

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЯ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ СССР

06
Т78

ТРУДЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск 408

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ
НА СООРУЖЕНИЯ

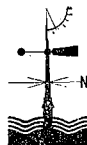
Под редакцией

д-ра геогр. наук М. В. ЗАВАРИНОЙ,

канд. геогр. наук И. Д. КОПАНЕВА

С82662

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195163 Малоохтинский пр., 98



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1978

В сборнике приводятся результаты исследований гололедно-изморозевых, ветровых и снеговых нагрузок на провода воздушных линий электропередачи и на высотные сооружения. Кроме того, в сборник включены статьи об освещенности и учете увлажнения вертикальных поверхностей.

Сборник предназначен для климатологов, метеорологов и специалистов проектных и строительных организаций.

The publication presents the results of studies on ice-rime, wind and snow loads on wires of aerial power lines and on high constructions. Besides, it includes papers on illumination and consideration of moistening vertical surfaces.

The publication is intended for climatologists, meteorologists and specialists of designing and construction organizations.

М. В. Заварина

О ТОЧНОСТИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

При практическом использовании климатологических данных в различных областях народного хозяйства (в процессе планирования или проектирования) все чаще ориентируются на вероятностные показатели климата, состоящие или из отдельных метеорологических элементов, или из комплексов, определяемых различными сочетаниями двух или нескольких элементов. Вероятность (обеспеченность) этих показателей выбирается в зависимости от решаемой задачи.

Так, проектирование строительных сооружений осуществляется с учетом редко наблюдаемых (имеющих небольшую вероятность) метеорологических явлений, при которых возникают различные метеорологические нагрузки (ветровые, гололедные, снеговые, температурные).

Во многих случаях обеспеченность той или иной метеорологической нагрузки (F) выражается через период повторения $T=5, 10, 15, 20$ лет и более. Например, наибольшая скорость ветра, возможная раз в 5 лет, используется для расчета скоростного напора ветра, который входит как норматив в СНиП [4, 6]. По этому нормативу определяются реже наблюдаемые скоростные напоры.

Норматив для определения гололедной нагрузки также имеет период повторения 5 лет.

Если расчет норматива заданной обеспеченности произведен по годовым максимумам ветровой или гололедной нагрузки, то период повторения этого максимума (T) связан с F соотношением

$$FT=1, \quad \text{или} \quad T=1/F, \quad (1)$$

где F — вероятность ежегодного превышения какой-то нагрузки x_0 .

При выборе предельных значений (x_0) тех или иных показателей климата, имеющих заданную обеспеченность (F), очень важно знать, с какой точностью они определяются по метеорологическим данным, на сколько заданная (и рассчитанная по материа-

лам наблюдений) вероятность отличается от ее истинного значения.

Точное значение вероятности, как известно, выражается формулой

$$F = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n}, \quad (2)$$

где m — число случаев превышения предельной величины (предельного значения климатического норматива); n — общее число случаев (число членов ряда, по которому рассчитывается интегральная вероятность).

Практически величина F всегда определяется по конечному числу наблюдений, т. е. находится не вероятность, а частота или повторяемость появления события. При этих расчетах члены ряда располагаются в убывающем порядке и тогда m — номер члена ряда.

При расчетах вероятностей по годовым максимумам n — число лет наблюдений. От длительности периода метеорологических наблюдений зависит точность нормативов. Поскольку n невелико, для расчета F используются формулы:

$$\frac{m}{n+1}; \frac{m-0,3}{n+0,4}; \frac{m-0,25}{n+0,5}; \frac{m-0,31}{n+0,28}; \frac{m-0,44}{n+0,12}; \frac{2m-1}{2n}. \quad (3)$$

Очевидно, чем больше n , тем ближе получаемая повторяемость к истинному значению интегральной вероятности.

Отклонения F от истинного значения определить невозможно, однако можно найти пределы, в которых будет заключено истинное значение F , в зависимости от m и n или от F и n .

Иначе говоря, воспользовавшись законами теории вероятностей, можно при заданной доверительной вероятности p найти доверительные интервалы F , заключенные между максимумом и минимумом этой вероятности, т. е. указать область, вероятность попадания в которую не менее чем p .

Пусть $F_{\max}$ и $F_{\min}$ — верхняя и нижняя границы возможного значения F , т. е. $F_{\min} < F < F_{\max}$. Тогда согласно [3] выполняются следующие соотношения:

$$\sum_{k=0}^n C_n^k F_{\max}^k (1 - F_{\max})^{n-k} = \frac{1-p}{2},$$

$$\sum_{k=m}^n C_n^k F_{\min}^k (1 - F_{\min})^{n-k} = \frac{1-p}{2}, \quad (4)$$

где C_n^k — число сочетаний из n элементов по k ; p — доверительная вероятность; m и n имеют те же значения, что и в формуле (2).

Если доверительная вероятность p задана, то по формулам (4) находят $F_{\min}$ и $F_{\max}$ при различных m и n . В табл. 1 для некото-

Таблица 1

Доверительные интервалы вероятности F

n	m	T	$F\%$	$F_{\max}\%$	$F_{\min}\%$	$\frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$	$T_{\text{ср}}$	$F_{\max}\%$	$F_{\min}\%$	$\frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$	$T_{\text{ср}}$
$p=95\%$							$p=99\%$				
100	1	100	1	5,4	0,0	2,7	37	7,0	0,0	3,5	29
100	2	50	2	6,9	0,2	3,55	28	8,6	0,1	4,3	23
100	3	33	3	8,6	0,6	4,6	22	11,0	0,3	5,65	18
100	5	20	5	11,4	1,7	6,55	15	13,6	1,1	7,35	14
100	10	10	10	17,9	5,0	11,45	9	20,4	3,9	12,1	8
100	20	5	20	29,2	12,6	20,9	5	32,1	10,9	21,5	5
100	50	2	50	60,2	39,8	50,0	2	63,1	36,9	50	2
60	3	20	5	14,0	1,0	7,5	13	17,2	0,5	8,85	11
50	1	50	2	10,6	0,1	5,35	19	14,0	0,0	7,0	14
50	2	25	4	13,5	0,5	7,0	14	16,9	0,2	8,55	12
50	5	10	10	21,8	3,3	12,55	8	25,8	2,2	14,0	7
50	10	5	20	33,8	10,0	21,9	5	38,1	7,9	23,0	4
50	25	2	50	64,5	35,5	50,0	2	68,4	31,6	50,0	2
40	2	20	5	17,0	0,6	8,8	11	20,8	0,2	10,5	10
33	1	33	3	15,8	0,1	7,95	13	21,1	0,0	10,55	10
30	3	10	10	26,5	2,1	14,3	7	32,0	1,2	16,6	6
25	1	20	5	20,3	0,1	10,2	9,8	26,2	0,0	13,1	7,6
25	2,5	10	10	28,6	1,7	15,2	6,6	35,3	9,0	22,2	4,5
25	5	5	20	40,7	6,8	23,8	4,2	47,0	4,6	25,8	3,9
25	12,5	2	50	70,4	29,5	50,0	2	75,6	24,4	50,0	2
20	1	20	5	24,9	0,1	12,5	8	31,7	0,0	15,85	6
20	2	10	10	31,7	1,2	16,45	6	38,7	0,5	19,6	5
20	4	5	20	43,7	5,7	24,7	4	50,7	3,6	27,15	4
20	10	2	50	72,8	27,2	50,0	2	78,2	21,8	50,0	2
15	3	5	20	48,1	4,3	26,2	4	56,1	2,4	29,25	3
15	6	2,5	40	67,7	16,3	42,0	2	74,4	11,7	43,05	2
10	1	10	10	44,5	0,3	22,4	5	54,4	0,1	27,2	4
10	2	5	20	55,6	2,5	29,05	3	64,8	1,1	32,95	3
10	5	2	50	81,3	18,7	50,0	2	87,2	12,8	50	2

рых значений m и n приведены доверительные интервалы F , заимствованные из [2]. Они определены для $p=0,99$ и $p=0,95$. Доверительные интервалы вероятности F при доверительной вероятности p , равной 80 и 90%, приведены на рис. 1 и 2, заимствованных из той же работы.

