое воздействие (geotechnical action): Воздействие, передаваемое на конструкцию или ее элементы грунтовыми массами или грунтовыми водами [5];

характеристическое значение воздействия F_k (characteristic value of an action): основное репрезентативное значение воздействия [5];

комбинационное значение переменного воздействия $\psi_0 Q_k$ (combination value of a variable action): значение, полученное на основе статистических данных, при условии, что вероятность превышения эффектов от сочетания воздействий примерно равна вероятности превышения характеристического значения отдельного воздействия [5];

частое значение переменного воздействия $\psi_1 Q_k$ (frequent value of a variable action): значение, полученное на основе статистических данных при условии, что общее время, в течение которого оно превышает, является малой заданной частью периода отнесения, или частота его превышения ограничивается заранее заданным значением [5];

практически постоянное значение переменного воздействия $\psi_2 Q_k$ (quasi-permanent value of a variable action): значение, полученное таким образом, чтобы суммарный период времени, в течение которого оно будет превышено, составлял значительную часть периода отнесения [5];

сопутствующее значение переменного воздействия ψQ_k (accompanying value of a variable action): значение переменного воздействия, в сочетании с доминирующим воздействием;

Примечание – Сопутствующим значением переменного воздействия может быть комбинационное, частое или практически постоянное значение.

репрезентативное значение воздействия F_{rep} (representative value of an action): значение, принимаемое для проверки предельного состояния; может быть характеристическим F_k или сопутствующим ψF_k [5].

расчетное значение воздействия F_d (design value of an action): значение, полученное в результате умножения репрезентативного значения на частный коэффициент γ_f [5];

сочетание воздействий (combination of actions): совокупность расчетных значений, используемых при проверках предельных состояний, когда в рассматриваемой расчетной ситуации два и более воздействия действуют одновременно [5];

характеристическое (нормативное) значение снеговой нагрузки на грунт (characteristic value of snow load on the ground): снеговая нагрузка на грунт, определенная с годовой вероятностью превышения 0,02, за исключением чрезвычайных снеговых нагрузок [7];

характеристическое (нормативное) значение снеговой нагрузки на покрытие (кровлю) (characteristic value of snow load on the roof): характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт, умноженное на соответствующие коэффициенты [7];

Примечание — эти коэффициенты следует назначать таким образом, чтобы вероятность появления рассчитанной нагрузки от снега на покрытие (кровлю) не превышала вероятности появления характеристических значений снеговой нагрузки на грунте;

коэффициент формы снеговой нагрузки на покрытии (roof snow load shape coefficient): отношение снеговой нагрузки на покрытии к снеговой нагрузке без заносов на грунте, определенное без учета влияния окружающей среды и температуры [7];

температурный коэффициент (thermal coefficient): коэффициент, определяющий уменьшение снеговой нагрузки на покрытие в зависимости от теплового потока через покрытие, вызывающего таяние снега [7];

коэффициент окружающей среды (exposure coefficient): коэффициент, определяющий уменьшение или увеличение нагрузки на покрытие неотапливаемого здания как части характеристической снеговой нагрузки на грунт [7];

основное значение базовой скорости ветра (fundamental basic wind velocity): скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с учетом высоты над уровнем моря (если требуется), соответствующая 10-минутному интервалу осреднения независимо от направления ветра, с вероятностью превышения 0,02 [8];

базовое значение скорости ветра (basic wind velocity): приведенное основное значение базовой скорости ветра с учетом направления ветра и сезонности [8];

средняя скорость ветра (mean wind velocity): базовое значение скорости ветра, приведенное с учетом показателей шероховатости местности и орографии [8].

Обозначения

В настоящем пособии применяются следующие обозначения:

A – особое воздействие;

A_d – расчетное значение особого воздействия;

F – воздействие;

F_d – расчетное значение воздействия;

F_k – нормативное значение воздействия;

F_w – ветровое воздействие (общее обозначение);

F_{wk} – характеристическое значение ветрового воздействия;

G – постоянное воздействие;

G_d – расчетное значение постоянного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

P – определяющее репрезентативное значение усилия предварительного напряжения (см. EN 1992 – EN 1996 и EN 1998 – EN 1999);

Q – переменное воздействие;

Q_d – расчетное значение переменного воздействия;

Q_k – характеристическое значение отдельного переменного воздействия;

γ – частный коэффициент (безопасности или эксплуатационной пригодности);

γ_{df} – предельное значение ускорения колебаний пролетных строений моста для непосредственно закрепленного пути;

γ_{Gset} – частный коэффициент для постоянных воздействий, связанных с осадкой, учитывающий также неопределенности модели;

γ_F – частный коэффициент для воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных размеров;

γ_G – частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных размеров;

γ_m – частный коэффициент для характеристики свойства материала;

γ_M – частный коэффициент для характеристики свойства материала, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных размеров;

γ_q – частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;

γ_Q – частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных размеров;

γ_{QI} – частный коэффициент для переменного воздействия i ;

γ_{Rd} – частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели сопротивления;

γ_{Sd} – частный коэффициент, учитывающий неопределенность расчетной модели воздействия и/или эффекта воздействия;

Ψ_0 – коэффициент, учитывающий комбинационное значение переменного воздействия;

Ψ_1 – коэффициент, учитывающий частоту повторения переменного воздействия;

Ψ_2 – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия.

Глава 1 Основы проектирования строительных конструкций

1.1 Основные требования

(1) Конструкции и их элементы следует проектировать и изготавливать таким образом, чтобы они в течение **проектного срока эксплуатации с назначенным уровнем надежности** и без необоснованных **экономических затрат**:

– воспринимали все воздействия и влияния окружающей среды (обеспечение несущей способности);

– удовлетворяли установленным требованиям эксплуатационной пригодности (обеспечение эксплуатационной пригодности);

– сохраняли эксплуатационные свойства, не ниже установленного уровня, в результате изменения начальных показателей качества, происходящих в течение проектного срока эксплуатации в результате влияния окружающей среды с учетом предусмотренного уровня технического обслуживания (обеспечение долговечности);

– не получали непропорционально больших повреждений при наступлении особых событий, таких, например, как взрыв, удар, последствия совершенных человеком ошибок (обеспечение живучести) (п. 4.1.1 [5]).

(2) Категории проектного срока эксплуатации приведены в таблице 4.2. (п. 4.3.1 [5]).

Таблица 1.1 (т. 4.2 [5]) – Ориентировочный проектный срок эксплуатации

Категория расчетного срока эксплуатации	Ориентировочный срок эксплуатации, лет	Примеры
1	10	Временные сооружения, имеющие ограниченный срок эксплуатации ¹⁾
2	10 – 25	Заменяемые элементы конструкций зданий и сооружений, например, подкрановые балки, опоры
3	15 – 30	Сельскохозяйственные и подобные им конструкции
4	50	Конструкции зданий и прочие сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации, за исключением отнесенных в настоящей таблице к другим категориям
5	100	Конструкции монументальных и уникальных зданий, мосты и другие инженерные сооружения, выполненные из долговечных строительных материалов

¹⁾ Строительные сооружения или их части, которые могут быть демонтированы для повторного использования, временными не являются.

1.2 Принципы проверок предельных состояний

(1) Различают предельные состояния несущей способности и эксплуатационной пригодности (п. 5.1.1 [5]).

(2) Предельные состояния проверяют в следующих расчетных ситуациях:

– постоянных, относящихся к обычным условиям эксплуатации;

– переходных, относящихся к временным условиям, применимым к конструкции, например в процессе возведения или ремонта;

– особых, относящихся к исключительным условиям, применимым к конструкции или условиям окружающей среды, например, пожар, ударное воздействие или последствия местного разрушения;

– сейсмических, относящихся к условиям, применимым к конструкции, подвергающейся сейсмическим воздействиям;

– применяемых для проверки выносливости при действии многократно повторяющихся

циклических нагрузок (транспортные нагрузки на мосты, колебания дымовых труб, вибрации от оборудования) (п. 5.2.1 [5]).

1.2.1 Предельные состояния несущей способности

(1) К **предельным состояниям несущей способности** относят предельные состояния, касающиеся безопасности людей и/или безопасности конструкций (п. 5.3.1 [5]).

К предельным состояниям несущей способности в некоторых случаях относятся также предельные состояния, касающиеся защиты содержимого, находящегося внутри строительного сооружения.

Состояния, предшествующие разрушению конструкции, для упрощения могут рассматриваться как **предельные состояния несущей способности**.

(2) Подлежат проверке следующие предельные состояния несущей способности:

а) **ЕQU**: потеря устойчивости положения конструкции или любой ее части (потеря статического равновесия);

б) **STR**: разрушение любой формы, чрезмерные деформации конструкции или элементов конструкции, включая фундаменты, сваи, подпорные стенки и т. д., для которых прочность и предельные относительные деформации материалов имеет определяющее значение;

в) **GEO**: разрушение или чрезмерные деформации основания, для которых прочность основания или скальной породы имеет определяющее значение для обеспечения несущей способности конструкции;

г) **FAT**: усталостное разрушение конструкции или элементов конструкции;

д) **UPL**: потеря устойчивости сооружения или основания из-за увеличения давления воды (взвешивающего действия) или других вертикальных воздействий;

е) **HYD**: гидравлический подъем в основании, внутренняя эрозия и образование раковин в грунте, вызванные наличием гидравлических градиентов (п. 5.4.1 [5]).

1.2.2 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

(1) Предельные состояния, относящиеся к:

– функционированию конструкции или элементов конструкции при нормальных условиях эксплуатации;

– комфорту пользователей;

– внешнему виду строительных объектов, классифицируются как **предельные состояния эксплуатационной пригодности** (п. 5.4.1 [5]).

(2) Различают **обратимые** и **необратимые** предельные состояния эксплуатационной пригодности (п. 5.4.2 [5]).

(3) При проверках предельных состояний эксплуатационной пригодности используют следующие критерии:

а) деформации, влияющие на:

– внешний вид строительного объекта;

– комфорт пользователя;

– функционирование конструкций (включая функционирование оборудования, инженерных сетей и обслуживающего персонала);

б) колебания:

– вызывающие дискомфорт для пользователя;

– ограничивающие функциональность конструкции;

в) повреждения, влияющие на:

– внешний вид конструкций;

– долговечность;

– функционирование конструкции (п. 5.4.3 [5]).

1.2.3 Методы проверок предельных состояний

Проверку предельных состояний осуществляют одним из следующих методов:

– вероятностным методом (см. 5.6 [5] и приложение В [5]);

- методом частных коэффициентов (см. раздел 6 [5]);
- методом, основанным на результатах испытаний (см. 5.7 [5] и приложение Г [5]).

1.3 Проверки предельных состояний по методу частных коэффициентов

1.3.1 Классификация воздействий

Воздействия в зависимости от их изменения во времени классифицируются:

- постоянные воздействия G , например, собственный вес конструкций, стационарного оборудования, дорожного покрытия и косвенные воздействия, обусловленные действием усадки и неравномерных осадок;
- переменные воздействия Q , например, функциональные нагрузки на перекрытия зданий, балки и покрытия, ветровые воздействия и снеговые нагрузки;
- особые воздействия A , например, взрывы или удары транспортных средств в элементы здания;
- сейсмические воздействия A_E (п. 6.4.1 [5]).

Классификация нагрузок и воздействий приведена на рисунке 1.1.

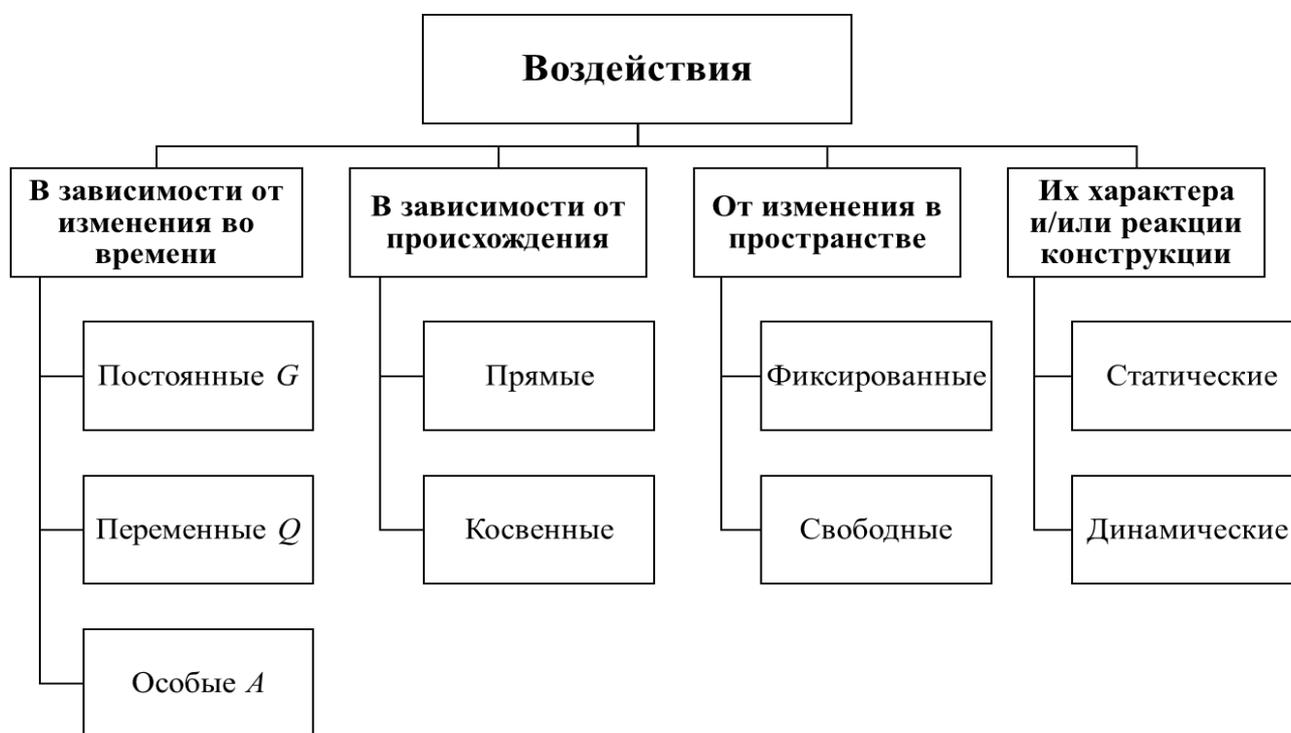


Рисунок 1.1 – Классификация нагрузок по СН 2.01.01 [5]

1.3.2 Расчетные значения воздействий

(1) Расчетное значение F_d воздействия в общем случае определяют по формуле (п. 6.4.4.1 [5]):

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \text{ при } F_{rep} = \psi \cdot F_k, \quad (1.1)$$

где F_k – характеристическое значение воздействия;

F_{rep} – соответствующее репрезентативное значение воздействия;

γ_f – частный коэффициент для воздействия, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;

ψ – коэффициент, равный 1,0 или ψ_0 , ψ_1 или ψ_2 (таблица 1.2).

Таблица 1.2 (т. А.1 [5]) – Значения коэффициентов ψ для зданий

Воздействие	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Функциональные нагрузки для зданий (см. СН 2.01.02)	0,7	0,5	0,3
Категория А: жилые помещения	0,7	0,5	0,3
Категория В: офисные помещения	0,7	0,5	0,3
Категория С: помещения со скоплением людей	0,7	0,7	0,6
Категория D: торговые помещения	0,7	0,7	0,6
Категория Е: складские помещения	1,0	0,9	0,8
Категория F: места с движением транспорта весом до 30 кН включительно	0,7	0,7	0,6
Категория G: места с движением транспорта весом св. 30 кН до 160 кН включительно	0,7	0,5	0,3
Категория H: кровли	0	0	0
Снеговые нагрузки (см. СН 2.01.04)	0,6	0,5	0
Ветровые воздействия (см. СН 2.01.05)	0,6	0,2	0
Температурные воздействия (за исключением пожаров)	0,6	0,5	0

1.3.3 Свойства материалов и изделий

(1) Свойства материалов (включая грунты и скальные породы) или изделий следует описывать их характеристическими значениями (п. 6.6.1.1 [5]).

(2) Если в действующих ТНПА не предусмотрено иное:

– в случае неблагоприятного нижнего значения характеристики свойства материала или изделия, характеристическое значение определяют как 5 %-ный квантиль статистического распределения;

– в случае неблагоприятного верхнего значения характеристики свойства материала или изделия, характеристическое значение определяют как 95 %-ный квантиль статистического распределения (6.6.1.3 [5]).

1.3.4 Сочетание воздействий для проверок предельных состояний несущей способности (ULS) (за исключением проверок на выносливость)

(1) Расчетные значения воздействий (эффектов воздействий) при проверках предельных состояний несущей способности в постоянных и переходных расчетных ситуациях (выражения (1.2) – (1.2б)) следует принимать в соответствии с таблицами 1.3(A) – 1.2(B) [5].

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}; \quad (1.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \end{array} \right. \quad (1.2a) / (1.2б)$$

где "+" – обозначает «следует учитывать в сочетании с»;

Σ – обозначает «суммарный эффект»;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

P – определяющее репрезентативное значение усилия предварительного напряжения;

Q_k – характеристическое значение отдельного переменного воздействия;

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;

γ – частный коэффициент;

ξ – понижающий коэффициент.

(2) Проверки предельных состояний несущей способности при потере статического равновесия (EQU, п. 1.2.1) следует выполнять с использованием расчетных сочетаний воздействий, приведенных в таблице 1.3(A).

(3) Проверки предельных состояний несущей способности элементов конструкций (STR, п. 1.2.1), при которых не учитывают геотехнические воздействия, следует выполнять с использованием расчетных сочетаний воздействий, приведенных в таблице 1.3(Б).

(4) Проверки предельных состояний несущей способности элементов конструкций (фундаменты, сваи, стены подвалов и т. д.) (STR), при которых учитывают геотехнические воздействия и сопротивление грунта (GEO, п. 1.2.1), следует выполнять, используя следующий подход:

– для геотехнических и других воздействий на конструкцию, в том числе воздействий, создаваемых самой конструкцией, выполняют два отдельных расчета с применением расчетных сочетаний воздействий, приведенных в таблицах 1.3(В) и 1.3(Б).

Таблица 1.3(А) (т. А.2(А) [5]) – Расчетные значения воздействий EQU

Постоянная и временная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее воздействие *	Сопутствующие воздействия *	
	неблагоприятные	благоприятные		главное (при наличии)	другое
Формула (1.2)	$k_{FI} \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$k_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	–	$k_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<p><i>Примечание 1</i> – Значениями γ являются:</p> $\gamma_{G,j,sup} = 1,10;$ $\gamma_{G,j,inf} = 0,90;$ $\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях);}$ $\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях).}$ <p><i>Примечание 2</i> – В случаях, когда проверка статического равновесия включает также сопротивление элементов конструкции, необходимо выполнить сочетания для двух отдельных проверок, основанных на использовании данных таблиц А.2(А) и А.2(Б).</p>					
* Переменные воздействия указаны в таблице 1.2.					

Таблица 1.3(Б) (т. А.2(Б) [5]) – Расчетные значения воздействий STR

Постоянная и временная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее воздействие *	Сопутствующие воздействия *	
	неблагоприятные	благоприятные		главное (при наличии)	другое
Формула (1.2а)	$k_{FI} \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$k_{FI} \gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	–	$k_{FI} \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$k_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Формула (1.2б)	$k_{FI} \xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$k_{FI} \gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$k_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,i}$	–	$k_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
* Переменные воздействия приведены в таблице 1.2.					
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В общем случае значения γ и ξ при применении формул (1.2а) и (1.2б):</p> $\gamma_{G,j,sup} = 1,35;$ $\gamma_{G,j,inf} = 1,00;$ $\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях);}$ $\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях);}$ $\xi = 0,85 \text{ (следовательно, } \xi \gamma_{G,j,sup} = 0,85 \cdot 1,35 \cong 1,15).$ <p>Частные коэффициенты γ для вынужденных деформаций принимают по действующим ТНПА.</p> <p>2 В отдельных случаях значения γ_G и γ_Q разделяют на коэффициенты γ_g и γ_q соответственно и коэффициент γ_{Sd}, учитывающий погрешности расчетной модели. Значение коэффициента γ_{Sd} может изменяться от 1,05 до 1,15.</p>					

Окончание таблицы 1.3(Б)

3 В расчетах стальных и железобетонных конструкций принимают в формулах (1.2а) и (1.2б) следующие значения частных коэффициентов:

- для постоянного воздействия:
- от собственного веса конструкций, выполняемых в заводских условиях, $\gamma_{G,sup} = 1,2$;
- от собственного веса конструкций, выполняемых на строительной площадке, $\gamma_{G,sup} = 1,3$;
- для других постоянных воздействий $\gamma_{G,sup} = 1,3$;
- $\xi = 0,85$.
- для постоянного воздействия $\gamma_{G,inf} = 0,9$;
- для функциональной нагрузки $\gamma_Q = 1,4$;
- для снеговой нагрузки $\gamma_Q = 1,6$ при отношении характеристического значения снеговой нагрузки к полной нагрузке на элемент конструкции, включая нагрузку от его собственного веса (более 0,5), и $\gamma_Q = 1,5$ – в других случаях;
- для ветрового воздействия $\gamma_Q = 1,5$.

Таблица 1.3(В) (т. А.2(В) [5]) – Расчетные значения воздействий GEO

Постоянная и временная расчетные ситуации	Постоянные воздействия		Доминирующее воздействие *	Сопутствующие воздействия *	
	неблагоприятные	благоприятные		главное (при наличии)	другое
Формула (1.2)	$k_{FI} \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$k_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$k_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	–
<p><i>Примечание</i> – Набором значений γ является:</p> <p>$\gamma_{G,j,sup} = 1,00$;</p> <p>$\gamma_{G,j,inf} = 1,00$;</p> <p>$\gamma_{Q,1} = 1,30$ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях);</p> <p>$\gamma_{Q,i} = 1,30$ – при неблагоприятных воздействиях (0 – при благоприятных воздействиях).</p>					
* Переменные воздействия указаны в таблице 1.2.					

1.3.5 Надежность и классы последствий

Для дифференциации уровней надежности используют коэффициент k_{FI} , назначаемый в зависимости от класса последствий, связанного с отказом конструктивной системы в целом или ее элементов. Коэффициент k_{FI} применяют только для неблагоприятных воздействий в основных сочетаниях при проверках предельных состояний в постоянных расчетных ситуациях.

Таблица 1.4 (т. В1 [5]) – Определение классов последствий

Класс последствия	Ориентировочная классификация последствий по базовым факторам		Класс сложности по СН 3.02.07-2020 [12]	Значения k_{FI}
	Потеря человеческой жизни или получение травм	Экономические, социальные или экологические последствия		
СС 3	Тяжелые последствия для жизни людей	Очень большие экономические, социальные или экологические последствия	К-1	1,1
СС 2	Последствия средней тяжести для жизни людей	Большие экономические, социальные или экологические последствия	К-2, К-3	1,0
СС 1	Незначительные последствия для жизни людей	Незначительные экономические, социальные или экологические последствия	К-4, К-5	0,9

1.4 Нагрузки и воздействия на строительные конструкции

1.4.1 Собственный вес

(1) Собственный вес конструкции следует классифицировать как постоянное фиксированное (стационарное) воздействие, см. СН 2.01.01 (1.5.3 и 4.1.1) [5].

(2) Номинальные значения объёмных весов строительных материалов и номинальные значения объёмных весов и углов естественного откоса для складированных материалов принимать по приложению А СН 2.01.02 [6] или по таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Номинальные значения объёмных весов строительных материалов

Строительные материалы	Объёмный вес γ , кН/м ³
Бетон:	
Легкий, класс по плотности LC 1,0	9,0–10,0 ^{a),b)}
то же LC 1,2	10,0–12,0 ^{a),b)}
« LC 1,4	12,0–14,0 ^{a),b)}
« LC 1,6	14,0–16,0 ^{a),b)}
« LC 1,8	16,0–18,0 ^{a),b)}
« LC 2,0	18,0–20,0 ^{a),b)}
Нормальный (нормальной плотности)	24,0 ^{a),b)}
Тяжелый	>24,0 ^{a),b)}
Раствор	
Цементный	От 19,0 до 23,0
Гипсовый	От 12,0 до 18,0
Известково-цементный	От 18,0 до 20,0
Известковый	От 12,0 до 18,0
^{a)} Увеличить на 1 кН/м ³ при нормальном проценте армирования в железобетонных и предварительно напряженных конструкциях. ^{b)} Увеличить на 1 кН/м ³ для свежееуложенного бетона.	
Другие материалы	
Алюминий	27,0
Латунь	От 83,0 до 85,0
Бронза	От 83,0 до 85,0
Сталь	От 77,0 до 78,5
Стекло листовое	25,0
Полистирол вспененный и гранулированный	0,3
Шифер	28
Настилы дорожных мостов	
Асфальт литой и асфальтобетон	От 24,0 до 25,0
Мастика	От 18,0 до 22,0
Асфальт горячекатаный	23,0
Складированные материалы	
Гравий и песок сыпучие	От 15,0 до 20,0
Песок	От 14,0 до 19,0
Цемент:	
в насыпном состоянии	16,0
в мешках	15,0
Известь	13,0
Пресная вода	10,0

1.4.2 Функциональные нагрузки

(1) Функциональные нагрузки следует классифицировать как переменные свободные (нестационарные) воздействия, если другое не установлено, см. СН 2.01.01 (1.5.3 и 4.1.1) [5].

(2) При учете функциональных нагрузок, площади в жилых, общественных, коммерческих и административных зданиях должны быть разделены на категории в соответствии со спецификой их использования.

Таблица 1.6 (т. НП 6.1 [6]) – Категории использования

Категория	Функциональное использование	Примеры
1	2	3
А	Жилые площади	А1: Квартиры жилых зданий; спальня помещения дошкольных учреждений и школ-интернатов; жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц; спальни, палаты и приемные покои больниц и санаториев, кухни и туалеты.
		А2: Вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами), примыкающие к помещениям, указанным в позиции А1.
В	Офисные площади, площади в бытовых и технических помещениях	В1: Служебные помещения административного, инженерно-технического, научного персонала, организаций и учреждений; бытовые помещения (гардеробные, душевые, умывальные, туалеты) промышленных предприятий и общественных зданий.
		В2: Кабинеты и лаборатории учреждений здравоохранения, лаборатории образовательных учреждений, научные лаборатории; кухни общественных зданий; помещения учреждений бытового обслуживания населения (парикмахерские, ателье и т. п.).
		В3: Технические помещения жилых и общественных зданий высотой менее 75 м, подвальные помещения.
		В4: Вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами), примыкающие к помещениям, указанным в позициях В1, В2, В3.
С	Площади с возможным скоплением людей (за исключением площадей, определенных категориями А, В и D) ¹⁾	С1: Площади со столами и т. д.
		С1.1 Классные помещения учреждений образования, приемные, регистратуры.
		С1.2 Читальные залы библиотек.
		С1.3 Обеденные, например, в кафе, ресторанах, столовых (обеденных залах).
		С1.4 Вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами), примыкающие к помещениям, указанным в позициях С1.1 – С1.3.
		С2: Площади со стационарно закрепленными сидениями.
С2.1 Помещения театров и кинотеатров, церквей, конференц-залы, лекционные залы, залы собраний, залы ожидания, залы ожидания вокзалов.		

Окончание таблицы 1.6

1	2	3
С	Площади с возможным скоплением людей (за исключением площадей, определенных категориями А, В и D) ¹⁾	С2.2 Вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами), примыкающие к помещениям, указанным в позициях С2.1.
		С3: Площади без преград, препятствующих перемещению людей, например, площади в музеях, выставочных залах, площади общего доступа в административных зданиях, гостиницах, больницах, перроны железнодорожных станций.
		С4: Площади с возможностью использования их для физической активности, например: танцевальные залы, спортивные (гимнастические) залы, фитнес-центры, бильярдные, сцены и примыкающие к ним вестибюли, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходами).
		С5: Площади, на которых допускается большое скопление людей, например, в зданиях для общественных мероприятий, таких как: концертные залы, спортивные залы с трибунами, террасы, зоны доступа и железнодорожные платформы.
D	Торговые площади	D1: Площади в магазинах розничной торговли.
		D2: Площади в торговых домах-маркетах.
¹⁾ Независимо от классификации площадей, следует учитывать динамические эффекты (см. СН 2.01.01) в случаях, в которых предполагается, что появление значительных динамических эффектов вызвано способом эксплуатации здания, в частности в отношении категорий С4 и С5. В случае категории Е см. таблицу 1.8.		
Примечание – В зависимости от предполагаемого применения, площади категории С2, С3, С4 могут быть отнесены к категории С5 на основании решения заказчика.		

(3) При проектировании следует применять характеристические значения q_k (равномерно распределенная нагрузка) и Q_k (сосредоточенная нагрузка) для категорий использования площади, указанных в таблице 1.7.

Для демонстрации наглядности значений (величин) функциональной нагрузки от скопления людей и исключения тем самым интуитивной оценки воздействий, авторами настоящего пособия приведены фотографии людей с разной интенсивностью нагрузки на поверхность лестничной клетки (рисунок 1.2) и плоского перекрытия (рисунок 1.3).

В процессе выполнения фотографии было подтверждено, что уже при интенсивности 4 кН/м² люди размещаются настолько плотно, что не имеют возможности движения, а более 5 кН/м² наблюдается взаимное расталкивание, а на вертикальные стены и ограждения передаются горизонтальные реакции. При нагрузке 6 кН/м² люди, позирующие на фотографии, имели проблемы с сохранением равновесия и должны были обняться для того, чтобы не выпасть из обозначенной области.



1,5 кН/м²



2 кН/м²



3 кН/м²



4 кН/м²



5 кН/м²



6 кН/м²

**Рисунок 1.2 – Значения нагрузок на лестничной марш
во взаимосвязи с интенсивностью толпы на площади 1,44 м² (1,2 x 1,2 м)**



1,5 кН/м²



2 кН/м²



3 кН/м²



4 кН/м²



5 кН/м²



6 кН/м²

Рисунок 1.3 – Значения нагрузок на перекрытие во взаимосвязи с интенсивностью толпы на площади 4 м² (2 x 2 м)

Таблица 1.7 (т. 6.2 [6]) – Функциональные нагрузки на перекрытия, балконы и лестницы в зданиях

Категория нагруженных площадей	q_k , кН/м ²	Q_k , кН
Категория А		
A1: перекрытия	1,5	2,0
балконы, лоджии	3,0	3,0
A2	3,0	3,0
Категория В		
V1: перекрытия	2,0	2,0
балконы, лоджии	2,5	2,5
V2: перекрытия	не менее 2,0	не менее 3,0
балконы, лоджии	2,5	2,5
V3	не менее 2,0	не менее 2,0
V4	3,0	4,5
Категория С		
C1:		
C1.1	2,0	3,0
C1.2	2,0	3,0
C1.3	3,0	4,0
C1.4	4,0	4,0
C2:		
C2.1	4,0	4,0
C2.2	4,0	5,0
C3	не менее 4,0	5,0
C4	4,0	7,0
C5	5,0	7,0
Категория D		
D1	4,0	4,0
D2	не менее 4,0	7,0

Таблица 1.8 (т. НП 6.4 [6]) – Функциональные нагрузки на перекрытия от складирования

Категория нагружаемой площади	q_k , кН/м ²	Q_k , кН
Категория E1		
E1.1: книгохранилища и архивы	7,5	7,0
E1.2: торговые склады	2,4 на каждый метр высоты складирования, но не менее 6,5	7,0
E1.3: производственные и промышленные складские помещения	не менее 6,0	7,0
E1.4: другие хранилища (без указания конкретного назначения)	по техническому заданию на проектирование, но не менее 7,5	7,0
E1.5: архивы, помещения для хранения бумаг в офисных зданиях	5,0	4,5
E1.6: холодильники	5,0 на каждый метр высоты складирования, но не менее 15	9,0

1.4.3 Снеговые нагрузки

(1) Для постоянных/переходных расчетных ситуаций характеристические значения снеговых нагрузок на покрытия следует определять по формуле (п. 5.2(3)Р [7]):

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (1.3)$$

где μ_i – коэффициент формы снеговых нагрузок (см. п. 1.4.3(4), таблица 1.11);

s_k – характеристическое значение снеговых нагрузок на грунт (таблица 1.10);

C_e – коэффициент окружающей среды (см. п. 1.4.3(2), таблица 1.9);

C_t – температурный коэффициент (см. п. 1.4.3(3)).

(2) Значения коэффициента C_e для различных условий местности.

Таблица 1.9 (т. НП.3 [7])

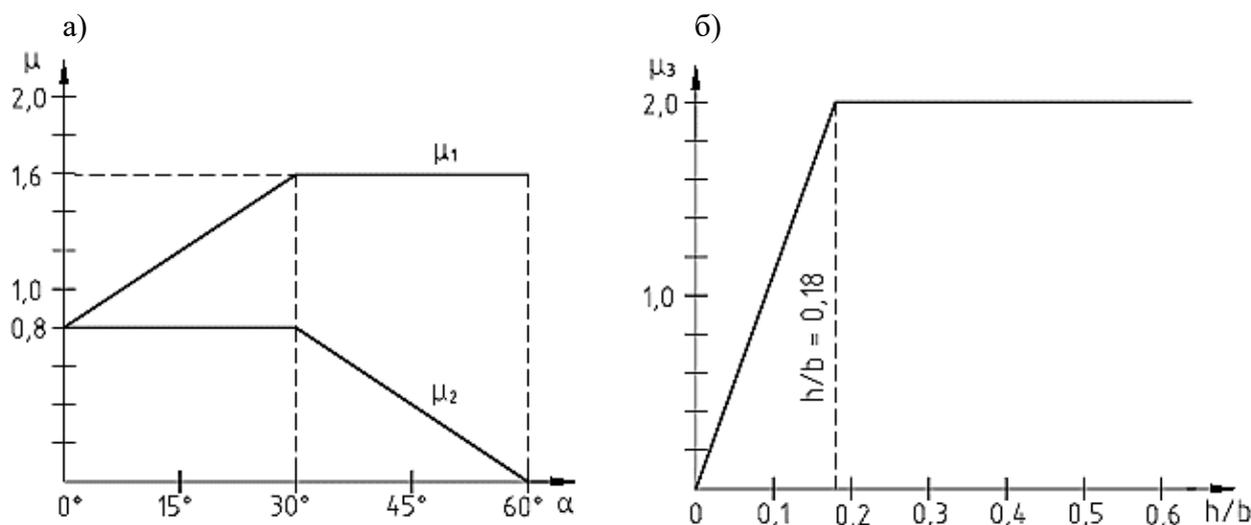
Условия местности	C_e
Не защищенные от ветра: плоские, открытые со всех сторон территории или поверхности, которые незначительно защищены, а также высокие здания или деревья	0,8*
Обычные: территории, на которых не наблюдается существенного перемещения по покрытию сооружения снега при действии ветра, а также с других зданий, сооружений или деревьев	1,0
Закрытые: территории, на которых рассматриваемые сооружения значительно ниже окружающей местности, или конструкции, окруженные высокими деревьями и/или другими высокими сооружениями	1,0

* Для покрытий с наименьшим горизонтальным размером более чем 50 м коэффициент $C_e = 1,0$.

(3) Значение коэффициента C_t допускается снижать на основании более точных исследований в случае незначительной тепловой изоляции конструкции покрытия. При определении снеговых нагрузок для неутепленных покрытий цехов с повышенными тепловыделениями при уклонах кровли свыше 3 % и обеспечении надлежащего отвода талой воды допускается вводить понижающий коэффициент $C_t = 0,8$. В остальных случаях $C_t = 1,0$. При этом нагрузка s_k должна составлять минимум 0,5 кПа (п. 5.2(8) [7]).

(4) Особое внимание следует придавать коэффициентам формы для снеговых нагрузок в случаях, когда внешняя геометрия кровли способствует существенному увеличению снеговой нагрузки по сравнению с прямолинейной формой (п. 5.3.1(2) [7]).

Коэффициенты форм кровли показаны на рисунке 1.4.



а – для односкатных, двускатных и многопролетных двускатных покрытий;

б – для цилиндрических покрытий

Рисунок 1.4 (рис. 5.1 и 5.5 [7]) – Коэффициенты формы снеговых нагрузок

(5) Таблица 1.10 (т. НП.1 [7]) – Характеристические значения снеговой нагрузки на грунт в зависимости от высоты местности над уровнем моря A в метрах

Номер снегового района	Подрайон	Снеговая нагрузка s_k , кПа, для местности с высотой над уровнем моря A , м
1	1 а	$s_k = 1,35^*$
	1 б	$s_k = 1,35 + 2,20 \cdot (A - 155) / 100$
	1 в	$s_k = 1,35 + 0,38 \cdot (A - 140) / 100$
2	2 а	$s_k = 1,45 + 0,60 \cdot (A - 125) / 100$
	2 б	$s_k = 1,45 + 0,60 \cdot (A - 150) / 100$
	2 в	$s_k = 1,45 + 0,60 \cdot (A - 210) / 100, s_k \geq 1,00$
3	3	$s_k = 1,55^*$

* Характеристическое значение нагрузки s_k в данном подрайоне (районе) принимается постоянным.

(6) Карта снеговых районов (рисунок 1.5), смотреть совместно с таблицей 1.10.

