

Нагрузки и воздействия

Лекцию подготовил
Карельский А.В.

□ Классификация нагрузок

□ Нагрузки и воздействия представляют собой наиболее неопределенные величины, обладающие большим статистическим разбросом.

□ В части математического описания нагрузки делятся на:

- нагрузки, представляющие собой случайные величины;
- нагрузки, представляющие собой случайные функции времени;
- нагрузки, изменяющиеся не только во времени, но и в пространстве по случайным или детерминированным законам.

□ По продолжительности действия и частоте появления действующий СП 20.13330.2016 разделяет нагрузки на **постоянные** и **временные** (длительные, кратковременные, особые).

□ нагрузки длительные: Нагрузки, изменения расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо мало по сравнению с их средними значениями;

□ нагрузки кратковременные: Нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы сооружения;



К постоянным нагрузкам следует относить:

- а) вес частей сооружений, в том числе несущих и ограждающих строительных конструкций;
- б) вес и давление грунтов (насыпей, засыпок), горное давление;
- в) гидростатическое давление.

Сохраняющиеся в конструкции или основании усилия от предварительного напряжения следует учитывать в расчетах как усилия от постоянных нагрузок

К длительным P нагрузкам следует относить:

- а) вес временных перегородок, подливок и подбетонок под оборудование;
- б) вес стационарного оборудования: станков, аппаратов, моторов, емкостей, трубопроводов с арматурой, опорными частями и изоляцией, ленточных конвейеров, постоянных подъемных машин с их канатами и направляющими, а также вес жидкостей и твердых тел, заполняющих оборудование;
- в) давление газов, жидкостей и сыпучих тел в емкостях и трубопроводах, избыточное давление и разрежение воздуха, возникающее при вентиляции шахт;
- г) нагрузки на перекрытия от складироваемых материалов и стеллажного оборудования в складских помещениях, холодильниках, зернохранилищах, книгохранилищах, архивах и подобных помещениях;
- д) температурные технологические воздействия от стационарного оборудования;
- е) вес слоя воды на плоских водонаполненных покрытиях;
- ж) вес отложений производственной пыли, если не предусмотрены соответствующие мероприятия по ее удалению;
- и) пониженные значения кратковременных нагрузок, которые устанавливаются в нормах проектирования строительных конструкций и оснований.
- к) воздействия, обусловленные деформациями основания, не сопровождающимися коренным изменением структуры грунта, а также оттаиванием вечномерзлых грунтов;
- л) воздействия, обусловленные изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов



К кратковременным нагрузкам следует относить:

а) нагрузки от оборудования, возникающие в пускоостановочном, переходном и испытательном режимах, а также при его перестановке или замене;

б) вес людей, ремонтных материалов в зонах обслуживания и ремонта оборудования;

в) нагрузки от людей, животных, оборудования на перекрытия жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий

г) нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования (погрузчиков, электрокаров, кранов-штабелеров, тельферов, а также от мостовых и подвесных кранов), включая вес транспортируемых грузов;

д) нагрузки от транспортных средств;

е) климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные).

К особым нагрузкам следует относить:

- а) сейсмические;
 - б) взрывные;
 - в) ударные, в том числе нагрузки от столкновений транспортных средств с частями сооружения;
 - г) нагрузки, вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования;
 - д) воздействия, обусловленные деформациями основания, сопровождающимися коренным изменением структуры грунта (например, при замачивании просадочных грунтов) или оседанием его в районах горных выработок и в карстовых районах;
 - е) нагрузки, обусловленные пожаром;
 - ж) климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) нагрузки, действие которых может привести к аварийной расчетной ситуации.
- Другие типы особых воздействий устанавливаются в нормах проектирования конструкций и оснований.