По таблице и графикам видно, что истинные значения вероятности отличаются от повторяемостей F , определяемых по формуле (2). Различие увеличивается с увеличением доверительной вероятности. Если задать $p=99\%$, то даже при периоде наблюдений, равном 100 годам, отклонения повторяемостей от истинных вероятностей весьма существенны. Различия между ними особенно ве-

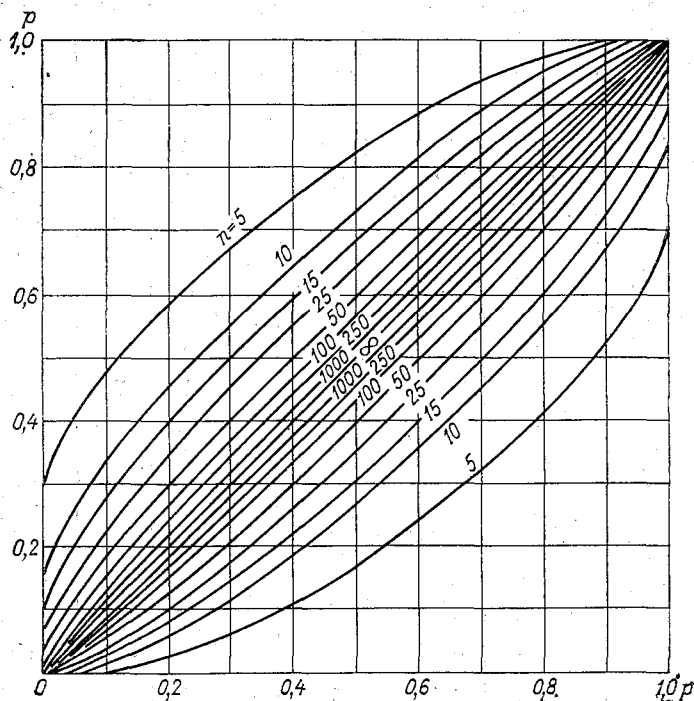


Рис. 1. 80%-ные доверительные интервалы вероятности F ($p=0,8$).

лики при единичной реализации события за весь период наблюдений (при $m=1$), т. е. в тех случаях, когда вероятность превышения один раз в T лет рассчитывается по периоду наблюдений n , равному T годам. Практически же приходится иногда определять вероятностные значения, отнесенные к периоду T , когда число лет наблюдений (n) меньше заданного периода повторения (T).

С увеличением числа m относительная ошибка F (и периода повторения T) уменьшается. Так, при $n=50$ и $m=1$ среднее значение ежегодного повторения события $F=2\%$, $T=50$ лет, $F_{\max}=10,6\%$, минимальный период повторения $T_{\min}=9,4$ года, $T_{\text{ср}}=19$ лет. При $m=5$ и $T=10$ лет $F_{\max}=21,8\%$, минимальный период $T_{\min}=4,6$ года и $T_{\text{ср}}=8$ лет.

В первом случае $F_{\max} (T_{\min})$ в 5,3 раза, а $F_{\text{ср}} (T_{\text{ср}})$ в 2,6 раза больше (меньше) расчетных значений $F (T)$. Во втором случае $T_{\min}$ меньше T в 2,2 раза, а средний период, полученный по сумме пределов F , отличается от T только на 2 года.

При проектировании различных сооружений полезно по заданной вероятности ежегодного превышения F определить вероятность превышения данного норматива за весь период эксплуатации того ли иного сооружения (R). Эту величину R иногда называют

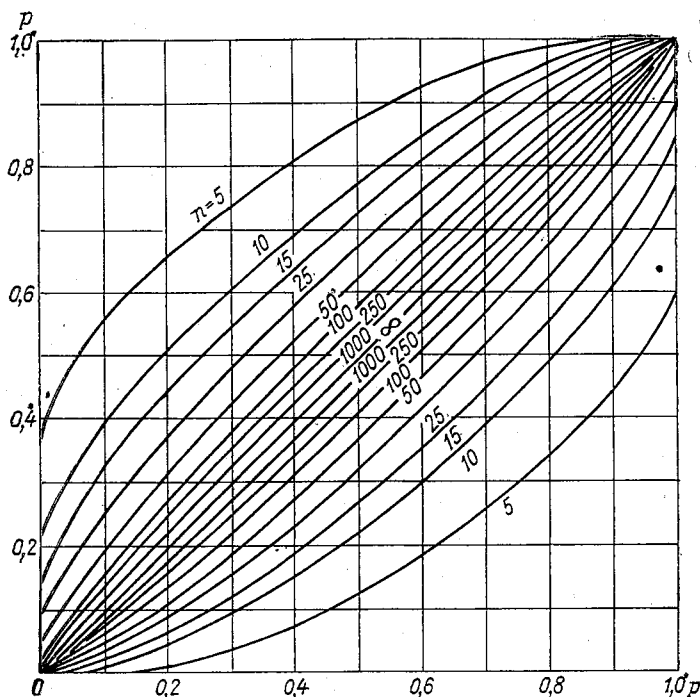


Рис. 2. 90%-ные доверительные интервалы вероятности F ($p=0,9$).

степенью риска [7]. Ею пользуются при гидрологических расчетах [1].

Пусть выбирается (или задается) нормативная метеорологическая нагрузка с вероятностью ежегодного ее превышения 10% (или с периодом повторения T , равным 10 годам). Это значит, что за каждое десятилетие заданная нормативная величина x_0 может быть превышена в среднем один раз. Очевидно, за некоторые десятилетия она не будет превышена, а за некоторые десятилетия будет превышена более чем один раз.

Если вероятность ежегодного превышения нагрузки равна F , то вероятность того, что нормативная величина ежегодно не будет превышена, равна $\varphi = 1 - F$.

Допустим, заданный период эксплуатации сооружения N лет. Считая ежегодные непревышения величины x_0 явлениями, независимыми друг от друга, по теореме умножения вероятностей независимых событий получим вероятность непревышения норматива x_0 за этот период:

$$p = (1 - F)^N, \quad (5)$$

а вероятность превышения хотя бы один раз будет

$$R = 1 - p = 1 - (1 - F)^N. \quad (6)$$

Вероятностью R определяется степень риска за определенный период эксплуатации сооружения (N) при заданном нормативе (с периодом повторения T).

На основании теоремы повторных испытаний [5] рассчитано возможное число многократных превышений заданной расчетной величины (табл. 2).

Таблица 2

Вероятность превышения норматива при $N=100$ лет

Вероятность однократного превышения	T лет	Вероятность превышения норматива							
		ни разу	1 раз	2 раза	3 раза	4 раза	5 раз	6 раз	10 раз
1	100	36,6	37,0	18,5	6,1	1,5	0,3	—	
2	50	13,6	27,1	27,3	18,2	9,0	3,5	11,1	0,07
5	20	0,6	3,1	8,1	14,0	17,8	18,0	15,0	1,7

Из таблицы следует, что даже при заданном $T=100$ лет только в 36,6% не будет ни одного превышения, а в 6% нагрузка может быть превышена 3 раза. Если задано $T=20$ лет, то значительна вероятность превышения 5 и 6 раз.

На рис. 3 графически изображена связь между средним периодом повторения норматива (T), степенью риска (R) и проектируемой долговечностью сооружения (N). По графику можно определить степень риска при любых средних периодах повторения (до 10 000 лет) и при проектируемой длительности эксплуатации сооружения до 1000 лет. По нему можно также определить, какого периода повторения должна быть нормативная величина, если задана степень риска и если сооружение проектируется на N лет.

Если степень риска 40%, а предполагаемый срок службы сооружения 20 лет, то по формуле (6) или по графику определим, что в расчеты необходимо ввести климатический норматив с периодом повторения 40 лет.

Для того чтобы с той же вероятностью (40%) не было превышения расчетной нагрузки в течение 50 лет, соответствующая расчетная нагрузка должна иметь период повторения около 100 лет.

Если сооружение рассчитывается на нагрузку с периодом повторения 10 лет и предполагаемый срок службы сооружения 10 лет, то степень риска равна 65%. С этой вероятностью нагрузка будет превышена не менее чем один раз за десятилетие. Даже нагрузка с заданным периодом повторения 100 лет может быть превышена за десятилетний период с вероятностью около 10%.

Имея небольшой период наблюдений, нельзя достаточно надежно определить максимальную нагрузку с периодом повторения более 100 лет. Следует, однако, иметь в виду, что расчет сооружений на очень редко наблюдаемую величину нагрузки во многих случаях экономически невыгоден, так как стоимость сооружения оказывается больше, чем возможный ущерб, наносимый народному хозяйству от аварий, возникающих при действии нагрузок, превышающих расчетную величину.