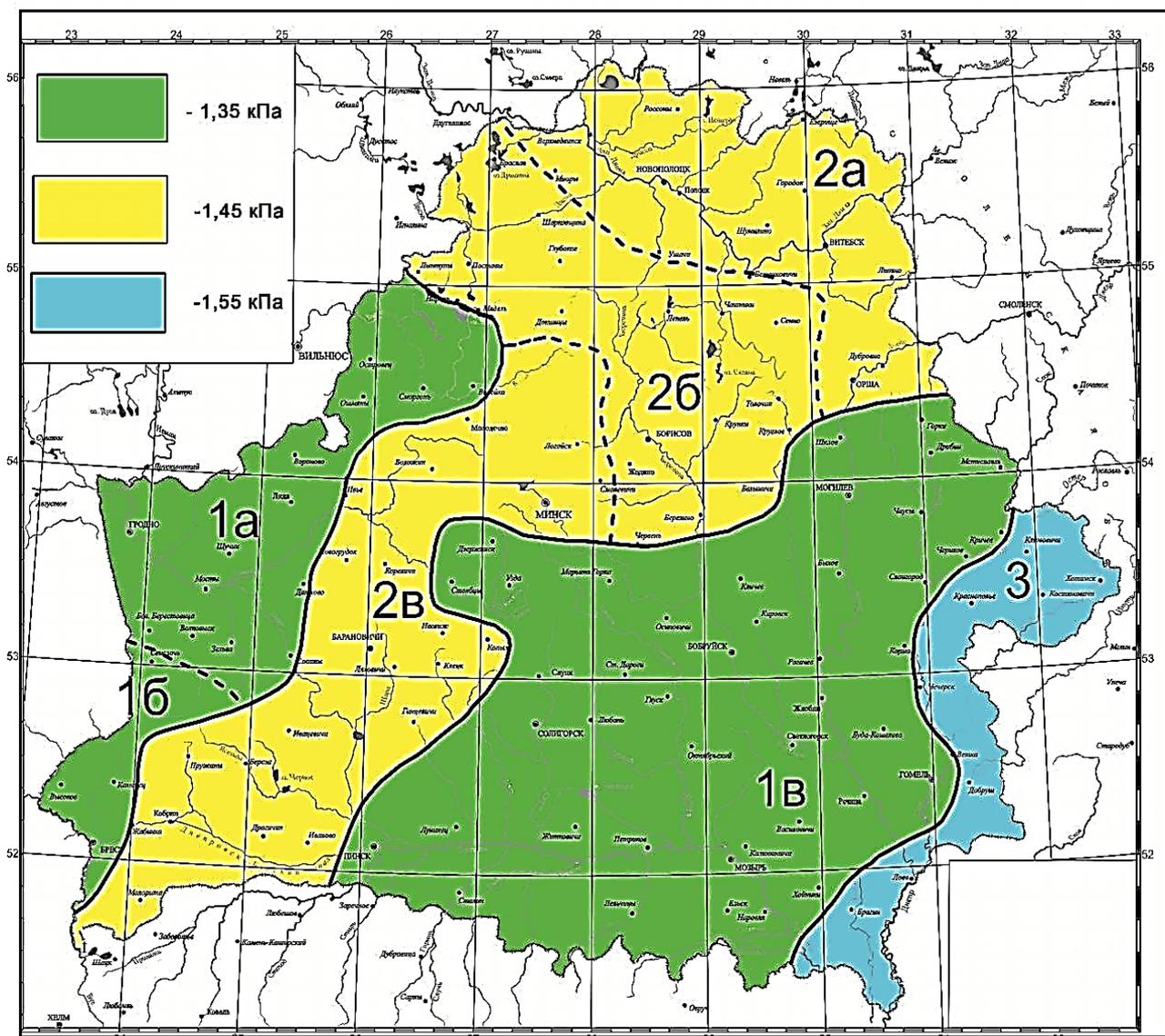
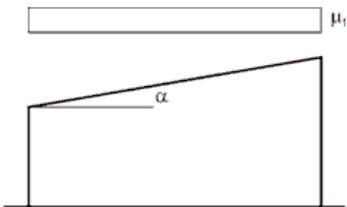
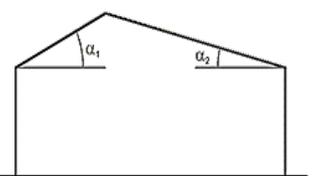
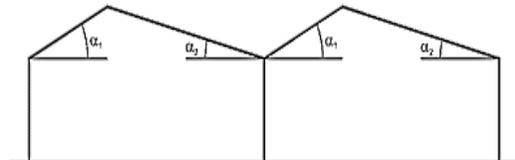
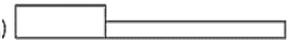
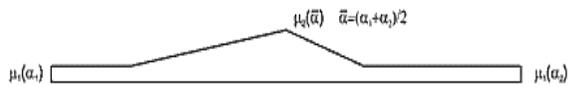


Рисунок 1.5 (рис. НП.1 [7]) – Карта снеговых районов

Таблица 1.11 (п. 5.3 [7]) – Коэффициенты форм покрытия

Профили покрытий и схемы распределения снеговых нагрузок	Коэффициенты μ и область применения схем												
1	2												
<p>Односкатные (а) и двускатные (б) и многопролетные двускатные покрытия (в)</p> <p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>Случай i $\mu_1(\alpha_1)$  $\mu_1(\alpha_2)$</p> <p>Случай ii $0,5\mu_1(\alpha_1)$  $\mu_1(\alpha_2)$</p> <p>Случай iii $\mu_1(\alpha_1)$  $0,5\mu_1(\alpha_2)$</p> <p>Случай i  $\mu_1(\alpha_1)$ $\mu_1(\alpha_2)$ $\mu_1(\alpha_1)$ $\mu_1(\alpha_2)$</p> <p>Случай ii  $\mu_1(\alpha_1)$ $\mu_1(\bar{\alpha})$ $\bar{\alpha} = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$ $\mu_1(\alpha_2)$</p>	<table border="1" data-bbox="1137 422 1892 614"> <thead> <tr> <th data-bbox="1137 422 1332 526">Угол наклона односкатной кровли</th> <th data-bbox="1332 422 1556 526">$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$</th> <th data-bbox="1556 422 1769 526">$30^\circ < \alpha < 60^\circ$</th> <th data-bbox="1769 422 1892 526">$\alpha \geq 60^\circ$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1137 526 1332 574">μ_1</td> <td data-bbox="1332 526 1556 574">0,8</td> <td data-bbox="1556 526 1769 574">$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$</td> <td data-bbox="1769 526 1892 574">0,0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1137 574 1332 614">μ_2</td> <td data-bbox="1332 574 1556 614">$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$</td> <td data-bbox="1556 574 1769 614">1,6</td> <td data-bbox="1769 574 1892 614">–</td> </tr> </tbody> </table> <p>Значения коэффициентов μ_i применимы в случае, когда снег беспрепятственно соскальзывает с покрытия. При наличии на кровле снегоудерживающих заграждений, других элементов кровельных сооружений или когда нижний край ската покрытия заканчивается парапетом, коэффициент формы должен быть не менее 0,8.</p> <p>Схема распределения нагрузок (профиль а) распространяется на распределения (схемы приложения) нагрузки как без снеговых заносов, так и со снеговыми заносами.</p> <p>Схема распределения снеговых нагрузок (профиль б) без учета заноса снега соответствует случаю i, с учетом заноса снега – случаям ii и iii, кроме установленных для локальных условий.</p> <p>Схема распределения снеговых нагрузок (профиль в) без учета заноса снега соответствует случаю i, с учетом заноса снега – случаю ii.</p>	Угол наклона односкатной кровли	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$	μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0	μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	–
Угол наклона односкатной кровли	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$										
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0										
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	–										

Окончание таблицы 1.11

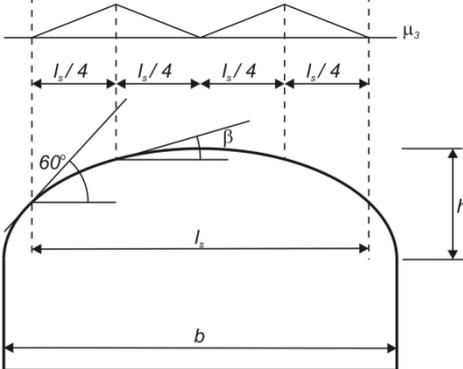
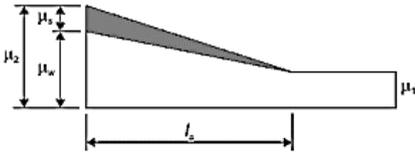
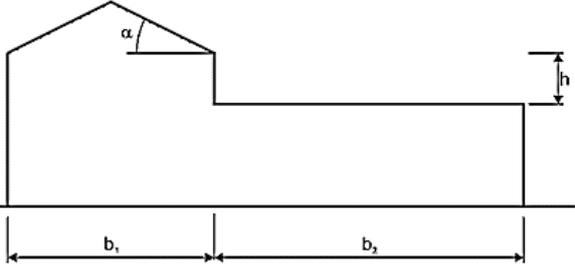
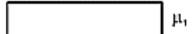
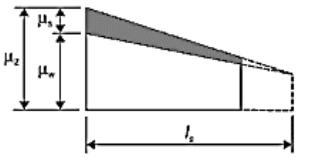
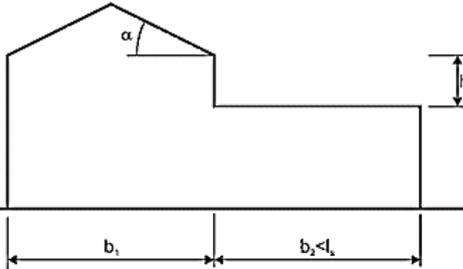
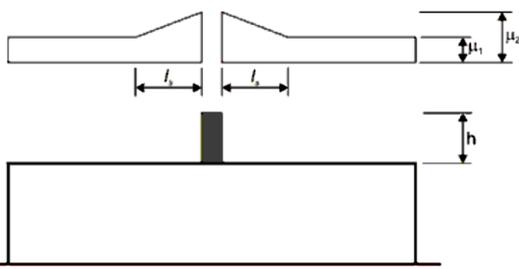
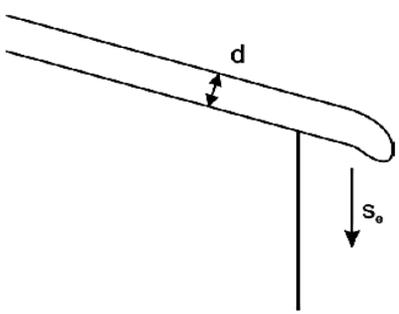
1	2
<p>Цилиндрические покрытия</p> <p>Случай I </p> <p>Случай II </p>	<p>Коэффициенты формы снеговых нагрузок, которые должны использоваться для цилиндрических покрытий (сводчатых или близких к ним) при отсутствии снегоудерживающих заграждений:</p> <p>для $\beta > 60^\circ$ $\mu_3 = 0$; для $\beta \leq 60^\circ$ $\mu_3 = 0,2 + 10 h/b \leq 2,0$.</p> <p>Схема распределения нагрузок без учета заносов, которую следует использовать при расчетах – случай I. Схема распределения нагрузок с учетом заносов, которую следует использовать при расчетах – случай II.</p>
<p>Покрытие здания, примыкающего к более высокому сооружению (покрытия зданий с перепадами высот)</p> <p>Случай I </p> <p>Случай II </p> <p></p> <p>Случай I </p> <p>Случай II </p> <p></p>	<p>$\mu_1 = 0,8$ при условии, что нижняя кровля плоская;</p> <p>$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$,</p> <p>где μ_s – коэффициент формы снеговой нагрузки, учитывающий соскальзывание (снос) снега с более высокого покрытия: для $\alpha \leq 15^\circ$, $\mu_s = 0$; для $\alpha > 15^\circ$ μ_s определяют из дополнительной нагрузки, составляющей 50 % от максимальной снеговой нагрузки, на уклоне верхней поверхности кровли согласно профилю б;</p> <p>μ_w – коэффициент формы снеговой нагрузки, учитывающей влияние ветра:</p> <p>$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma h/s_k$,</p> <p>здесь γ – удельный вес снега, который допускается принимать 2 кН/м^2.</p> <p>Диапазон значений коэффициента μ_w: $0,8 \leq \mu_w \leq 2,5$, если площадь нижележащего покрытия не менее 6 м^2; $0,8 \leq \mu_w \leq 1,5$, если площадь нижележащего покрытия равна 2 м^2; $\mu_w = 0,8$, если площадь нижележащего покрытия не более 1 м^2.</p> <p>Для промежуточных площадей при площади нижележащего покрытия менее 6 м^2 верхний предел значения коэффициента μ_w допускается определять по линейной интерполяции. Длина заноса определяется $l_s = 2h$. Ограничение для l_s следует принимать в пределах $2 \text{ м} \leq l_s \leq 6 \text{ м}$.</p> <p>Схема распределения снеговых нагрузок без учета заноса снега соответствует случаю I, с учетом заноса снега – случаю II, кроме установленных для локальных условий.</p>

Таблица 1.12 (п. 6 [7]) – Локальные эффекты

Наименование локального эффекта и схемы распределения снеговых нагрузок	Коэффициенты μ и область применения схем
<p>Скопление снега у надстроек и заграждений</p> 	<p>$\mu_1 = 0,8$; $\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k$, с ограничением $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$, здесь γ – удельный вес снега, который допускается принимать 2 кН/м^2. $l_s = 2h$, ограничение для l_s следует принимать в пределах $2 \text{ м} \leq l_s \leq 6 \text{ м}$.</p>
<p>Нависание снега на краю ската покрытия</p> 	<p>$s_e = k \cdot s^2 / \gamma$, где s_e – снеговые нагрузки на метр длины, вызванные свисанием снега; s – снеговые нагрузки на кровлю; γ – удельный вес снега, который для данного расчета допускается принимать равным $3,0 \text{ кН/м}^3$; k – коэффициент, учитывающий неравномерность формы свисания снега. Значение коэффициента k следует принимать $k = 3/d$, но $k \leq d\gamma$, где d – толщина снежного слоя на крыше в метрах.</p>
<p>Снеговые нагрузки на снегоудерживающих заграждениях и других преградах</p>	<p>$F_s = s \cdot b \cdot \sin \alpha$, где s – снеговые нагрузки на кровлю при самом неблагоприятном расчетном случае снеговых нагрузок без учета заноса, который может возникнуть на поверхности кровли, с которой происходит обрушение снега; b – горизонтальное расстояние от снегоудерживающей решетки или надстройки до следующей решетки или до конька; α – уклон кровли, измеренный относительно горизонтали.</p>

1.4.4 Ветровые воздействия

(1) Базовое значение скорости ветра

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (1.4)$$

где v_b – базовая скорость ветра, определяемая как функция направления ветра и времени года, на высоте 10 м над уровнем земли для типа местности II;

$v_{b,0}$ – основное значение базово скорости ветра (рисунок 1.6);

c_{dir} – коэффициент, учитывающий направление ветра (таблица 1.13);

c_{season} – сезонный коэффициент, рекомендуемое значение $c_{season} = 1,0$.

(2) Значения коэффициента, учитывающего направление ветра c_{dir} для климатических условий Республики Беларусь, приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 (т. НП.1.1 [8]) – Значения коэффициента c_{dir}

Сектор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Направление, град.	346-15	16-45	46-75	76-105	106-135	136-165	166-195	196-225	226-255	256-285	286-315	316-345
c_{dir}^i	0,80	0,71	0,78	0,78	0,79	0,84	0,76	0,77	0,95	1,00	0,94	0,96

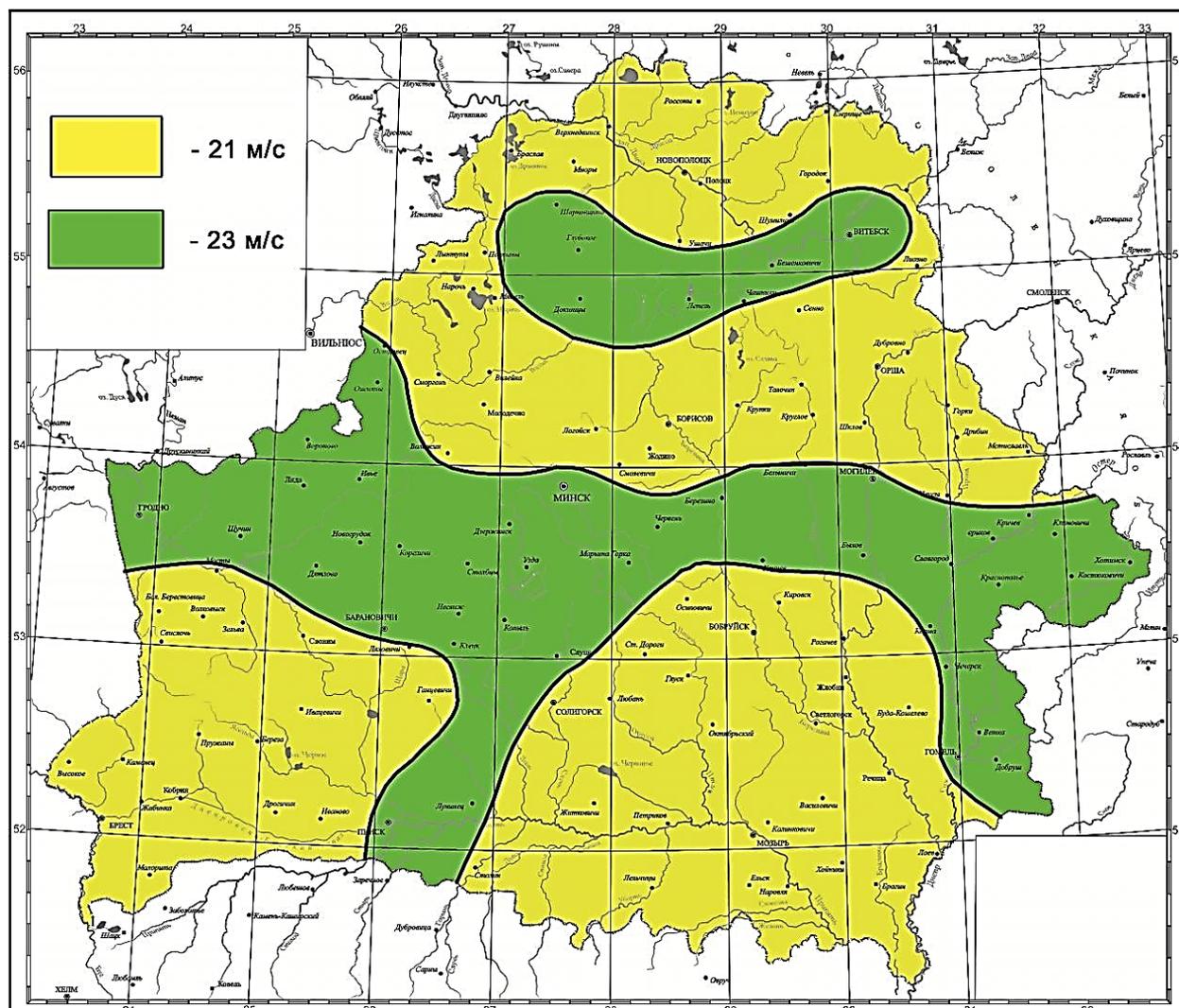


Рисунок 1.6 (рис. НП.1 [8]) – Карта ветровых районов и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра $v_{b,0}$ (м/с)

(3) Средняя скорость ветра $v_m(z)$ на высоте z над уровнем земли зависит от шероховатости местности, орографии и базового значения скорости ветра v_b . Она равна

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b, \quad (1.5)$$

где $c_r(z)$ – коэффициент, учитывающий тип местности в соответствии с 1.4.4 (4);

$c_o(z)$ – орографический коэффициент по 1.4.4 (5).

(4) Коэффициент, учитывающий тип местности $c_r(z)$, определяет изменчивость средней скорости ветра $v_m(z)$ в месте расположения сооружения в зависимости от:

- высоты над уровнем земли;
- шероховатости местности с наветренной стороны сооружения для рассматриваемого направления ветра (формулы 1.6а и 1.6б):

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; \quad (1.6a)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ для } z \leq z_{\min}, \quad (1.6b)$$

где z_0 – параметр шероховатости (таблица 1.14);

k_r – коэффициент местности, зависящий от параметра шероховатости z_0 , находим по формуле

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}}\right)^{0,07}, \quad (1.7)$$

здесь $z_{0,ji} = 0,05$ м (тип местности II, таблица 1.14);

z_{\min} – минимальная высота (таблица 1.14);

$z_{\max} = 200$ м.

Таблица 1.14 (т. 4.1 [8]) – Типы местности и параметры шероховатости

Тип местности	$z_0, \text{М}$	$z_{\min}, \text{М}$
0 моря или открытые побережья морей	0,003	1
I озера или плоская местность с незначительной растительностью без препятствий	0,01	1
II открытая местность с низкой, как трава, растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот	0,05	2
III местность с равномерной растительностью или зданиями, или преградами, расстояние между которыми не превышает 20 их высот (типа деревень, пригородных зон, протяженных лесных массивов)	0,3	3
IV территорий, в пределах которых, по крайней мере, 15 % поверхности покрыто зданиями, высота которых превышает 15 м	1	10

(5) Для определения интенсивности турбулентности $I_v(z)$ рекомендуется использовать формулы 1.8а и 1.8б

$$I_v(z) = \frac{k_i}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \text{ для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; \quad (1.8a)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \text{ для } z \leq z_{\min}, \quad (1.8b)$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_o – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° , тогда $c_o = 1,0$;

z_0 – параметр шероховатости (таблица 1.14).

(6) Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ определяем по 1.9

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b, \quad (1.9)$$

где ρ – плотность воздуха, определяемая в зависимости от высотной отметки местности, температуры и барометрического давления в соответствующем регионе при штормовом ветре (рекомендуемое значение $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$);

$c_e(z)$ – коэффициент экспозиции (рисунок 1.7);

q_b – базовое значение скоростного напора ветра, определяемое по формуле 1.10

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2. \quad (1.10)$$

(7) Значение конструкционного коэффициента c_s, c_d следует принимать по графикам, приведенным на рисунках 1.8 и 1.9 для криволинейной зависимости, соответствующей ближайшему большему значению коэффициента.

(8) Характеристическое значение ветрового усилия F_w , действующего на конструкцию или конструктивный элемент, может быть определено по формуле 1.11:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (1.11)$$

или векторным сложением (суммированием) ветровых усилий, действующих на отдельные конструктивные элементы:

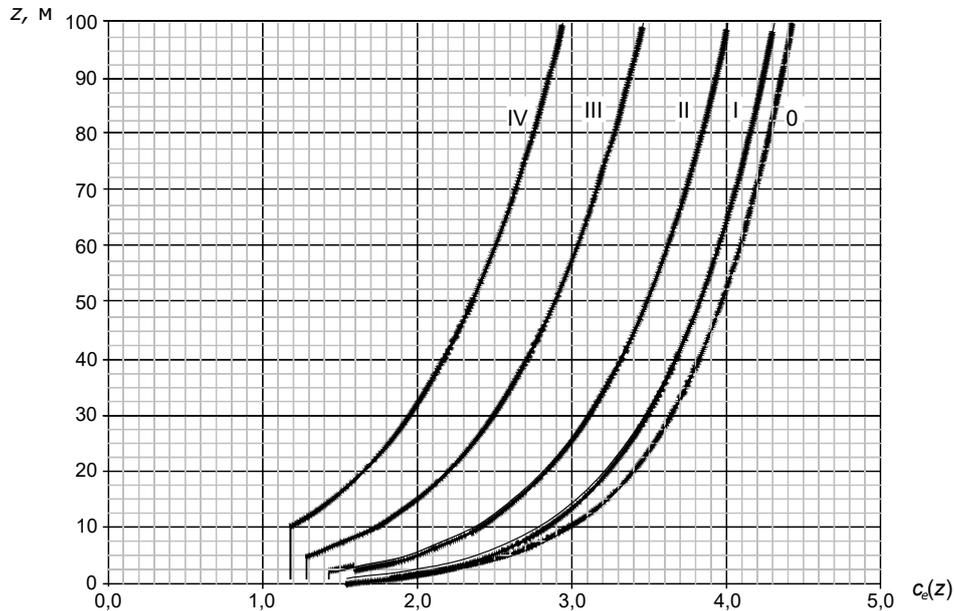


Рисунок 1.7 (рис. 4.2 [8]) – Графическое представление коэффициента экспозиции $c_e(z)$ при $c_o = 1,0$, $k_i = 1,0$

$$F_{w,j} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{элементы}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (1.12)$$

Ветровое усилие F_w также может быть определено векторным сложением сил $F_{w,e}$, действующих на внешнюю (наружную) поверхность здания, $F_{w,i}$, действующих на внутреннюю поверхность здания, и силы трения F_{fr} .

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{поверхность}} w_e A_{ref}; \quad F_{w,i} = \sum_{\text{поверхность}} w_i \cdot A_{ref}; \quad F_{fr,i} = c_{fr,i} \cdot q_p(z_e)_i \cdot A_{ref}, \quad (1.13)$$

где $c_s c_d$ – конструкционный коэффициент, допускается определять:

- для здания высотой $h < 15$ м допускается принимать $c_s c_d = 1$;
- для фасадов и элементов покрытия, имеющих собственную частоту колебаний более 5 Гц, допускается принимать $c_s c_d = 1$;
- для каркасных зданий, которые имеют несущие стены и высота которых менее 100 м и не превышает четырехкратного размера здания по нормали к направлению действия ветра, допускается принимать $c_s c_d = 1$.

w_e , w_i – ветровое давление, приложенное к внешним (наружным) и внутренним поверхностям конструкций зданий соответственно:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}, \quad (1.14 / 1.15)$$

здесь c_{pe} , c_{pi} – аэродинамический коэффициент внешнего и внутреннего давления;

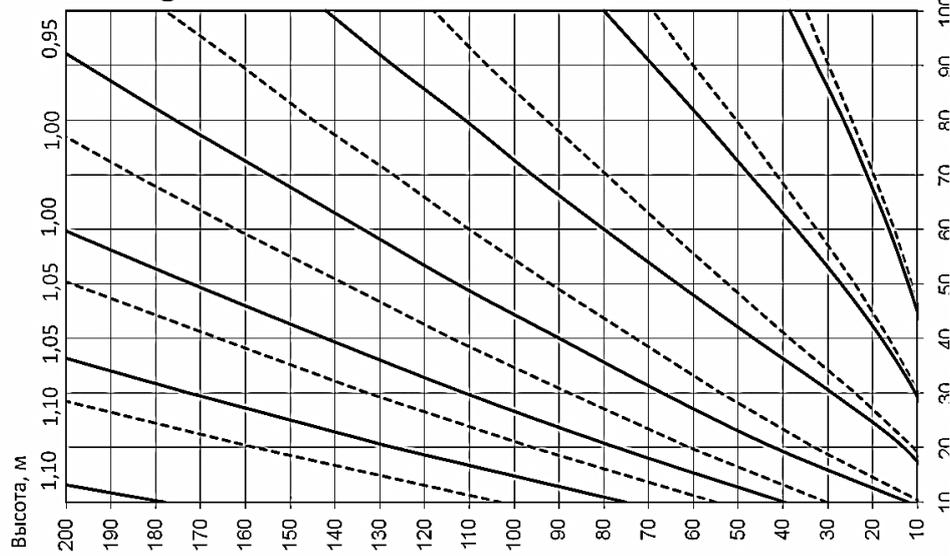
z_e , z_i – базовая высота для внешнего и внутреннего давления;

c_f – аэродинамический коэффициент усилия для конструкции или конструктивного элемента;

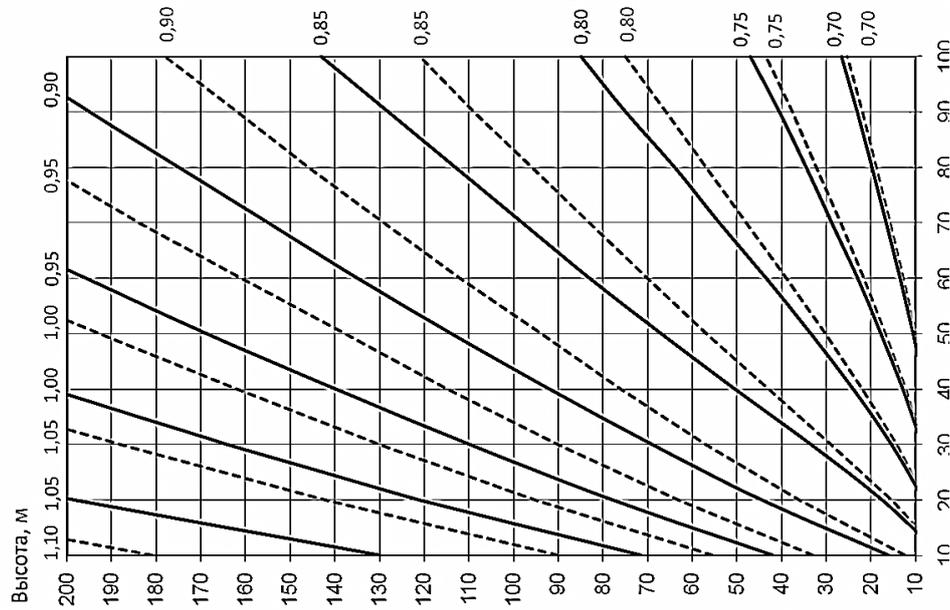
A_{ref} – базовая площадь конструкции или конструктивного элемента, к которым приложено ветровое давление.

(9) Значение конструкционного коэффициента $c_s c_d$ следует принимать по графикам, приведенным на рисунках 1.8 и 1.9 для криволинейной зависимости, соответствующей ближайшему большему значению коэффициента.

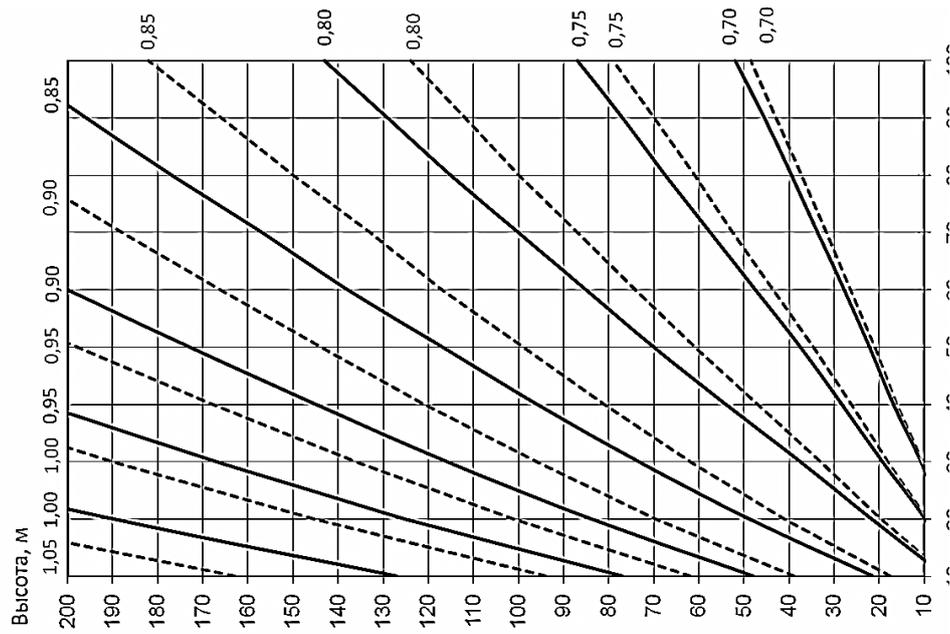
а)



б)



в)

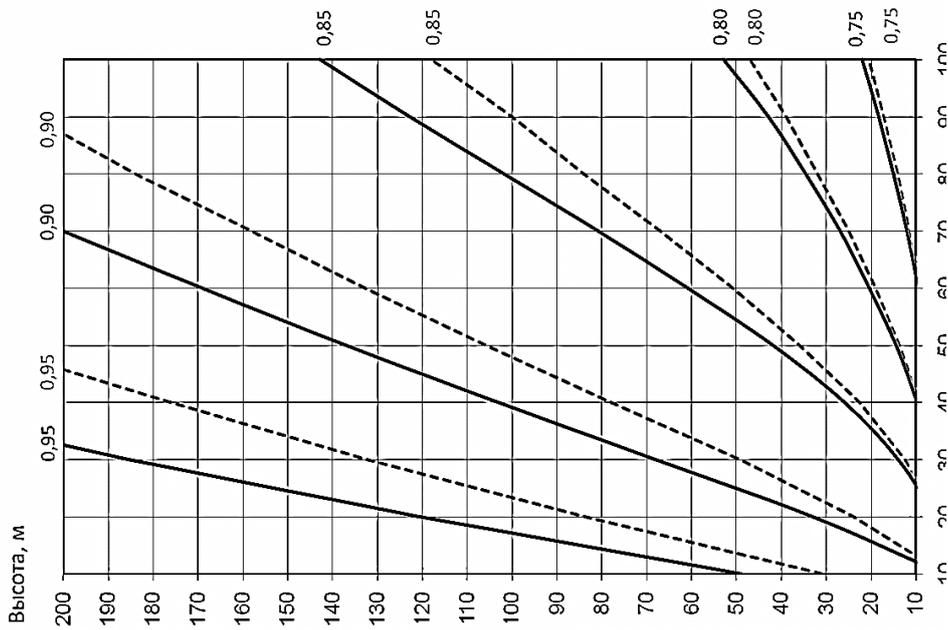


$\delta_s = 0,05$; $v_{b,0} = 21$ м/с (сплошная линия); $v_{b,0} = 23$ м/с (пунктирная линия)

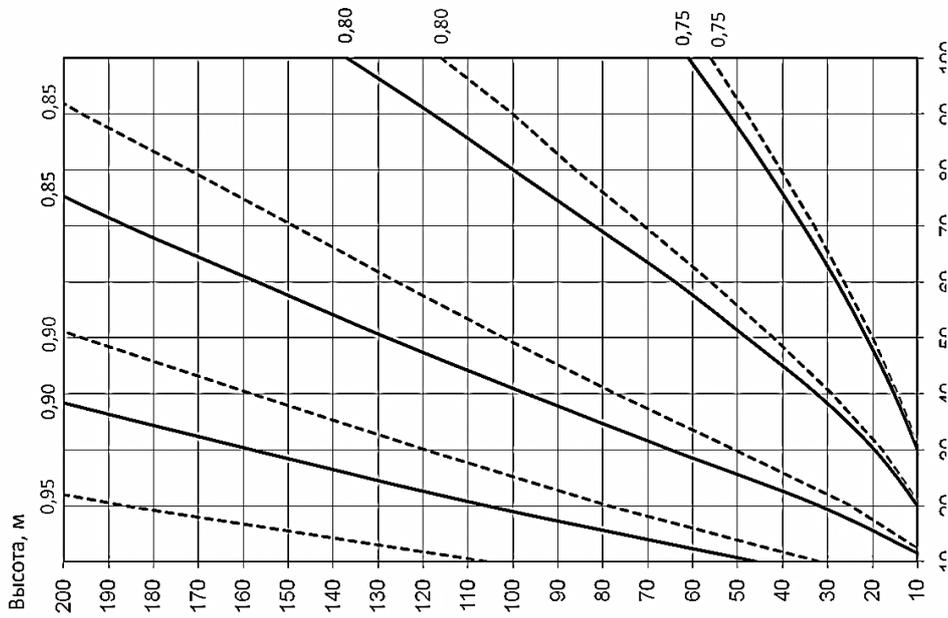
а – II тип местности; б – III тип местности; в – IV тип местности

Рисунок 1.8 (рис. НП.2.2 [8]) – Значения коэффициента c_{sd} для зданий со стальным каркасом

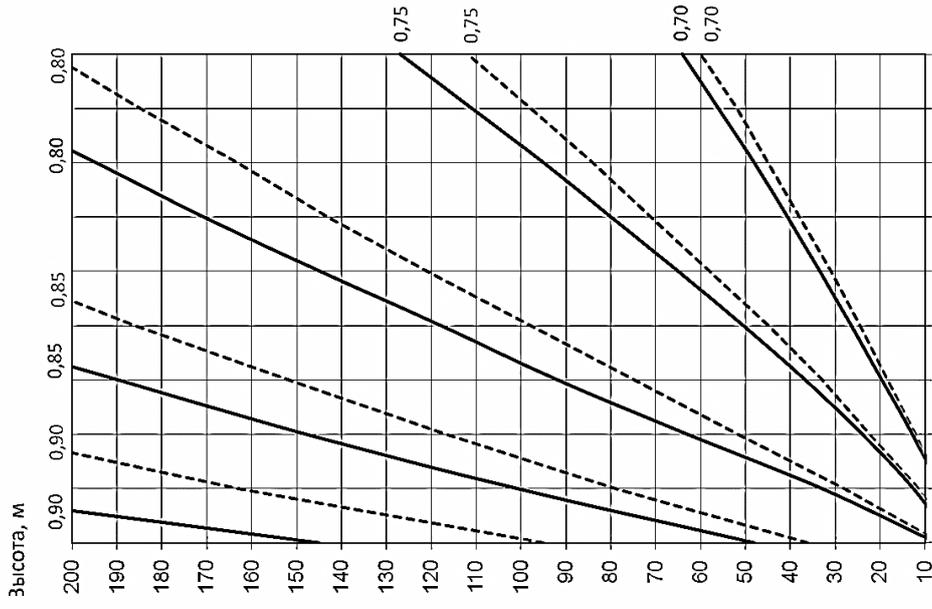
а)



б)



в)



$\delta_s = 0,1$; $V_{b,0} = 21$ м/с (сплошная линия); $V_{b,0} = 23$ м/с (пунктирная линия)

а – II тип местности; б – III тип местности; в – IV тип местности

Рисунок 1.9 (рис. НП.2.3 [8]) – Значения коэффициента $c_{s,1}$ для зданий с железобетонным каркасом

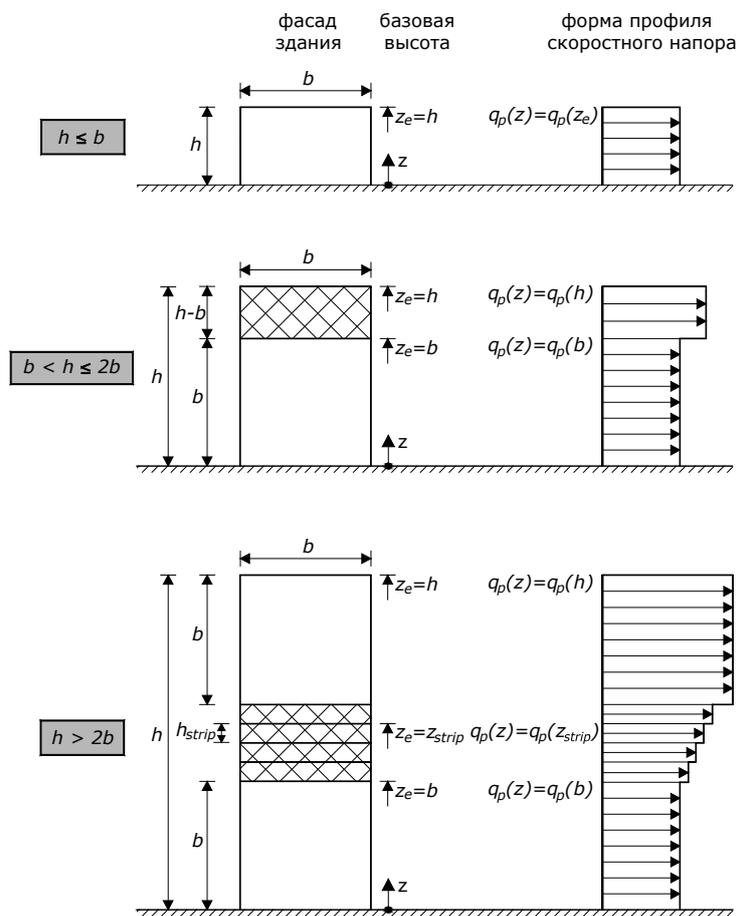
1.4.4.1 Аэродинамические коэффициенты давления для зданий

Коэффициенты наружного давления c_{pe} для зданий и его частей зависят от размера загруженной площади A , которая является площадью конструкции, создающей ветровое воздействие в рассчитываемом сечении. Они указываются в таблицах, распространяющихся на соответствующую форму зданий, для площадей 1 м^2 и 10 м^2 как $c_{pe,1}$ и $c_{pe,10}$.