□ Вес снегового покрова

- Снеговая нагрузка на покрытия определяется весом снегового покрова на единицу площади. Основные факторы, влияющие на значение снеговой нагрузки - это количество выпадающих в зимнее время осадков, ветровой перенос (в том числе сдувание с покрытия) и таяние снега. Разница в количестве осадков в разные годы служит причиной многолетней изменчивости снеговой нагрузки.
- Базовое значение снеговой нагрузки представляет собой **РАСЧЕТНЫЙ ВЕС СНЕГОВОГО ПОКРОВА** на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, превышаемый один раз в 25 лет (точнее, зим). В нормах он обозначен S_g и приведен ниже в таблице для восьми снеговых районов, на которые разделена территория страны.
- Для горных районов с высотой над уровнем моря более 1500 м и малоизученных и в местах со сложным рельефом значение веса снегового покрова следует определять по данным метеорологической службы. При этом за S_g принимается среднее значение ежегодных максимумов запаса воды по результатам снегосъемок за период не менее 20 лет

Таблица К.1 - Нормативные значения веса снегового покрова

№	Город, населенный пункт	$S_g, \text{кН/м}^2$	№	Город, населенный пункт	$S_g, \text{кН/м}^2$	№	Город, населенный пункт	$S_g, \text{кН/м}^2$
Республика Адыгея (Адыгея)			Республика Дагестан			Кировская область		
1	Майкоп	0,90	1	Каспийск	0,60	1	Киров	2,10
Алтайский край, Республика Алтай			2	Махачкала	0,60	Республика Коми		
1	Барнаул	1,55	3	Хасавюрт	0,65	1	Сыктывкар	2,45
2	Бийск	2,15	Еврейская автономная область			2	Ухта	2,15
3	Горно-Алтайск	1,90	1	Биробиджан	0,95	Костромская область		
4	Рубцовск	1,00	Забайкальский край			1	Кострома	1,80
Амурская область			1	Чита	0,40	Краснодарский край		
1	Благовещенск	0,50	Ивановская область			1	Армавир	0,85
Архангельская область			1	Иваново	1,70	2	Краснодар	1,10
1	Архангельск	1,80	2	Кинешма	1,90	3	Кропоткин	0,70
2	Северодвинск	2,25	Республика Ингушетия			Красноярский край		
Астраханская область			1	Назрань	0,65	1	Ачинск	1,25

Снеговые районы (принимаются по карте 1 приложения Е)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_g, \text{кН/м}^2$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

- Максимальный вес снегового покрова для заданной местности за несколько лет представляет собой стационарную случайную последовательность. Следовательно, сооружения за все время их эксплуатации многократно подвергаются загрузке одной и той же случайной нагрузкой в виде веса снега. Расчетным значением этой нагрузки должен быть максимум из n ее повторений, где n - число лет службы сооружения.
- Кривая распределения максимальной годовой снеговой нагрузки определяется статистической обработкой последовательности снеговых нагрузок за большое число лет.
- В ряде случаев, например, при расчете конструкций покрытий с применением пластмасс и для мягких оболочек, представляет интерес не только максимальная за год снеговая нагрузка, а и значения ее в любой день зимнего периода.
- В определенных ситуациях разрушение конструкций под действием снеговой нагрузки может произойти не в конце зимы, а сразу после обильного снегопада. А.Р. Ржаницын выделяет несколько причин этого:
 - - свежавыпавший снег рыхлый и не имеет собственной жесткости типа плиты или оболочки, как слежавшийся;
 - - при обильном снегопаде более вероятно образование "снеговых мешков" и заносов, так как весь снег выпадает при одном направлении ветра;
 - - на покрытиях горячих цехов снег долго не лежит из-за положительной температуры поверхности кровли, а при сильном снегопаде он может не успеть быстро растаять;
 - - на обычных утепленных кровлях снеговые заносы после обильных снегопадов часто расчищают или снег слеживается и приобретает некоторую собственную жесткость, что является благоприятным фактором для конструкций.