Поэтому естественно, что при проектировании ЛЭП и ряда других сооружений допускают степень риска 60—65%. При этом необходимо предусматривать прогноз редко наблюдаемых метеорологических явлений, вызывающих большие нагрузки, и меры активной борьбы с этими явлениями в процессе эксплуатации сооружений.

Для того чтобы установить оптимальную величину той или иной нагрузки, необходимо знать и допустимый риск и точность определения климатических параметров нагрузок.

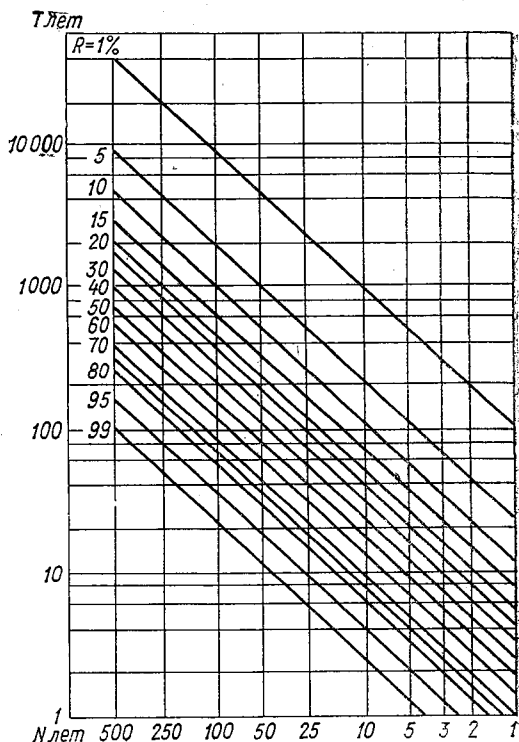


Рис. 3. Связь между T , R и N .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. Об уточнении понятий и норм, применяемых в гидрологических расчетах.— «Труды ГГИ», 1955, вып. 50(104), с. 168—174.
2. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике, М., Гостехиздат, 1955. 556 с.

3. Заварина М. В., Клинго В. В. Оценка предельных значений вероятности появления редких событий.— «Труды ГГО», 1969, вып. 246, с. 87—89.
4. Заварина М. В. Строительная климатология. Л., Гидрометеониздат, 1976. 312 с.
5. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеониздат, 1968. 539 с.
6. Строительные Нормы и Правила. П-6—74. М., Стройиздат, 1976. 60 с.
7. Hollister S. C. The Engineering Interpretation of Weather Bureau Records for Wind Loading on Structures.— In: Proc. Techn. Meeting Concerning Wind Loads on Buildings and Structures. Building Science. Ser. 30. Washington, 1970, p. 151—164.

М. В. Заварина, М. Н. Мытарев, С. Н. Соколова

ПРЕОБЛАДАЮЩИЙ ВИД ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЕТС

Расчеты ветровой нагрузки при гололеде согласно СНиП [5] производятся с учетом площади осевого сечения обледеневшего провода, определяемой по толщине нормативной стенки гололеда. Последняя приводится к плотности гололеда, равной $0,9 \text{ г/см}^3$. Вследствие этого ветровые нагрузки при наличии гололедно-изморозевых отложений, рассчитанные по принятой методике, занижаются [2]. Если ветровые нагрузки рассчитываются на обледеневший провод при наличии гололеда, то ошибка составит не более 10% от истинной величины [3]. Если же расчет производят на провод, покрытый зернистой изморозью или смешанным отложением, то ошибка значительно возрастает. Поэтому в работах [1, 2] рекомендуется рассчитывать ветровую нагрузку при гололеде по наблюдаемой скорости ветра и по наблюдаемым размерам каждого вида отложения.

Однако этот метод расчета пока не внедрен в СНиП. При расчете ветровой нагрузки в соответствии с действующими СНиП важно знать, какой вид отложения преобладает в данной местности. Зная преобладающий вид отложения, при котором возникают максимальные гололедные нагрузки и его плотность, можно внести поправку на площадь осевого сечения провода, а следовательно, и в величину ветровой нагрузки, если она рассчитана по толщине нормативной стенки.

Очевидно, для этой цели нужны сведения о преобладающем виде отложения в тех случаях, когда наблюдался наибольший годовой максимум нагрузки. Однако ряд, состоящий из годовых максимумов гололедной нагрузки, невелик, поэтому расчет повторяемости различных видов отложений авторами выполнен как по годовым максимумам, так и по всей совокупности случаев гололедно-изморозевых отложений. Расчеты произведены по наблюдениям 1400 метеорологических станций СССР. Результаты их могут быть полезны не только при расчете ветровых нагрузок при гололеде. Они могут быть использованы также для других целей,

например для определения режима работы радиотехнических сооружений и т. д.

Поскольку в данной краткой статье не могут быть приведены все табличные данные, ограничимся примером расчета и обобщенными результатами в виде карты.

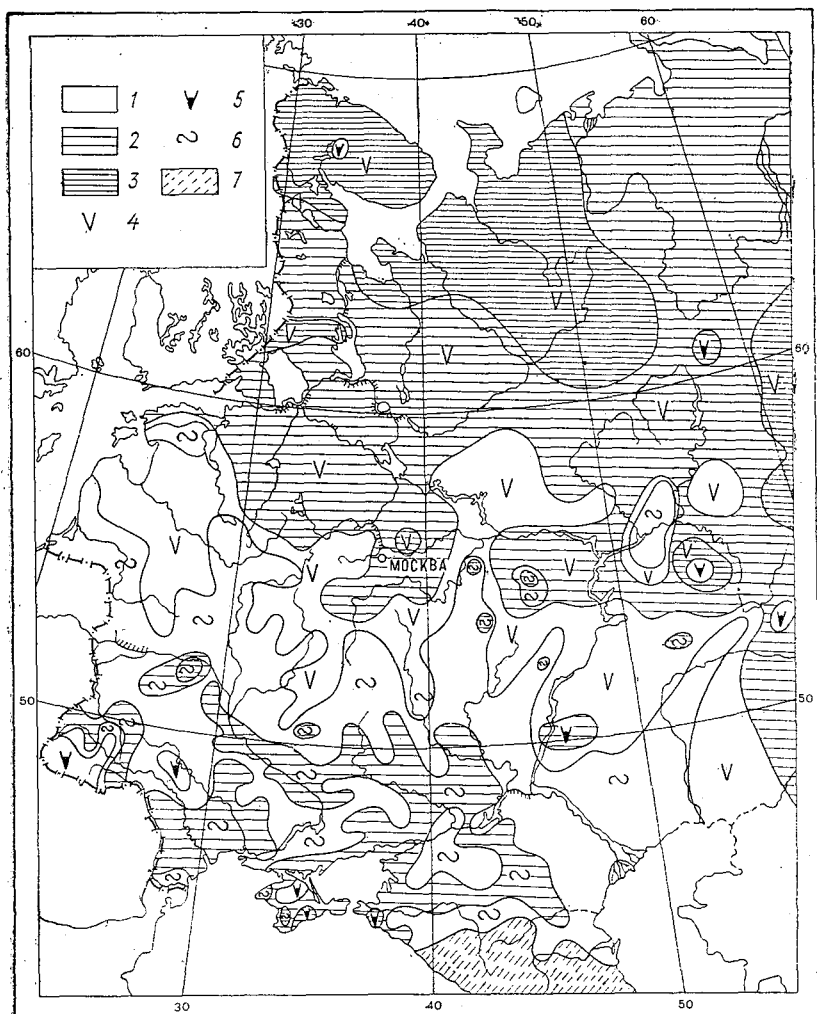
Повторяемость (%) различных видов гололедно-изморозевых отложений

Станция	Период наблюдений		Гололед		Мокрый снег		Зернистая изм.		Смешанное отлож.		Кристаллическая изморозь	
	n_1	n_2	Π_1	Π_2	Π_1	Π_2	Π_1	Π_2	Π_1	Π_2	Π_1	Π_2
УГМС Украинской ССР												
Любашевка	1932—1968	1952—1968	40	63	1	6	19	—	19	25	21	6
Северное УГМС												
Холмогоры	1953—1969	1953—1972	12	—	1	5	3	—	5	5	79	90
УГМС Белорусской ССР												
Радощкови- чи	1953—1968	1952—1968	45	31	2	6	11	12	6	7	36	44

В таблице приводится форма, по которой производились расчеты. Для каждого вида отложения отведены две графы. В первой (Π_1) указана повторяемость в процентах числа дней каждого вида отложения по отношению к общему числу дней с обледенением проводов за период n_1 . Во второй графе (Π_2) приводится повторяемость, рассчитанная по числу годовых максимумов веса при каждом виде гололедно-изморозевого отложения к общему числу всех годовых максимумов за период n_2 . Обе повторяемости рассчитаны по таблицам справочника «Гололедно-изморозевые явления и обледенение проводов».