Примечание 1 – Значения $c_{pe,1}$ служат для проектирования малых элементов конструкций и их анкерных креплений с площадью, воспринимающей нагрузку, не превышающей 1 м^2 , например элементы наружного ограждения и кровли. Значения $c_{pe,10}$ используются для расчета всей конструкции.

1.4.4.2 Вертикальные стены прямоугольных в плане зданий

Для наветренных стен прямоугольных в плане зданий (зона D в таблице 1.15) наружные давления по высоте здания допускается устанавливать дифференцированно согласно рисунку 1.10.



Примечание – Скоростной напор следует принимать равномерно распределенным для каждой горизонтальной полосы

Рисунок 1.10 (рис. 7.4 [8]) – Базовая высота z_e в зависимости от h и b и профиля скоростного напора

Принимается, что давление в горизонтальных полосах на рисунке 1.10 по высоте распределено равномерно. В качестве базовой высоты z_e для скоростного напора рассматриваемой полосы применяют высоту до его верхней отметки. Дифференцирование осуществляется в зависимости от отношения высоты здания к его ширине h / b следующим образом:

– для зданий с $h \leq b$ принимается одна полоса высотой h ;

– для зданий с $b < h \leq 2 \cdot b$ принимается нижняя полоса высотой b , а также верхняя полоса высотой $(h - b)$;

– для зданий с $h > 2 \cdot b$ принимается нижняя полоса высотой b , а также верхняя полоса высотой b , находящаяся между отметками $(h - b)$ и h . Промежуточная зона подразделяется на соответствующее число дополнительных полос высотой h_{strip} (рисунок 1.10).

1.4.4.3 Внутреннее давление

(1) В соответствии с современными требованиями здания должны иметь плотные ограждающие конструкции не только с точки зрения ограничения теплопотерь, но и с точки зрения контроля вентилируемого воздуха в системах вентиляции. К отверстиям в зданиях причисляют малые отверстия, такие как открытые окна, трубы, вентиляционные решётки, которые необходимы для обеспечения правильного функционирования объекта, а также щели вокруг дверей и окон, оборудования, неплотности в ограждающих конструкциях или т. н. общая проницаемость ограждающей конструкции, которую следует минимизировать. Типовая общая проницаемость находится в интервале от 0,01 % до 0,1 % площади ограждения [8].

(2) Коэффициент внутреннего давления c_{pi} зависит от размеров и размещения отверстий в ограждающих стенах здания. Если, как минимум на двух сторонах здания полная площадь поверхности отверстий составляет более 30 % площади каждой из них, то воздействия ветра следует рассчитывать, как для отдельно стоящих стен и навесов. Давление внутреннее и внешнее может действовать одновременно, поэтому следует учитывать наиболее неблагоприятную комбинацию внутреннего и внешнего давления для каждой комбинации отверстий и неплотностей. Ситуации, в которой наружное отверстие (двери или окно) является доминирующим, когда открыто, но в предельном состоянии несущей способности, во время сильного ветра, считается закрытым, следует относить к особой согласно СН 2.01.01 [5].

(3) Для здания с доминантной поверхностью внутреннее давление следует принимать как часть от внешнего давления, действующего на площадь проемов на доминантной стороне. Если общая площадь проемов на доминантной стороне в 2 раза превышает суммарную площадь всех проемов оставшихся поверхностей здания, то

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}. \quad (1.16)$$

(4) Если общая площадь проемов на доминантной стороне не менее чем в 3 раза превышает суммарную площадь всех проемов оставшихся поверхностей здания, то

$$c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe}, \quad (1.17)$$

где c_{pe} – коэффициент наружного давления на доминантной поверхности. Если площадь проемов доминантной поверхности располагается в зонах с разными коэффициентами внешнего давления, то определяют средневзвешенное значение c_{pe} с применением площадей проемов. Если общая площадь проемов на доминантной поверхности менее трехкратного значения, но более удвоенной суммы всех площадей проемов здания, то значение c_{pi} допускается определять линейной интерполяцией.

(5) В зданиях без доминантной поверхности значение c_{pi} допускается определять по рисунку 7.13 [8]. Значение c_{pi} в этом случае зависит от высоты h и ширины d здания, а также от степени проницаемости наружного ограждения μ для каждого направления набегающего потока θ . Степень проницаемости наружного ограждения μ получают следующим образом:

$$\mu = \frac{\sum \text{площадей проемов при } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{площадей всех проемов}}. \quad (1.18)$$

Примечание 1 – Это требование распространяется на фасады и покрытия зданий с наличием внутренних стен и без них.

Примечание 2 – Если нельзя определить приемлемый параметр проницаемости наружного ограждения μ или в случае невозможности расчета, для значения c_{pi} применяют самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

(6) Коэффициент внутреннего давления для открытых бункеров (силосов) и дымовых труб равен $c_{pi} = -0,6$.

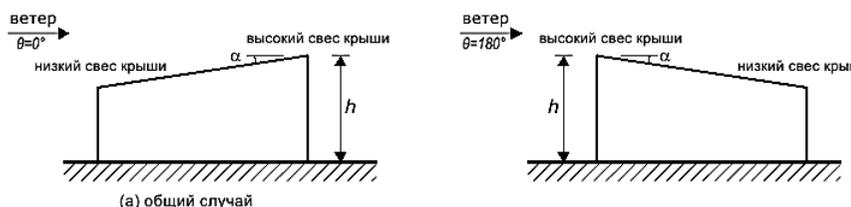
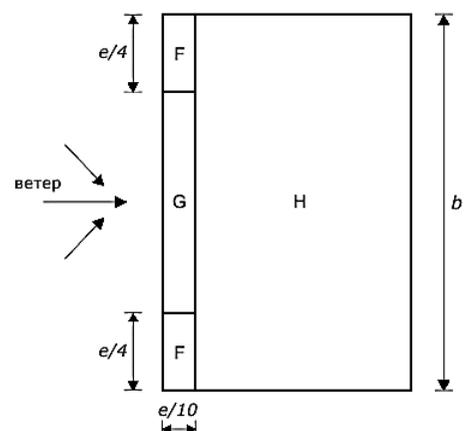
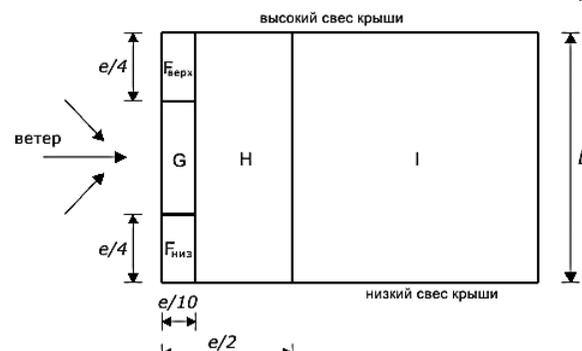
(7) Коэффициент внутреннего давления для вентилируемых резервуаров с небольшими проемами равен $c_{pi} = -0,4$.

Продолжение таблицы 1.15

1		2									
<p style="text-align: right; margin-right: 20px;">e=b или 2h, принимается меньшее значение b: размер конструкции по нормали к направлению действия ветра</p>		Тип покрытия (крыши)		Зона							
		Свес крыши со скругленными углами		F		G		H		I	
		$r/h=0,05$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
		$r/h=0,10$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
		$r/h=0,20$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
Мансардный свес крыши		$\alpha = 30^0$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
		$\alpha = 45^0$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
		$\alpha = 60^0$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	

Примечания:

- 1 Для зон покрытия с парапетом или со свесом крыши со скругленными углами для промежуточных значений h_p/h и r/h допускается линейная интерполяция.
- 2 Для зон мансардного свеса крыши для промежуточных значений α между $\alpha = 30^0$, 45^0 и 60^0 допускается линейная интерполяция. Для $\alpha > 60^0$ допускается линейная интерполяция между значениями для $\alpha = 60^0$ и значениями для плоских покрытий с зоной свеса крыши с острыми углами.
- 3 В зоне I, для которой указываются положительные и отрицательные значения, необходимо учитывать оба значения.
- 4 Коэффициенты внешнего давления для мансардного свеса крыши указываются в коэффициентах внешнего давления для двускатных покрытий с направлением набегающего потока $\theta = 0^0$, зона F и G, в зависимости от угла уклона крыши мансардного типа.
- 5 Для свеса крыши со скругленными углами коэффициенты внешнего давления определяются линейной интерполяцией по кривой между значениями вертикальной стены и покрытия.

1		2											
<p>Односкатные покрытия</p>  <p>(а) общий случай</p>		<p>Базовую высоту z_e следует принимать равной $z_e = h$.</p>											
		<p>Зона для направления набегающего потока $\Theta = 0^\circ$</p>						<p>Зона для направления набегающего потока $\Theta = 180^\circ$</p>					
		F		G		H		F		G		H	
		<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,10}</i>	<i>C_{ре,1}</i>
		 <p>(б) направление набегающего потока $\theta=0^\circ$ и $\theta=180^\circ$</p>		<p>Зона направления набегающего потока $\Theta = 90^\circ$</p>									
		F_{верх}		F_{низ}		G		H		I			
		<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>	<i>C_{ре,1}</i>
 <p>(с) направление набегающего потока $\theta=90^\circ$</p>		<p>Угол уклона α</p>											
<p>$e=b$ или $2h$, принимается меньшее значение</p> <p>b: размер конструкции по нормали к направлению действия ветра</p>		<p>5°</p>											
<p>15°</p>		<p>30°</p>											
<p>45°</p>		<p>45°</p>											
<p>60°</p>		<p>60°</p>											
<p>75°</p>		<p>75°</p>											
<p>5°</p>		<p>5°</p>											
<p>15°</p>		<p>15°</p>											
<p>30°</p>		<p>30°</p>											
<p>45°</p>		<p>45°</p>											
<p>60°</p>		<p>60°</p>											
<p>75°</p>		<p>75°</p>											

1	2																																																																																																																																																																																													
<p>Примечания:</p> <p>1 Для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и для углов уклона от $\alpha = +5^\circ$ до $+45^\circ$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения. Для таких покрытий оба случая необходимо учитывать отдельно: 1) только положительные значения и 2) только отрицательные значения. Сочетание положительных и отрицательных значений для одной и той же поверхности покрытия не допускается.</p> <p>2 Для уклона крыши между указанными значениями допускается линейная интерполяция, в случае если знак коэффициента давления не меняется. Значение, равное нулю, указано в целях интерполяции.</p>																																																																																																																																																																																														
<p>Двухскатные покрытия</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Двухскатное покрытие (а) общий случай</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Покрытие корытообразного сечения</p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>(б) направление набегающего потока $\theta=0^\circ$</p> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;"> $e = b$ или $2h$, принимается меньшее значение b: размер конструкции по нормали к направлению действия ветра </p>	<p style="text-align: center;">Базовую высоту z_e следует принимать равной $z_e = h$.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3" style="text-align: left;">Угол уклона α</th> <th colspan="10" style="text-align: center;">Зона для направления набегающего потока $\Theta = 0^\circ$</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">F</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">G</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">H</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">I</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">J</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">$C_{pe,1}$ 0</th> <th style="text-align: left;">$C_{pe,1}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-45°</td> <td>-0,6</td> <td></td> <td>-0,6</td> <td></td> <td>-0,8</td> <td></td> <td>-0,7</td> <td></td> <td>-1,0</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>-30°</td> <td>-1,1</td> <td>-2,0</td> <td>-0,8</td> <td>-1,5</td> <td>-0,8</td> <td></td> <td>-0,6</td> <td></td> <td>-0,8</td> <td>-1,4</td> </tr> <tr> <td>-15°</td> <td>-2,5</td> <td>-2,8</td> <td>-1,3</td> <td>-2,0</td> <td>-0,9</td> <td>-1,2</td> <td>-0,5</td> <td></td> <td>-0,7</td> <td>-1,2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">-5°</td> <td>-2,3</td> <td>-2,5</td> <td>-1,2</td> <td>-2,0</td> <td>-0,8</td> <td>-1,2</td> <td>+0,2</td> <td></td> <td>+0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-0,6</td> <td></td> <td>-0,6</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">5°</td> <td>-1,7</td> <td>-2,5</td> <td>-1,2</td> <td>-2,0</td> <td>-0,6</td> <td>-1,2</td> <td>-0,6</td> <td></td> <td>+0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+0,0</td> <td></td> <td>+0,0</td> <td></td> <td>+0,0</td> <td></td> <td></td> <td>-0,6</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">15°</td> <td>-0,9</td> <td>-2,0</td> <td>-0,8</td> <td>-1,5</td> <td>-0,3</td> <td></td> <td>-0,4</td> <td></td> <td>-1,0</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+0,2</td> <td></td> <td>+0,2</td> <td></td> <td>+0,2</td> <td></td> <td>+0,0</td> <td>+0,0</td> <td>+0,0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">30°</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> <td>-0,2</td> <td></td> <td>-0,4</td> <td></td> <td>-0,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,0</td> <td>+0,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">45°</td> <td>-0,0</td> <td></td> <td>-0,0</td> <td></td> <td>-0,0</td> <td></td> <td>-0,2</td> <td></td> <td>-0,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,6</td> <td></td> <td>+0,0</td> <td>+0,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>+0,7</td> <td></td> <td>-0,2</td> <td></td> <td>-0,3</td> </tr> <tr> <td>75°</td> <td>+0,8</td> <td></td> <td>+0,8</td> <td></td> <td>+0,8</td> <td></td> <td>-0,2</td> <td></td> <td>-0,3</td> </tr> </tbody> </table>	Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\Theta = 0^\circ$										F		G		H		I		J		$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$	-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5	-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4	-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2	-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2								-0,6		-0,6		5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2			+0,0		+0,0		+0,0			-0,6		15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5		+0,2		+0,2		+0,2		+0,0	+0,0	+0,0	30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5			+0,7		+0,7		+0,7		+0,0	+0,0		45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3			+0,7		+0,7		+0,6		+0,0	+0,0		60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3								
Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\Theta = 0^\circ$																																																																																																																																																																																													
	F		G		H		I		J																																																																																																																																																																																					
	$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$ 0	$C_{pe,1}$																																																																																																																																																																																				
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5																																																																																																																																																																																				
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4																																																																																																																																																																																				
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2																																																																																																																																																																																				
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2																																																																																																																																																																																					
							-0,6		-0,6																																																																																																																																																																																					
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2																																																																																																																																																																																					
		+0,0		+0,0		+0,0			-0,6																																																																																																																																																																																					
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5																																																																																																																																																																																				
		+0,2		+0,2		+0,2		+0,0	+0,0	+0,0																																																																																																																																																																																				
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5																																																																																																																																																																																					
		+0,7		+0,7		+0,7		+0,0	+0,0																																																																																																																																																																																					
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3																																																																																																																																																																																					
		+0,7		+0,7		+0,6		+0,0	+0,0																																																																																																																																																																																					
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3																																																																																																																																																																																					
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3																																																																																																																																																																																					

Окончание таблицы 1.15

1		2								
<p>(с) направление набегающего потока $\theta=90^\circ$</p>		Зона для направления набегающего потока $\Theta = 90^\circ$								
	Угол уклона α	F		G		H		I		
		<i>Сре,10</i>	<i>Сре,1</i>	<i>Сре,10</i>	<i>Сре,1</i>	<i>Сре,10</i>	<i>Сре,1</i>	<i>Сре,10</i>	<i>Сре,1</i>	
	-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2	
	-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2	
	-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2	
	-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2	
	5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6		
	15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5		
	30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5		
	45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5			
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5			

Примечания:

1 Для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и для углов уклона от $\alpha = +5^\circ$ до $+45^\circ$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения. Для таких покрытий необходимо учитывать четыре случая, при которых комбинируются соответственно наименьшие или наибольшие значения для зон F, G и H с наименьшим или наибольшим значениями зон I и J. Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия не допускается.

2 Для уклонов крыши между указанными значениями допускается линейная интерполяция, в случае если знак коэффициента давления не меняется. (Между значениями $\alpha = +5^\circ$ и $\alpha = -5^\circ$ интерполяция не допускается, вместо этого необходимо использовать значения для плоских покрытий). Значение, равное нулю, указано в целях интерполяции.

1.5 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

(1) Если в EN 1991 – EN 1999 (СП) не установлено другое, то для предельного состояния эксплуатационной пригодности рекомендуется применять частные коэффициенты, равные 1,0.

Таблица 1.16 (т. А4 [5]) – Расчетные значения воздействий, применяемые для сочетаний воздействий при проверке критериев эксплуатационной пригодности

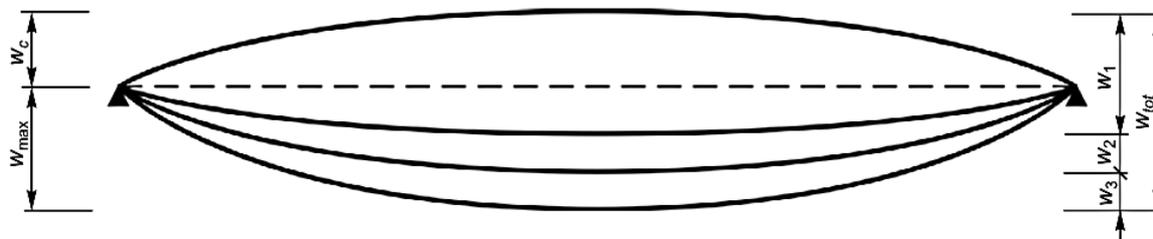
Сочетание	Постоянные воздействия G_d		Переменные воздействия Q_d	
	неблагоприятные	благоприятные	доминирующее	прочие
Характеристическое (редкое)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\Psi_{0,i}Q_{k,i}$
Частое	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{1,1}Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i}Q_{k,i}$
Практически постоянное	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{2,1}Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i}Q_{k,i}$

(2) Критерии эксплуатационной пригодности рекомендуется устанавливать для каждого отдельного проекта и согласовывать с заказчиком.

(3) Вертикальные и горизонтальные деформации рекомендуется рассчитывать в соответствии с EN 1992 – EN 1999 (СП) при использовании соответствующих сочетаний воздействий согласно выражениям (6.14a) – (6.16b), учитывая требования эксплуатационной пригодности. Особое внимание следует обращать на разграничение обратимых и необратимых предельных состояний. Вертикальные перемещения схематично представлены на рисунке 1.12.

(4) Если рассматривается функционирование или повреждение конструкции, отделки или несущих элементов (например, перегородок, заполнений), то при проверке по перемещениям (прогибам) рекомендуется учитывать такие эффекты от постоянных и переменных воздействий, которые появляются после возведения элемента или завершения отделки.

(5) Если рассматривается *внешний вид конструкции*, рекомендуется использовать практически постоянное сочетание воздействий (выражение (6.16b)).



w_c – предварительный выгиб в ненагруженном элементе конструкции;

w_1 – начальная часть прогиба от постоянных нагрузок на соответствующем сочетании воздействий согласно выражениям (6.14a) – (6.16b); w_2 – длительная часть прогиба от постоянных нагрузок; w_3 – дополнительная часть прогиба, вызванная переменными воздействиями при соответствующем сочетании воздействий согласно выражениям (6.14a) – (6.16b); w_{tot} – полный прогиб, равный сумме $w_1 + w_2 + w_3$; w_{max} – остаточный полный прогиб с учетом выгиба

Рисунок 1.12 – Определение вертикальных перемещений

(6) Если рассматривается комфорт пользователя или функционирование оборудования, проверки должны учитывать эффекты от соответствующих переменных воздействий.

(7) При расчете строительных конструкций по прогибам (выгибам) и перемещениям должно быть выполнено условие

$$a \leq a_{lim}, \quad (1.19)$$

где a – прогиб (выгиб) и перемещение элемента конструкции (или конструкции в целом);

a_{lim} – предельный прогиб (выгиб) и перемещение, рекомендуется принимать в соответствии с требованиями таблицы 1.17 или по [4].

Таблица 1.17 (т. 19 [4]) – Вертикальные предельные прогибы элементов

Элементы конструкций	Предъявленные требования	Вертикальные предельные прогибы a_{lim}
Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы (включая поперечные ребра плит и настилов)		
а) покрытий и перекрытий, открытых для обзора, при расчетном пролете l , м	Эстетико-психологические	
$l < 1$		1/120
$l = 3$		1/150
$l = 6$		1/200
$l = 24$ (12)		1/250
$l = 36$ (14)		1/300

Примечания:

1 Для консоли вместо l следует принимать удвоенный ее вылет.

2 Для промежуточных значений l предельные прогибы следует определять линейной интерполяцией, учитывая требования п. 7 рекомендуемого приложения 6 [4].

3 Цифры, указанные в скобках, следует принимать при высоте помещений до 6 м включительно.

4 При ограничении прогибов эстетико-психологическими требованиями допускается пролет l принимать равным расстоянию между внутренними поверхностями несущих стен (или колонн).

5 В конструкциях со строительным подъемом прогиб следует уменьшать на величину строительного подъема (приложение 6, пункт 9 [4]).

Глава 2 Примеры подсчёта нагрузок на здания

2.1 Пример подсчёта нагрузок на одноэтажное производственное здание

2.1.1 Исходные данные

Выполнить подсчет нагрузок на стальной каркас одноэтажного однопролетного производственного здания при исходных данных, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Класс последствий отказа здания (таблица 1.4)	СС2, $k_{FI} = 1,0$
Пролет здания L , м	30
Длина здания, м	108
Шаг колонн B , м	6
Площадка строительства	г. Береза
Отметка планировки над уровнем моря A , м	+153,32
Условие местности (таблица 1.9)	Обычные
Тип местности (таблица 1.14)	II

Схема поперечной рамы показана на рисунке 2.1.

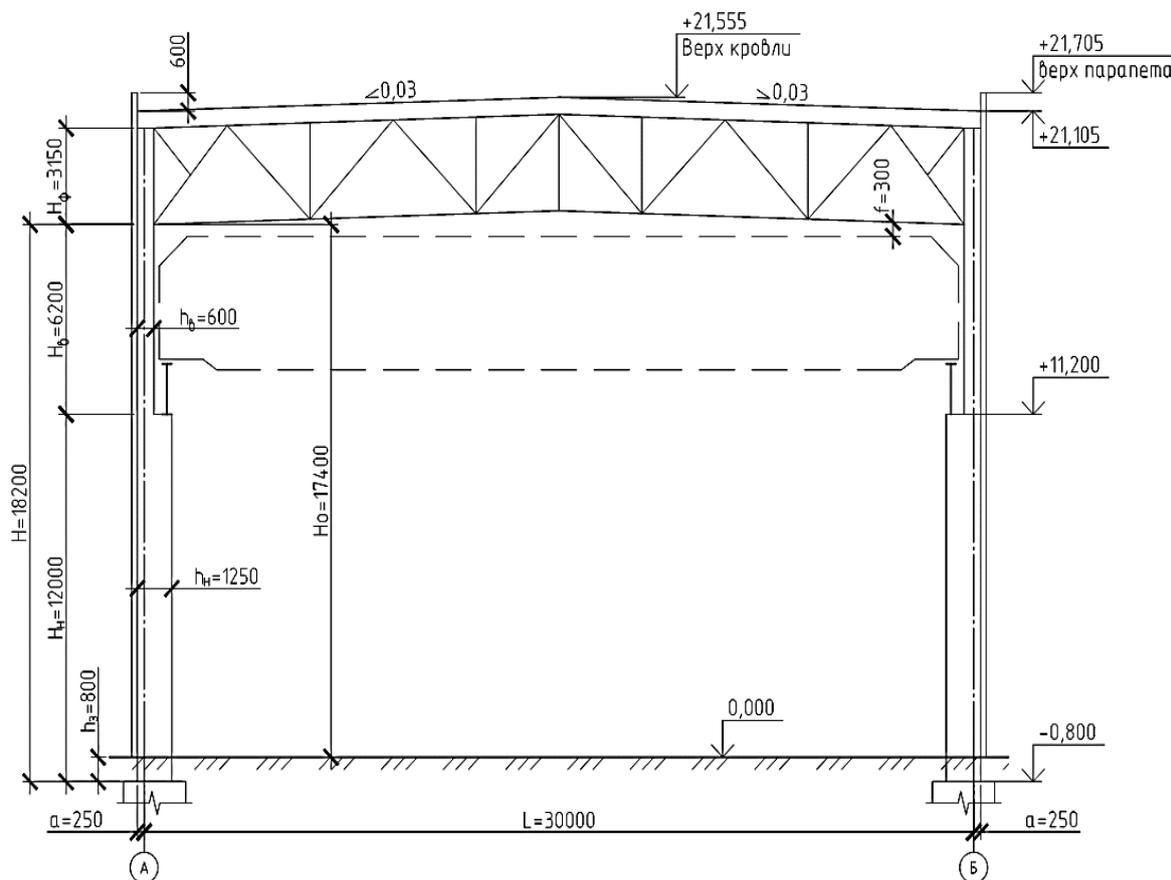


Рисунок 2.1 – Схема поперечной рамы

2.1.2 Определение нагрузок на раму

2.1.2.1 Постоянная нагрузка

Нагрузки на 1 м² кровли представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Поверхностная распределенная нагрузка от кровли здания

№ п/п	Состав покрытия	Характеристическое значение g_k , кПа	Частный коэффициент γ_G	Расчетное значение g_d , кПа
1	Водоизоляционный ковер ПВХ-мембрана	0,02	1,35	0,027
2	Минеральная вата $\gamma = 1,85$ кН/м ³ , $t = 50$ мм	0,093		0,1256
3	Минеральная вата $\gamma = 1,15$ кН/м ³ , $t = 160$ мм	0,184		0,2484
4	Минеральная вата $\gamma = 1,85$ кН/м ³ , $t = 50$ мм	0,093		0,1256
5	Стальной профилированный настил Н75-750-0,8 ГОСТ 24045	0,112	1,2	0,1344
6	Стальные прогоны 6 м [22П по ГОСТ 8240-97	0,07		0,084
	Итого:	0,572	–	0,745

Собственный вес металлоконструкций учитывается при статическом расчете автоматически с $\gamma_G = 1,2$.

Расчетная погонная равномерно распределенная постоянная нагрузка на ригель рамы $q = g_d \cdot k_{FI} \cdot B = 0,745 \cdot 1,0 \cdot 6 = 4,47$ кН / м,

где k_{FI} – коэффициент, принимаемый по таблице 1.4 для соответствующего класса надежности.

Узловая постоянная нагрузка на ферму $F_G = q \cdot d = 4,47 \cdot 3 = 13,41$ кН ,

где $d = 3,0$ м – длина панели верхнего пояса фермы (рисунок 2.2).

Базовая высота здания с учётом принятой конструкции покрытия $z_e = H_0 + H_\phi + t_k + (0,03 \cdot L / 2) = 17400 + 3150 + 555 + (0,03 \cdot 15000) = 21555$ мм = 21,555 м,

где $t_k = 50 + 160 + 50 + 75 + 220 = 555$ мм – высота конструкции кровли.

2.1.2.2 Снеговая нагрузка

Вариант 1

В соответствии с рисунком 1.5 г. Береза относится к снеговому району 2в. Тогда, в соответствии с таблицей 1.10, характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,45 + 0,60 \cdot (A - 210) / 100 = 1,45 + 0,60 \cdot (153,32 - 210) / 100 = 1,11 \text{ кПа} \geq 1,0 \text{ кПа},$$

где $A = 153,32$ м – отметка планировки над уровнем моря (см. таблицу 2.1).

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3)

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,11 = 0,89 \text{ кПа},$$

где $\mu_1 = 0,8$ – коэффициент формы снеговых нагрузок (таблица 1.11);

$C_e = 1,0$ – коэффициент окружающей среды (таблица 1.9);

$C_t = 1,0$ – температурный коэффициент (п. 1.4.3(3)).

Расчетная погонная равномерно распределенная нагрузка от снега на ригель рамы по варианту 1 (рисунок 2.2, вариант 1)

$$q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 0,89 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 6 = 8,01 \text{ кН / м},$$

где $B=6$ м – шаг колонн;

$$\gamma_Q = 1,5, \text{ т. к. } \frac{s}{\sum (g_k + g_{k1}) + s} = \frac{0,89}{(0,572 + 0,5) + 0,89} = 0,454 < 0,5;$$

$g_{k1} = 0,5 \text{ кПа}$ – предполагаемый расход металла на 1 м^2 от веса каркаса здания (для каркасов промышленных зданий с мостовыми кранами характеристическое значение нагрузки от собственного веса конструкций рекомендуется принимать в пределах $0,4 \dots 0,6 \text{ кПа}$).



Рисунок 2.2 – Варианты приложения снеговых нагрузок на здание

Вариант 2 (при наличии парапетов)

При наличии парапетов высотой $h = 0,6$ м, схема распределения снеговых нагрузок принята в соответствии с таблицей 1.12 (рисунок 2.2, вариант 2). Тогда $\mu_1 = 0,8$ и $\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k = 2 \cdot 0,6 / 1,11 = 1,08$,

где γ – удельный вес снега, допускается принимать 2 кН/м^3 ;

$l_s = 2 \cdot h = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ м}$, ограничение для l_s следует принимать в пределах $2 \text{ м} \leq l_s \leq 6 \text{ м}$, окончательно $l_s = 2 \text{ м}$.

Снеговая нагрузка на покрытие у парапета, узел 1

$$s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,08 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,11 = 1,2 \text{ кПа}.$$

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега на ригель рамы $q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 6 = 10,8 \text{ кН / м}$.

Снеговая нагрузка на покрытие на расстоянии более 2 м от парапета (узлы 2...10, рисунок 2.2)

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,11 = 0,89 \text{ кПа}.$$

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега на ригель рамы $q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 0,89 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 6 = 8,01 \text{ кН / м}$.

Таблица 2.3 – Расчет узловой снеговой нагрузки

Узлы 1, 11 (рисунок 2.2)	
$F_Q = \frac{10,8 + 8,71}{2} \cdot 1,5 = 14,63 \text{ кН}$	
Узлы 2, 10 (рисунок 2.2)	
$F_Q = \frac{8,01 + 8,71}{2} \cdot 0,5 + 8,01 \cdot 2,5 = 24,21 \text{ кН}$	
Узлы 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (рисунок 2.2)	
$F_Q = 8,01 \cdot 3 = 24,03 \text{ кН}$	

2.1.2.3 Ветровая нагрузка

Город Берёза относится к ветровому району с основным значением базовой скорости ветра $v_{b,0} = 21 \text{ м/с}$ (рисунок 1.6).

Для определения значения коэффициента, учитывающего направление ветра, используя «Справочник по климату Беларуси. Часть 4. Ветер, атмосферное давление» [10], выполним построение розы ветров для климатических условий г. Берёзы (рисунок 2.3).

Принимая $c_{dir} = 1,0$ для наиболее вероятных направлений ветра (секторы С и С3), как частное от деления средней годовой скорости ветра для рассматриваемого направления и для наиболее вероятного направления ветра, были определены значения коэффициента c_{dir} для всех секторов. Т. к. в соответствии с исходными данными имеет место восточное расположение проектируемого промышленного здания, принимаем $c_{dir} = 0,79$.

В случае отсутствия официальных данных о средней скорости ветра по направлениям для заданного населенного пункта, в расчетах следует принимать значение c_{dir} согласно таблице 1.13. Если же привязка проектируемого здания на местности не определена, рекомендуемое значение коэффициента, учитывающего направление ветра, $c_{dir} = 1,0$.

Таблица 2.4 – Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с, по направлениям для г. Берёзы [10]

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
I	3,4	2,4	2,7	3,3	2,9	3,1	3,3	3,7
II	3,6	2,7	3,0	3,2	3,0	3,3	3,1	3,5
III	3,2	2,7	2,9	3,3	2,9	3,1	3,2	3,6
IV	3,8	2,9	3,0	3,3	2,9	2,9	3,0	3,5
V	3,3	2,7	2,4	2,8	2,5	2,5	2,7	3,2
VI	3,2	2,4	2,1	2,4	2,2	2,3	2,6	3,1
VII	3,0	2,4	2,1	2,3	2,2	2,3	2,6	2,7
VIII	2,6	2,4	2,0	2,2	2,2	2,2	2,5	2,6
IX	2,9	2,7	2,8	2,9	2,5	2,5	2,5	3,0
X	3,3	2,6	2,7	3,1	2,7	2,9	3,0	3,0
XI	3,7	2,7	3,0	3,4	3,0	3,1	3,1	3,4
XII	3,3	3,1	2,8	3,3	3,1	3,4	3,3	3,7
Год	3,3	2,6	2,6	3,0	2,7	2,8	2,9	3,3

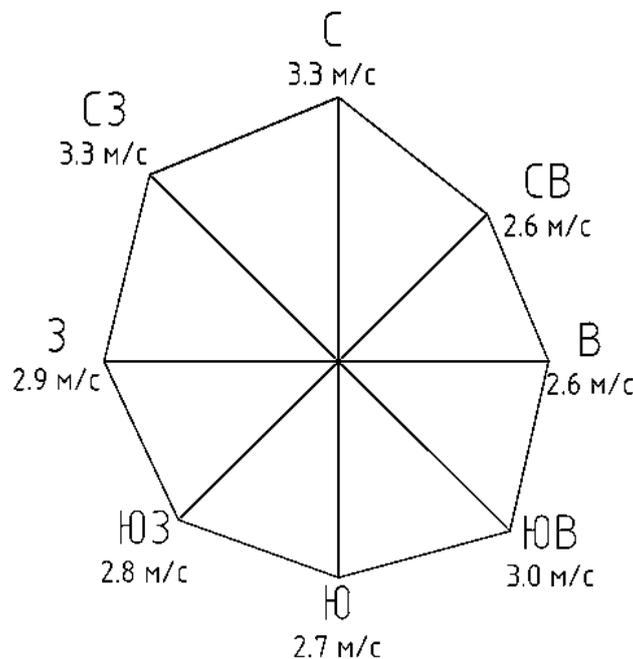


Рисунок 2.3 – Роза ветров для климатических условий г. Берёзы

Базовое значение скорости ветра (формула 1.4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 0,79 \cdot 1 \cdot 21 = 16,6 \text{ м/с},$$

где $c_{dir} = 0,79$ – коэффициент, учитывающий направление ветра;

c_{season} – сезонный коэффициент, т. к. проектируемое здание не является временным сооружением, $c_{season} = 1,0$.

Коэффициент местности k_r , зависящий от параметра шероховатости z_0 , определяем по формуле 1.7

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19,$$

где $z_{0,ji} = 0,05$ м (тип местности II, таблица 1.14);

z_0 – параметр шероховатости, $z_0 = 0,05$ м для типа местности по заданию на проектирование (тип местности II, таблица 1.14).