- Для расчета на действие свежеснегавшего снега требуются данные о распределении вероятности суточных снеговых осадков. При этом каких-либо нормативов для подобных расчетов до настоящего времени нет.
- Принципиально такая задача разрешима, однако, при этом требуется выполнить огромный объем статистической обработки данных метеонаблюдений. В настоящее время учитываются лишь основные факторы и используются упрощенные методы расчета. Поэтому для специалистов очевидна необходимость создания **ТЕОРИИ НАГРУЗОК**, включающей классификацию свойств и конкретный анализ загружений разных видов.

Снеговые районы РФ	IV, Sg
СНиП 2.01.07-85*	2,1
СП 20.13330.2011	2,4
СП 20.13330.2016	2,52

10.1 Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле



$$S_0 = c_e c_f \mu S_g, \quad (10.1)$$


где c_e - коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с 10.5-10.9;

c_f - термический коэффициент, принимаемый в соответствии с 10.10;

μ - коэффициент формы, учитывающий переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4;


S_g - нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, принимаемое в соответствии с 10.2.

- 
- 
- Как уже отмечалось выше в классификации, полное значение снеговой нагрузки считается **КРАТКОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**. Для районов, где средняя температура января ниже -5 °С половина снеговой нагрузки считается **ВРЕМЕННОЙ ДЛИТЕЛЬНОЙ**. Она называется пониженным расчетным значением и учитывается лишь в расчетах, где необходим учет процессов типа ползучести бетона и т.п.
 - Полное значение снеговой нагрузки используется в расчетах по первой группе предельных состояний, а в расчетах по второй группе - не всегда. Например, его не принимают во внимание при определении прогибов, ограниченных по эстетико-психологическим требованиям (учитывается лишь пониженное длительное значение).
 - Для равнинных районов Краснодарского края пониженное значение снеговой нагрузки нормами СНКК 20-303-2002 не установлено (отсутствует).



Коэффициент надежности по снеговой нагрузке 1,4. Это примерно соответствует периоду однократного превышения 7-14 лет, в среднем это обеспеченность 0,90 при соответствующем периоде 10 лет.


В старых нормах (СНИП 2.01.07-85*) для легких несущих конструкций покрытий с применением древесины, пластмасс и легких сплавов коэффициент увеличивался до 1,6 в случае, когда отношение нормативного собственного веса к нормативному весу снегового покрова менее 0,8. Это связано с тем, что для таких конструкций доля напряжений от снеговой нагрузки становится определяющей. Вследствие большей изменчивости снеговой нагрузки по сравнению с собственным весом конструкций значительное случайное превышение действительной снеговой нагрузки над расчетной не может быть компенсировано резервами несущей способности легких конструкций. Коэффициент 1,6 давал расчетную нагрузку с обеспеченностью примерно 0,96 (1 раз в 25 лет).



□ Нормативное значение снеговой нагрузки в СНиП было определено как среднее из максимальных весов снега за все годы, при этом вес вычислен по средней плотности. Следовательно, отклонения максимальных значений за каждый год от их среднего нормативного значения равновероятны как в большую, так и в меньшую сторону. Поэтому вероятность превышения нормативной нагрузки в любой год составляет $1/2$ и соответственно периодичность превышения - 1 раз в 2 года. Например, в снежном покрове метеостанции Озерки (III снеговой район) за 27 лет снеговая нормативная нагрузка была превышена 14 раз. Таким же для района г. Северодвинска (IV район) превышение нормативной нагрузки было в 18 случаях из 33 лет наблюдений. В обоих случаях повторяемость превышения близка к $1/2$, но говорить об этой вероятности можно лишь "в среднем".

□ В пределах каждого снегового района в отдельных географических пунктах фактическая нормативная снеговая нагрузка может в большую или меньшую сторону отличаться от среднего нормативного значения для данного района.

□ Отмечается, что в наших нормах снеговая нагрузка нормируется с большей вероятностью превышения, чем в нормах других стран. Например, в США за расчетное значение снеговой нагрузки принимается наибольшая нагрузка за 50 лет. В Польше в районах, прилегающих к границе России и Белорусии, нормативная снеговая нагрузка установлена примерно вдвое выше. Поэтому заметной экономии материальных и денежных средств как следствия дальнейшего уточнения снеговых нагрузок, добиться вряд ли возможно.