По данным многих пунктов СССР можно судить, что повторяемости видов отложений Π_1 и Π_2 часто не совпадают, однако, как правило, по тем и другим данным можно достаточно надежно определить преобладающий вид обледенения, причем в редких случаях они расходятся. Так, например, по приведенной таблице видно, что в Любашевке в том и другом случае преобладает гололед, причем по данным годовых максимумов это преобладание выражено более резко. На ст. Холмогоры по тем и другим расчетам преобладает кристаллическая изморозь. В Радощковичах близкие повторяемости имеют оба эти вида отложений.

С учетом наблюдавшихся расхождений между Π_1 и Π_2 нами были заданы интервалы повторяемостей, приемлемые для построения климатических карт (≤ 50 ; $51-70$; $> 70\%$), характеризующих распределение этих показателей.



Повторяемость преобладающих видов гололедно-изморозевых отложений на ЕТС.

1) <50%, 2) 50—70%, 3) >70%, 4) кристаллическая изморозь, 5) зернистая изморозь, сложные отложения, 6) гололед, мокрый снег, 7) высокогорные районы.

Так как повторяемость отложений мокрого снега невелика, эти отложения не могут быть преобладающими. Вместе с тем опасность от них не меньше, а часто даже и больше, чем при гололеде [4]. При построении карты повторяемость отложений мокрого снега объединялась с повторяемостью гололеда. Точно также объединены вместе зернистая изморозь и смешанные отложения, поскольку их плотности близки и степень опасности при отложениях их на проводах примерно одинакова.

Кристаллическая изморозь отличается малой плотностью и менее опасна для линий связи и электропередачи, однако в ряде районов она является преобладающей, поэтому на карте эти районы выделены. По карте повторяемостей различных видов гололедно-изморозевых отложений на ЕТС, рассчитанных по отношению к общему числу дней с обледенением и объединенных вышеуказанным способом, видно, что на большей части ЕТС преобладающим видом отложения является кристаллическая изморозь. На западе ЕТС она доминирует к северу от 55-й параллели, на востоке же повторяемость ее остается наибольшей по сравнению с другими видами отложений от берегов Баренцева и Карского морей до 50° с. ш., а местами и еще далее к югу. Причем с ростом широты повторяемость кристаллической изморози в общем уменьшается. На большей части остальной территории преобладают отложения гололеда. Повторяемость его имеет тенденцию к росту с ростом широты. Лишь на сравнительно небольших по площади пространствах ЕТС преобладающим видом отложения является зернистая изморозь (сложное отложение). В основном это возвышенные или горные районы — Хибины, Карпаты, Крымские горы, предгорья Кавказа.

В связи с невозможностью показать на маломасштабной карте постепенность перехода наибольшей повторяемости одного вида отложения в другой на склонах гор, эта постепенность на карте в некоторых горных районах нарушена.

Распределение повторяемостей различных видов гололедно-изморозевых отложений по территории хорошо согласуется с различием факторов, влияющих на их образование в разных географических районах: с близостью рек, озер, морей, рельефом и высотой местности над уровнем моря, с циркуляционными факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заварина М. В. О расчете гололедных, гололедно-ветровых и ветровых нагрузок при гололеде.— «Труды ГГО», 1972, вып. 303, с. 3—10.
2. Заварина М. В. Оценка методов расчета гололедных и гололедно-ветровых нагрузок и перспективы их совершенствования.— «Труды ГГО», 1974, вып. 333, с. 3—14.
3. Заварина М. В., Сорокина Н. С. К определению ветровых нагрузок на обледеневшие провода.— «Труды ГГО», 1971, вып. 283, с. 74—78.
4. Заварина М. В., Мытарев М. Н. Обзор гололедно-изморозевых отложений на ЕТС за период 1969—1975 гг.— «Труды ГГО», 1977, вып. 391, с. 49—57.
5. СНиП. II-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1976, 29 с.

М. Н. Мытарев

ГОДОВЫЕ МАКСИМУМЫ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК НА АТС

В работе [1] дан анализ максимальных в каждый сезон гололедно-изморозевых отложений на ЕТС за период 1969—1975 гг. Анализ выполнен по данным метеорологических станций, помещенным в технических обзорах, составленных в ГМО УГМС; произведено сравнение максимальной толщины стенки гололеда за каждый из рассмотренных сезонов со значениями этого параметра, приведенными в СНиП [2]; определен вид гололедно-изморозевого отложения, при котором чаще всего превышался норматив. На основании этих материалов произведена ориентировочная оценка гололедного районирования ЕТС.

В данной статье рассматриваются обзоры гололедно-изморозевых явлений за 1969—1976 гг. на Азиатской территории СССР (АТС).

Следует отметить, что районирование АТС по толщине нормативной стенки гололеда проведено менее детально, чем ЕТС. На карте СНиП не определен район гололедности больших, в основном горных, территорий. По этой причине не могло быть проведено сравнение толщины нормативной стенки гололеда, действительно наблюдавшейся в течение рассматриваемого периода, и той, которая соответствовала бы номеру данного района в Забайкальском, Таджикском, а также в некоторых других УГМС.

В табл. 1 приведено число станций (N) за каждый гололедный сезон, данные которых использованы для анализа, и число превышений норматива за каждый сезон (n).

Как видно из вышеприведенной таблицы, относительно наибольшее число превышений было зарегистрировано в сезон 1969-70 г. (19%). Однако, к сожалению, именно за этот сезон было получено и наименьшее число данных вообще, что затрудняет получение достаточно полной картины сезонных колебаний отложений на АТС.

Более подробно изменение количества превышений нормативной стенки гололеда от сезона к сезону показано в табл. 2.

Здесь n_1, n_2, n_3, n_4 — количество станций, относящихся согласно

СНиП соответственно к гололедным районам 1, 2, 3, 4 и превысивших нормативы этих районов.

Из табл. 2 следует, что, как и на ЕТС [1], наибольшее число превышений наблюдалось на станциях, относящихся к району гололедности 1.

Таблица 1

Число превышений нормативной
стенки гололеда на станциях АТС

Сезон	N	n	n/N %
1969-70	433	82	19
1970-71	592	37	6
1971-72	587	77	13
1972-73	617	82	13
1973-74	631	40	6
1974-75	607	45	7
1975-76	587	43	7

Таблица 2

Количество станций в районах
гололедности 1, 2, 3 и 4, где
максимальные отложения
превысили соответствующие
нормативы

Сезон	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
1969-70	57	14	6	5
1970-71	28	2	3	4
1971-72	48	19	3	7
1972-73	43	28	4	7
1973-74	22	6	4	8
1974-75	29	12	1	3
1975-76	23	11	5	4

Как и при анализе обзоров на ЕТС, в данной работе определялся вид отложения при максимальном весе. Распределение максимальных отложений на станциях АТС по видам дано в табл. 3.

Из этой таблицы видно, что на АТС кристаллическая изморозь почти всегда является преобладающим видом среди максимальных отложений.

Таблица 3

Число станций с максимальными отложениями различных
видов

Сезон	Вид отложений				
	гололед	зернистая изморозь	кристаллическая изморозь	смесь	мокрый снег
1969-70	134	74	134	55	36
1970-71	171	90	244	34	53
1971-72	160	106	219	58	44
1972-73	91	106	303	46	71
1973-74	110	146	278	39	58
1974-75	139	111	281	29	47
1975-76	116	95	316	17	43

Как показано в табл. 4, вид отложения, на который приходится наибольшее число превышений, от года к году меняется. Но чаще всего это — кристаллическая изморозь.

В табл. 5 приводится процент превышений каждого вида отложения не от общего их числа, а от числа максимальных отложений каждого вида в отдельности.