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 21,555 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, коэффициент, учитывающий тип местности, определяем по формуле 1.6а

$$c_r(21,555) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{21,555}{0,05}\right) = 1,153.$$

Среднюю скорость ветра определим из базового значения скорости с учетом типа местности и орографии по формуле 1.5

$$v_m(21,555) = c_r(21,555) \cdot c_o(21,555) \cdot v_b = 1,153 \cdot 1,0 \cdot 16,6 = 19,140 \text{ м/с},$$

где $c_o(z) = 1,0$, т. к. средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 21,555 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, интенсивность турбулентности определяем по формуле 1.8а

$$I_v(21,555) = \frac{k_i}{c_o(21,555) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(21,555/0,05)} = 0,1648,$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_o – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ на высоте $z = 21,155 \text{ м}$ по формуле 1.9

$$q_p(21,555) = \left[1 + 7 \cdot I_v(21,555)\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(21,555) =$$

$$= \left[1 + 7 \cdot 0,1648\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,14^2 = 493 \text{ Н/м}^2 = 0,493 \text{ кПа}.$$

Распределение ветрового давления на вертикальные стены представлено на рисунке 2.4.

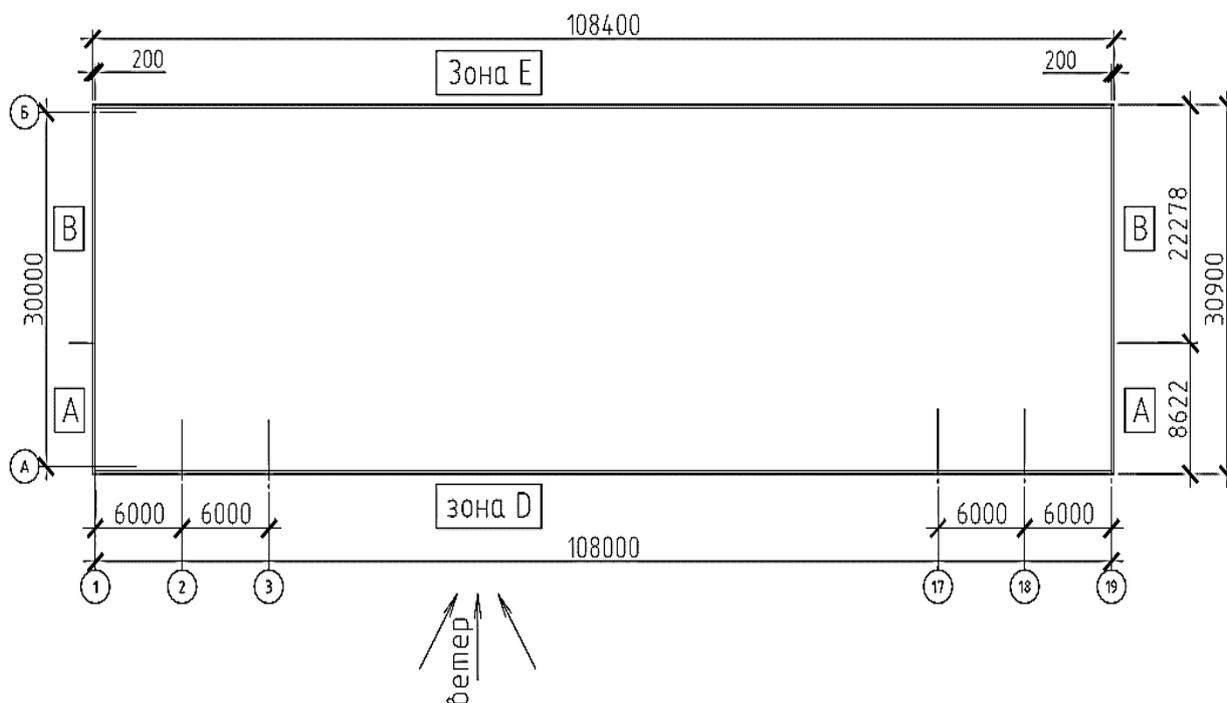
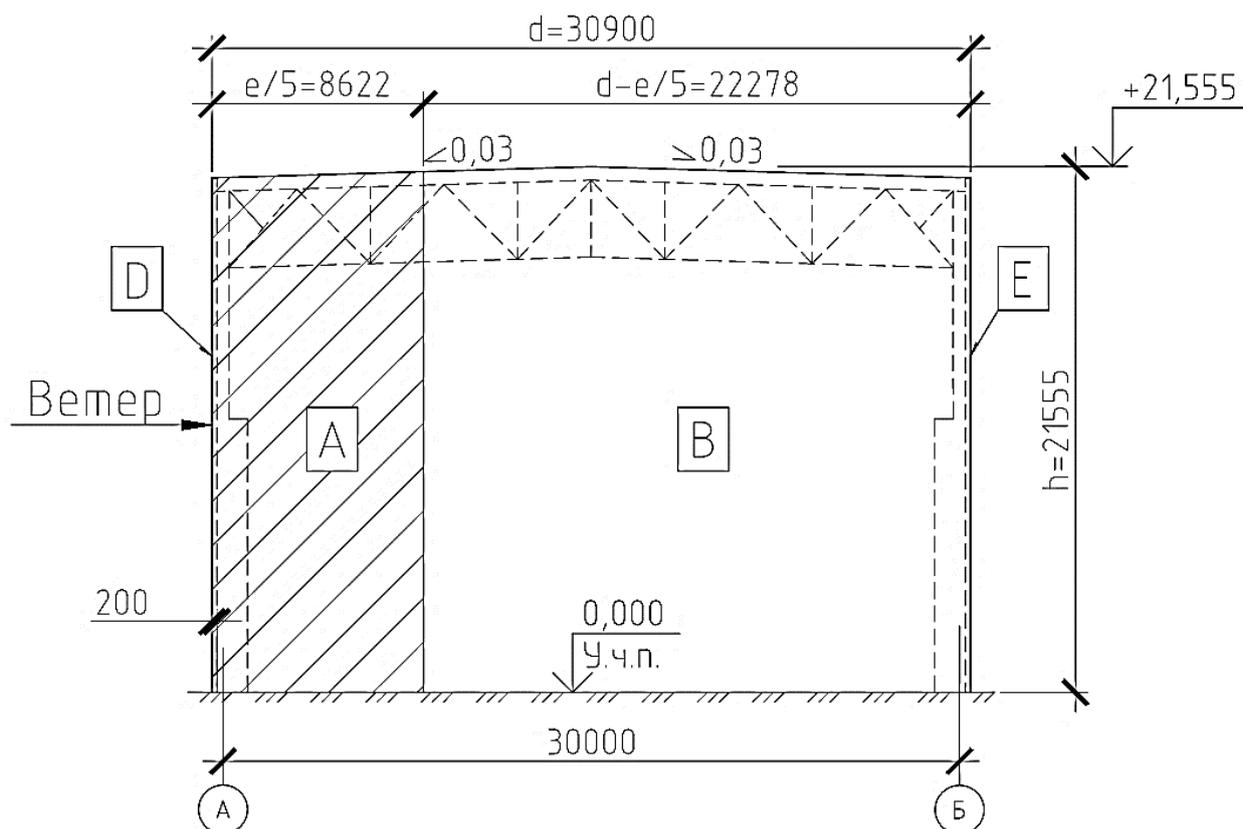


Рисунок 2.4 – Распределение ветрового давления на вертикальные стены

Для наветренных стен прямоугольных в плане зданий наружные давления по высоте здания допускается устанавливать дифференцированно согласно рисунку 1.10. Т. к. $h = 21,555 \text{ м} < b = 30 \text{ м}$ (рисунок 2.5), значение $q_p(z)$ в зоне Д одинаково по всей высоте стены.

Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий c_{pe} определяется по таблице 1.15.



для зоны А $c_{pe,10} = -1,2$; для зоны В $c_{pe,10} = -0,8$

Рисунок 2.5 – Распределение ветрового давления на боковые вертикальных стены

Таблица 2.5 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона D	зона E
$h/d = 21,555/30,9 = 0,697$	$c_{pe,10} = +0,76$	$c_{pe,10} = -0,5$

Параметр $e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(108; 2 \cdot 21,555) = 43,11 \text{ м}$.

Распределение давления для плоских покрытий (имеющих уклон менее 5°) в соответствии с таблицей 1.15, а также значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления для рассматриваемой поперечной рамы промышленного здания представлены на рисунке 2.6 и рисунке 2.7 соответственно.

Базовую высоту применяем равной $z_e = h = 21,555 \text{ м}$.

При параметре $e = \min(b, 2 \cdot h) = 43,11 \text{ м}$ значение коэффициента $c_{pe,10}$ определяется по таблице 1.15.

Таблица 2.6 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для покрытия здания

зона F	зона G	зона H	зона I
$c_{pe,10} = -1,8$	$c_{pe,10} = -1,2$	$c_{pe,10} = -0,7$	$c_{pe,10} = -0,2, c_{pe,10} = +0,2$

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который, согласно п. 1.4.4.3(5) (примечание 2), в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета, принимает самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

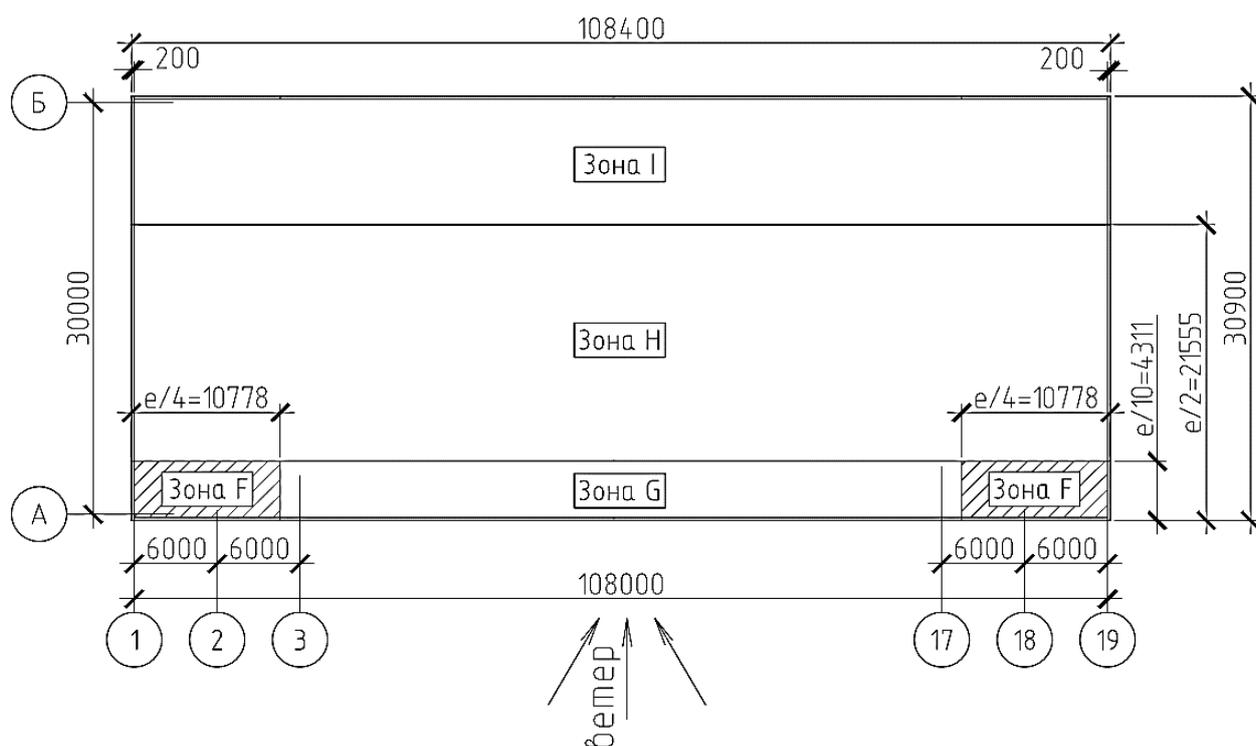


Рисунок 2.6 – Зоны распределение ветрового давления на покрытие здания

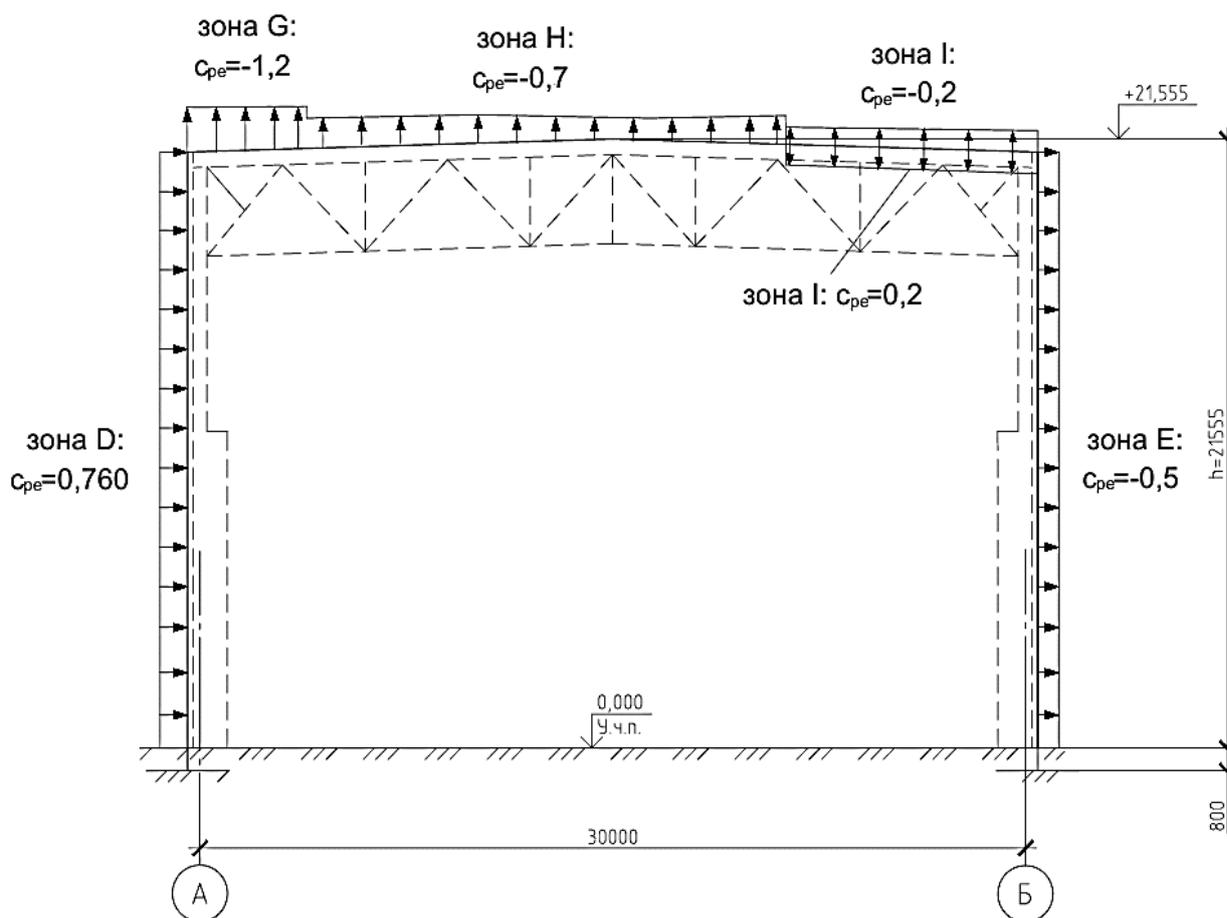


Рисунок 2.7 – Распределение ветрового давления для поперечной рамы

Расчетное значение ветровой нагрузки для рам q_w (кН/м) в осях 3...17 при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления (шаг колонн $B = 6$ м)

$$q_w = c_s c_d \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q.$$

На рисунке 2.8а приведены значения расчетной ветровой нагрузки q_w при $c_{pi} = 0,2$, при этом для $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} . На рисунке 2.8б приведены аналогичные значения q_w при $c_{pi} = -0,3$.

Подсчет расчетных значений ветровой нагрузки в характерных зонах производим в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Расчетное значение ветровой нагрузки в характерных зонах

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона Д	
$q_w = 0,76 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,35$ кН / м	$q_w = (0,76 + 0,3) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,67$ кН / м
Зона Г	
$q_w = (1,2 + 0,2) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 6,17$ кН / м	$q_w = 1,2 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 5,29$ кН / м
Зона Н	
$q_w = (0,7 + 0,2) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,97$ кН / м	$q_w = 0,7 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,09$ кН / м
Зона I ($c_{pe} = -0,2$)	
$q_w = (0,2 + 0,2) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,76$ кН / м	$q_w = 0,2 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,88$ кН / м
Зона I ($c_{pe} = 0,2$)	
$q_w = 0,2 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,88$ кН / м	$q_w = (0,2 + 0,3) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,21$ кН / м
Зона Е	
$q_w = (0,5 + 0,2) \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,09$ кН / м	$q_w = 0,5 \cdot 0,49 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,21$ кН / м

Дополнительный расчёт ветровой нагрузки в зоне Д

В расчёте ветровой нагрузки в зоне Д, приведённом ранее, руководствуемся рисунком 1.10, из которого следует, что приложенная к стене ветровая нагрузка в зоне Д одинакова по всей высоте (рисунок 2.8). Дополнительный расчет позволяет нам более точно определить форму приложения ветровой нагрузки в зоне Д. Для этого необходимо определить пиковое значение скорости ветра в каждой характерной точке (см. рисунок 2.9).

Пиковое значение скорости напора на базовой высоте z_e получено согласно расчетным вертикальным размерам здания с учетом принятой конструкции покрытия $z_e = 21,555$ м (рисунок 1.6) для типа местности II.

Базовое значение скоростного напора ветра (формула 1.10)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 16,6^2 = 172 \text{ Н / м}^2 = 0,172 \text{ кПа}.$$

Пиковое значение скоростного напора

$$q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b = 2,85 \cdot 0,172 = 0,49 \text{ кПа},$$

где $c_e(z) = 2,85$ – принимаем по рисунку 1.7.

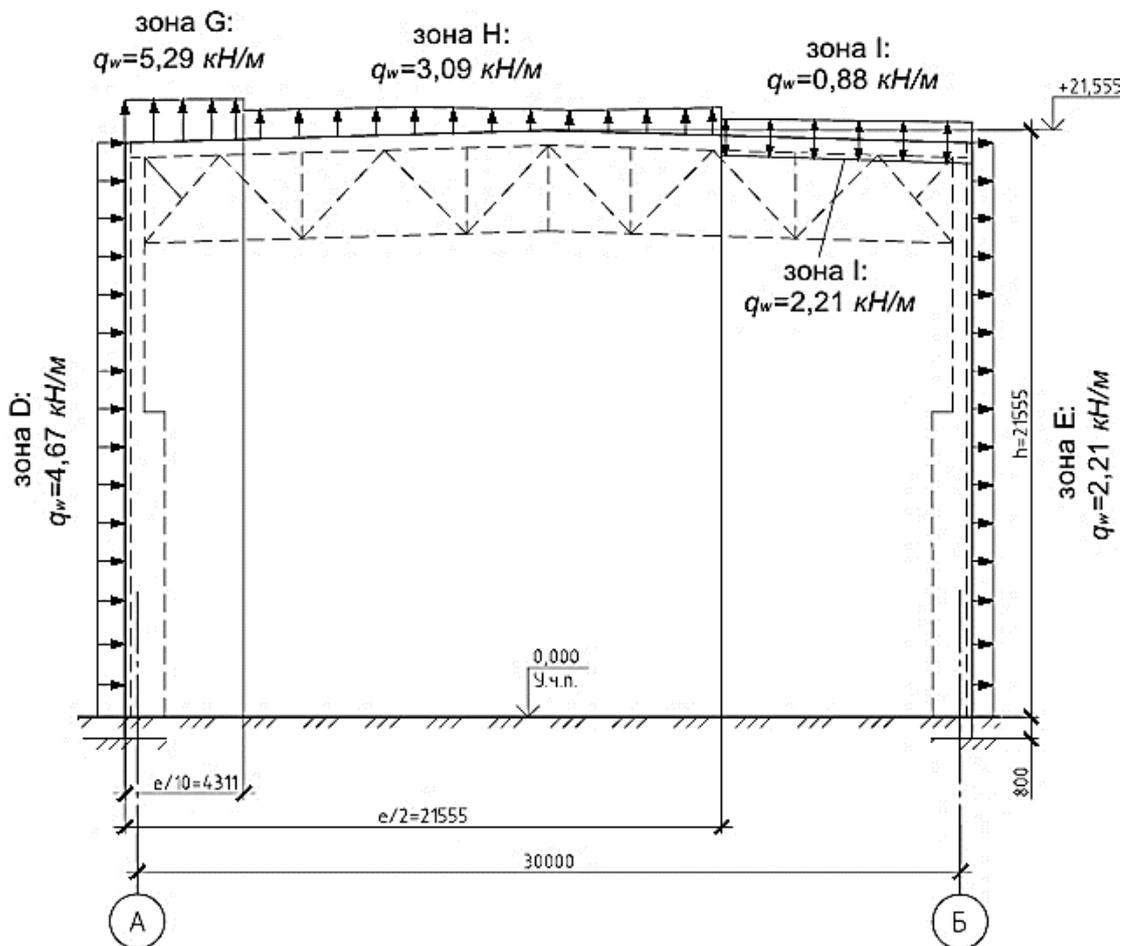
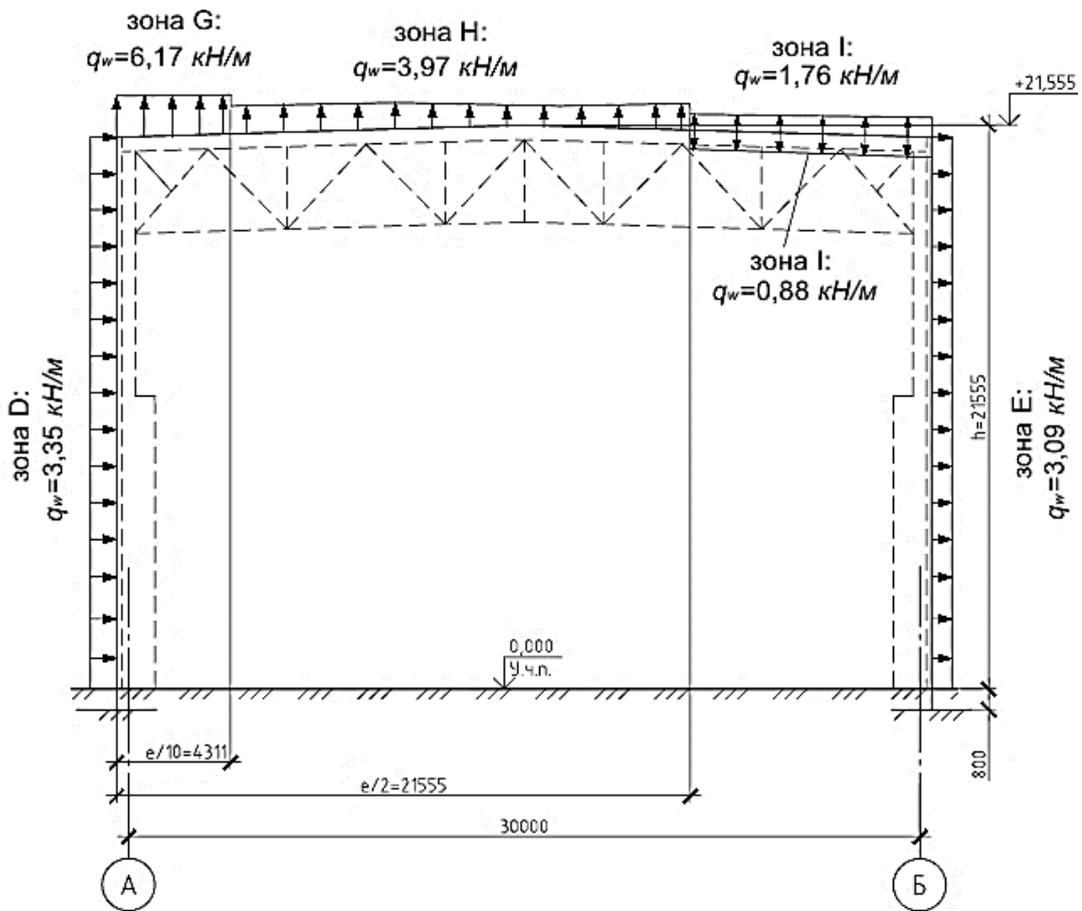
$q_p(z)$ в характерных точках в зоне Д

Отметка +2,500

$z = 2,5$ м для типа местности II.

$$q_p(2,5) = 1,42 \cdot 0,172 = 0,244 \text{ кПа},$$

где $c_e(z) = 1,42$ – принимаем по рисунку 1.7.



а) при $c_{pi} = 0,2$; б) при $c_{pi} = -0,3$

Рисунок 2.8 – Значения расчетной ветровой нагрузки для поперечной рамы

Отметка +11,200 (консоль колонны)

$z = 11,200$ м для типа местности II (рисунок 2.9),

$$q_p(11,200) = 2,44 \cdot 0,172 = 0,42 \text{ кПа.}$$

Отметка +11,400 (низ стропильной фермы)

$z = 17,400$ м для типа местности II (рисунок 2.9),

$$q_p(17,400) = 2,71 \cdot 0,172 = 0,466 \text{ кПа.}$$

Отметка +20,550 (верх стропильной фермы)

$z = 20,550$ м для типа местности II (рисунок 2.9),

$$q_p(20,550) = 2,81 \cdot 0,172 = 0,483 \text{ кПа.}$$

Отметка +21,105 (кровля)

$z = 21,105$ м для типа местности II (рисунок 2.9),

$$q_p(21,105) = 2,82 \cdot 0,172 = 0,485 \text{ кПа.}$$

При $h/d = 21,555/30,9 = 0,697$ выполним интерполяцию значений $c_{pe,10}$ (таблица 1.15), используемых для расчета конструкций.

Таблица 2.8 – Значения коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона D	зона E
$h/d = 21,555/30,9 = 0,697$	$c_{pe,10} = +0,76$	$c_{pe,10} = -0,5$

Расчетное значение ветровой нагрузки для рам q_w (кН/м) в осях 3...17 при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления (шаг колонн $B = 6$ м) $q_w = c_s c_d \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q$.

На рисунке 2.9а приведены значения расчетной ветровой нагрузки q_w при $c_{pi} = 0,2$, при этом для $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} . На рисунке 2.9б приведены аналогичные значения q_w при $c_{pi} = -0,3$.

Подсчет расчетных значений ветровой нагрузки в зоне D в характерных точках приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Расчетное значение ветровой нагрузки в зоне D в характерных точках

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона D ($z_e = 21,105$ м)	
$q_{w5} = 0,76 \cdot 0,485 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,32 \text{ кН / м}$	$q_{w5} = (0,76 + 0,3) \cdot 0,485 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,63 \text{ кН / м}$
Зона D ($z_e = 20,550$ м)	
$q_{w4} = 0,76 \cdot 0,483 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,3 \text{ кН / м}$	$q_{w4} = (0,76 + 0,3) \cdot 0,483 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,61 \text{ кН / м}$
Зона D ($z_e = 17,400$ м)	
$q_{w3} = 0,76 \cdot 0,466 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,19 \text{ кН / м}$	$q_{w3} = (0,76 + 0,3) \cdot 0,466 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,45 \text{ кН / м}$
Зона D ($z_e = 11,200$ м)	
$q_{w2} = 0,76 \cdot 0,42 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,87 \text{ кН / м}$	$q_{w2} = (0,76 + 0,3) \cdot 0,42 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,01 \text{ кН / м}$
Зона D ($z_e = 2,5$ м)	
$q_{w1} = 0,76 \cdot 0,244 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,67 \text{ кН / м}$	$q_{w1} = (0,76 + 0,3) \cdot 0,244 \cdot 6 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,33 \text{ кН / м}$

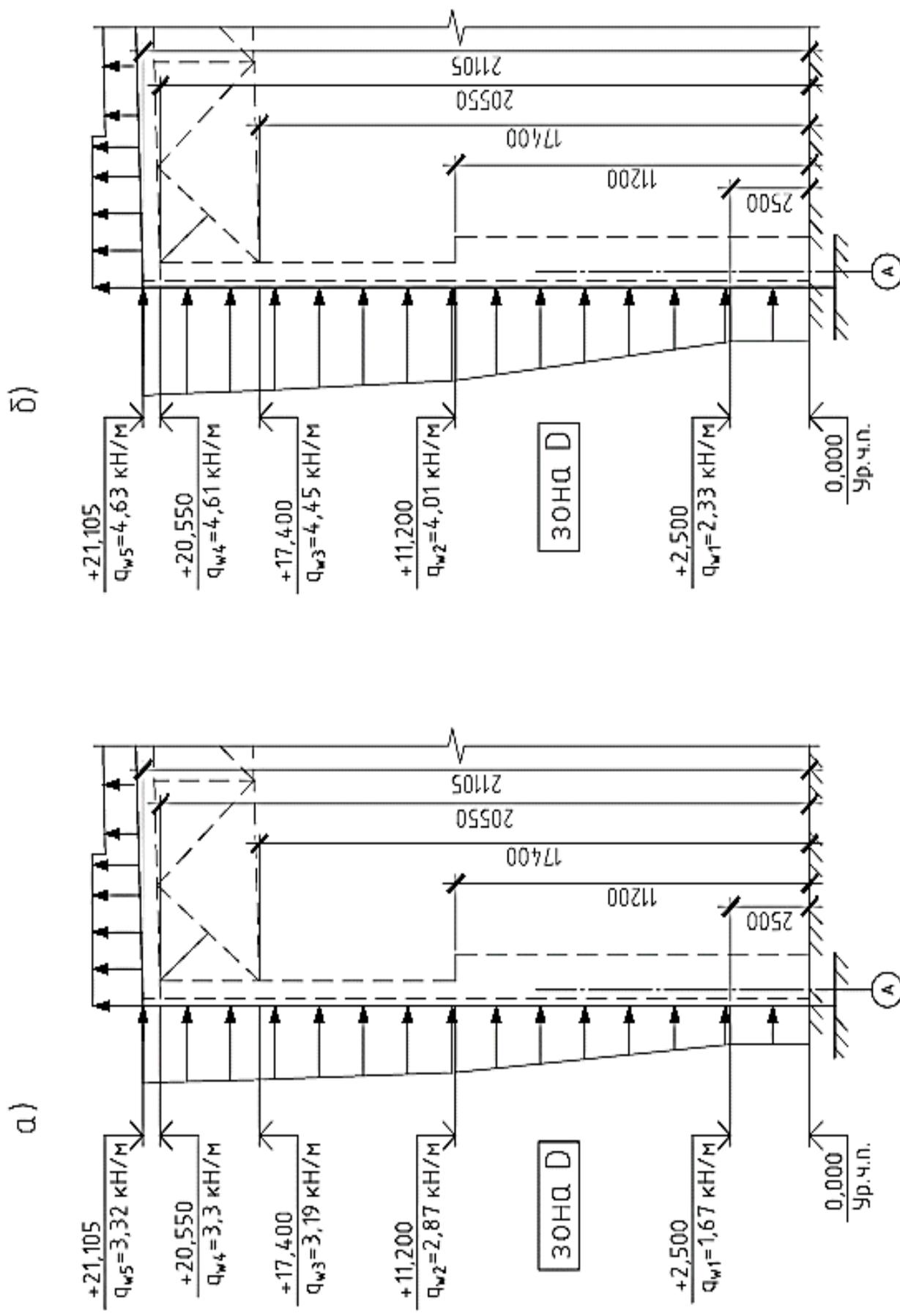


Рисунок 2.9 – Значения расчетной ветровой нагрузки q_w в зоне D при $c_{pi} = 0,2$ (а) и $c_{pi} = -0,3$ (б)

2.1.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности

Таблица 2.10 – Коэффициенты РСН для предельных состояний несущей способности

№	Наименование	Вид	РСН №																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Собственный вес	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Кровля	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,85	0,85	0,85	0,85
3	Снег 1 (вариант 1)	Переменное	1,0	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0
4	Снег 2 (вариант 2)	Переменное	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6

Окончание таблицы 2.10

№	Наименование	Вид	РСН №																	
			19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
1	Собственный вес	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Кровля	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
3	Снег 1 (вариант 1)	Переменное	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Снег 2 (вариант 2)	Переменное	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–	–
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	0,6	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	0,6	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	1,0	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	1,0

2.2 Пример подсчёта нагрузок на арочное сельскохозяйственное здание

2.2.1 Исходные данные

Выполнить подсчет нагрузок на стальной каркас арочного сельскохозяйственного здания при исходных данных, приведенных в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Исходные данные

Класс последствий отказа здания (таблица 1.4)	СС1, $k_{FI} = 0,9$
Пролет арки в осях L , м	17,6
Длина здания, м	45
Шаг арок B , м	3
Площадка строительства	г. Пинск
Отметка планировки над уровнем моря A , м	+145,0
Условие местности (таблица 1.9)	Обычные
Тип местности (таблица 1.14)	II

Схема арки показана на рисунке 2.10.

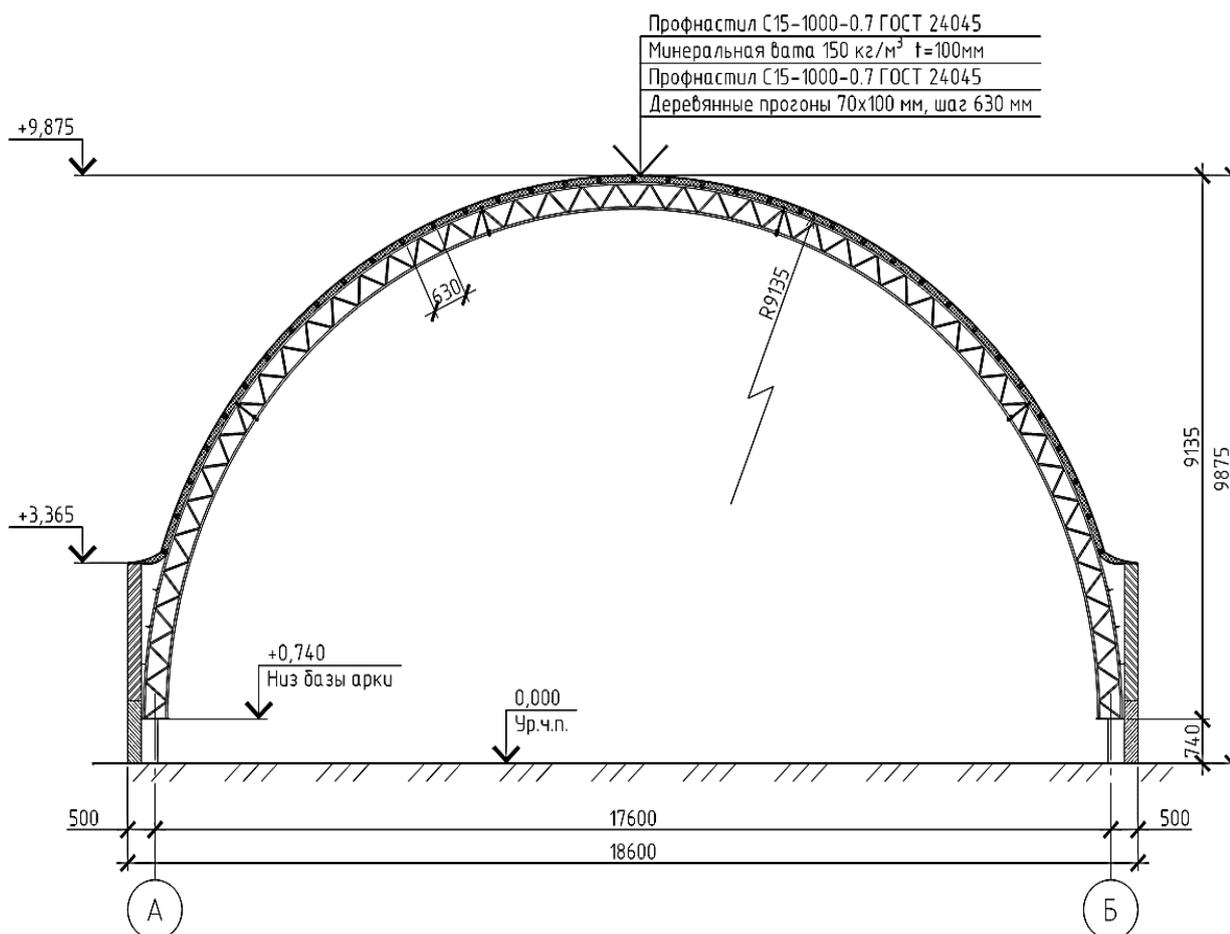


Рисунок 2.10 – Схема арки

2.2.2 Определение нагрузок на арку

2.2.2.1 Постоянная нагрузка

Нагрузки на 1 м² кровли представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Поверхностная распределенная нагрузка от кровли здания

№ п/п	Состав покрытия	Характеристическое значение g_k , кПа	Частный коэффициент γ_G	Расчетное значение g_d , кПа
1	Стальной профилированный настил С15-1000-0.7 ГОСТ 24045	0,074	1,2	0,089
2	Минеральная вата $\rho = 150$ кг/м ³ , $t = 100$ мм	0,15	1,35	0,203
3	Стальной профилированный настил С15-1000-0.7 ГОСТ 24045	0,074		0,1
4	Деревянные прогоны $\rho = 500$ кг/м ³ , 70x100, шаг 630 мм	0,056		0,076
	Итого:	0,354	–	0,468

Собственный вес металлоконструкций учитывается при статическом расчете автоматически с $\gamma_G = 1,2$.

Расчетная погонная равномерно распределенная постоянная нагрузка на арку

$$q = g_d \cdot k_{FI} \cdot B = 0,468 \cdot 0,9 \cdot 3 = 1,26 \text{ кН / м.}$$

2.2.2.2 Снеговая нагрузка

В соответствии с рисунком 1.5 г. Пинск относится к снеговому району 1в. Тогда, в соответствии с таблицей 1.10, характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,35 + 0,38 \cdot (A - 140) / 100 = 1,35 + 0,38 \cdot (145 - 140) / 100 = 1,37 \text{ кПа,}$$

где $A = 145$ м – отметка планировки над уровнем моря (см. таблицу 2.11).