- 
- Наблюдения за снежным покровом на метеорологических станциях проводятся согласно “Наставления метеорологическим станциям” вып.3, ч. 1 и состоят из ежедневных наблюдений за изменением (динамикой) снежного покрова и периодических снегосъёмок для определения снегонакопления и запаса воды на элементах природного ландшафта (поле, лес).
 - При ежедневных наблюдениях за снежным покровом определяют:
 - - степень покрытия окрестности станции снежным покровом (балл);
 - - характер залегания снежного покрова;
 - - высоту снежного покрова на метеоплощадке (см).
 - При снегосъёмках на каждом снегомерном маршруте определяют:
 - - высоту снежного покрова (среднюю из установленного числа измерений);
 - - плотность снега (среднюю из установленного числа измерений);
 - - структуру снежного покрова и т.д.
 - Выбор снегомерного маршрута производится специалистами УГМС, выбранный маршрут является постоянным и характерным для окружающей местности по условиям формирования снежного покрова. Протяжённость маршрута в поле 2000 м, лесу - 500 м. Снегосъёмки проводятся в последний день пятидневки в течение всего периода, когда степень покрытия снегом была более шести баллов.
 - Высота снежного покрова измеряется на полевом маршруте в 100 точках (через 20 м), на лесном - в 50 точках (через 10 м). При обработке результатов снегосъёмки из всех значений высоты снежного покрова на маршруте отбрасываются наибольшее и наименьшее.

- Анализ данных многолетних наблюдений снеговых нагрузок за примерно 50-летний период показал, что в отдельных географических пунктах происходили весьма значительные превышения установленных нормами расчетных значений.
- Компенсировать столь существенное редкое превышение расчетных значений можно принятием более высокой по сравнению со СНиП обеспеченности расчетных значений. Однако такой путь приведет к существенному удорожанию строительства. Для уникальных большепролетных покрытий - вогнутых или малой выпуклости – возможно более эффективное решение: очистка кровель при интенсивных снегопадах или большом снегонакоплении.
- Для оценки необходимости очистки кровель, требующей оргмероприятий и трудозатрат, необходимо знать связь между весом снегового покрова и его толщиной. Зная среднюю толщину снега, можно оценить, не превышено ли расчетное значение снеговой нагрузки. Появляется возможность при отсутствии оперативной информации метеорологической службы определить необходимость проведения работ по очистке кровель.
- Определим критическую толщину снега для города Архангельска при расчетной нагрузке 2,52 кПа

Материал	Вес 1 м3 (кг)	Толщина, м
Сухой снег	125	2,02
Мокрый снег	950	0,27
Свежевыпавший пушистый сухой	60	4,20
Мокрый свежевыпавший	150	1,68
Свежевыпавший осевший	300	0,84
Ветрового (метелевого) переноса	300	0,84
Сухого осевшего старого	500	0,50
Сухого фирна	600	0,42
Мокрого старого	800	0,32
Мокрого фирна	800	0,32
Глетчерного льда	960	0,26