Таблица 4

Превышения наблюдавшейся гололедной стенки над нормативной по видам отложений (в процентах от общего числа случаев превышения норматива)

Сезон	Вид отложений				
	гололед	зернистая изморозь	кристаллическая изморозь	смесь	мокрый снег
1969-70	34	12	38	16	10
1970-71	24	8	38	8	22
1971-72	32	18	24	16	10
1972-73	21	18	21	13	27
1973-74	18	22	30	12	18
1974-75	24	16	31	7	22
1975-76	21	12	32	9	26

Число превышений, приходящееся на кристаллическую изморозь, по отношению к общему числу случаев этого вида в пяти сезонах из семи было наименьшим, а в двух сезонах близко к наименьшему. В то же время сравнительно немногочисленные случаи отложения мокрого снега и смеси дают наибольшее число превышений над нормативом. Таким образом, в случае их образования

Таблица 5

Превышения наблюдавшейся гололедной стенки над нормативной по видам отложений (в процентах от числа максимальных отложений каждого вида)

Сезон	Вид отложений				
	гололед	зернистая изморозь	кристаллическая изморозь	смесь	мокрый снег
1969-70	21	14	17	24	22
1970-71	5	3	6	9	15
1971-72	15	13	8	21	18
1972-73	19	14	6	24	31
1973-74	6	6	4	13	12
1974-75	8	6	5	10	21
1975-76	8	5	4	27	27

возникающие гололедные нагрузки наносят ущерб народному хозяйству.

При анализе не было обнаружено станций, на которых значения максимальной стенки гололеда более одного раза за рассматриваемый период превысили бы не только норматив района, к которому относится станция, но и норматив следующего района. Следовательно, на АТС не оказалось станций, район гололедности которых следовало бы повысить.

Гололедно-изморозевые отложения на провода воздушных линий электропередачи совместно с ветровыми нагрузками могут привести к обрыву проводов, повалить опоры. Урон от простоев транспорта, предприятий, лишенных электроэнергии, ухудшения связи составляет ежегодно миллионы рублей. Использование обзоров гололедно-изморозевых явлений, ежегодно присылаемых в ГГО всеми УГМС, позволяет уточнять нормативы нагрузок, учитываемых проектировщиками при строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заварина М. В., Мытарев М. Н. Обзор гололедно-изморозевых отложений на ЕТС за период 1969—1975 гг.— «Труды ГГО», 1977, вып. 391, с. 49—57.
2. СНиП. П-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1976. 29 с.

В. П. Бойков

К ОЦЕНКЕ КОСВЕННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК НА ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Исследования гололедно-изморозевых явлений на высотных сооружениях в СССР начаты с 1964 г. на высотной мачте Института экспериментальной метеорологии в Обнинске, а с 1968 г. — на Останкинской телевизионной башне в Москве. До настоящего времени наблюдения за гололедно-изморозевыми отложениями проводятся только в этих двух близкорасположенных пунктах.

Существующие нормативы по расчету гололедных нагрузок на высотах нижнего слоя атмосферы, помещенные в «Строительных нормах и правилах» [9], определены по данным натурных измерений на высотной мачте в Обнинске и, естественно, не могут распространяться на всю территорию СССР. Отсутствие материалов наблюдений за гололедом на высотных сооружениях в других районах не позволяет выполнить районирование территории СССР по гололедным нагрузкам на основе данных натурных измерений. В связи с этим для остальной территории СССР возникает необходимость определения возможных гололедных нагрузок косвенным методом. Один из таких методов, предложенный И. И. Соломатиной [10], основан на экстраполяции наземных данных наблюдений за гололедом на высоты в несколько десятков метров. Однако для больших высот этот метод не пригоден, так как процессы образования гололедно-изморозевых отложений в приземных туманах и низких облаках чаще всего протекают независимо друг от друга.

В первом приближении вероятность обледенения высотных сооружений может быть определена косвенным методом [2, 8], в основу которого положены повторяемости определенного комплекса метеорологических условий (облака, температура и др.) на стандартных аэрологических уровнях в различных районах СССР в сезоны, благоприятные для развития гололедно-изморозевых процессов.

Но для практики строительного проектирования необходимо еще оценить интенсивность возможного обледенения. Это можно

сделать, пользуясь косвенным методом, разработанным в Главной геофизической обсерватории [3, 4]. Он основан на физической модели гололедообразования, примененной И. П. Мазиным [7] при разработке теории обледенения самолетов. Поскольку указанная модель описывает реальные процессы гололедообразования приближенно, результаты теоретических расчетов проверялись на экспериментальном материале. В. Г. Глуховым [3] по данным измерений на высотной мачте в Обнинске за 1964—1967 гг. был выполнен теоретический расчет гололедных нагрузок по этому методу для цилиндрических элементов и проведены сравнения с результатами натурных измерений. Однако материалы, использованные в расчетах, не позволяют выполнить такие сравнения с достаточной точностью, так как в эти годы не измерялись основные характеристики облаков (водность и микроструктура). В расчетах приняты средние значения этих характеристик, полученные по данным самолетного зондирования. Естественно, они являются грубо приближенными. Другие характеристики гололедных отложений (малый диаметр, продолжительность обледенения и пр.) также приняты в расчетах приближенно.

Комплексные измерения, произведенные на высотной мачте Института экспериментальной метеорологии в 1975-76 г., позволяют с достаточной точностью оценить аппроксимацию реальных процессов гололедообразования с помощью указанной теоретической модели и возможность ее применения в практике строительного проектирования. Эту цель преследует настоящая работа, выполненная на основе данных комплексных измерений основных характеристик гололедно-изморозевых отложений и аэроклиматических характеристик облаков нижнего яруса на высотной метеорологической мачте Института экспериментальной метеорологии в Обнинске в 1975-76 г.

Теория обледенения высотных сооружений основана на применении модели обтекания тел потоком полидисперсного аэрозоля, под которым понимается реальное облако. Согласно этой модели, гололедная нагрузка P , т. е. масса отложения в килограммах на 1 пог. м цилиндрического элемента, находящегося в гололедонесущем потоке, определяется по формуле

$$P = \int_0^{\tau} E \beta w D \sqrt{v^2 + u^2} \sin \alpha d\tau, \quad (1)$$

где E — полный интегральный коэффициент захвата облачных капель в единицу времени; β — коэффициент намерзания, равный отношению числа замерзающих капель к числу оседающих; w кг/м³ — водность облака; D м — диаметр цилиндрического элемента; v м/с — скорость ветра; τ с — продолжительность нарастания отложения; u м/с — скорость свободного падения капель; α — угол направления ветра к цилиндрическому элементу.

Заменив в уравнении (1) параметры гололедообразования

в каждый момент времени их средними значениями за время нарастания отложения, получим

$$P = E \beta \overline{wD} \sqrt{v^2 + u^2} \sin \alpha \tau. \quad (2)$$

Учитывая ряд обстоятельств, расчеты по формуле (2) можно упростить.

Так, как экспериментальные измерения производились только в облаках (без дождя), то можно считать, что перенос влаги происходит только в горизонтальном направлении.

Исследования Мазина [7] показывают, что коэффициент намерзания β в значительной мере зависит от температуры воздуха, с понижением которой коэффициент намерзания быстро увеличивается, достигая единицы. Уже при температуре ниже $-1,5^\circ\text{C}$ (в наших расчетах температуры выше $-1,5^\circ\text{C}$ не наблюдались) $\beta = 1$, т. е. практически вся влага, оседающая на предмет, замерзает.

В качестве цилиндрического элемента в нашем эксперименте принят вертикальный стержень. Следовательно, ветер всегда направлен перпендикулярно стержню ($\sin \alpha = 1$).

В процессе обледенения размер (D) обледеневающего элемента (стержня) изменяется (а следовательно, изменяется величина E). Поэтому в формуле (2) размер стержня (D) необходимо заменить средним значением малого диаметра отложения (c) за время нарастания льда.

Принимая во внимание вышеуказанные факторы, формула (2) примет вид

$$P_{\text{ср}} = E_{\text{ср}} \overline{wsc} \tau. \quad (3)$$

Методика определения параметра E изложена в [7]. Его значение зависит от среднего радиуса облачных капель и скорости влагонесущего потока.

Коротко остановимся на методике измерения размера облачных капель и других параметров, входящих в формулу (3).

Определение размеров облачных капель производилось на основе метода микрофотографирования. Забор проб облачных элементов осуществлялся на принципе инерционного улавливания капель с помощью поточной ловушки Чудайкина—Левина [6].

Водность облаков (w) измерялась прибором В. А. Зайцева [5]. Воздух через насадок протягивался с помощью пылесоса, турбина которого имеет постоянное количество оборотов в единицу времени, а объем протянутого воздуха измерялся газовым счетчиком и обычно составлял 10—20 л.