Схемы распределения снеговой нагрузки на арку в соответствии с требованиями СН 2.01.04-2019 [7] приведены на рисунке 2.11 (см. таблицу 1.11).

Вариант 1 (цилиндрические покрытия, случай *i*, таблица 1.11).

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3)

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 0,88 \text{ кПа,}$$

где $\mu_1 = 0,8$ – коэффициент формы снеговых нагрузок (таблица 1.11);

$C_e = 1,0$ – коэффициент окружающей среды (таблица 1.9);

$C_t = 0,8$ – температурный коэффициент (п. 1.4.3(3)).

Расчетная погонная равномерно распределенная нагрузка от снега на арку по варианту 1

$$q_{s1} = s_1 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 0,88 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 3,56 \text{ кН / м,}$$

$$\text{где } \gamma_Q = 1,5, \text{ т. к. } \frac{s}{\sum(g_k + g_{k1}) + s} = \frac{0,88}{(0,354 + 0,25) + 0,88} = 0,255 < 0,5;$$

$g_{k1} = 0,25$ кПа – предполагаемый расход металла на 1 м² от веса каркаса здания (для каркасов арочных зданий характеристическое значение нагрузки от собственного веса конструкций рекомендуется принимать в пределах 0,2...0,35 кПа).

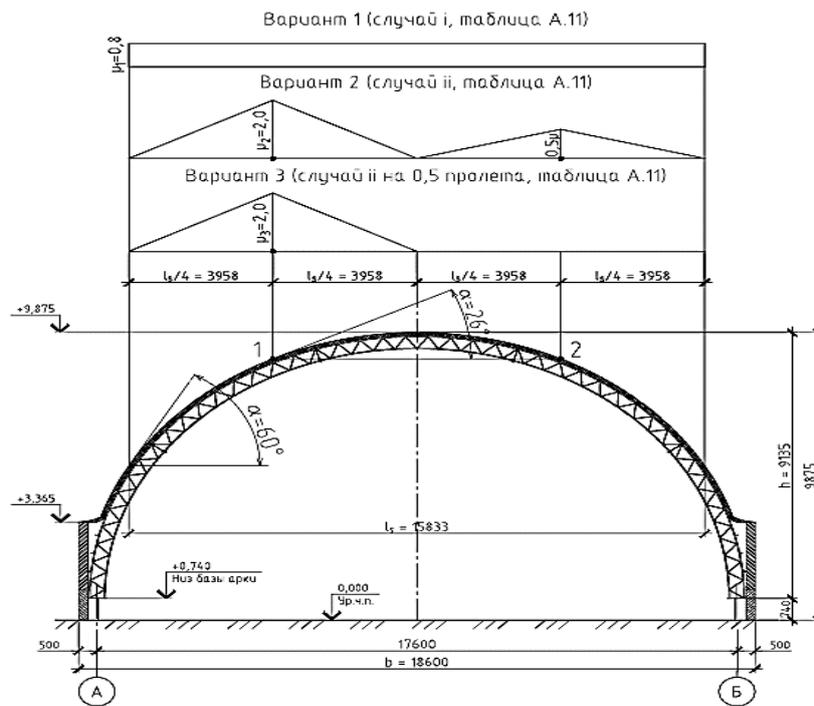


Рисунок 2.11 – Схемы распределения снеговой нагрузки на арку по СН 2.01.04-2019 [7]

Вариант 2 (цилиндрические покрытия, случай ii, таблица 1.11).

Коэффициент формы снеговой нагрузки в точке 1 (рисунок 2.11)

$$\mu_2 = 0,2 + 10 \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \cdot \frac{9135}{18600} = 5,11 > 2,0. \text{ Принимаем } \mu_2 = 2,0.$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в точке 1

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 2,19 \text{ кПа}.$$

Расчетное значение нагрузки от снега на арку в точке 1

$$q_{s2} = s_2 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 2,19 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 8,87 \text{ кН / м},$$

где $\gamma_Q = 1,5$, т. к. $\frac{s}{\sum (g_k + g_{k1}) + s} = \frac{2,19}{(0,354 + 0,25) + 2,19} = 0,351 < 0,5$.

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в точке 2

$$s_2 = 0,5 \cdot \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 1,095 \text{ кПа}.$$

Расчетное значение нагрузки от снега на арку в точке 2

$$q_{s2} = s_2 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,095 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 4,43 \text{ кН / м}.$$

Вариант 3 – рекомендуемая схема (цилиндрические покрытия, случай ii на 0,5 пролета, таблица 1.11).

В соответствии с требованиями п. 5.3.5(3) СН 2.01.04-2019 [7] допускается рассматривать также альтернативные распределения снеговых нагрузок с учетом заносов. В качестве такого альтернативного распределения рекомендуется учитывать для цилиндрических поверхностей одностороннее распределение снеговых нагрузок, т. е. на половину пролета.

Наиболее неблагоприятным для работы двух- и трехшарнирных арочных покрытий является применение схем распределения снеговых нагрузок по СН 2.01.04-2019 [7], догружающих их пояса в $\frac{1}{4}$ части пролёта, что соответствует наибольшей величине изгибающего момента в данных покрытиях. Применение второго варианта схемы по Изменению № 1 РБ к СНиП 2.01.07 [2] приводит к увеличению усилий в приопорных стержнях арок, что наиболее критично для работы бесшарнирных арок.

Вариант 4 – рекомендуемая схема (см. схема 1, вариант 1, Приложение Б).

Коэффициент формы снеговой нагрузки в точке 1 (рисунок 2.12)

$$\mu_4 = \cos 1,8\alpha = \cos(1,8 \cdot 0^\circ) = 1,0.$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в точке 1

$$s_4 = \mu_4 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 1,096 \text{ кПа}.$$

Расчетное значение нагрузки от снега на арку в точке 1

$$q_{s4} = s_4 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,096 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 4,44 \text{ кН / м}.$$

Вариант 5 – рекомендуемая схема (см. схема 1, вариант 2, Приложение Б).

Коэффициент формы снеговой нагрузки в точке 2 (рисунок 2.12)

$$\mu_5 = 2,4 \sin 1,4\alpha = 2,4 \sin(1,4 \cdot 50^\circ) = 2,255.$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в точке 2

$$s_5 = \mu_5 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,255 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 2,47 \text{ кПа}.$$

Расчетное значение нагрузки от снега на арку в точке 2

$$q_{s5} = s_5 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 2,47 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 10 \text{ кН / м}.$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в точке 3

$$s_5 = 0,5 \cdot \mu_5 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,255 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 1,24 \text{ кПа}.$$

Расчетное значение нагрузки от снега на арку в точке 3

$$q_{s5} = s_5 \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,24 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 5,02 \text{ кН / м}.$$

Вариант 6 – рекомендуемая схема (см. схема 1, вариант 2 на 0,5 пролета, Приложение Б).

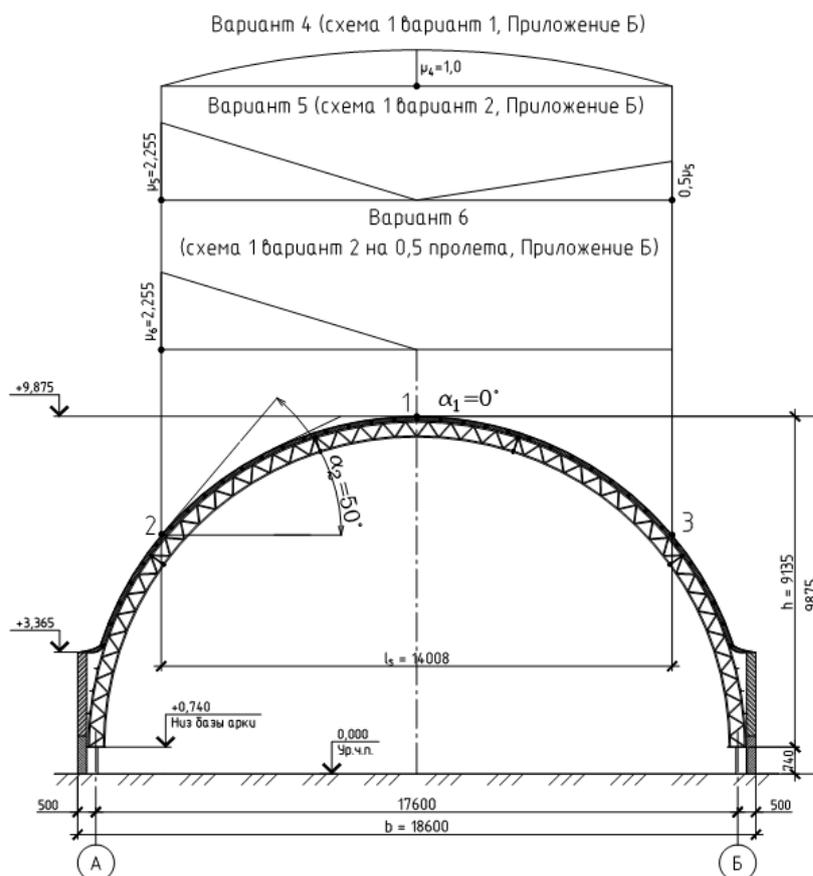


Рисунок 2.12 – Дополнительные схемы распределения снеговой нагрузки на арку

2.2.2.3 Ветровая нагрузка

Город Пинск относится к ветровому району с основным значением базовой скорости ветра $v_{b,0} = 23 \text{ м/с}$ (рисунок 1.6).

Для определения значения коэффициента, учитывающего направление ветра, используя «Справочник по климату Беларуси. Часть 4. Ветер, атмосферное давление» [10], выполним построение розы ветров для климатических условий г. Пинска (таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с, по направлениям для г. Пинска

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
I	3,0	2,3	3,2	3,8	3,3	3,7	4,4	3,9
II	3,3	2,8	3,7	3,4	3,5	3,4	4,2	3,8
III	2,9	2,9	3,4	3,7	3,3	3,1	4,4	3,8
IV	3,2	2,8	3,3	3,6	3,4	3,4	3,9	3,5
V	3,0	2,7	3,2	3,0	3,1	2,7	3,3	3,2
VI	2,9	2,7	2,5	2,6	2,9	2,8	3,1	3,3
VII	3,0	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	3,1	3,1
VIII	2,5	2,2	2,3	2,5	2,8	2,6	3,0	2,9
IX	2,7	2,4	2,6	2,7	2,9	2,7	3,3	3,4
X	3,0	2,7	3,0	3,2	3,2	3,3	3,6	3,5
XI	3,1	2,6	3,2	3,6	3,5	3,6	4,1	3,9
XII	3,1	2,8	3,0	3,5	3,5	3,6	4,3	3,8
Год	3,0	2,6	3,0	3,2	3,2	3,1	3,7	3,5

По генплану можно определить привязку проектируемого здания на местности (рисунок 2.13) по направлениям сторон света. Принимаем $c_{dir} = 1,0$ для наиболее вероятного направления ветра (сектор З) как частное от деления средней годовой скорости ветра для рассматриваемого направления и для наиболее вероятного направления ветра, было определено значение коэффициента $c_{dir} = 0,84$ для сектора ЮЗ.

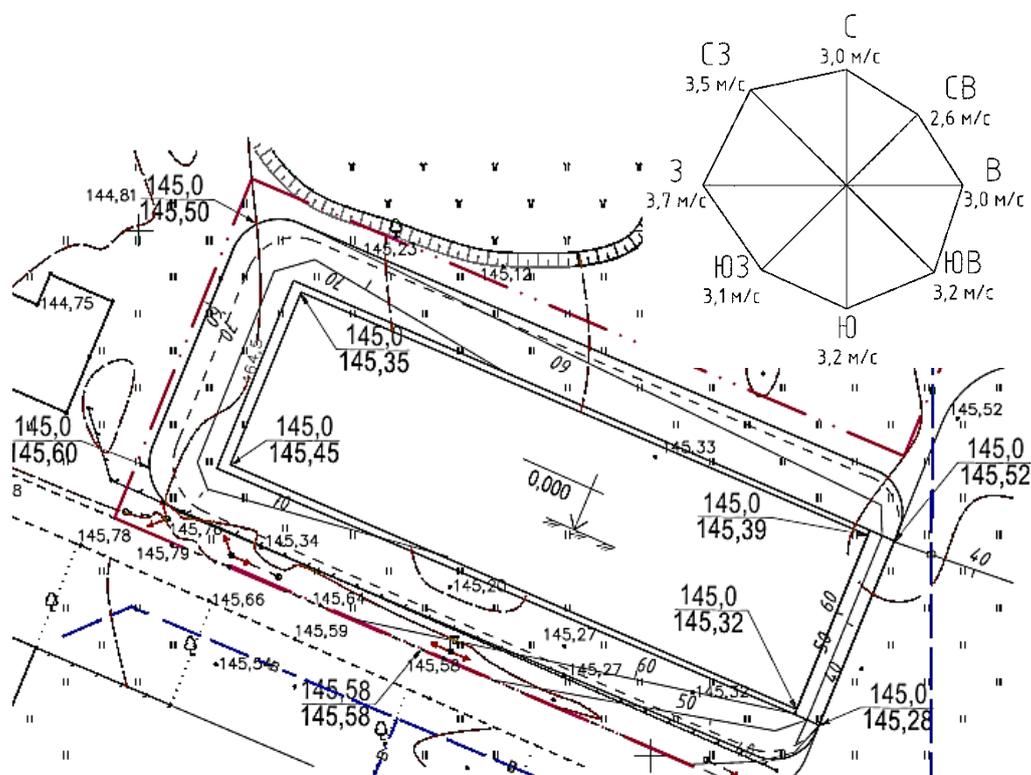


Рисунок 2.13 – Фрагмент генплана с розой ветров для климатических условий г. Пинска

Т. к. проектируемое здание не является временным сооружением, $c_{season} = 1,0$.

Базовое значение скорости ветра (формула 1.4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 0,84 \cdot 1,0 \cdot 23 = 19,32 \text{ м/с}.$$

Коэффициент местности k_r , зависящий от параметра шероховатости z_0 , определяем по формуле 1.7

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19,$$

где $z_{0,ji} = 0,05$ м (тип местности II, таблица 1.14);

z_0 – параметр шероховатости, $z_0 = 0,05$ м для типа местности по заданию на проектирование (тип местности II, таблица 1.14).

Т. к. $z_{min} = 5 \text{ м} < z = 9,875 \text{ м} < z_{max} = 200 \text{ м}$, то коэффициент, учитывающий тип местности, определяем по формуле 1.6а

$$c_r(9,875) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{9,875}{0,05} \right) = 1,004.$$

Среднюю скорость ветра определим из базового значения скорости с учетом типа местности и орографии (формула 1.5)

$$v_m(9,875) = c_r(9,875) \cdot c_o(9,875) \cdot v_b = 1,004 \cdot 1,0 \cdot 19,32 = 19,4 \text{ м/с},$$

где $c_o(z) = 1,0$, т. к. средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Т. к. $z_{min} = 5 \text{ м} < z = 9,875 \text{ м} < z_{max} = 200 \text{ м}$, то интенсивность турбулентности на высоте z определяем по формуле 1.8а

$$I_v(9,875) = \frac{k_i}{c_o(9,875) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(9,875/0,05)} = 0,189,$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_o – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ определяем по формуле 1.9

$$\begin{aligned} q_p(9,875) &= \left[1 + 7 \cdot I_v(9,875) \right] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(9,875) = \\ &= \left[1 + 7 \cdot 0,189 \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,4^2 = 546 \text{ (Н/м}^2\text{)} = 0,546 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Значения аэродинамического коэффициента внешнего давления $c_{pe,10}$ для арочных зданий, прямоугольных в плане, принимаются по диаграмме, приведенной на рисунке 2.14.

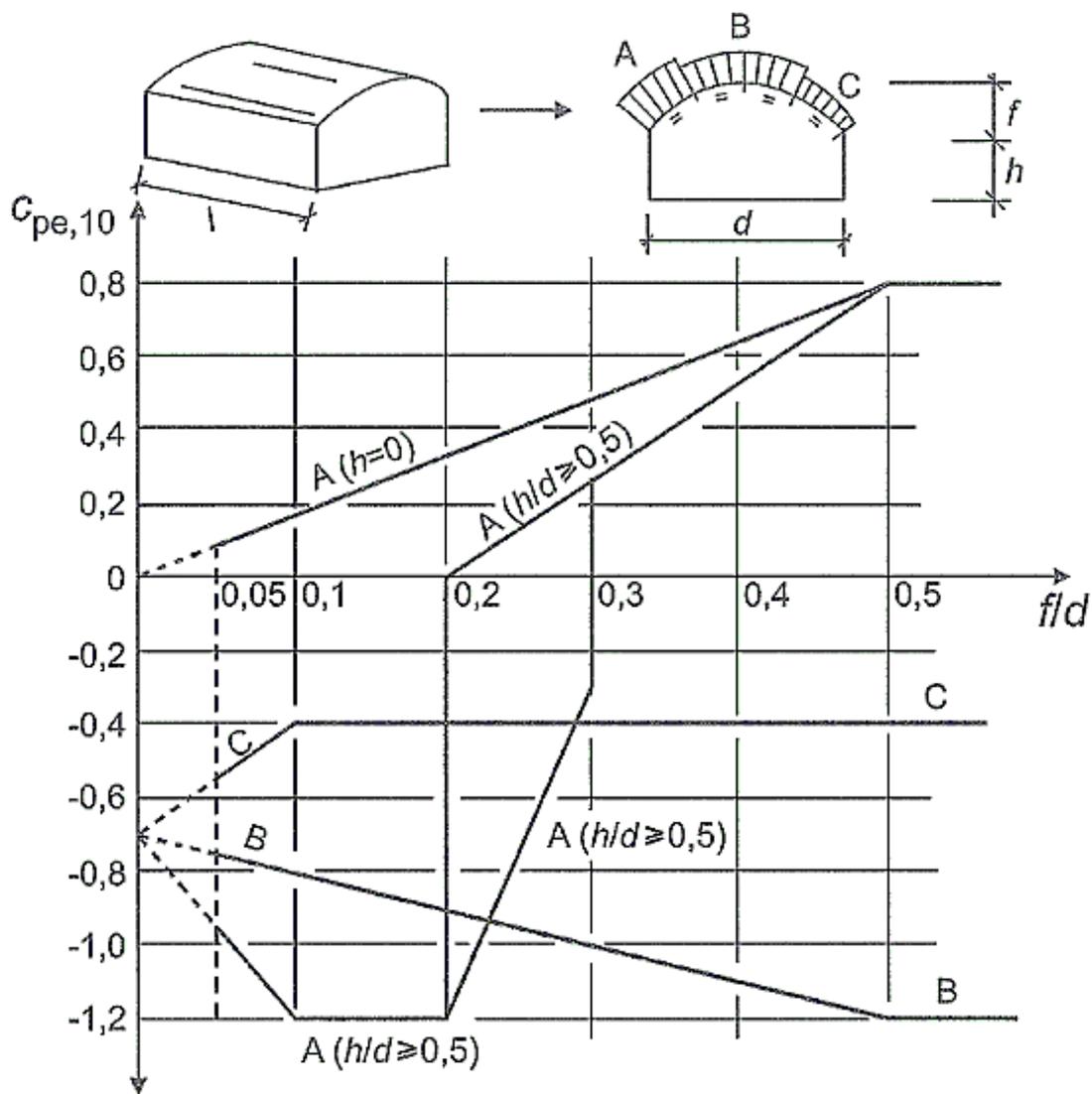
Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий c_{pe} сводим в таблицу 2.14.

Таблица 2.14 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона D	зона E
$h/d = 3,365/18,6 = 0,181$	$c_{pe,10} = +0,7$	$c_{pe,10} = -0,5$

Параметр $e = b$ или $2h$, определяющим является меньшее значение $e = \min(b; 2h) = \min(45,0; 2 \cdot 9,875) = 19,75 \text{ м}$.

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который в соответствии с п. 1.4.4.3(5) примечания 2 в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета применяет самое неблагоприятное значение из плюс 0.2 и минус 0.3.



При $0 < h/d < 0,5$ значение $c_{pe,10}$ определяют линейной интерполяцией, при $0,2 < f/d < 0,3$ и $h/d \geq 0,5$ учитывают два значения $c_{pe,10}$.

Диаграмма не распространяется на плоские покрытия

Рисунок 2.14 (рис. 7.11 [8]) – Рекомендуемые значения коэффициентов внешнего ветрового давления $c_{pe,10}$ для сводчатых покрытий прямоугольных в плане зданий

Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления для покрытия c_{pe} сводим в таблицу 2.15.

Таблица 2.15 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для покрытия

f/d	h/d	зона А	зона В	зона С
$h/d = 6,510/18,6 = 0,35$	$h/d = 3,365/18,6 = 0,181$	$c_{pe,10} = 0,56$	$c_{pe,10} = -1,05$	$c_{pe,10} = -0,4$

Расчетное значение ветровой нагрузки для арок, приходящаяся на погонную единицу длины q_w (кН/м) при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления при шаге арок $B = 3$ м

$$q_w = c_s c_d \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q.$$

На рисунке 2.15 приведены значения нагрузки q_w при $c_{pi} = 0,2$, при этом для $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} . На рисунке 2.16 приведены аналогичные значения q_w при $c_{pi} = -0,3$.

Подсчет расчетных значений ветровой нагрузки для арочного сельскохозяйственного здания в характерных зонах производим в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Расчетное значение ветровой нагрузки в характерных зонах

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона А	
$q_w = 0,56 \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,24 \text{ кН / м}$	$q_w = (0,56 + 0,3) \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,9 \text{ кН / м}$
Зона В	
$q_w = (1,05 + 0,2) \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,76 \text{ кН / м}$	$q_w = 1,05 \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,32 \text{ кН / м}$
Зона С	
$q_w = (0,4 + 0,2) \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,33 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,4 \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 0,88 \text{ кН / м}$
Зона D	
$q_w = 0,7 \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,55 \text{ кН / м}$	$q_w = (0,7 + 0,3) \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,21 \text{ кН / м}$
Зона Е	
$q_w = (0,2 + 0,5) \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,55 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,5 \cdot 0,546 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,11 \text{ кН / м}$

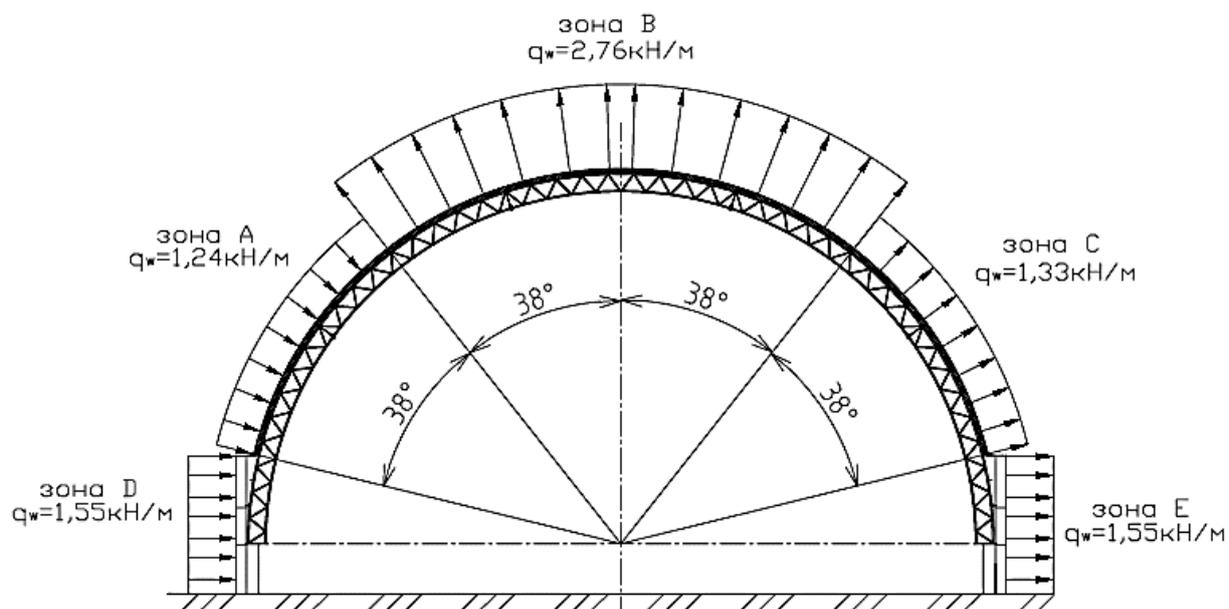


Рисунок 2.15 – Распределение расчетной ветровой нагрузки на арочное здание при $c_{pi} = 0,2$

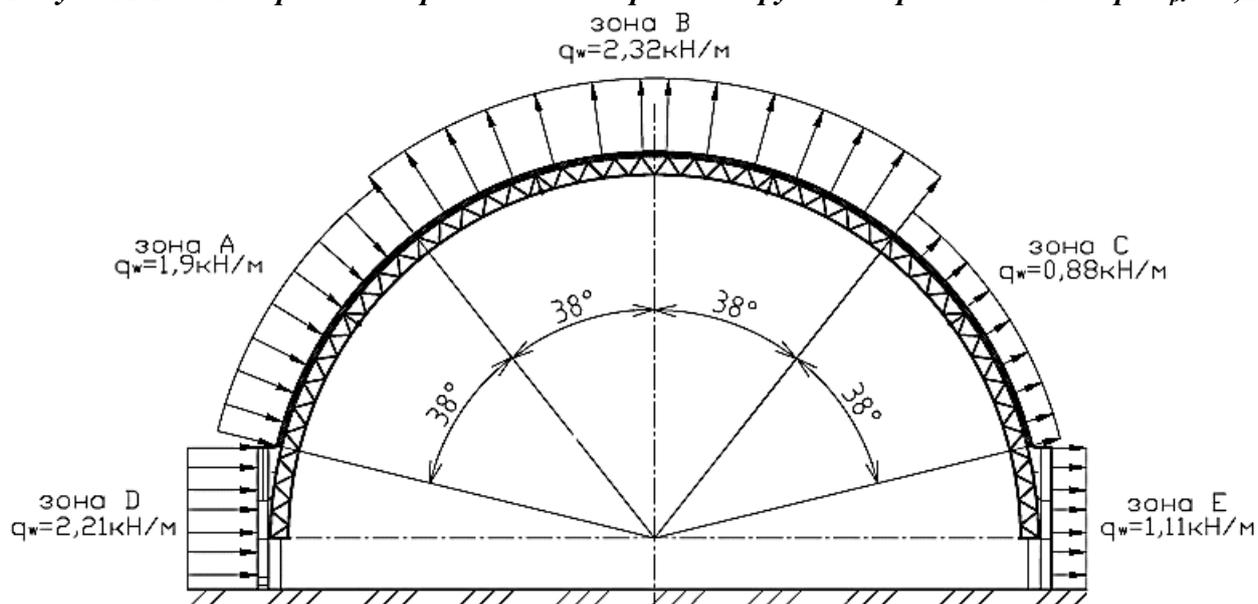


Рисунок 2.16 – Распределение расчетной ветровой нагрузки на арочное здание при $c_{pi} = -0,3$

2.2.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности

Таблица 2.17 – Коэффициенты РСН для предельных состояний несущей способности

№ загрузки	Наименование	Вид	РСН №																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Собственный вес	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Кровля	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Снег 1 (вариант 1)	Переменное	1,0	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–
4	Снег 2 (вариант 2)	Переменное	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–	–	–	–
5	Снег 3 (вариант 3)	Переменное	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–	–
6	Снег 4 (вариант 4)	Переменное	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–
7	Снег 5 (вариант 5)	Переменное	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6
8	Снег 6 (вариант 6)	Переменное	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
9	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$)	Переменное	–	–	–	–	–	–	1,0	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6
10	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	1,0	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–

Продолжение таблицы 2.17

№ загрузки	Наименование	Вид	РСН №																			
			18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32					
1	Собственный вес	Постоянное	1,0	1,0	1,0	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85			
2	Кровля	Постоянное	1,0	1,0	1,0	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85			
3	Снег 1 (вариант 1)	Переменное	–	–	–	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
4	Снег 2 (вариант 2)	Переменное	–	–	–	–	–	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
5	Снег 3 (вариант 3)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–			
6	Снег 4 (вариант 4)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–			
7	Снег 5 (вариант 5)	Переменное	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	–	–	–			
8	Снег 6 (вариант 6)	Переменное	–	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0			
9	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$)	Переменное	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–			
10	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$)	Переменное	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6	–	0,6			

Окончание таблицы 2.17

№ загрузки	Наименование	Вид	РСН №											
			33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
1	Собственный вес	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Кровля	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
3	Снег 1 (вариант 1)	Переменное	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Снег 2 (вариант 2)	Переменное	–	–	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–
5	Снег 3 (вариант 3)	Переменное	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–
6	Снег 4 (вариант 4)	Переменное	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–	–	–
7	Снег 5 (вариант 5)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–
8	Снег 6 (вариант 6)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6
9	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$)	Переменное	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–
10	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$)	Переменное	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	1,0

2.3 Пример подсчёта нагрузок на двухпролётное сельскохозяйственное здание

2.3.1 Исходные данные

Выполнить подсчет нагрузок на поперечную раму одноэтажного двухпролетного сельскохозяйственного здания при исходных данных, приведенных в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Исходные данные

Категория расчетного срока эксплуатации (таблица 1.1)	3 (15 – 30 лет)
Класс последствий здания (таблица 1.3)	СС1
Класс надежности здания (таблица 1.2В)	RC1, $k_{FI} = 0,9$
Пролет здания L , м	18 и 21
Шаг рам B , м	6
Длина здания, м	108
Площадка строительства	п. Беловежский
Отметка планировки над уровнем моря A , м	166
Условие местности (таблица 1.9)	Обычные
Тип местности (таблица 1.14)	II

Схема поперечной рамы сельскохозяйственного здания показана на рисунке 2.17.

2.3.2 Определение нагрузок на раму

2.3.2.1 Постоянная нагрузка

Нагрузки на 1 м^2 кровли представлены в таблице 2.19.

Все виды равномерно распределенных нагрузок, находящихся на плитах покрытия, передаются на ригель полурам в виде сосредоточенных сил, приложенных в местах опирания продольных ребер ребристых плит. Допускается заменять сосредоточенную нагрузку равномерно распределенной, если число действующих сил в пролете четыре и более. Следует отметить, что нагрузки, передаваемые через стойки фонаря, нагрузки от подвешенного транспорта, подвесных грузов и т. д. рассматриваются как сосредоточенные грузы.

Таблица 2.19 – Поверхностная распределенная нагрузка от покрытия

№ п/п	Состав покрытия	Характеристическое значение g_k , кПа	Частный коэффициент γ_G	Расчетное значение g_d , кПа
1	"Сэндвич-панель" (полиизоциануратная пена), $h = 100 \text{ мм}$	0,04	1,35	0,054
2	Железобетонные ребристые плиты $1,5 \times 6 \text{ м}$ (с заливкой швов), $h = 250 \text{ мм}$	1,35	1,2	1,62
	Итого:	1,39	–	1,674

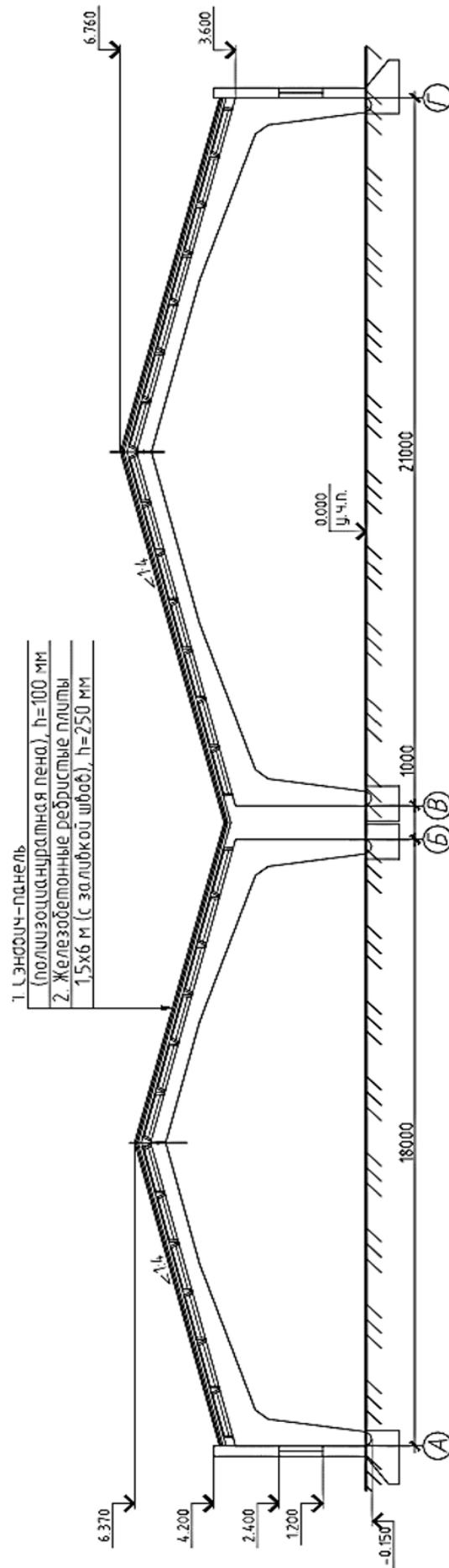


Рисунок 2.17 – Поперечная рама сельскохозяйственного здания

Собственный вес железобетонных конструкций (полурам) учитывается при статическом расчете с $\gamma_G = 1,2$.

Расчетная равномерно распределенная постоянная нагрузка на ригель полурамы составляет $q = q_d \cdot k_{FI} \cdot B = 1,877 \cdot 0,9 \cdot 6 = 10,14 \text{ кН / м}$.

2.3.2.2 Снеговая нагрузка

В соответствии с рисунком 1.5 п. Беловежский относится к снеговому району Ib. Тогда в соответствии с таблицей 1.10 характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,35 + 2,20 \cdot (A - 155) / 100 = 1,35 + 2,20 \cdot (166 - 155) / 100 = 1,592 \text{ кПа},$$

где $A = 166 \text{ м}$ – отметка планировки над уровнем моря (см. таблицу 2.18).

Схемы распределения снеговых нагрузок на раму сельскохозяйственного здания представлены на рисунке 2.18. В рассматриваемом примере $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 14^\circ$.

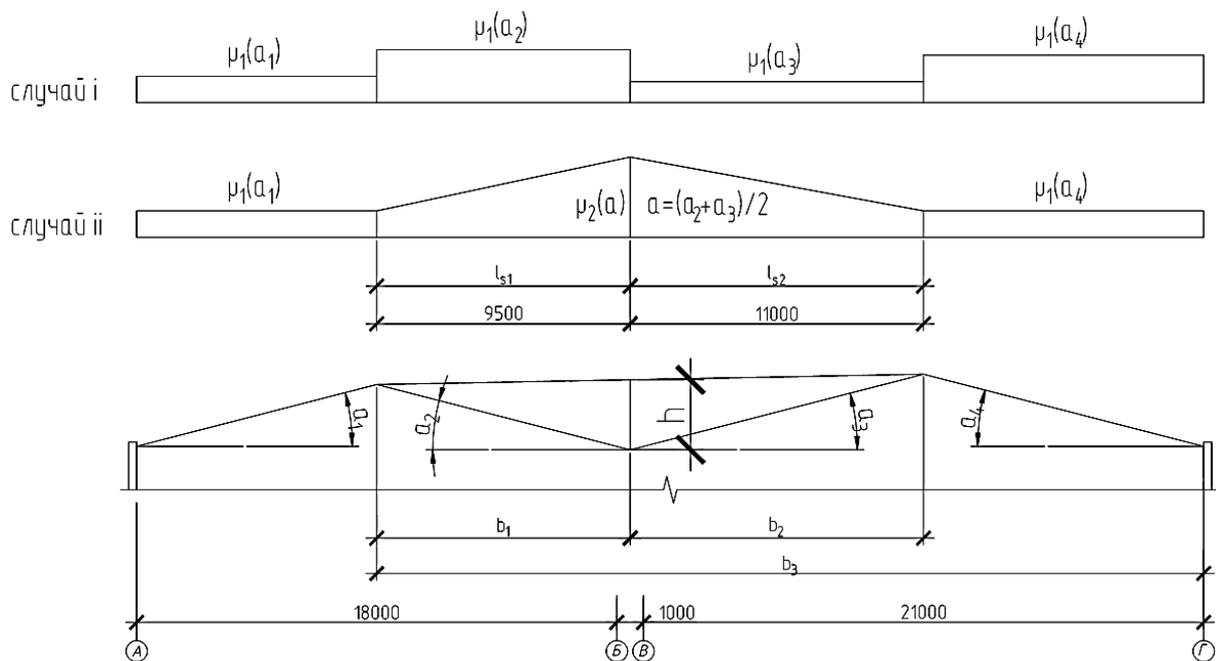


Рисунок 2.18 – Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега

Случай i

По таблице 1.11 определяем коэффициенты форм снеговых нагрузок

$$\mu_1(a_1) = \mu_1(a_2) = \mu_1(a_3) = \mu_1(a_4) = 0,8 \text{ при } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ,$$

так как в нашем случае $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 14^\circ$.