Ветровая нагрузка

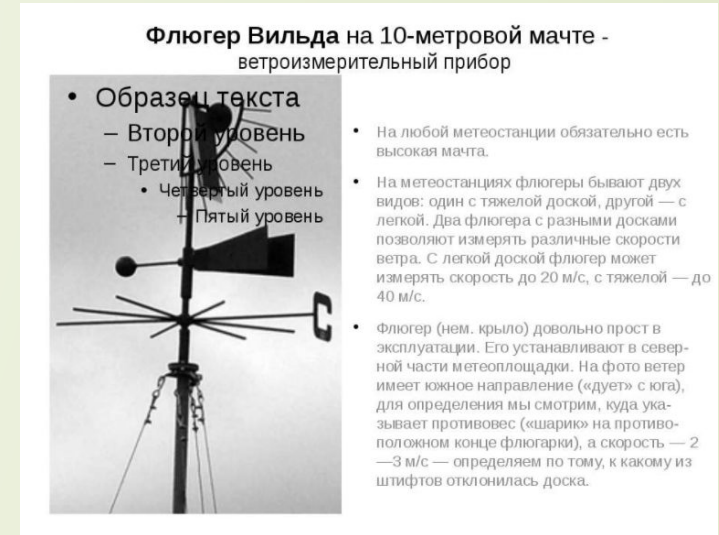



- Для зданий и сооружений необходимо учитывать следующие воздействия ветра:
 - а) основной тип ветровой нагрузки
 - б) пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления
 - в) резонансное вихревое возбуждение
 - г) аэродинамически неустойчивые колебания типа галопирования, дивергенции и флаттера.

□ Для измерений характеристик ветра на метеостанциях в настоящее время используются анеморумбометры М-63М (или их модификации), который обеспечивает автоматическое измерение средней скорости за **10 минут** в диапазоне 1-40 м/с, максимальной скорости (до 60 м/с) и направления ветра.

□ В качестве запасного прибора на метеостанциях имеются комплекты флюгеров Г. Вильда с легкой и тяжелой досками. Они предназначены для измерения скорости ветра от 0 до 40 м/с. При наличии двух таких приборов флюгер с лёгкой доской применяется при измерении скорости от 0 до 10 м/с, флюгер с тяжёлой доской - от 10 до 40 м/с. В случае неисправности одного из флюгеров или при наличии на станции одного флюгера наблюдения производятся по нему при всех скоростях, которые прибор может измерить (флюгер с лёгкой доской - 20 м/с, с тяжёлой - 40 м/с).

□ Вплоть до начала 70-х годов XX века проводились лишь флюгерные метеонаблюдения. При этом определяли среднюю скорость ветра, максимальную скорость (порыв) в срок наблюдений, а также направление ветра. Для определения скорости ветра наблюдается колебание доски в течение **2 минут** и определяется ее среднее положение за этот промежуток времени. Таким способом получают **осредненное на 2-минутном интервале значения скорости ветра**, которое используется для нормирования ветрового напора. Одновременно отмечается и самое большое отклонение доски за указанный период – скорость порыва ветра.





Основной тип ветровой нагрузки и пиковые ветровые нагрузки связаны с непосредственным действием на здания и сооружения максимальных для места строительства ураганных ветров и должны учитываться при проектировании всех сооружений.

Резонансное вихревое возбуждение и аэродинамические неустойчивые колебания необходимо учитывать для зданий, сплошностенчатых сооружений или их отдельных участков, имеющих прямолинейную (или близкую к прямолинейной) центральную ось. Критерии возможности возбуждения аэродинамически неустойчивых колебаний устанавливаются в нормах проектирования. При проектировании сооружений должны использоваться такие архитектурные и конструктивные решения, которые исключают возбуждение аэродинамически неустойчивых колебаний.

Коэффициент надежности по нагрузке для основной и пиковой ветровых нагрузок следует принимать равным 1,4; при расчете на резонансное вихревое возбуждение коэффициент надежности по нагрузке принимается равным 1,0.

При разработке архитектурно-планировочных решений городских кварталов, а также при планировании возведения зданий внутри существующих городских кварталов необходимо провести оценку комфортности пешеходных зон.

Во всех случаях нормативное значение основной ветровой нагрузки следует определять как сумму средней и пульсационной составляющих

$$w = w_m + w_g$$

При определении внутреннего давления пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать. Нормативное значение средней составляющей ветрового давления определяется по формуле

$$w_m = w_0 k(z_e) c ,$$


$$w_0 = \frac{\rho v_0^2}{2}$$

- w_0 - ветровое давление на единицу поверхности (скоростной напор);
- ρ - плотность воздуха,
- v_0 - скорость ветра,
- k - коэффициент, учитывающий изменение давления ветра по высоте и тип местности;
- c - аэродинамический коэффициент (коэффициент лобового сопротивления сооружения).