Измерение водности производилось вблизи вертикального стержня, на котором измерялись характеристики отложений и их фактическая масса. При измерении водности облаков прибором Зайцева возникают инструментальные ошибки. К ним относятся ошибки от неточностей измерения пятна, градуировки бумаги, определения объема протянутого воздуха и за счет обтекания мел-

кими каплями насадка. Исследования авторов прибора показывают [5], что погрешность за счет обтекания настолько мала, что ею можно пренебречь. Погрешности от неточностей измерения пятна и градуировки бумаги соответственно равны: максимальная ошибка $\pm 2,5$ и $1,5\%$, минимальная $\pm 0,6$ и $0,5\%$ и средняя ошибка $\pm 1,6$ и $1,0\%$ измеряемой величины.

Измерения объема протянутого воздуха газовым счетчиком показывают, что объем протянутого воздуха через насадок при разовом измерении составляет от 14 до 40 л с погрешностью ± 1 л. Тогда максимальная погрешность будет равна $\pm 7\%$, минимальная $\pm 2,5\%$ измеряемой величины. Таким образом, суммарная погрешность прибора будет равна: максимальная $\pm 11\%$, минимальная $\pm 3,6\%$ измеряемой величины.

Таблица 1

Средние значения водности ($\bar{w}$), среднее квадратическое отклонение (σ) и случайная погрешность измерения водности облаков (δ)

Номер измерения	$\bar{w}$ кг/м ³	σ	δ	Номер измерения	$\bar{w}$ кг/м ³	σ	δ
1	0,21	0,01	0,02	7	0,19	0,02	0,04
2	0,31	0,06	0,05	8	0,10	0,01	0,03
3	0,22	0,03	0,07	9	0,22	0,01	0,03
4	0,09	0,01	0,01	10	0,09	0,01	0,01
5	0,16	0,02	0,04	11	0,23	0,01	0,02
6	0,11	0,01	0,02	12	0,15	0,02	0,04

Но при измерениях возникают еще и случайные ошибки. Известно [7], что водность облаков подвержена значительным колебаниям. Поэтому, чтобы до некоторой степени освободиться от искажающего влияния случайных ошибок, производилось не менее чем по три измерения по прибору, из которых в расчетах использовалось среднее значение.

Для оценки случайных погрешностей при измерении средней водности облаков были выполнены расчеты, результаты которых приведены в табл. 1, где $\bar{w}$ — среднее арифметическое значение водности из каждых трех последовательных измерений (в таблице не указаны); σ — среднее квадратическое отклонение каждого последующего измерения от среднего; δ — случайная ошибка измерения с вероятностью 0,95. Методика расчета указанных характеристик изложена в [11].

Из табл. 1 видно, что относительная погрешность измерения водности в отдельных случаях может достигать 30%.

Скорость ветра (v), как и водность, измерялась вблизи стержня, на котором измерялся фактический вес отложения, с помощью ручного анемометра. Это обстоятельство обусловлено тем, что

в результате обледенения датчиков дистанционной регистрации скорости ветра ее значения оказываются заниженными.

Малый диаметр (c) измерялся согласно [1].

Продолжительность периода нарастания (τ) во всех случаях определялась как промежуток времени в часах между двумя любыми измерениями массы льда. Так как нижняя граница облаков постоянно изменяется, рост отложений вблизи нее может периодически прекращаться и даже может наблюдаться испарение отложений. В таких случаях учесть с достаточной точностью продолжительность периода нарастания весьма трудно. Во избежание указанных погрешностей в расчетах использованы только случаи, когда наблюдалась слоистообразная облачность в количестве не менее 10 баллов, при этом ее нижняя граница не поднималась выше данного уровня измерений, а рост отложений происходил непрерывно.

Фактический вес отложения, образовавшегося за время τ , определялся путем надпила участка отложения и последующего взвешивания на уровне измерения с помощью аналитических весов. Затем вес отложения пересчитывался на 1 пог. м.

Для оценки погрешности измерения фактического веса отложения инструментальным методом был произведен равноточный ряд измерений. Получены следующие расчетные значения некоторых характеристик этого ряда $n=6$, $\bar{P}_p=34,5$ г/м, $\sigma=2,2$, $\delta=2,3$. Случайная погрешность измерения веса отложения сравнительно мала и составляет 6%.

Для проверки расчетной формулы было отобрано 24 случая измерения веса нарастающего льда. Данные измерений и расчетов по формуле (3) приведены в табл. 2, где $P_{\text{и}}$ — измеренный вес отложения, $r_p = (P_p - P_{\text{и}})/P_{\text{и}}$ — относительная погрешность расчета веса отложения по формуле (3), остальные обозначения прежние. Расчеты веса отложения производились для периодов нарастания различной продолжительности ($\tau=4 \div 48$ ч).

Из табл. 2 видно, что в 8 случаях расчетный вес отложения оказался больше фактического, а в 17 случаях меньше. Ошибка расчетных значений веса отложения в 72% случаев не превышает 20% его фактического значения.

На первый взгляд казалось бы, что чем меньше период нарастания, а следовательно, меньше интервал осреднения величин w , v и c , тем точнее можно определить массу льда, образовавшегося за этот промежуток времени. Однако анализ данных показывает, что зависимость относительной погрешности расчета веса льда от продолжительности нарастания не обнаруживается.

Точность расчетного метода по данным экспериментальных наблюдений оценена графоаналитическим методом. Для этого на график корреляционного поля нанесены расчетные (по оси x) и измеренные (по оси y) значения массы образовавшегося льда за промежуток между двумя любыми измерениями. Уже по расположению точек на графике ясно видно, что между этими величинами существует тесная связь.

Таблица 2

Гололедные нагрузки на цилиндрический элемент высотного сооружения ($H=301$ м)

Номер п/п	$w \cdot 10^{-3}$ кг/м ³	v м/с	c мм	$\tau \cdot 10^3$ с	$\tilde{E}$	P_H г/м	P_P г/м	r_p %
1	0,26	12	13	24,9	0,18	150	180	18
2	0,25	10	13	15,6	0,15	90	85	—1
3	0,12	10	13	40,8	0,15	160	120	—25
4	0,13	13	15	18,0	0,18	110	80	—25
5	0,15	12	18	47,4	0,13	250	200	—20
6	0,26	11	15	40,5	0,15	240	260	9
7	0,21	10	18	101,3	0,11	400	410	2
8	0,16	10	22	107,4	0,10	450	380	—16
9	0,15	11	22	125,4	0,11	560	500	—11
10	0,15	12	38	172,8	0,05	810	590	—27
11	0,21	10	16	56,4	0,12	250	230	—8
12	0,17	10	22	82,5	0,10	300	310	4
13	0,15	11	22	100,5	0,11	410	400	—1
14	0,14	11	38	147,9	0,04	660	430	—32
15	0,14	11	18	66,9	0,12	210	220	6
16	0,14	12	22	84,9	0,12	320	380	18
17	0,15	12	38	132,3	0,05	570	450	—21
18	0,13	11	22	44,1	0,11	160	150	—5
19	0,14	12	38	91,5	0,05	410	290	—29
20	0,14	12	38	65,4	0,05	360	210	—42
21	0,19	17	50	62,7	0,04	430	410	—5
22	0,22	16	60	64,4	0,03	330	410	19
23	0,09	8	19	40,2	0,08	60	40	—20
24	0,23	6	21	43,6	0,09	130	110	—18

Для нахождения уравнения прямой линии регрессии рассчитаны необходимые величины и коэффициент корреляции:

$$n = 25 \quad r = 0,93 \quad \sigma_x = 0,14$$

$$\bar{x} = 0,28 \quad \sigma_r = 0,03 \quad \sigma_y = 0,19$$

$$y = 0,32 \quad E_r = 0,02 \quad R = 1,20$$

Здесь n — число пар наблюдений; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения расчетного и измеренного веса отложения; r , σ_r и E_r — коэффициент корреляции, его средняя и вероятная ошибки; σ_x и σ_y — средние квадратические отклонения; R — коэффициент регрессии.

Уравнение прямой линии (см. рисунок), характеризующее зависимость расчетных значений массы нарастающего льда от фактических, имеет вид

$$y = 1,20x - 0,02, \quad (4)$$

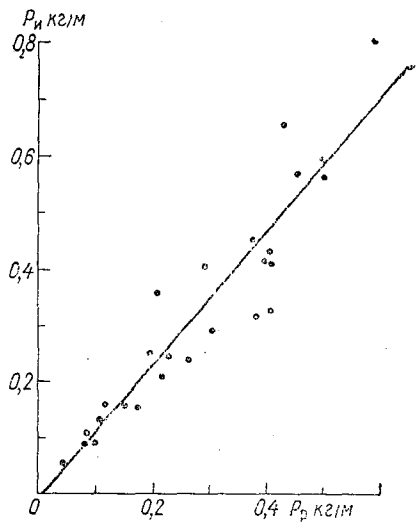
где y — фактическая масса льда и x — расчетная масса льда в кг/м.