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3)

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,592 = 1,274 \text{ кПа}.$$

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега

$$q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,274 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 6 = 10,319 \text{ кН / м},$$

где $B = 6 \text{ м}$ – шаг полурам;

$$\gamma_Q = 1,5, \text{ т. к. } \frac{s}{\sum (g_k + g_{k1}) + s} = \frac{1,274}{(1,39 + 0,54) + 1,274} = 0,398 < 0,5;$$

$g_{k1} = 0,54 \text{ кПа}$ – характеристическое значение нагрузки от собственного веса железобетонных конструкций (полурам) на 1 м^2 здания.

Случай ii

По таблице 1.11 определяем коэффициенты форм снеговых нагрузок

$$\mu_1(a_1) = 0,8 \text{ при } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ;$$

$$\mu_2(a) = 0,8 + 0,8 \cdot a / 30 = 1,17 \text{ при } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ;$$

$$a = (\alpha_2 + \alpha_3) / 2 = (14 + 14) / 2 = 14^\circ;$$

$$\mu_1(a_4) = 0,8 \text{ при } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \text{ (таблица 1.11).}$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3) при μ_1

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,592 = 1,274 \text{ кПа}.$$

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега

$$q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,274 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 6 = 10,319 \text{ кН / м}.$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3) при μ_2

$$s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,17 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,592 = 1,863 \text{ кПа}.$$

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от снега

$$q_s = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 1,863 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \cdot 6 = 15,087 \text{ кН / м}.$$

2.3.2.3 Ветровая нагрузка

Поселок Беловежский относится к ветровому району с основным значением базовой скорости ветра $v_{b,0} = 21 \text{ м / с}$ (рисунок 1.6).

Т. к. привязка проектируемого здания на местности не определена, рекомендуемое значение коэффициента, учитывающего направление ветра, $c_{dir} = 1,0$.

Базовое значение скорости ветра (формула 1.4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 21 = 21,0 \text{ м / с},$$

где $c_{dir} = 1,0$ – коэффициент, учитывающий направление ветра;

c_{season} – сезонный коэффициент, т. к. проектируемое здание не является временным сооружением, $c_{season} = 1,0$.

Коэффициент местности k_r определяем по формуле 1.7

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19,$$

где $z_{0,ji} = 0,05 \text{ м}$ (тип местности II, таблица 1.14);

z_0 – параметр шероховатости, $z_0 = 0,05 \text{ м}$ для типа местности по заданию на проектирование (тип местности II, таблица 1.14).

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 6,76 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, коэффициент, учитывающий тип местности, определяем по формуле 1.6а

$$c_r(6,76) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{6,76}{0,05} \right) = 0,932.$$

Средняя скорость ветра (формула 1.5)

$$v_m(6,76) = c_r(6,76) \cdot c_o(6,76) \cdot v_b = 0,932 \cdot 1,0 \cdot 21,0 = 19,572 \text{ м / с},$$

где $c_o(z) = 1,0$, т. к. средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 6,76 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, то интенсивность турбулентности определяем по формуле 1.8а

$$I_v(6,76) = \frac{k_i}{c_o(6,76) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(6,76/0,05)} = 0,204,$$

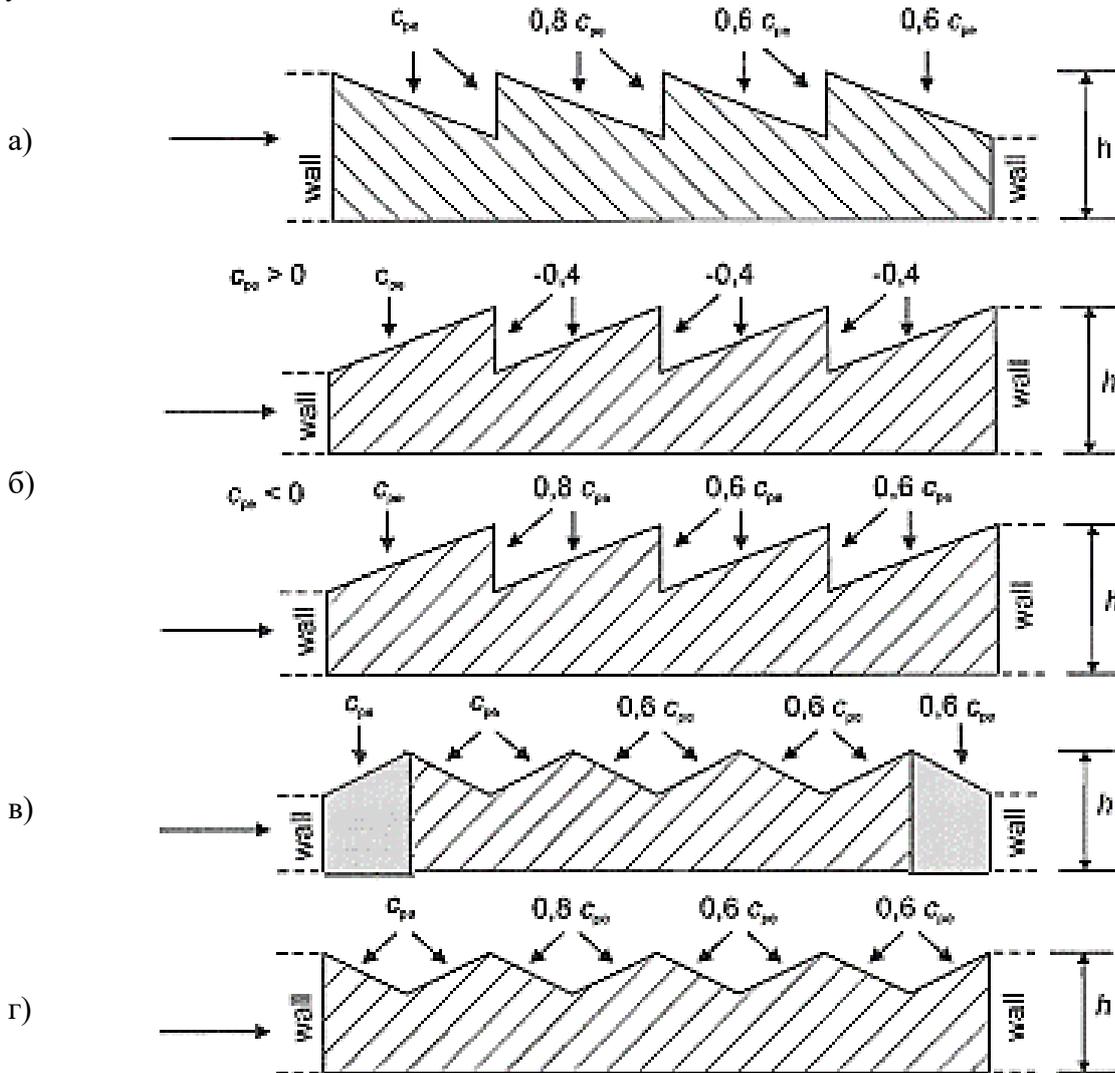
где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;
 c_0 – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если
 средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ определяем по формуле 1.9

$$q_p(6,76) = [1 + 7 \cdot I_v(6,76)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(6,76) =$$

$$= [1 + 7 \cdot 0,204] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,572^2 = 581 \text{ Н / м}^2 = 0,581 \text{ кПа.}$$

Распределение давления для многопролётных шедовых покрытий представлено на рисунке 2.19.



Примечание 1 – Для конфигурации б) рассматривают два случая в зависимости от знака коэффициента давления c_{pe} для первого пролета покрытия

Примечание 2 – Для конфигурации в) первым значением c_{pe} является значение c_{pe} для односкатного покрытия, следующие значения c_{pe} – значение c_{pe} для покрытия корытообразного сечения

Рисунок 2.19 – К распределению ветрового давления для многопролётных скатных (шедовых) покрытий

Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий c_{pe} определяется по таблице 1.15. Значения коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен сводим в таблицу 2.20.

Таблица 2.20 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона D	зона E
$h/d = 6,76/40,6 = 0,167$	$c_{pe,10} = +0,7$	$c_{pe,10} = -0,5$

Параметр $e = \min(b; 2h) = \min(108; 2 \cdot 6,76) = 13,52 \text{ м}$.

Значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления для рассматриваемой поперечной рамы сельскохозяйственного здания представлены на рисунках 2.20...2.23.

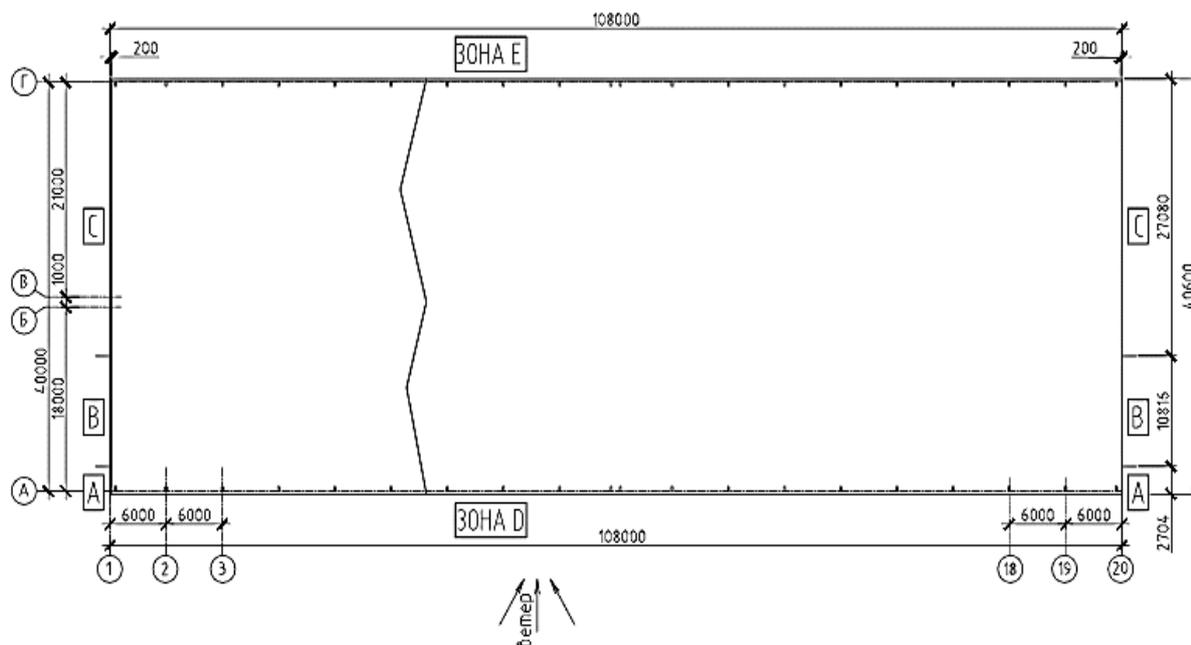


Рисунок 2.20 – Распределение ветрового давления для вертикальных стен

При этом зоны F, G и J используют только для наветренной поверхности первого пролета покрытия. Зоны H и I должны рассматриваться для каждого пролета многопролетного (шедевого) покрытия.

Согласно примечанию 2 п. 7.2.7 [5] первым значением c_{pe} является значение для односкатного покрытия (таблица 1.15 [1]), следующие значения c_{pe} – значение c_{pe} для покрытия корытообразного сечения (таблица 1.15 [1]).

Базовую высоту применяем равной $z_e = h = 6,76 \text{ м}$.

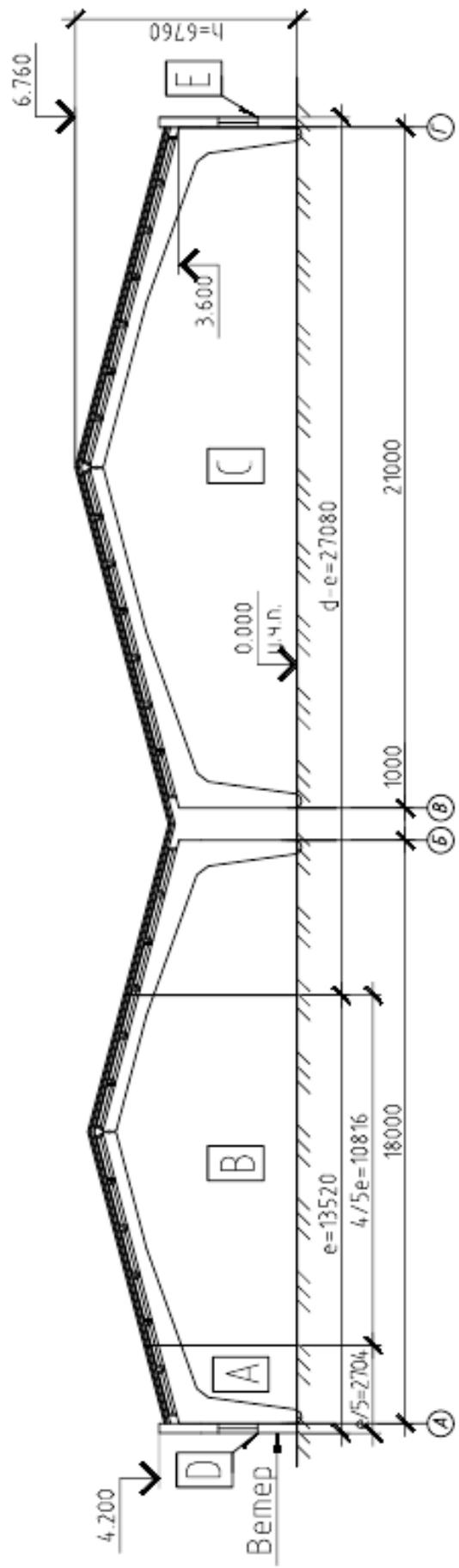
При параметре $e = \min(b; 2h) = 13,52 \text{ м}$ значение коэффициента $c_{pe,10}$ для покрытия определяется по таблице 1.15. Значения $c_{pe,10}$ для покрытия сводим в таблицу 2.21.

Таблица 2.21 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для покрытия здания

зона F	зона G	зона H ₁	зона H ₂	зона H ₃	зона I
$c_{pe,10} = -0,9$ $c_{pe,10} = +0,2$	$c_{pe,10} = -0,8$ $c_{pe,10} = +0,2$	$c_{pe,10} = -0,3$ $c_{pe,10} = +0,2$	$c_{pe,10} = -0,9$	$c_{pe,10} = -0,9 \cdot 0,6 = -0,54$	$c_{pe,10} = -0,5$

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который согласно п. 1.4.4.3(5) примечания 2 в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета применяет самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

Для углов уклона от $= +5$ до $= +45$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения.



Для зоны А: $s_{р,10} = -1,2$; для зоны В: $s_{р,10} = -0,8$; для зоны С: $s_{р,10} = -0,5$

Рисунок 2.21 – Распределение ветрового давления на боковые вертикальные стены

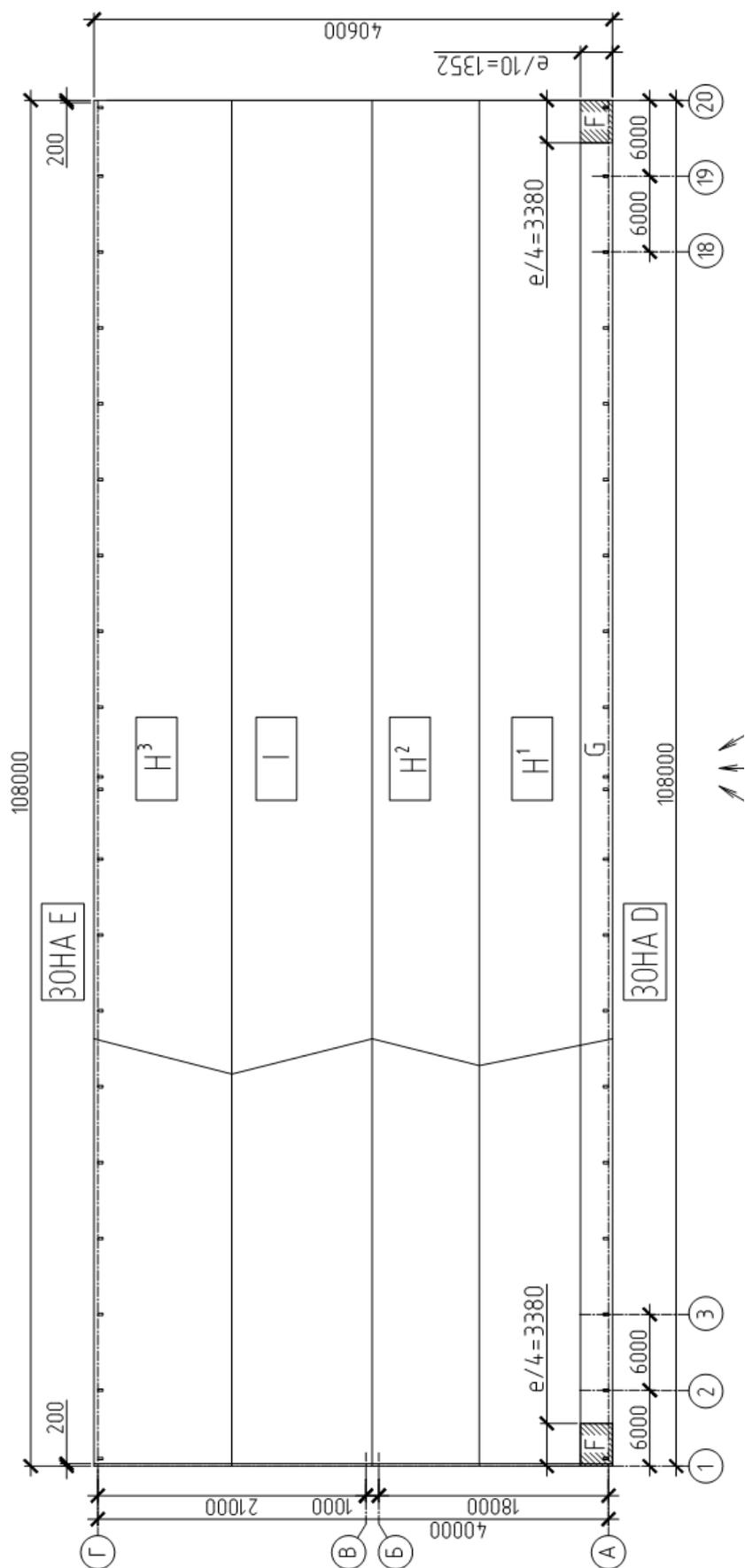


Рисунок 2.22 – Зоны распределения ветрового давления на покрытие здания

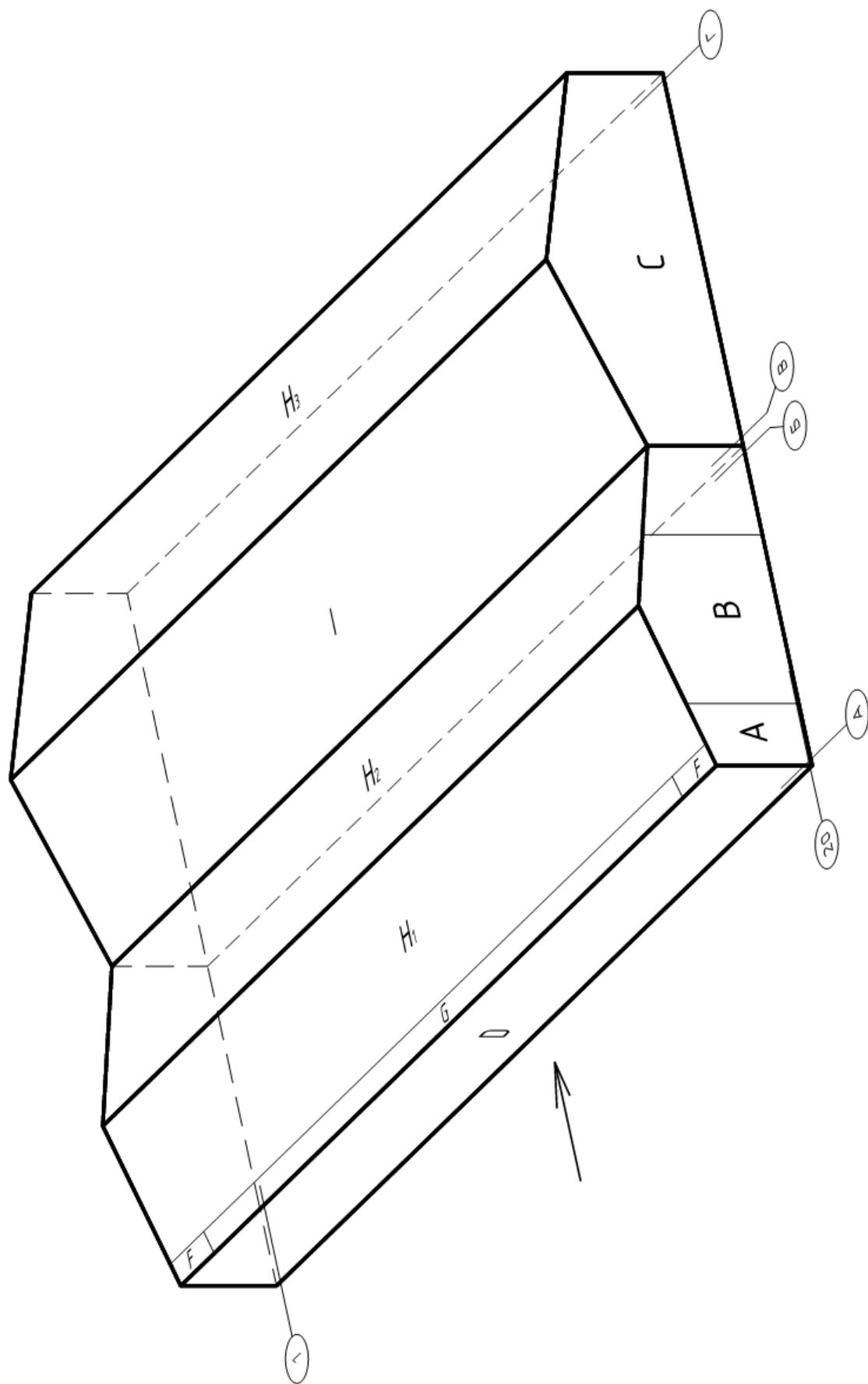


Рисунок 2.23 – Зоны распределения ветрового давления на покрытие здания

Для таких покрытий необходимо учитывать четыре случая, при которых комбинируются соответственно наименьшие или наибольшие значения для зон F, G и H с наименьшим или наибольшим значениями зон I и J. Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия не допускается.

Расчетное значение ветровой нагрузки для рам, находящихся в осях 2...19, приходящуюся на погонную единицу длины q_w (кН/м), при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления при шаге полурам $B = 6$ м

$$q_w = c_s c_d \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q.$$

На рисунке 2.24 приведены значения расчетной ветровой нагрузки q_w при $c_{pi} = 0,2$, при этом для $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} . На рисунке 2.25 приведены аналогичные значения q_w при $c_{pi} = -0,3$.

Подсчет расчетных значений ветровой нагрузки в характерных зонах на двухпролётное сельскохозяйственное здание сводим в таблицу 2.22.

Таблица 2.22 – Расчетное значение ветровой нагрузки в характерных зонах

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона D	
$q_w = 0,7 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 3,29$ кН / м	$q_w = (0,7 + 0,3) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 4,71$ кН / м
Зона G ($c_{pe} = -0,8$)	
$q_w = (0,8 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 4,71$ кН / м	$q_w = 0,8 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 3,76$ кН / м
Зона G ($c_{pe} = 0,2$)	
$q_w = 0,2 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 0,94$ кН / м	$q_w = (0,2 + 0,3) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,35$ кН / м
Зона H₁ ($c_{pe} = -0,3$)	
$q_w = (0,3 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,35$ кН / м	$q_w = 0,3 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 1,41$ кН / м
Зона H₁ ($c_{pe} = 0,2$)	
$q_w = 0,2 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 0,94$ кН / м	$q_w = (0,2 + 0,3) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,35$ кН / м
Зона H₂ ($c_{pe} = -0,9$)	
$q_w = (0,9 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 5,18$ кН / м	$q_w = 0,9 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 4,23$ кН / м
Зона H₃ ($c_{pe} = -0,54$)	
$q_w = (0,54 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 3,48$ кН / м	$q_w = 0,54 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,54$ кН / м
Зона I ($c_{pe} = -0,5$)	
$q_w = (0,5 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 3,29$ кН / м	$q_w = 0,5 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,35$ кН / м
Зона E ($c_{pe} = -0,5$)	
$q_w = (0,5 + 0,2) \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 3,29$ кН / м	$q_w = 0,5 \cdot 0,581 \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 2,35$ кН / м

2.3.3 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок для предельных состояний несущей способности

Таблица 2.23 – Коэффициенты РСН для предельных состояний несущей способности

№	Наименование	Вид	РСН №														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Собственный вес	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Кровля	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Снег 1 (случай <i>i</i>)	Переменное	1,0	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–
4	Снег 2 (случай <i>ii</i>)	Переменное	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	–	–	1,0	–	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	–	–	1,0	–	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6

Окончание таблицы 2.23

№	Наименование	Вид	РСН №															
			15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Собственный вес	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Кровля	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
3	Снег 1 (случай <i>i</i>)	Переменное	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–
4	Снег 2 (случай <i>ii</i>)	Переменное	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	1,0	–	–	–	1,0	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	1,0	–	–	–	1,0	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	1,0	–	–	–	1,0	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	1,0	–	–	–	1,0

2.4 Пример подсчёта нагрузок на стропильную систему

2.4.1 Исходные данные

Выполнить подсчет нагрузок на стропильную систему при исходных данных, приведенных в таблице 2.24.

Таблица 2.24 – Исходные данные

Класс последствий здания (таблица 1.4)	СС2, $k_{FT} = 1,0$
Длина здания, м	34,44
Ширина здания, м	12,39
Площадка строительства	г. Барановичи
Отметка планировки над уровнем моря А, м	163,82
Условие местности (таблица 1.9)	Обычные
Тип местности (таблица 1.14)	II
Угол наклона кровли к горизонту	25°
Расстояние между осями досок обрешётки d , м	0,35
Расстояние по осям стропильных ног B , м	1,3
Класс условий эксплуатации по СП 5.05-2020	2
Материал стропильной системы	Сосна, класс прочности С24

Стропильная система представлена на рисунке 2.26.

2.4.2 Подсчет нагрузок на обрешётку

2.4.2.1 Постоянная нагрузка

Конструктивное решение кровли приведено на рисунке 2.27. Подсчет нагрузок от кровли на доску обрешетки с учетом ее собственного веса приведен в таблице 2.25.

Таблица 2.25 – Погонная нагрузка от кровли на обрешётку

№ п/п	Состав покрытия	Характеристическое значение q_k , кН/м	Частный коэффициент γ_G	Расчетное значение q_d , кН/м
1	Металлочерепица тип “Монтеррей” СТБ 1382-2003 с учётом нахлёста вдоль ската кровли (5 кг/м ²) 5,0·10·0,35/1000	0,0175	1,35	0,0236
2	Сосновая доска обрешётки $b \times h = 100 \times 50$ мм, $\rho = 420$ кг/м ³ 0,1·0,05·420·10/1000	0,021	1,35	0,0284
	Итого:	0,039		0,052

Металлочерепица тип «Монтеррей»
 Обрешетка из доски 100x50(н), шаг 350
 Прижимная доска 60x25(н)
 Пленка противоконденсатная Ютафол Н 90
 Стропильная нога 60x200(н)

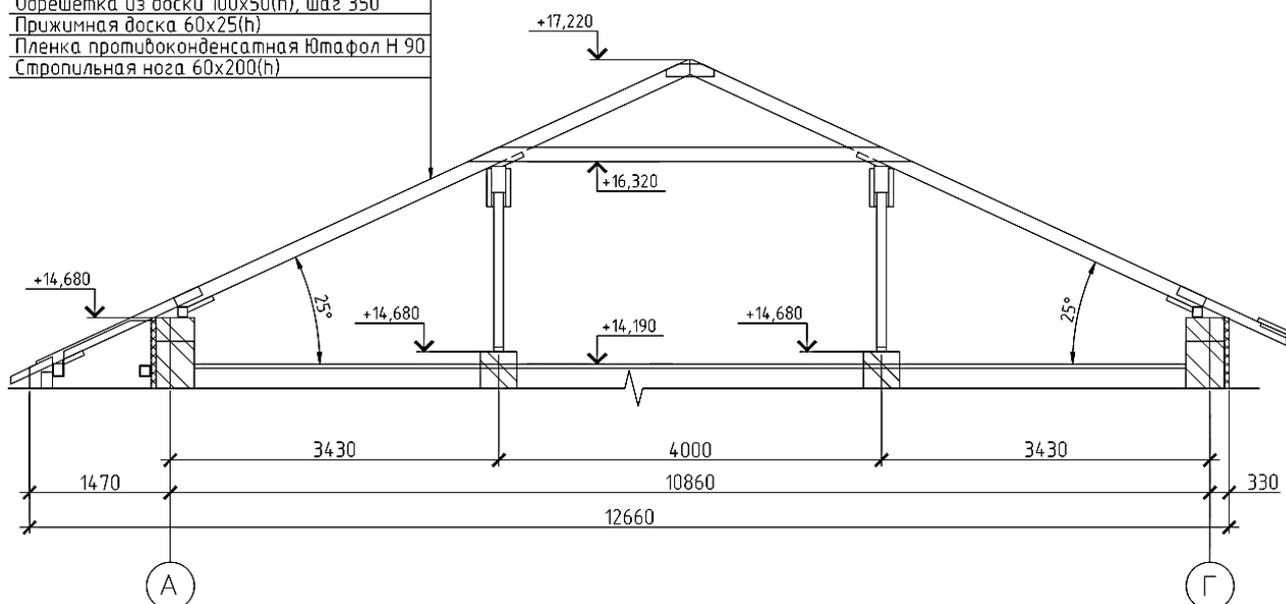
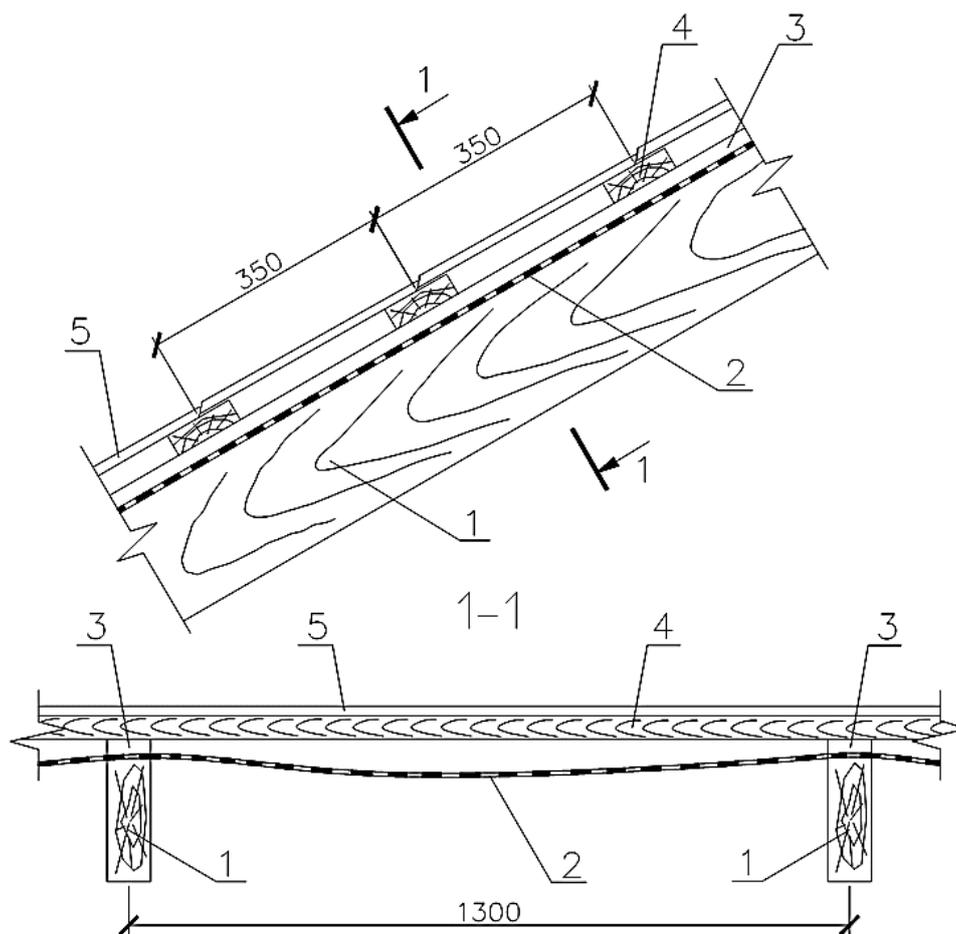


Рисунок 2.26 – Стропильная система



1 – стропильная нога 60×200 мм; 2 – противоконденсатная плёнка;
 3 – прижимная планка 60×25 мм; 4 – обрешётка 100×50 мм; 5 – металлочерепица

Рисунок 2.27 – Конструктивное решение кровли

2.4.2.2 Снеговая нагрузка

В соответствии с рисунком 1.5 г. Барановичи относится к снеговому району 2в. Тогда в соответствии с таблицей 1.10 характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,45 + 0,6(A - 210) / 100 = 1,45 + 0,6 \cdot (163,82 - 210) / 100 = 1,17 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

где $A = 163,82$ м – отметка планировки над уровнем моря (см. таблицу 2.24).

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3)

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,17 = 0,936 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

Характеристическое значение погонной нагрузки на обрешетку, приложенной перпендикулярно к плоскости обрешетки

$$Q_{k,s} = s \cdot d \cdot \cos \alpha = 0,936 \cdot 0,35 \cdot 0,946 = 0,31 \text{ кН} / \text{м}.$$

Расчетная снеговая погонная нагрузка на обрешетку

$$Q_{d,s} = Q_{k,s} \cdot \gamma_Q = 0,31 \cdot 1,5 = 0,465 \text{ кН} / \text{м},$$

где $\gamma_Q = 1,5$ (таблица 1.2(В), примечание 1).

2.4.3 Подсчет нагрузок на стропильную систему

2.4.3.1 Постоянная нагрузка

Нагрузки на 1 м² кровли представлены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Нагрузка от кровли

№п/п	Состав покрытия	Характеристическое значение g_k , кПа	Частный коэффициент γ_G	Расчетное значение g_d , кПа
1	Металлочерепица тип «Монтеррей» СТЬ 1382-2003 с учётом нахлёста вдоль ската кровли (5 кг/м ²) $5,0 \cdot 10 / 1000$	0,05	1,35	0,0675
2	Обрешётка $b \times h = 100 \times 50$ мм, $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$, шаг 350 мм $0,1 \cdot 0,05 \cdot 420 \cdot 10 / (0,350 \cdot 1000)$	0,06	1,35	0,081
3	Прижимная доска $b \times h = 60 \times 25$ мм, $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$ $0,06 \cdot 0,025 \cdot 420 \cdot 10 / (1000 \cdot 1,3)$	0,0048	1,35	0,0065
4	Противоконденсатная пленка Ютафол Н 90, $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^3$ $0,09 \cdot 10 / 1000$	0,001	1,35	0,0014
5	Стропильная нога $b \times h = 60 \times 200$ мм, $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$ $0,06 \cdot 0,2 \cdot 420 \cdot 10 / (1000 \cdot 1,3)$	0,0388	1,35	0,0524
	Итого:	0,155		0,209

Расчетная погонная равномерно распределенная постоянная нагрузка на стропильную ногу $q = g_d \cdot k_{Fl} \cdot B = 0,209 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 0,27 \text{ кН} / \text{м}$.

2.4.3.2 Снеговая нагрузка

Вариант 1 (двускатные покрытия, случай *i*, таблица 1.11)

Расчетная погонная равномерно распределенная нагрузка от снега на стропильную систему (рисунок 2.28, вариант 1)

$$q_{s1} = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 0,936 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 1,825 \text{ кН / м},$$

где $\gamma_Q = 1,5$ (таблица 1.2(В), примечание 1).

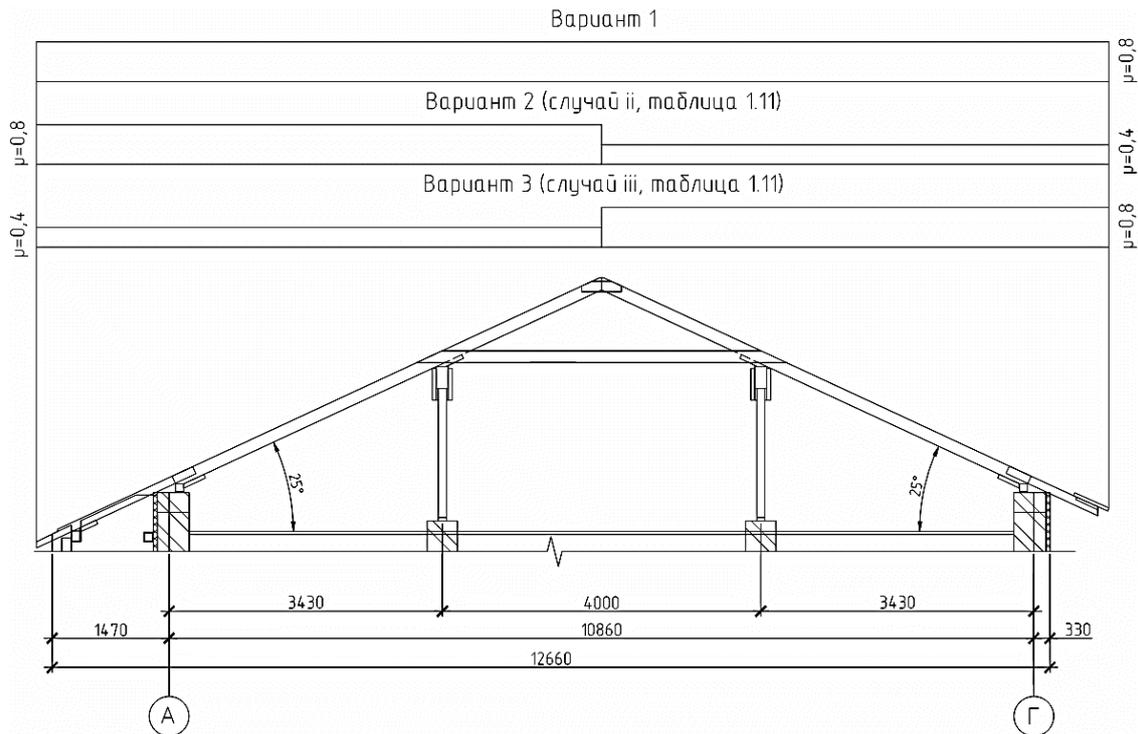


Рисунок 2.28 – Схемы приложения снеговой нагрузки

Варианты 2 и 3 (двускатные покрытия, случаи ii и iii, таблица 1.11)

Расчетная погонная равномерно распределенная нагрузка от снега на стропильную систему по вариантам 2 и 3 (рисунок 2.28):

$$q_{s2} = s \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} \cdot B = 0,936 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 1,825 \text{ кН / м};$$

$$q_{s3} = 0,5 \cdot q_{s2} = 0,5 \cdot 1,825 = 0,913 \text{ кН / м}.$$

2.4.3.3 Ветровая нагрузка

Город Барановичи относится к ветровому району с основным значением базовой скорости ветра $v_{b,0} = 23 \text{ м / с}$ (рисунок 1.6).