Плотность воздуха зависит от давления и температуры. Для обычного диапазона температур и при не очень большой высоте сооружения переменностью плотности воздуха можно пренебречь

$$w_0 = 0,43 v_{50}^2$$

v_{50} - скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, определяемая с 10-минутным интервалом осреднения и с периодом повторяемости 50 лет, т.е. превышаемая в среднем один раз в 50 лет.



Ветровые районы (принимаются по карте 2 приложения Е)	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0 , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

Скорость ветра в редакции норм СНиП II-6-74 "Нагрузки и воздействия" принималась при двухминутном интервале осреднения, поскольку за основу нормирования принимались данные метеонаблюдений при флюгерных измерениях. При переходе на анемометрические наблюдения интервал осреднения увеличился до 10 минут, что в общем случае должно снижать осредненную скорость ветра по сравнению с 2-минутным осреднением. При составлении действующих норм СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" в середине 80-х годов прошлого века еще не было достаточной статистической базы результатов измерений по новой методике. Поэтому было принято волевое решение: считать, что скорость ветра, осредненная на 10-минутном интервале, составляет 0,92 от осредненной на 2-минутном интервале.

Расчетное значение средней составляющей ветровой нагрузки определяется умножением нормативной на коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f=1,4$

- В зависимости от шероховатости поверхности различают местности типов *A*, *B* и *C*. К типу *A* относятся открытые местности с ровной поверхностью: побережья морей, озер, водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра. К типу *B* отнесены городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м. Тип *C* - городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.
- Сооружения считаются расположенными в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны на расстоянии $30h$ при высоте сооружения h до 60 м и 2 км - при большей высоте. В таблице приведены значения коэффициента k возрастания скоростного напора ветра по высоте для местностей разных типов:

Высота z_g , М	Коэффициент k для типов местности		
	A	B	C
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2

- При определении ветровой нагрузки типы местностей могут быть различными для расчетных направлений ветра.

Рассмотрим влияние основных факторов на особенности вертикальных профилей скоростного напора:

- **Стратификация атмосферы** (изменение температуры воздуха по высоте) характеризуется градиентом температуры. Среднее значение градиента $\gamma = 0,6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ соответствует уменьшению температуры воздуха на $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ при подъеме на каждые 100 м. В каждый отдельный момент времени γ может отклоняться в ту или иную сторону и даже принимать отрицательное значение (так называемая инверсия температуры). При малых вертикальных градиентах или инверсиях вертикальные перемещения воздушных масс затухают. Стратификация атмосферы в таком случае называется устойчивой (в противном случае неустойчивой). При устойчивой стратификации уменьшается перемешивание воздуха разных слоев восходящими потоками. Поэтому вертикальные градиенты скорости ветра становятся большими, чем при неустойчивой стратификации. С увеличением скорости ветра различие скоростей разных слоев вертикального профиля уменьшается.
- **Шероховатость подстилающей поверхности** является одним из основных факторов, влияющих на формирование профилей скорости ветра в пограничном слое атмосферы. Были произведены измерения в пунктах с разной степенью шероховатости: пустыни и горы, луга и крупные города. Измерения производились на высотах до 300 м. Их результаты свидетельствуют, что показатель степени *шероховатости* изменяется в широких пределах. Над ровной поверхностью он существенно меньше, чем над пересеченной и неоднородной. Наибольшее влияние на величину оказывает непосредственное окружение объекта.
- **Скорость ветра у земли** также оказывает влияние на характер вертикального профиля. С усилением ветра показатель степени, как правило, уменьшается. При очень сильном ветре у поверхности земли близко к нулю, то есть скорость ветра выравнивается по высоте во всем слое. С учетом всех этих факторов на основе исследований Главной геофизической обсерватории в нормах приняты осредненные показатели степени для местностей типов А, В, С, равные соответственно 0,1, 0,2 и 0,3