Средняя ошибка в кг/м найденного уравнения регрессии

$$s_y = \pm \sigma_y \sqrt{1 - r^2} = \\ = \pm 0,188 \sqrt{0,135} = \pm 0,07. \quad (5)$$

Так как знак ошибки изменяется, то следует ожидать, что расчет вероятностных значений гололедных нагрузок, рассчитанных по большому периоду наблюдений, будет точнее, а ошибка косвенного метода расчета будет меньше.

Результаты экспериментальной проверки расчетной формулы позволяют сделать вывод о том, что указанный косвенный метод расчета гололедных нагрузок на высотные сооружения, разработанный М. В. Завариной и В. Г. Глуховым [4], может быть рекомендован для использования его в практике строительного проектирования.



Связь расчетных значений гололедных нагрузок с измеренными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойков В. П., Клинов Ф. Я., Новикова Э. Н. Методические указания по производству стандартных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями на высотных башнях и мачтах. Препринт. ЦВГМО, М., 1972. 12 с.
2. Белоус И. М., Заварина М. В. О вероятности обледенения высотных сооружений. — Труды межведомственного совещания «Современное состояние и перспективы развития инструментальных наблюдений за гололедно-изморозевыми явлениями». Л., Гидрометеиздат, 1970, с. 31—40.
3. Глухов В. Г. Метеорологические условия образования гололеда на высотных сооружениях. — «Труды ГГО», 1972, вып. 311. 98 с.
4. Рекомендации по расчету гололедных нагрузок на высотные сооружения. Л., Гидрометеиздат, 1976. 22 с.
5. Зайцев В. А., Ледохович А. А. Приборы для исследования туманов и облаков и измерения влажности. Л., Гидрометеиздат, 1970. 255 с.
6. Левин Л. М., Старостина Р. Ф., Чудайкин А. В. Аэрозольные ловушки, применяемые в работах Эльбрусской экспедиции. — «Труды Эльбрусской экспедиции», 1961, т. 11(5), с. 45—51.
7. Мазин И. П. Физические основы обледенения самолетов. М., Гидрометеиздат, 1957. 120 с.

8. Михель В. М. Аэроклиматические характеристики влияния облачности нижнего яруса на условия обледенения высотных сооружений.— «Труды ГГО», 1971, вып. 283, с. 123—131.

9. Строительные нормы и правила. СНиП II-6—74. М., Стройиздат, 1976. 29 с.

10. Соломатина И. И. Интенсивность обледенения проводов на высотах по наземным данным.— «Труды ГГО», 1956, вып. 57 (119).

11. Фатеев Н. П. Поверка метеорологических приборов. Л., Гидрометеоиздат, 1975. 311 с.

В. Г. Глухов, А. Г. Захаров

К УТОЧНЕНИЮ КОСВЕННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Одним из наиболее сложных вопросов, относящихся к методике расчета гололедных нагрузок на сооружения, является определение нагрузок на различные элементы конструкций. Это объясняется тем, что большинство параметров гололедных и гололедно-ветровых нагрузок, принятых в нормативных документах Госстроя СССР [8, 9], рассчитаны только для круглоцилиндрических элементов диаметром от 5 до 70 мм, т. е. для проводов, тросов, канатов, стержней и труб небольшого сечения.

В этих документах нормативную гололедную нагрузку в кг/м² (на 1 м² поверхности элементов сооружений, за исключением проводов, тросов и канатов) определяют по формуле

$$P_n = k \gamma b_n \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где b_n — нормативная толщина стенки гололеда в миллиметрах; γ — плотность отложения в г/см³; k — коэффициент охвата, представляющий отношение покрытой гололедом площади поверхности элемента ко всей его поверхности.

Поскольку величины k и γ принимаются постоянными и равными $k=0,6$ и $\gamma=0,9$ г/см³ независимо от размеров и формы обледеняющего элемента, а величина b_n определяется по данным наблюдений на проводах, из формулы (1) следует, что гололедная нагрузка на 1 м² поверхности нецилиндрических элементов сооружений зависит только от района гололедности (т. е. от b_n).

Указанные допущения не имеют достаточного обоснования и нуждаются поэтому в проверке.

До последнего времени такую проверку нельзя было выполнить на экспериментальном материале, так как сетевые наблюдения за гололедом, а также специальные наблюдения на высотных мачтах [1, 5, 6] и в сложных условиях рельефа местности проводились и проводятся главным образом на круглоцилиндрических элементах (провода, тросы, стержни), а отдельные наблюдения за обле-

денением предметов различной конфигурации, проводившиеся на высотных мачтах, носят в основном качественный характер (фотографирование отложения, эпизодические определения коэффициентов охвата). Поэтому были сделаны попытки установить закономерности обледенения некоторых тел простой формы (в том числе и прямоугольных плоских поверхностей) в условиях тумана или облачности на основании теоретических соображений [3, 4, 11]. В этих работах процессы обледенения тел в условиях переохлажденных облаков и туманов аппроксимировались с помощью модели инерционного осаждения капель влаги на поверхности тел в предположении, что другие механизмы обледенения (диффузионный, гравитационный, электростатический и т. п.) в этих условиях с практической точки зрения несущественны.

На основании указанной модели были получены количественные параметры осаждения, позволяющие рассчитать интенсивность обледенения тел по данным о скорости ветра, водности и микроструктуре облака (тумана), размерах и форме обледеневающего тела.

Первые наблюдения за обледенением нецилиндрических элементов, предусматривающие измерение отложений на этих элементах и регистрацию сопутствующих метеозаэлементов, были организованы отделом прикладной климатологии Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова на Кольском полуострове (Центральное) в апреле 1975 г. и продолжались до марта 1977 г. Наблюдения проводились на стендах, приемной частью которых являлись плоские поверхности из текстолита, размерами $0,9 \times 1$ м и 3×3 м. Приемная часть размером $0,9 \times 1$ м могла ориентироваться по странам света. Щиты устанавливались под углом $70-75$ и 90° к горизонтальной поверхности, так что нижняя кромка щита располагалась на высоте 2 м над поверхностью земли.

При наблюдениях определялись вид отложения и время нарастания; с помощью специального щупа измерялась толщина отложений льда в различных точках на нижней и верхней кромках и центральной части щита; определялись скорость ветра по флюгеру и температура воздуха, а также явления погоды. С помощью прибора В. А. Зайцева определялась водность тумана. Во избежание заметных искажений показаний флюгера, обледеневающая доска последнего систематически очищалась от отложений льда.

Плотность отложений определялась с помощью съемной пластинки размером $1 \times 0,2$ м (1975-76 г.) и $0,2 \times 0,25$ м (1976-77 г.), установленной рядом со щитом.

За два гололедных сезона на ст. Центральное было проведено 56 наблюдений. Полученные данные являются уникальными и представляют значительный интерес, так как позволяют проверить те закономерности обледенения плоских поверхностей, которые были установлены на основании теоретических соображений [3, 4, 11]. Эти данные подтвердили все основные качественные закономерности нарастания отложений на плоскости, установленные с помощью теоретических моделей инерционного осаждения.

1. Наличие «краевого эффекта»

Теория инерционного осаждения показывает, что при обледенении плоской поверхности происходит преимущественное нарастание отложений по краям последней, т. е. в центре толщина отложения меньше, чем по краям.



Рис. 1. Обледеневший щит размером $0,9 \times 1$ м в период интенсивного нарастания зернистой изморози.

Этот вывод полностью подтверждается экспериментом. Фотография обледеневшей плоскости на рис. 1 показывает, что в центре ее образуется как бы выемка за счет большей толщины отложений на краях.

Указанный эффект в одних случаях был более заметным, в других — слабовыраженным, но почти всегда наблюдался при обледенении плоскости.

2. Уменьшение интенсивности обледенения плоскости с увеличением ее размеров

Согласно теоретическим представлениям, вследствие резкого уменьшения эффективности осаждения капель на препятствие с увеличением размеров последнего, чем больше размеры плоскости, тем меньше вес и толщина образующегося на ней отложения.