Т. к. привязка проектируемого здания на местности не определена, рекомендуемое значение коэффициента, учитывающего направление ветра, $c_{dir} = 1,0$.

Базовое значение скорости ветра (формула 1.5)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 23 = 23,0 \text{ м / с},$$

где $c_{dir} = 1,0$ – коэффициент, учитывающий направление ветра;

c_{season} – сезонный коэффициент, т. к. проектируемое здание не является временным сооружением, $c_{season} = 1,0$.

Коэффициент местности k_r (формула 1.7)

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19,$$

где $z_{0,ji} = 0,05 \text{ м}$ (тип местности II, таблица 1.14);

z_0 – параметр шероховатости, $z_0 = 0,05$ м для типа местности по заданию на проектирование (тип местности II, таблица 1.14).

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 17,220 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, то коэффициент, учитывающий тип местности, определяем по формуле 1.6а

$$c_r(6,76) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{17,220}{0,05}\right) = 1,110.$$

Средняя скорость ветра (формула 1.5)

$$v_m(17,220) = c_r(17,220) \cdot c_o(17,220) \cdot v_b = 1,110 \cdot 1,0 \cdot 23,0 = 25,53 \text{ м/с},$$

где $c_o(z) = 1,0$, т.к. средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 17,220 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, то интенсивность турбулентности на высоте $z = 17,220$ м определяем по формуле 1.8а

$$I_v(17,220) = \frac{k_i}{c_o(17,220) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(17,220/0,05)} = 0,171,$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_o – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ определяем по формуле 1.9

$$\begin{aligned} q_p(17,220) &= [1 + 7 \cdot I_v(17,220)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(17,220) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,171] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,53^2 = 895 \text{ Н/м}^2 = 0,895 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Распределение давления для двухскатных покрытий (имеющих уклон более 5°) принимаем в соответствии с таблицей 1.15. Значения аэродинамических коэффициентов внешнего давления для рассматриваемого покрытия здания представлены в таблице 2.27.

Таблица 2.27 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для покрытия здания ($\alpha = 25^\circ$)

зона F	зона G	зона H	зона I	зона J
$c_{pe,10} = -0,63$ $c_{pe,10} = +0,53$	$c_{pe,10} = -0,6$ $c_{pe,10} = +0,53$	$c_{pe,10} = -0,23$ $c_{pe,10} = +0,53$	$c_{pe,10} = -0,4$ $c_{pe,10} = +0,0$	$c_{pe,10} = -0,67$ $c_{pe,10} = +0,0$

Параметр $e = \min(b; 2h) = \min(34,440; 2 \cdot 17,220) = 34,44 \text{ м}$.

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который согласно п. 1.4.4.3(5) примечания 2, в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета, принимают самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

Для углов уклона от $+5$ до $+45$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения.

Для таких покрытий необходимо учитывать четыре случая, при которых комбинируются соответственно наименьшие или наибольшие значения для зон F, G и H с наименьшим или наибольшим значениями зон I и J. Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия не допускается. Зоны распределение ветрового давления на покрытие здания приведены на рисунке 2.29.

Расчетное значение ветровой нагрузки на покрытие, приходящуюся на погонную единицу длины стропильной ноги q_w (кН/м) при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления при шаге стропильных ног $B = 1,3 \text{ м}$

$$q_w = c_s c_d \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q.$$

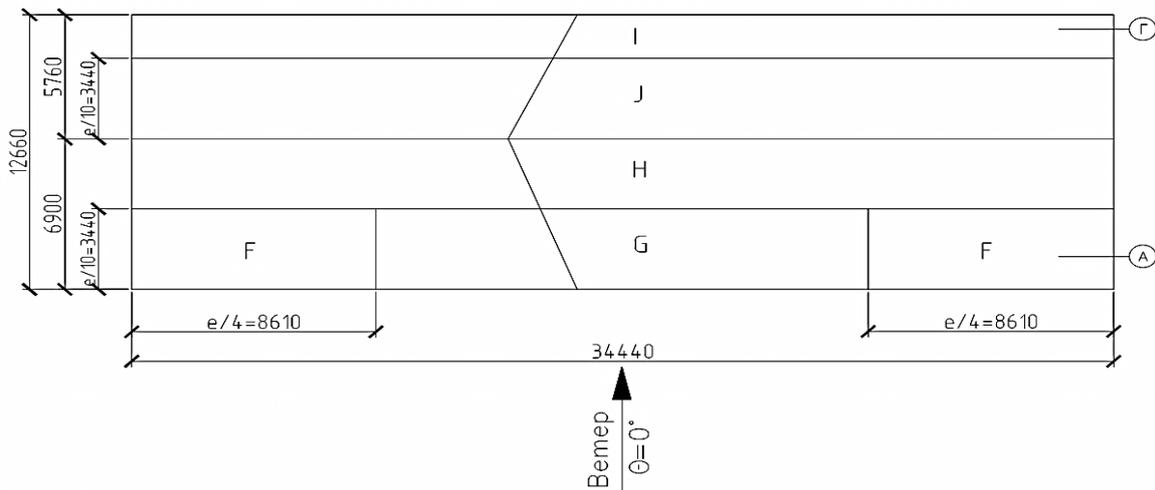


Рисунок 2.29 – Зоны распределения ветрового давления на покрытие здания

При $c_{pi} = 0,2$ (рисунок 2.30), для $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} . При $c_{pi} = -0,3$ (рисунок 2.31), для $c_{pe} > 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} < 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} .

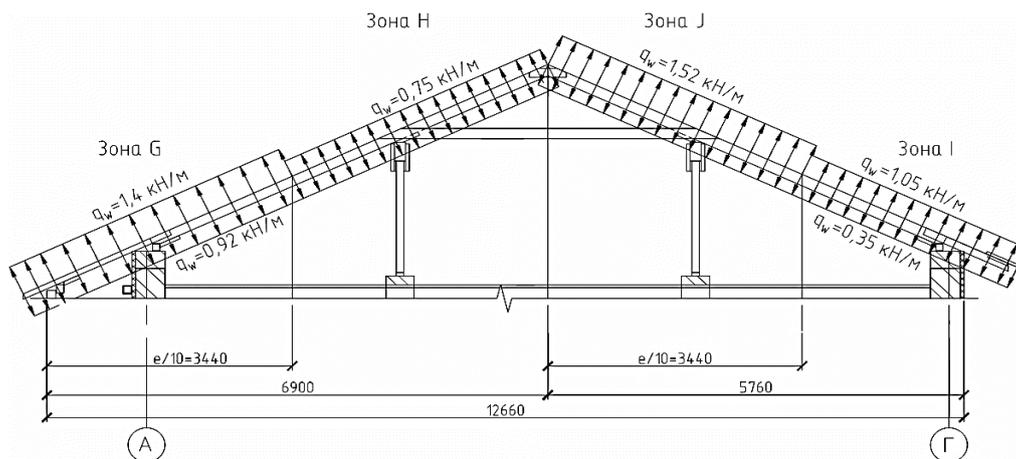


Рисунок 2.30 – Значения расчетной ветровой нагрузки при $c_{pi} = 0,2$

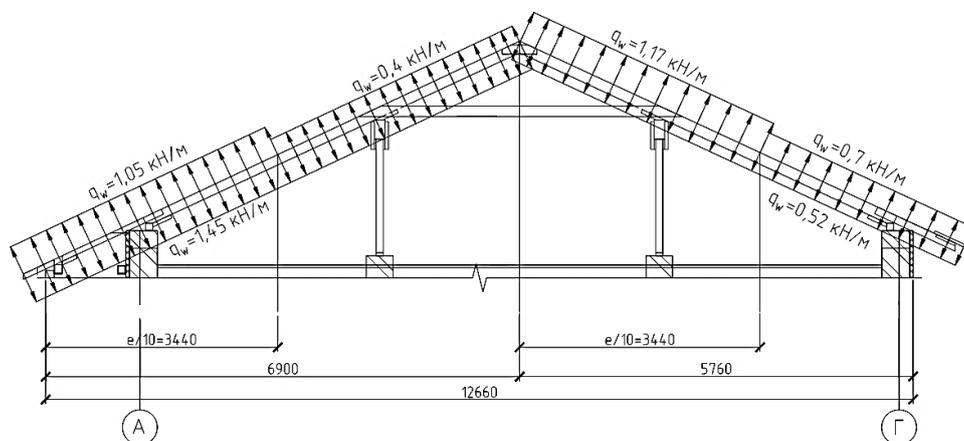


Рисунок 2.31 – Значения расчетной ветровой нагрузки при $c_{pi} = -0,3$

Подсчет расчетных значений ветровой нагрузки в характерных зонах на покрытие сводим в таблицу 2.28.

Таблица 2.28 – Расчетное значение ветровой нагрузки в характерных зонах

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона Г ($c_{pe} = -0,6$)	
$q_w = (0,6 + 0,2) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,4 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,6 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ кН / м}$
Зона Г ($c_{pe} = 0,53$)	
$q_w = 0,53 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,92 \text{ кН / м}$	$q_w = (0,53 + 0,3) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,45 \text{ кН / м}$
Зона Н ($c_{pe} = -0,23$)	
$q_w = (0,23 + 0,2) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,23 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,4 \text{ кН / м}$
Зона Н ($c_{pe} = 0,53$)	
$q_w = 0,53 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,92 \text{ кН / м}$	$q_w = (0,53 + 0,3) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,45 \text{ кН / м}$
Зона J ($c_{pe} = -0,67$)	
$q_w = (0,67 + 0,2) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,52 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,67 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,17 \text{ кН / м}$
Зона J ($c_{pe} = 0,0$)	
$q_w = 0,2 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,35 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,3 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,52 \text{ кН / м}$
Зона I ($c_{pe} = -0,4$)	
$q_w = (0,4 + 0,2) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,4 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,7 \text{ кН / м}$
Зона I ($c_{pe} = 0,0$)	
$q_w = 0,2 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,35 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,3 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,52 \text{ кН / м}$
Зона F ($c_{pe} = -0,63$)	
$q_w = (0,63 + 0,2) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,45 \text{ кН / м}$	$q_w = 0,63 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,1 \text{ кН / м}$
Зона F ($c_{pe} = 0,53$)	
$q_w = 0,53 \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,92 \text{ кН / м}$	$q_w = (0,53 + 0,3) \cdot 0,895 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,45 \text{ кН / м}$

2.4.4 Расчетные сочетания нагрузок на обрешётку

В соответствии с таблицей 2.28 и рисунками 2.30 и 2.31 максимальная расчетная нагрузка от ветра на стропильную ногу будет в зоне Г при $c_{pe} = 0,53$. Значение расчётной погонной ветровой нагрузки на обрешетку перпендикулярно скату (по оси z) будет равно (рисунок 2.32)

$$q_{d,z,w} = (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot d \cdot k_{Fl} \cdot \gamma_Q = (0,53 + 0,3) \cdot 0,895 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,39 \text{ кН / м.}$$

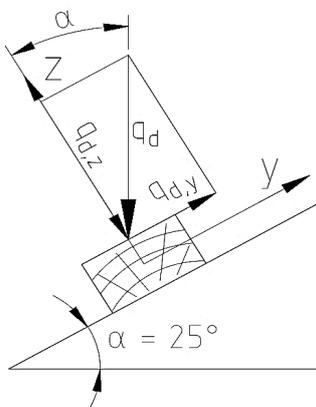


Рисунок 2.32 – Схема приложения нагрузки на обрешетку

Значения постоянных нагрузок также определяем в плоскости, перпендикулярной скату (рисунок 2.32), используя соотношение $q_{d,z} = q_d \cdot \cos \alpha$:

– постоянная нагрузка $q_{d,z} = q_d \cdot \cos 25^\circ = 0,052 \cdot 0,9063 = 0,047 \text{ кН / м}$;

– снеговая нагрузка $q_{d,z,s} = q_{d,s} \cdot \cos 25^\circ = 0,465 \cdot 0,9063 = 0,42 \text{ кН / м}$;

– переменная сосредоточенная нагрузка $F_{d,z} = F_d \cdot \cos 25^\circ = 1,5 \cdot 0,9063 = 1,34 \text{ кН}$.

Определяем расчетные значения воздействия STR (см. таблицу 1.3(Б)) в плоскости, перпендикулярной скату. Для схемы нагружения № 1 (рисунок 2.33)

$$q_{d,1,z} = q_{d,z} + \psi_{0,s} \cdot q_{d,z,s} + \psi_{0,w} \cdot q_{d,z,w} = 0,047 + 0,6 \cdot 0,42 + 0,6 \cdot 0,39 = 0,533 \text{ кН / м};$$

$$q_{d,12,z} = \xi \cdot q_{d,z} + \psi_{0,s} \cdot q_{d,z,s} + q_{d,z,w} = 0,85 \cdot 0,047 + 0,6 \cdot 0,42 + 0,39 = 0,682 \text{ кН / м};$$

$$q_{d,13,z} = \xi \cdot q_{d,z} + q_{d,z,s} + \psi_{0,w} \cdot q_{d,z,w} = 0,85 \cdot 0,047 + 0,42 + 0,6 \cdot 0,39 = 0,694 \text{ кН / м},$$

где $\psi_{0,s}$ – коэффициент для комбинированного значения переменного воздействия, принимаемый 0,6 для снеговой нагрузки (таблица 1.2);

$\psi_{0,w}$ – коэффициент для комбинированного значения переменного воздействия, принимаемый 0,6 для ветровой нагрузки (таблица 1.2);

ξ – понижающий коэффициент для неблагоприятного постоянного воздействия, принимаемый $\xi = 0,85$ (таблица 1.3(Б), примечание 1).

Для схемы нагружения № 2 (рисунок 2.34), включающей только одну постоянную и одну переменную нагрузки, коэффициенты ψ и ξ принимаем равными единице, т. е. расчетное значение воздействий определяется как сумма постоянного и переменного воздействия.

2.4.5 Расчетные сочетания усилий на обрешётку

Согласно п. 2.4.4 для схемы нагружения №1 расчетным сочетанием воздействий является $q_{d,13,z} = 0,694 \text{ кН / м}$. Величина расчетного изгибающего момента над промежуточной опорой для этого сочетания будет равна

$$M_{d1} = q_{d,z} \cdot \frac{l_d^2}{8} = 0,694 \cdot \frac{1,3^2}{8} = 0,147 \text{ кНм} = 14,7 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

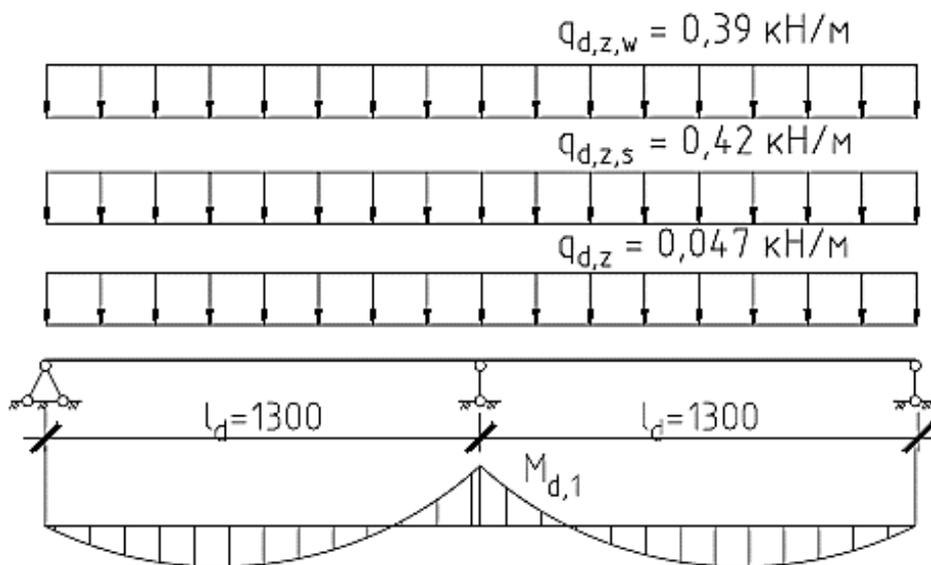


Рисунок 2.33 – Схема нагружения № 1 обрешетки постоянной нагрузкой и переменными (от ветра и снега) нагрузками в плоскости, перпендикулярной скату (по оси z)

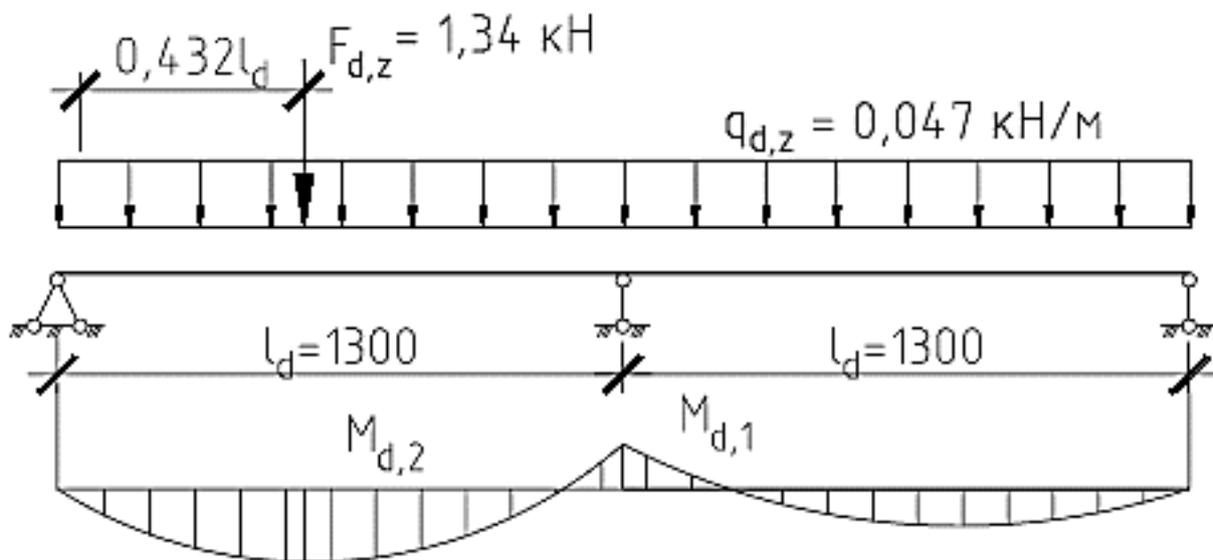


Рисунок 2.34 – Схема нагружения № 2 обрешетки постоянной нагрузкой и переменной монтажной нагрузкой в плоскости, перпендикулярной скату (по оси z)

Для схемы нагружения № 2 величина расчетного изгибающего момента будет определяться как суммарное значение изгибающих моментов от постоянной и переменной (сосредоточенной) нагрузки в сечении над местоположением сосредоточенной нагрузки на расстоянии $0,432 \cdot l_d$ от опоры

$$\begin{aligned}
 M_{d2} &= 0,0703 \cdot q_{d,z} \cdot l_d^2 + 0,207 \cdot F_{d,z} \cdot l_d = \\
 &= 0,0703 \cdot 0,047 \cdot 1,3^2 + 0,207 \cdot 1,34 \cdot 1,3 = 0,365 \text{ кН} \cdot \text{м} = 36,5 \text{ кН} \cdot \text{см}.
 \end{aligned}$$

Поскольку обрешетка работает в условиях косо го изгиба, то расчетные значения усилий (изгибающего момента) должны определяться также в плоскости ската (по оси y). Расчет выполняется аналогично приведенному выше с учетом отсутствия ветровой нагрузки в плоскости ската (по оси y).

2.4.6 Коэффициенты сочетаний расчетных нагрузок на стропильную ногу для предельных состояний несущей способности

Таблица 2.29 – Коэффициенты РСН для предельных состояний несущей способности

№	Наименование	Вид	РСН №																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Собственный вес	Постоянное	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Снег 1 (случай <i>i</i>)	Переменное	1,0	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Снег 2 (случай <i>ii</i>)	Переменное	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	–	–	–	–
4	Снег 3 (случай <i>iii</i>)	Переменное	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6	–	–	–	0,6

Продолжение таблицы 2.29

№	Наименование	Вид	РСН №																		
			20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
1	Собственный вес	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Снег 1 (случай <i>i</i>)	Переменное	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Снег 2 (случай <i>ii</i>)	Переменное	–	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Снег 3 (случай <i>iii</i>)	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	0,6	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	0,6	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	0,6	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	–	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6

Окончание таблицы 2.29

№	Наименование	Вид	РСН №											
			32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	Собственный вес	Постоянное	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
2	Снег 1 (случай <i>i</i>)	Переменное	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6	–	–
3	Снег 2 (случай <i>ii</i>)	Переменное	–	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6	–
4	Снег 3 (случай <i>iii</i>)	Переменное	–	–	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6	–	–	0,6
5	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 1	Переменное	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	Ветер 1 ($c_{pi} = 0,2$) вариант 2	Переменное	–	–	–	1,0	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–
7	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 1	Переменное	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	–	–	–
8	Ветер 2 ($c_{pi} = -0,3$) вариант 2	Переменное	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0

2.5 Подсчет расчетных усилий в несущем простенке каменного здания

2.5.1 Исходные данные

Выполнить подсчет нагрузок на каменный простенок здания при исходных данных, приведенных в таблице 2.30.

Таблица 2.30 – Исходные данные

Класс последствий здания (таблица 1.4)	СС2, $k_{FT} = 1,0$
Габариты здания в осях, м	19,65x10,95
Количество этажей	3
Наличие подвала	Есть
Уклон кровли	15 %
Площадка строительства	г. Минск
Отметка планировки над уровнем моря A , м	235
Условие местности (таблица 1.9)	Обычные
Тип местности (таблица 1.14)	IV
Нагрузка на чердачное перекрытие	0,7 кН/м ²
Класс условий эксплуатации по СП 5.05-2020	2
Материал стропильной системы	Сосна, класс прочности С24

Здание трехэтажное с подвалом, имеет сложную в плане форму. В подземном этаже расположен автомобильный гараж, на первом этаже – кафе, второй и третий этаж являются жилыми. Отметка пола подземного этажа $-2,86$, второго этажа $+3,28$, третьего этажа $+6,05$. Отметка конька крыши здания $+9,73$.

Конструктивное решение. Здание бескаркасное с несущими продольными и поперечными наружными и внутренними каменными стенами и монолитными железобетонными перекрытиями. Несущими являются продольные и поперечные стены здания. Стены надземной части здания выполняются из керамических поризованных блоков, а стены подвала из бетонных блоков. Наружные стены здания утепляются пенополистирольными плитами. Толщина утеплителя для стен надземной части принята равной 150 мм, а стен подвала – 100 мм.

Планы этажей здания на отметке $\pm 0,00$ м и $+ 3,28$ м приведены на рисунках 2.35 и 2.36. Продольный 1 – 1 и поперечный 2 – 2 разрезы здания, а также составы покрытия и перекрытий приведены на рисунках 2.37 и 2.38.

Рассчитываемый каменный простенок первого этажа наружной стены (стена I) показан на рисунке 2.35.

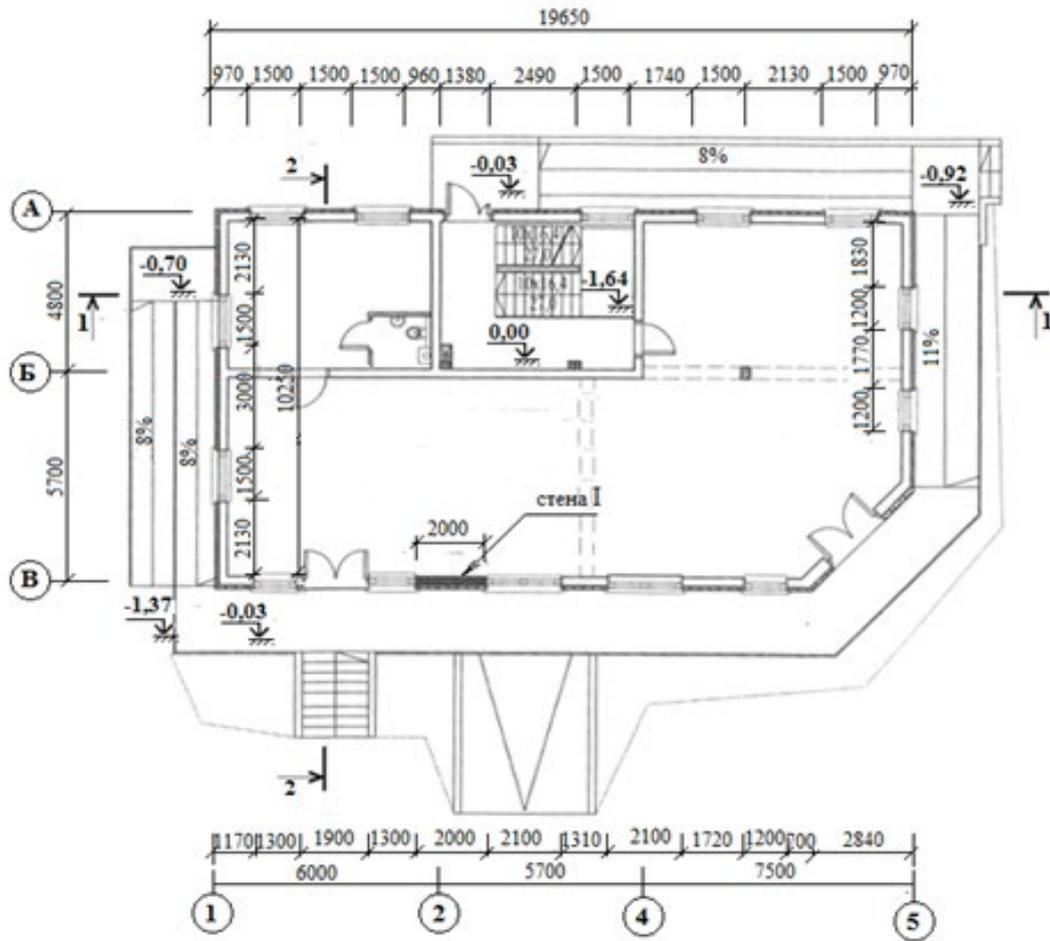


Рисунок 2.35 – План этажа здания на отметке ± 0,00 м

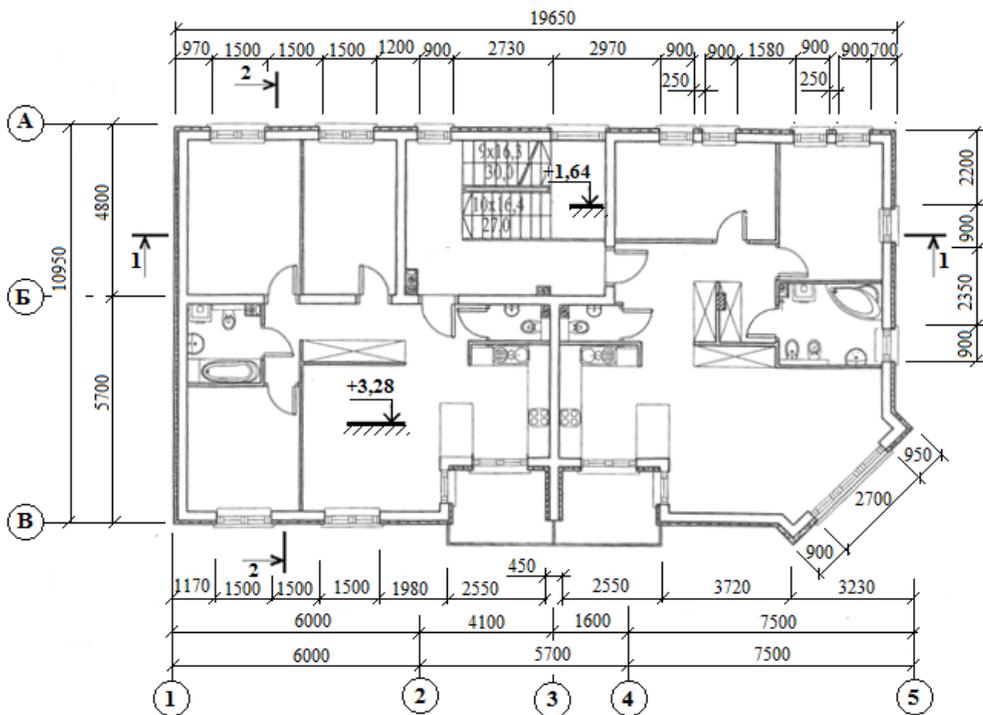
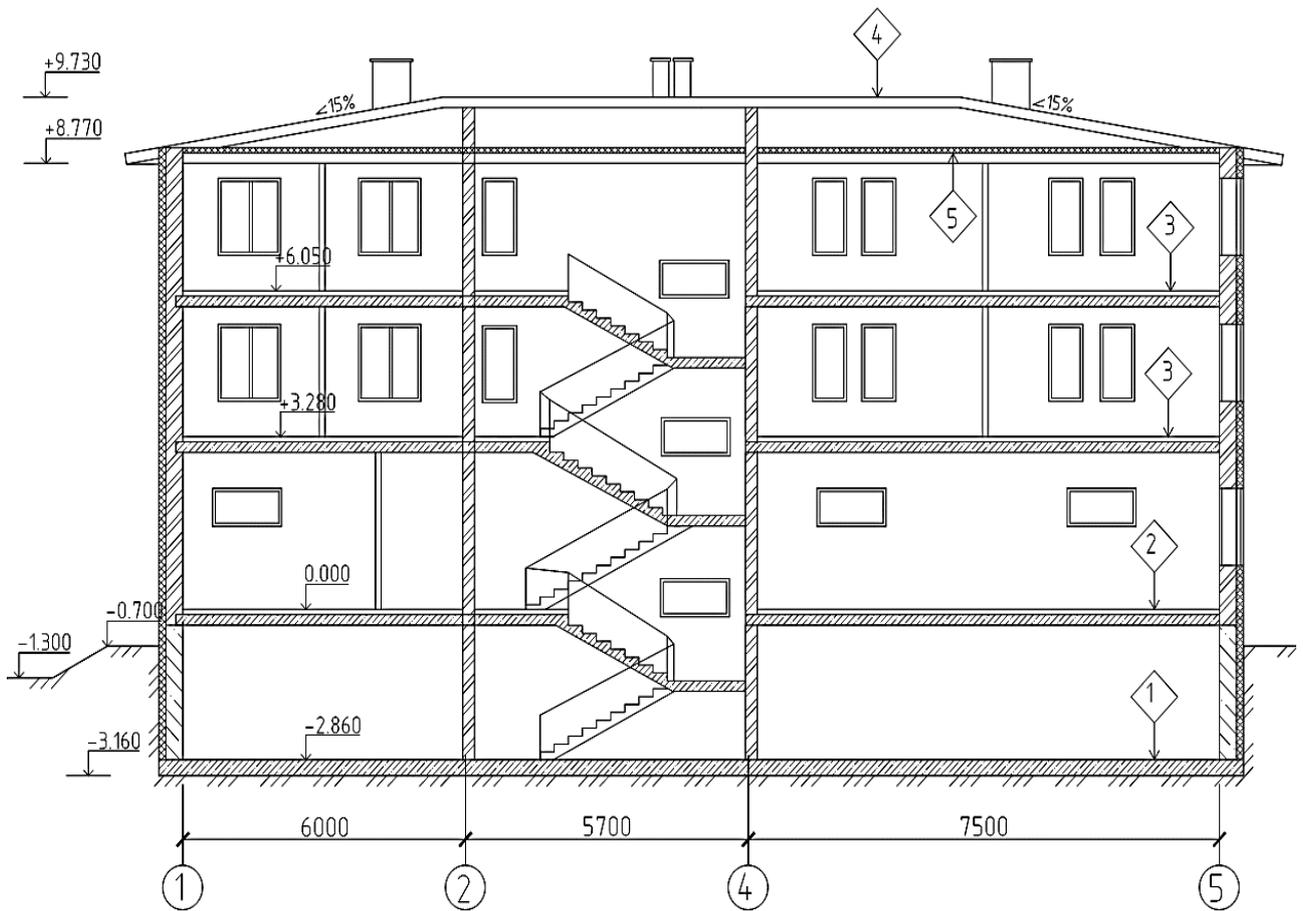


Рисунок 2.36 – План этажа здания на отметке + 3,28 м



1
Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 20 мм
2 слоя гидроизоляц. мат-ла по грунтовке - 5 мм
Железобетонная плита - 300 мм
Подстилающий бетонный слой - 80 мм
Песчано-гравийная подсыпка - 200 мм

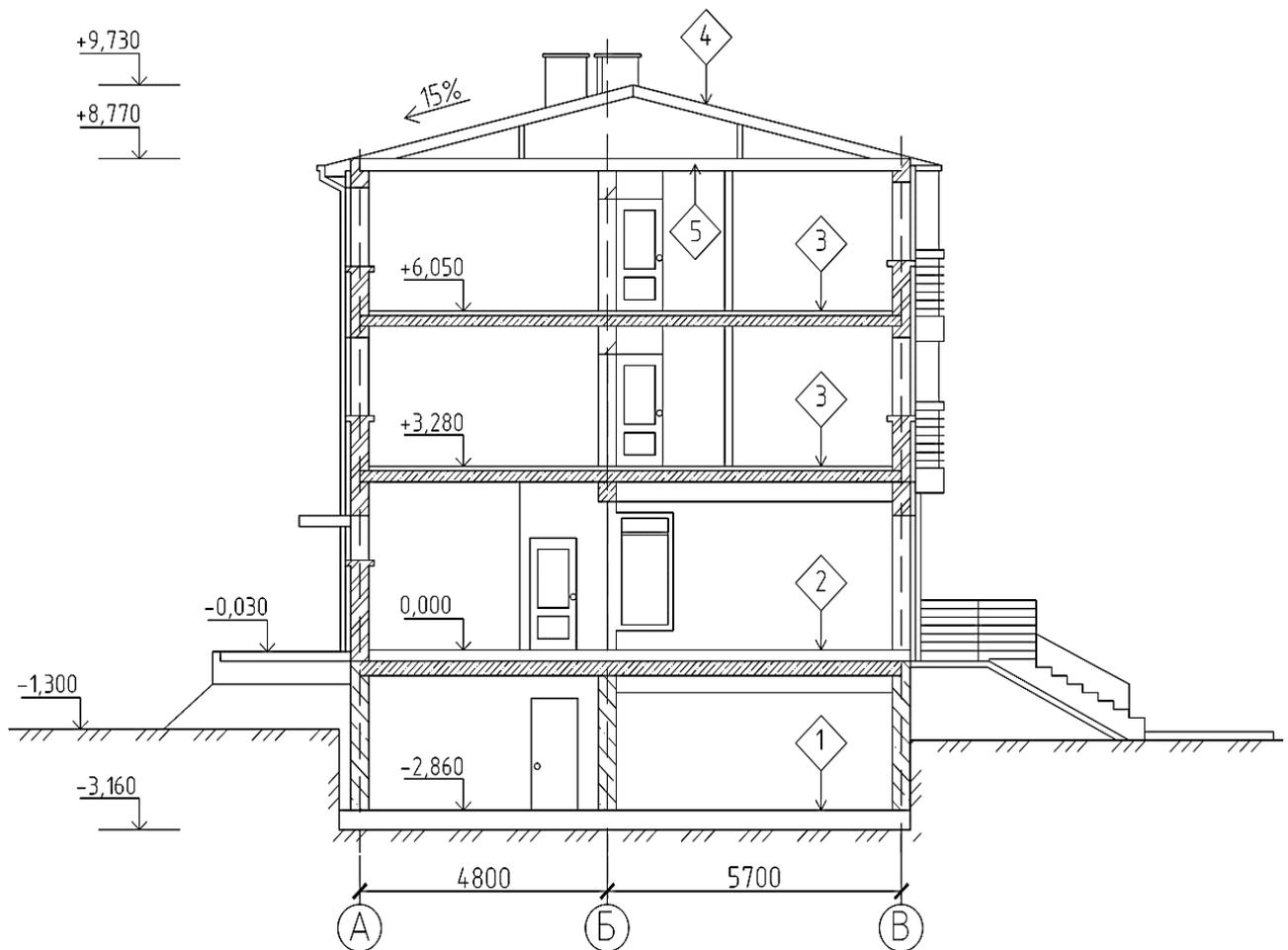
2
Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 50 мм
Пенополистирольные плиты - 150 мм
Железобетонная плита - 200 мм
Штукатурка по сетке - 5 мм

3
Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 40 мм
Пенополистирольные плиты - 30 мм
Железобетонная плита - 200 мм
Штукатурка по сетке - 10 мм

4
Металлочерепица "Монтерей"
Деревянная обрешетка сечением 100x40(h) мм и шагом 350 мм
Контробрешетка сечением 100x25(h) мм
Противоконденсатная пленка $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^2$
Стропильная нога сечением 100x200(h) мм и шагом 1000 мм

5
Минераловатные плиты - 240 мм
Деревянные балки сечением 150x220(h) мм с шагом 1000 мм
Пароизоляционная пленка толщиной 1 мм, $\rho = 640 \text{ кг/м}^3$
Металлический профиль под ГСП
Гипсокартонные плиты

Рисунок 2.37 – Продольный разрез 1 – 1



1

Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 20 мм
2 слоя гидроизолян. мат-ла по грунтовке - 5 мм
Железобетонная плита - 300 мм
Подстилающий бетонный слой - 80 мм
Песчано-гравийная подсыпка - 200 мм

2

Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 50 мм
Пенополистирольные плиты - 150 мм
Железобетонная плита - 200 мм
Штукатурка по сетке - 5 мм

3

Плитка "Грес" на клеевом растворе - 10 мм
Цементно-песчаная стяжка - 40 мм
Пенополистирольные плиты - 30 мм
Железобетонная плита - 200 мм
Штукатурка по сетке - 10 мм

4

Металлочерепица "Монтерей"
Деревянная обрешетка сечением 100x40(h) мм и шагом 350 мм
Контробрешетка сечением 100x25(h) мм
Противоконденсатная пленка $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^2$
Стропильная нога сечением 100x200(h) мм и шагом 1000 мм

5

Минераловатные плиты - 240 мм
Деревянные балки сечением 150x220(h) мм с шагом 1000 мм
Пароизоляционная пленка толщиной 1 мм, $\rho = 640 \text{ кг/м}^3$
Металлический профиль под ГСП
Гипсокартонные плиты

Рисунок 2.38 – Поперечный разрез 2 – 2

2.5.2 Определение нагрузок на простенок

2.5.2.1 Постоянная и переменная (функциональная) нагрузка

Нагрузки от перекрытий и крыши определяются суммированием их отдельных составляющих.

Характеристические значения постоянных нагрузок от веса перекрытий и крыши приведены в таблицах 2.31 – 2.35.

Таблица 2.31 – Характеристические значения постоянная нагрузка от веса крыши

№ п/п	Вид нагрузки	Характеристическое значение кН/м ²
1	Металлочерепица «Монтерей»	0,05
2	Обрешетка $b \times h = 100 \times 40$ мм, шаг 350 мм, $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$ ($0,1 \cdot 0,04 \cdot 420 \cdot 10 / (1000 \cdot 0,35)$)	0,048
3	Противоконденсатная пленка Ютафол Н 90, $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^2$ ($0,09 \cdot 10 / 1000$)	0,001
4	Прижимная доска $b \times h = 100 \times 25$ мм, $\rho = 420 \text{ кг/м}^3$ ($0,1 \cdot 0,025 \cdot 420 \cdot 10 / (1000 \cdot 1,0)$)	0,011
5	Деревянные стропила сечением 200×100 мм, шаг 1000 мм, древесина класса С24, $\gamma = 420 \text{ кг/м}^3$ ($420 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 10 / 1000 \cdot 1,0$)	0,084
Итого постоянная нагрузка		0,144

В соответствии с т. 6.10 [6] переменная характеристическая равномерно распределенная нагрузка на кровли категории Н (неэксплуатируемые кровли, за исключением случаев проведения технического обслуживания и ремонтных работ) принимается от 0 до 1 кН/м². В расчетах данную переменную нагрузку принимаем равную нулю. В соответствии с исходными данными нагрузка на чердачное перекрытие принимается $q_{kl} = 0,7 \text{ кН/м}^2$.

Таблица 2.32 – Характеристические значения постоянной нагрузки от веса чердачного перекрытия

№ п/п	Вид нагрузки	Характеристическое значение кН/м ²
1	Минераловатные плиты толщиной 240 мм, $\gamma = 125 \text{ кг/м}^3$	0,3
2	Пароизоляционная пленка толщиной 1 мм, $\gamma = 640 \text{ кг/м}^3$	0,0064
3	Металлические профиля под гипсокартонные плиты	0,08
4	Деревянные балки 220×150 мм, шаг 1000 мм, древесина класса С24, $\gamma = 420 \text{ кг/м}^3$ ($4,2 \cdot 0,22 \cdot 0,15 / 1,0$)	0,139
5	Гипсокартонные плиты	0,10
Итого постоянная нагрузка		0,63

Таблица 2.33 – Характеристические значения постоянной нагрузки от веса междуэтажного перекрытия 1-го и 2-го этажей

№п/п	Вид нагрузки	Характеристическое значение кН/м ²
1	Плитка «Грес» на клеевом растворе	0,25
2	Цементно-песчаная стяжка толщиной 40 мм, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$	0,72
3	Пенополистирол толщиной 20 мм, $\gamma = 30 \text{ кг/м}^3$	0,006
4	Железобетонное перекрытие толщиной 200 мм, $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$	5,0
5	Штукатурка, толщиной 10 мм, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$	0,18
Итого постоянная нагрузка		6,16

В соответствии с таблицей 1.7 переменная характеристическая нагрузка на междуэтажные перекрытия 1-го и 2-го этажей, на которых расположены жилые помещения (категория использования А) принимается 1,5-2,0 кН/м². Рекомендуемое значение $q_{k2} = 2$ кН/м². Принимаем $q_{k2} = 2$ кН/м².

Согласно 6.3.1.2(10) [6] к переменным нагрузкам на перекрытие для категорий А-Е допускается применять понижающий коэффициент, который определяется по формуле:

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{14} = 1,2 > 1,0,$$

где $\psi_0 = 0,7$ коэффициент (таблица 1.4);

$A_0 = 10,0$ м²;

A – грузовая площадь рассматриваемого участка стены, $A = 14$ м² (рисунок 2.40).

Т. к. $\alpha_A = 1,2 > 1,0$ – следовательно, снижение переменной нагрузки на перекрытия не учитывается.

Временные перегородки запроектированы из гипсобетонных блоков, толщиной 100 мм объемной плотностью LC 1,0. Вес перегородок не превышает 1 кН/м, следовательно, характеристическая равномерно распределенная по площади перекрытия нагрузка от веса временных перегородок $q_{k3} = 0,5$ кН/м² (6.3.1.2 (8)) [5]. Указанная нагрузка добавляется к полезной нагрузке q_{k2} .

Таблица 2.34 – Характеристические значения постоянной нагрузки от веса перекрытия над подвалом

№п/п	Вид нагрузки	Характеристическое значение кН/м ²
1	Плитка «Грес» на клеевом растворе	0,25
2	Цементно-песчаная стяжка толщиной 50 мм, $\gamma = 1800$ кг/м ³	0,9
3	Пенополистирол толщиной 150 мм, $\gamma = 30$ кг/м ³	0,045
4	Железобетонное перекрытие толщиной 200 мм, $\gamma = 2500$ кг/м ³	5,0
5	Штукатурка по сетке толщиной 5 мм, $\gamma = 1800$ кг/м ³	0,09
Итого постоянная нагрузка		6,29

В соответствии с табл. 6.2 [5] переменная характеристическая нагрузка на перекрытия над подвалом, на котором расположено кафе (категория использования С1) принимается 2,0 – 3,0 кН/м². Рекомендуемое значение $q_{k4} = 3$ кН/м². Принимаем $q_{k4} = 3$ кН/м².

Характеристическая равномерно распределенная по площади перекрытия нагрузка от веса временных перегородок $q_{k3} = 0,5$ кН/м². Указанная нагрузка добавляется к полезной нагрузке q_{k4} .

Таблица 2.35 – Характеристические значения постоянной нагрузки от собственного веса стены, расположенной выше рассчитываемого простенка

№п/п	Вид нагрузки	Характеристическое значение кН/м ²
1	Каменная кладка толщиной 250 мм из поризованных керамических камней на цементно-известковом растворе, $\gamma = 1600$ кг/м ³	4,0
2	Пенополистирол толщиной 150 мм, $\gamma = 30$ кг/м ³	0,05
3	Штукатурка по сетке толщиной 5 мм, $\gamma = 1800$ кг/м ³	0,09
Итого постоянная нагрузка		4,14

Среднее значение веса окна принято равным 0,33 кН/м².

2.5.2.2 Снеговая нагрузка

В соответствии с рисунком 1.5 г. Минск относится к снеговому району 2в. Тогда, в соответствии с таблицей 1.10, характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,45 + 0,6 \cdot (A - 210) / 100 = 1,45 + 0,6 \cdot (235 - 210) / 100 = 1,6 \text{ кПа} > 1,0,$$

где $A = 235$ м – отметка планировки над уровнем моря (см. таблицу 2.30).

В рассматриваемом случае уклон кровли составляет 15 %, что соответствует уклону $8,5^\circ$. Для двускатных покрытий, при $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ и $\alpha_1 = \alpha_2 = 8,5^\circ$, следует рассматривать три схемы распределения снеговых нагрузок (таблица 1.11, схема б):

– равномерно распределенная нагрузка по всему пролету со значением коэффициента формы снеговой нагрузки $\mu_1 = 0,8$ (*случай i*). Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (формула 1.3) $s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ кПа}$;

– равномерно распределенная нагрузка на правой половине пролета со значением коэффициента формы снеговой нагрузки $\mu_1 = 0,8$, а на правой – со значением коэффициента формы снеговой нагрузки $\mu_2 = 0,4$ (*случай ii*). Характеристическое значение снеговой $s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 0,64 \text{ кПа}$.

– равномерно распределенная нагрузка на левой половине пролета со значением коэффициента формы снеговой нагрузки $\mu_1 = 0,8$, а на левой – со значением коэффициента формы снеговой нагрузки $\mu_1 = 0,4$ (*случай iii*).

Схемы распределения снеговых нагрузок с характеристическими значениями нагрузок приведены на рисунке 2.39.

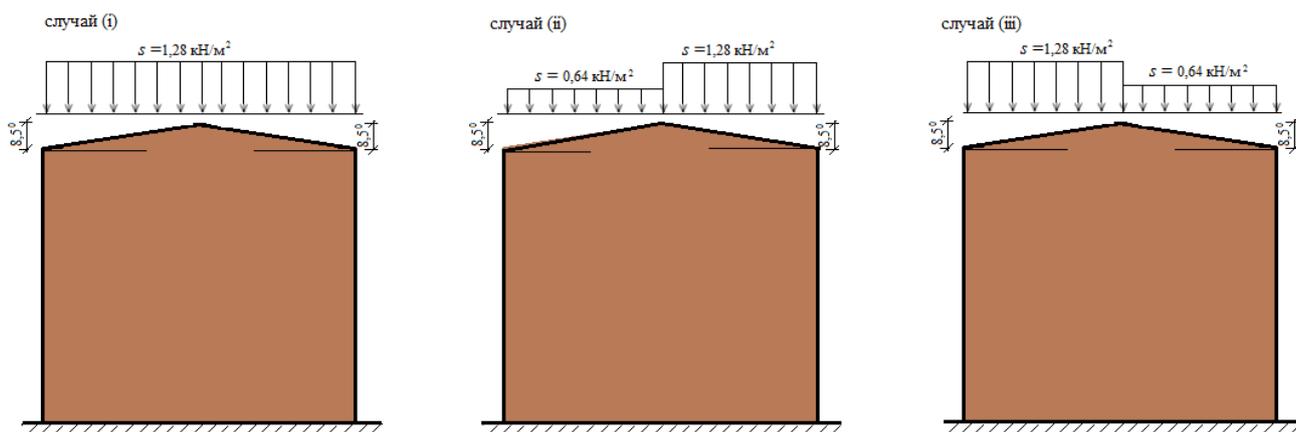


Рисунок 2.39 – Схемы распределения снеговой нагрузки на крышу здания (характеристические значения)

2.5.2.3 Ветровая нагрузка

Город Минск относится к ветровому району с основным значением базовой скорости ветра $v_{b,0} = 23 \text{ м/с}$ (рисунок 1.6).

Базовое значение скорости ветра (формула 1.4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 23 = 23,0 \text{ м/с} ,$$

где v_b – базовая скорость ветра, определяемая как функция направления ветра и времени года, на высоте 10 м над уровнем земли для типа местности;

c_{dir} – коэффициент, учитывающий направление ветра, который принимается в соответствии с национальным приложением и для проектируемого здания составляет: максимальное – 1,0 при направлении ветра $260^\circ - 280^\circ$; минимальное – 0,7 при направлении ветра $20^\circ - 40^\circ$. Для расчетов принимаем максимальное значение $c_{dir} = 1,0$;

c_{season} – сезонный коэффициент, который принимается в соответствии с национальным приложением и для проектируемого здания он составляет 1,0.

Коэффициент местности k_r (формула 1.7)

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234,$$

где $z_{0,ji} = 0,05$ м (тип местности II, таблица 1.14);

z_0 – параметр шероховатости, $z_0 = 1,0$ м для типа местности по заданию на проектирование (тип местности IV, таблица 1.14).

Т. к. $z_{\min} = 5 \text{ м} < z = 9,73 \text{ м} < z_{\max} = 200 \text{ м}$, то коэффициент, учитывающий тип местности, определяем по формуле 1.6а

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,234 \cdot \ln \left(\frac{9,73}{1} \right) = 0,532.$$

Тогда значение средней скорости ветра (формула 1.5)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,532 \cdot 1,0 \cdot 23 = 12,24 \text{ м/с}.$$

Тогда интенсивность турбулентности будет составлять (формула 1.8а)

$$I_v(z) = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(10/1)} = 0,43,$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_0 – орографический коэффициент. Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° .

Пиковое значение скоростного напора, включающее средние и кратковременные изменения (колебания) скорости (формула 1.9)

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,43] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 12,24^2 = 375,5 \text{ Па} = 0,376 \text{ кПа}.$$

Поскольку высота проектируемого здания $h = 9,73$ м, что менее 15 м, согласно п.1.4.4(7) конструкционный коэффициент $c_{scd} = 1,0$.

Коэффициенты наружного давления c_{pe} для зданий и его частей зависят от размера загруженной площади A , которая является площадью конструкции, создающей ветровое воздействие в сечении, которое рассчитывается. Они указываются в таблицах, распространяющихся на соответствующую форму зданий, для площадей 1 м² и 10 м², как $c_{pe,1}$ и $c_{pe,10}$ соответственно.

Значения $c_{pe,1}$ служат для проектирования малых элементов конструкций и их анкерных креплений с площадью, воспринимающей нагрузку, не превышающей 1 м², например, элементы наружного ограждения и кровли. Значения $c_{pe,10}$ используются для расчета всей конструкции. В нашем случае $c_{pe} = c_{pe,10}$.

Для наветренных стен прямоугольных в плане зданий наружные давления по высоте здания допускается устанавливать дифференцированно согласно рисунку 1.10.

Подсчет ветровой нагрузки на простенок при направлении набегающего потока $\theta=0^\circ$ и $\theta=180^\circ$. Т. к. $h = 9,7 \text{ м} < b = 19,6 \text{ м}$ значение $q_b(z_e)$ в зоне D одинаково по всей высоте стены (рисунок 1.11).

Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий c_{pe} определяется по таблице 1.15.

Таблица 2.36 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона D	Зона E
$h/d = 9,7/10,9 = 0,89$	$c_{pe,10} = +0,785$	$c_{pe,10} = -0,5$

Параметр $e = \min(b; 2h) = \min(19,6; 2 \cdot 9,7 = 19,4) = 19,4 \text{ м}$.

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который, согласно п. 1.4.4.3(5) примечания 2, в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета, принимает самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

Характеристическое значение ветровой нагрузки $q_{w,k}$ (кН/м) при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления (ширина простенка $B = 2$ м) $q_{w,k} = c_s c_d (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl}$.

При $c_{pi} = 0,2$ и $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} .

При $c_{pi} = -0,3$ и $c_{pe} > 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} < 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} .

Таблица 2.37 – Характеристическое значение ветровой нагрузки в зонах D и E

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона D	
$q_{w,k} = 1 \cdot 0,785 \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,59$ кН / м	$q_{w,k} = 1 \cdot (0,785 + 0,3) \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,816$ кН / м
Зона E	
$q_{w,k} = 1 \cdot (0,5 + 0,2) \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,526$ кН / м	$q_{w,k} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,376$ кН / м

Расчёт ветровой нагрузки на простенок при направлении набегающего потока $\theta = 90^\circ$. Параметр $e = \min(b; 2h) = \min(10,9; 2 \cdot 9,7 = 19,4) = 10,9$ м.

Т. к. $e = 10,9$ м $< d = 19,6$ м то в соответствии с таблицей 1.15 стена фасада разделяется на 3 зоны (А, В, С). В соответствии с таблицей 1.15 определяем в какой зоне находится простенок. Зона А от 0 до $e/5 = 10,9/5 = 2,18$ м, зона В – от $e/5 = 2,18$ м до $e = 10,9$ м, зона С – от $e = 10,9$ м до конца фасада. Расстояние от угла здания до простенка $L = 5,67$ м, длина рассматриваемого простенка составляет 2 м, значит, простенок попадает в зону В.

Т. к. $h = 9,7$ м $< b = 10,9$ м значение $q_b(z_e)$ в зоне В одинаково по всей высоте стены (рисунки 1.11).

Значение аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} для вертикальных стен, прямоугольных в плане зданий, определяется по таблице 1.15.

Таблица 2.38 – Значение коэффициента $c_{pe,10}$ для вертикальных стен

h/d	зона В
$h/d = 9,7/19,6 = 0,495$	$c_{pe,10} = -0,8$

Учет ветрового давления, приложенного к внутренним поверхностям конструкций зданий, выполним с использованием аэродинамического коэффициента внутреннего давления c_{pi} , который, согласно п. 1.4.4.3(5) примечания 2, в случае невозможности определения приемлемого параметра проницаемости наружного ограждения или в случае невозможности расчета, принимает самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

Характеристическое значение ветровой нагрузки $q_{w,k}$ (кН/м) при учете самого неблагоприятного сочетания при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления (ширина простенка $B = 2$ м) $q_{w,k} = c_s c_d (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z) \cdot B \cdot k_{Fl}$.

При $c_{pi} = 0,2$ и $c_{pe} < 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} > 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} .

При $c_{pi} = -0,3$ и $c_{pe} > 0$ принимается суммарное значение $(c_{pe} + c_{pi})$, для $c_{pe} < 0$ в расчетах учитывается величина аэродинамического коэффициента внешнего давления c_{pe} .

Таблица 2.39 – Характеристическое значение ветровой нагрузки в зоне В

при $c_{pi} = 0,2$	при $c_{pi} = -0,3$
Зона В	
$q_{w,k} = 1 \cdot (0,8 + 0,2) \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,752$ кН / м	$q_{w,d} = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,376 \cdot 2 \cdot 1,0 = 0,602$ кН / м

2.5.3 Подсчет вертикальных усилий в рассматриваемом простенке

При определении усилий расчетных значений воздействий частные коэффициенты равны (таблица 1.2(В)):

– $\gamma_G = 1,35$ для постоянных нагрузок;

– $\gamma_Q = 1,5$ для переменных нагрузок.

Усилия от веса крыши, чердачного перекрытия, снеговой нагрузки и переменной нагрузки на чердачное перекрытие.

Размеры участка, с которого производится сбор нагрузок, составляют $5,55 \times 2,85$ м.

Усилия, возникающие от действия постоянной расчетной нагрузки от веса крыши и чердачного перекрытия:

$$N_l = 1,35 \cdot (0,144 \cdot 5,55 \cdot 2,85 / \cos 8,5^\circ + 0,63 \cdot 5,55 \cdot 2,85) = 16,56 \text{ кН.}$$

Усилия, возникающие от действия расчетной снеговой нагрузки:

$$N_s = 1,5 \cdot 1,28 \cdot 5,55 \cdot 2,85 = 30,4 \text{ кН.}$$

Усилия, возникающие от действия расчетной переменной нагрузки на чердачное перекрытие здания:

$$N_{q1} = 1,5 \cdot 0,7 \cdot 5,55 \cdot 2,85 = 16,61 \text{ кН.}$$

Усилия от веса стен, расположенных выше анализируемого простенка, и собственного веса простенка.

Площадь стен, расположенных выше рассматриваемого простенка, которые учитываются в расчете, составляет $31,8 \text{ м}^2$, а остекления – $8,3 \text{ м}^2$ (рисунок 2.40).



Рисунок 2.40 – Схема передачи нагрузки от вышележащих стен на рассматриваемый простенок

Усилия, возникающие от действия расчетной постоянной нагрузки от веса вышележащих стен $N_4 = 1,35 \cdot (4,14 \cdot 31,8 + 0,33 \cdot 8,3) = 181,4 \text{ кН}$.

Усилия, возникающие от расчетного собственного веса рассматриваемого простенка стены $N_5 = 1,35 \cdot 4,14 \cdot 6,0 = 33,5 \text{ кН}$.

Усилия от веса перекрытия, расположенного выше рассматриваемого простенка.

Площадь перекрытия, с которой нагрузка передается на рассматриваемый простенок, составляет 14 м^2 (рисунок 2.41).

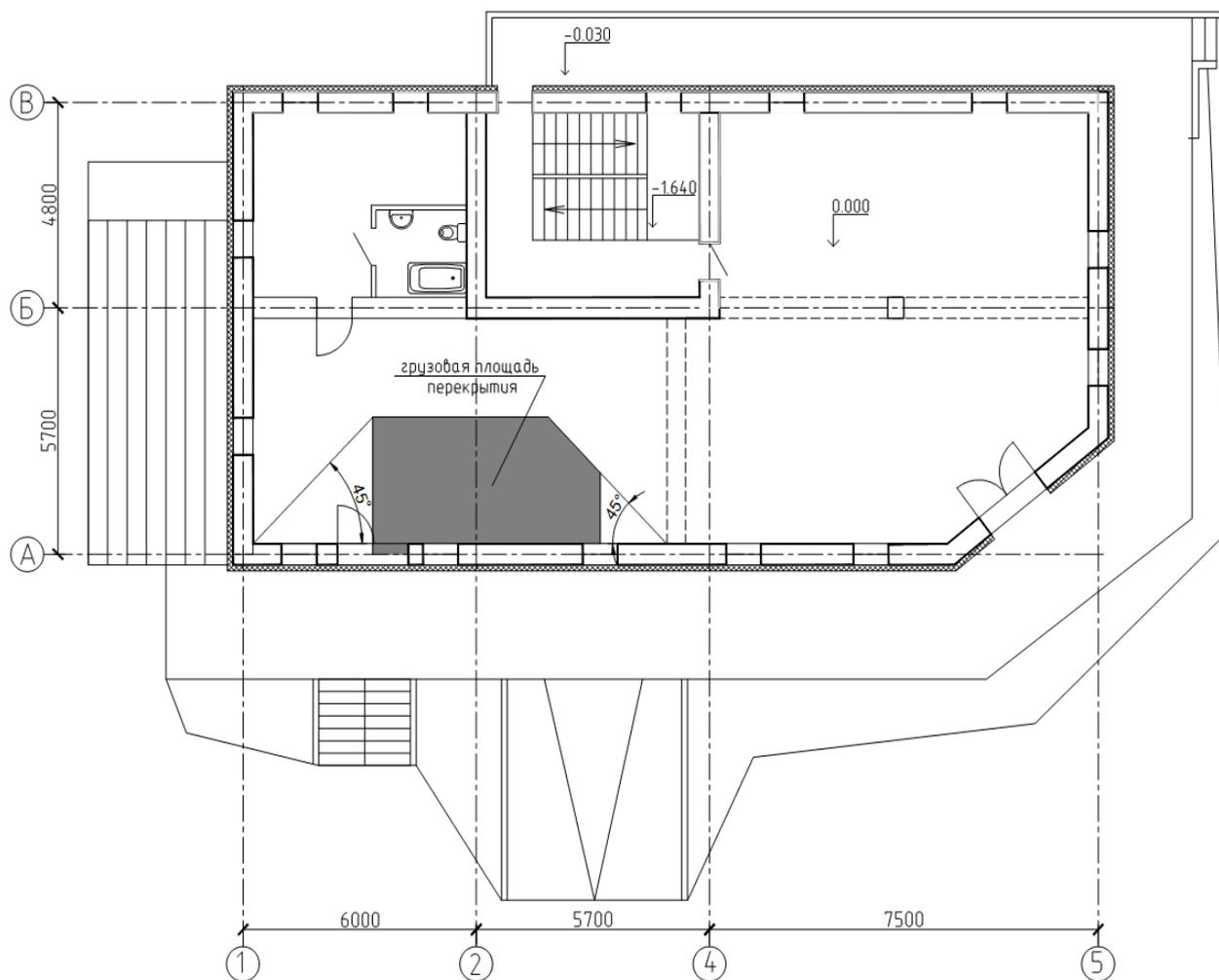


Рисунок 2.41 – Схема передачи нагрузки на рассчитываемый простенок от вышележащего перекрытия

Усилия, возникающие от действия расчетной постоянной нагрузки от веса перекрытия вышележащего этажа

$$N_2 = 1,35 \cdot 6,16 \cdot 14,0 = 116,4 \text{ кН.}$$

Усилия, возникающие от действия расчетной переменной нагрузки на междуэтажное перекрытие

$$N_{q2} = 1,5 \cdot 2,0 \cdot 14 = 42 \text{ кН.}$$

Усилия, возникающие от расчетного веса временных перегородок

$$N_{q3} = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 14 = 10,5 \text{ кН.}$$

2.5.4 Расчетные сочетания усилий

Определяем расчетные сочетания вертикальных усилий, возникающих в верхнем (сечение 1 – 1, под перекрытием), среднем (сечение m-m, посередине высоты простенка в свету) и нижнем (сечение 2 – 2, по низу простенка над перекрытием подвала) сечениях рассматриваемого простенка (рисунок 2.42).

Согласно СН 2.01.01 [5] для каждого критического случая нагружения расчетные значения эффектов воздействий (E_d) следует определять, применяя сочетания воздействий, которые рассматриваются как действующие одновременно.

В случае постоянных расчетных ситуаций при проверке предельного состояния STR, в соответствии с [5], принимается менее благоприятное значение, полученное из следующих выражений:

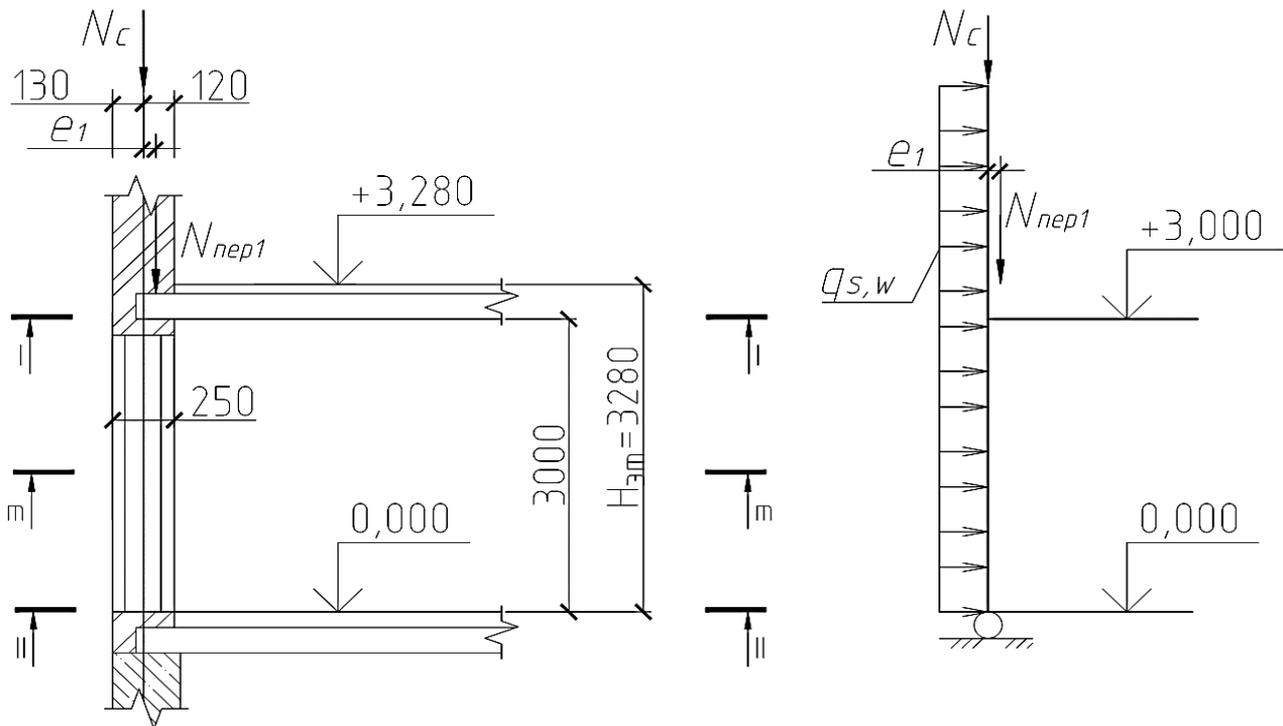


Рисунок 2.42 – Простенок с расчетными сечениями и расчётная схема простенка

Расчетные сочетания усилий в верхнем сечении рассматриваемого простенка:

– первая основная комбинация:

$$N_{1,Ed} = (N_1 + 2 \times N_2 + N_4) + [2 \times 0,7 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4) + [2 \times 0,7 \times (42 + 0,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 534,2 \text{ кН};$$

– вторая основная комбинация:

$$N_{1,Ed} = 0,85 \times (N_1 + 2 \times N_2 + N_4) + [2 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = 0,85 \times (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4) + [2 \times (42 + 10,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 501,0 \text{ кН}.$$

Расчетные сочетания усилий в среднем сечении рассматриваемого простенка:

– первая основная комбинация:

$$N_{m,Ed} = (N_1 + 2 \times N_2 + N_4 + 0,5 \times N_5) + [2 \times 0,7 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4 + 16,75) + [2 \times 0,7 \times (42 + 10,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 551,0 \text{ кН};$$

– вторая основная комбинация:

$$N_{m,Ed} = 0,85 \times (N_1 + 2 \times N_2 + N_4 + 0,5 \times N_5) + [2 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = 0,85 \times (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4 + 16,75) + [2 \times (42 + 10,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 515,3 \text{ кН}.$$

Расчетные сочетания усилий в нижнем сечении рассматриваемого простенка:

– первая основная комбинация:

$$N_{2,Ed} = (N_1 + 2 \times N_2 + N_4 + N_5) + [2 \times 0,7 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4 + 33,5) + [2 \times 0,7 \times (42 + 10,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 567,7 \text{ кН};$$

– вторая основная комбинация:

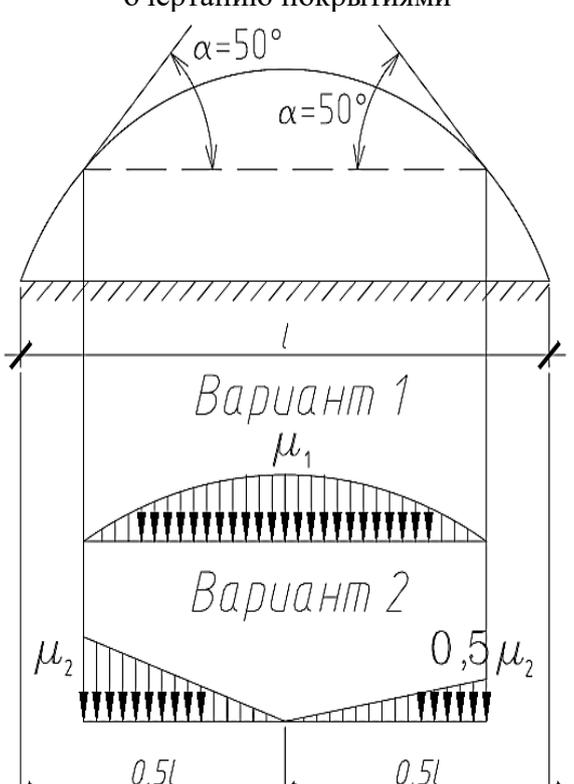
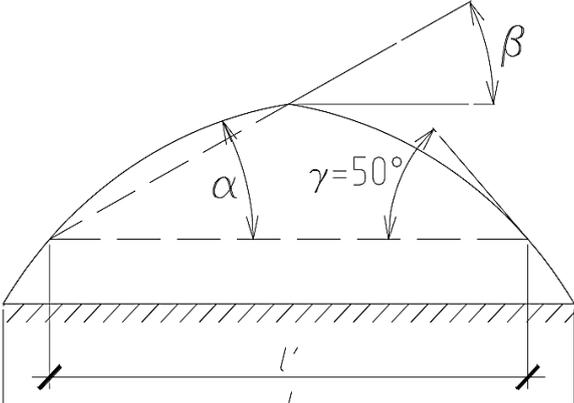
$$N_{2,Ed} = 0,85 \times (N_1 + 2 \times N_2 + N_4 + N_5) + [2 \times (N_{q2} + N_{q3}) + 0,7 \times N_{q1} + 0,6 \times N_s] = \\ = 0,85 \times (16,56 + 2 \times 116,4 + 181,4 + 33,5) + [2 \times (42 + 10,5) + 0,7 \times 16,61 + 0,6 \times 30,4] = 529,3 \text{ кН}.$$

Для проверки предельного состояния несущей способности простенка принимаем **первую** основную комбинацию усилий.

Расчет каменного простенка выполняется путем составления расчетной схемы в виде рамы, образованной стеной и перекрытиями, с учетом геометрических и механических характеристик конструкций. Дальнейшая проверка предельного состояния каменного простенка осуществляется с учетом уменьшения его несущей способности от влияния изгибающих моментов, возникающих от действия ветровой нагрузки и нагрузки на перекрытие первого этажа.

Приложение А
Схемы распределения снеговых нагрузок на арочные покрытия
(Изменение № 1 к СНиП 2.01.07-85)

Таблица А.1 – Схемы снеговых нагрузок и коэффициенты μ [3]

Номер схемы	Профили покрытий и схемы снеговых нагрузок	Коэффициенты μ и область применения схем
1	<p>Здания со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытиями</p>  <p>Вариант 1 μ_1</p> <p>Вариант 2 μ_2 $0,5\mu_2$</p> <p>$0,5l$ $0,5l$</p>	<p>$\mu_1 = \cos 1,8\alpha$; $\mu_2 = 2,4 \sin 1,4\alpha$, где α – уклон покрытия, град</p>
2	<p>Покровтия в виде стрельчатых арок</p>  <p>β</p> <p>α $\gamma = 50^\circ$</p> <p>l' l</p>	<p>При $\beta \geq 15^\circ$ необходимо использовать схему 1б Приложения 3 [2] (здания с односкатными и двускатными покрытиями), принимая $l = l'$; при $\beta < 15^\circ$ – схему 1 настоящей таблицы</p>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воздействия на здания в соответствии с требованиями Еврокодов / В. В. Тур [и др.] ; под ред. В. В. Тура, А. Б. Шурина. – Брест: Издательство БрГТУ, 2020. – 81 с.
2. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – М. : Госстрой СССР : ЦНИТП, 1986. – 36 с.
3. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. Изменение № 1 : СНиП 2.01.07-85. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2001. – 5 с.
4. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия (Дополнения. Раз. 10. Прогнбы и перемещения) : СНиП 2.01.07-85. – М. : Госстрой СССР : ЦНИТП, 1989. – 8 с.
5. Основы проектирования строительных конструкций : СН 2.01.01-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 83 с.
6. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки : СН 2.01.02-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 33 с.
7. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : СН 2.01.04-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 36 с.
8. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 119 с.
9. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием: ТКП EN 1991-3-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 73 с.
10. Справочник по климату Беларуси. Часть 4. Ветер, атмосферное давление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pogoda.by/climat-directory/?page=304>.
11. Перельмутер, В. Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / А. В. Перельмутер [и др.] ; под ред. А. В. Перельмутера – М. : Издательство АСВ, 2007. – 476 с.

Учебное издание

ТУР Виктор Владимирович
ШУРИН Андрей Брониславович
КРИВИЦКИЙ Павел Васильевич
ШАЛОБИТА Николай Николаевич
ЗАХАРКЕВИЧ Иван Филиппович
ДЕРКАЧ Валерий Николаевич
АЛЕХНОВИЧ Святослав Викторович
ТОРХОВА Анна Вячеславовна

ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением в области строительства
и архитектуры Республики Беларусь в качестве учебно-методического
пособия для студентов учреждений высшего образования специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»*

Ответственный за выпуск: Шурин А. Б.
Редактор: Митлошук М. А.
Компьютерная вёрстка: Рогожина Ю. А., Шурин А. Б.
Корректор: Дударук С. А.

ISBN 978-985-493-547-8



Издательство БрГТУ.
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., №3/1569 от 16.10.2017 г.
Подписано в печать 11.02.2022 г.
Формат 60x84 ¹/₈. Бумага «Снегурочка».
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 11,86. Уч. изд. л. 12,75. Заказ № 110.
Тираж 75 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический
университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.