Эта закономерность также подтверждается данными наблюдений. При образовании отложений зернистой изморози и смеси и проведении синхронных измерений отложения на щите размером $0,9 \times 1$ м всегда были больше по весу и толщине, чем на щите размером 3×3 м.

3. Возрастание интенсивности обледенения с увеличением скорости ветра

Эта закономерность, вытекающая из теории инерционного осаждения, качественно согласуется с экспериментом лишь в определенном диапазоне скоростей ветра, приблизительно от 0 до 16—18 м/с. При больших скоростях наблюдается заметное расхождение с теорией, так как по опытным данным при таких скоростях интенсивность обледенения начинает постепенно уменьшаться, в то время как расчетные формулы дают дальнейшее возрастание последней. Физические причины такого расхождения пока недостаточно ясны.

Измерения параметров отложений зернистой и кристаллической изморози, а также смеси на плоскости показали, что плотность их в среднем мало отличается от плотности соответствующих видов отложений на проводах. Весьма характерно то, что силы сцепления отложений с поверхностью плоскости значительно выше по сравнению с проводами. Вследствие этого отложения на щитах сохранялись весьма длительное время (практически почти весь гололедный сезон), в то время как на проводах гололедного станка они неоднократно разрушались и опадали. Аналогичные явления для круглоцилиндрических поверхностей диаметром в десятки и сотни сантиметров были обнаружены ранее при наблюдениях на телевизионной башне в Останкино [1, 6].

Отсюда следует весьма важный практический вывод: при обледенении крупногабаритных деталей сооружений требуются гораздо более действенные меры борьбы с отложениями (их искусственное разрушение и удаление) по сравнению с теми, которые применяются при обледенении проводов. Естественно, что эти меры потребуют и больших затрат. Роль самопроизвольного разрушения отложений под влиянием метеорологических факторов для обледеневших поверхностей большого размера незначительна. Если не удалять отложения, то, как показывают данные наблюдений на ст. Центральное, суммарная гололедная нагрузка за сезон на щите размером $0,9 \times 1$ м может быть более 100 кг.

Согласно модели инерционного осаждения [2—4, 7, 11], при обледенении плоской поверхности в условиях переохлажденного тумана или низкой облачности гололедная нагрузка на единицу площади последней определяется формулой

$$P = 3,6 \bar{E}_{\text{ср}} \bar{U} \bar{w} R \tau \sin \alpha \sin \beta, \quad (2)$$

где $\bar{E}_{\text{ср}}$ — средний интегральный коэффициент захвата для всей плоскости, характеризующий эффективность осаждения капель разного размера на ее поверхность; $\bar{U}$ м/с — средняя скорость ветра за время нарастания отложения; $\bar{w}$ г/м³ — средняя водность облака или тумана; R м — характерный размер плоскости ($1/2$ ее ширины); τ ч — продолжительность нарастания; α — угол наклона плоскости к горизонту; β — угол между направлением ветра и поверхностью плоскости.

Толщина отложений в миллиметрах в центре $b_{\text{ц}}$ и по краям $b_{\text{к}}$ плоскости согласно той же модели рассчитывается по формулам:

$$b_{\text{ц}} = \bar{E}_{\text{ц}} \bar{U} \bar{w} \tau \frac{1}{\gamma}, \quad (3)$$

$$b_{\text{к}} = \bar{E}_{\text{к}} \bar{U} \bar{w} \tau \frac{1}{\gamma}, \quad (4)$$

где $\bar{E}_{\text{ц}}$ — локальный интегральный коэффициент захвата в центре плоскости (т. е. в окрестности ее передней критической точки); $\bar{E}_{\text{к}}$ — локальный коэффициент захвата по краям плоскости; γ г/см³ — плотность отложения. Коэффициенты захвата $\bar{E}_{\text{ср}}$, $\bar{E}_{\text{к}}$ и $\bar{E}_{\text{ц}}$ определялись по данным работ [2, 7].

Учитывая, что ст. Центральное расположена на высоте 1100 м над ур. м. и что поэтому достаточно крупнокапельные облачные слои средней части облаков St, Sc и Ns могут достигать поверхности земли, воспринимаясь наблюдателем как туман, средний радиус облачных капель при определении интегрального коэффициента захвата принимался равным 7 мкм в соответствии с данными [10].

Результаты сравнения для 40 опытов приводятся в табл. 1, где P и P' — соответственно экспериментальная и расчетная массы отложения на щите; $b_{\text{ц}}$ и $b'_{\text{ц}}$ — опытное и расчетное значения толщины отложения в центре, $b_{\text{к}}$ и $b'_{\text{к}}$ — по краям щита; $r_{\text{р}}$, $r_{\text{ц}}$ и $r_{\text{к}}$ — относительные погрешности в процентах расчетных параметров отложений, определяемые по формулам:

$$r_{\text{р}} = \frac{P' - P}{P} \cdot 100, \quad (5)$$

$$r_{\text{ц}} = \frac{b'_{\text{ц}} - b_{\text{ц}}}{b_{\text{ц}}} \cdot 100, \quad (6)$$

$$r_{\text{к}} = \frac{b'_{\text{к}} - b_{\text{к}}}{b_{\text{к}}} \cdot 100. \quad (7)$$

Таблица 1

Расчетные и экспериментальные параметры отложений
для плоского щита размером $0,9 \times 1$ м

Номер ц/п	$\bar{U}$ м/с	$\bar{w}$ г/м ³	γ г/см ³	τ ч	P кг/м ²	P' кг/м ²	$b_{ц}$ мм	$b_{к}$ мм	$b'_{ц}$ мм	$b'_{к}$ мм	r_p %	$r_{ц}$ %	$r_{к}$ %
1	7	0,22	0,27	67	25,3	15,2	90	160	65	148	-40	-28	-8
2	7	0,19	0,19	29	9,2	2,3	30	20	73	16	-64	77	-20
3	7	0,08	0,24	8	0,45	0,57	3	10	2	4	27	-43	-58
4	5	0,22	0,39	62	18,1	10,7	7	40	9	29	-41	29	-27
5	7	0,13	0,19	16	2,7	2,1	20	30	12	33	-22	-40	10
6	16	0,10	0,25	107	45,3	37,5	11	21	9	18	-15	-19	-14
7	15	0,15	0,18	26	13,7	11,9	30	100	40	80	-13	33	-20
8	8	0,09	0,11	24	2,6	1,1	0	15	0	17	-58	0	13
9	8	0,08	0,09	24	1,6	1,0	0	15	0	15	-37	0	0
10	5	0,10	0,14	87	5,5	2,1	0	20	0	15	-62	0	-25
11	12	0,24	0,34	44	13,9	18,9	20	70	35	68	36	75	-3
12	11	0,18	0,47	72	12,1	17,2	20	50	30	60	-41	50	20
13	9	0,16	0,26	56	9,8	6,7	30	70	23	47	-32	-23	-30
14	8	0,06	0,12	27	2,0	0,8	10	20	6	14	-60	-40	-30
15	10	0,09	0,28	32	3,4	2,8	10	30	7	17	-17	-30	-43
16	10	0,12	0,35	48	3,5	5,8	30	40	17	29	+65	-42	-28
17	11	0,04	0,18	97	6,2	6,8	20	60	13	43	9	-35	-33
18	14	0,10	0,38	26	5,1	7,0	10	40	10	25	37	0	-37
19	13	0,14	0,18	24	6,3	7,5	20	20	40	50	19	0	-25
20	12	0,14	0,27	24	5,3	6,1	20	14	50	35	15	-30	-32
21	5	0,08	0,36	14	0,0	0,7	0	3	0	3	-46	0	0
22	7	0,13	0,19	16	2,7	-1,7	20	30	10	20	-38	-50	-33
23	10	0,14	0,19	24	6,6	-3,4	10	40	10	23	-48	0	-42
24	14	0,16	0,23	23	6,2	-9,9	13	23	20	40	+58	+57	+73
25	8	0,08	0,15	17	4,6	-2,0	18	30	10	30	-60	-44	0
26	10	0,14	0,31	17	4,5	-4,7	20	40	7	17	-2	-65	-58
27	10	0,06	0,21	52	10,3	-5,6	14	20	18	-34	-45	30	70
28	5	0,07	0,08	28	1,5	0,5	38	21	7	13	-67	-80	-38
29	8	0,12	0,31	15	7,6	-3,2	0	30	0	17	-58	0	-43
30	5	0,17	0,14	46	8,7	2,6	30	30	13	22	-68	-57	-27
31	6	0,28	0,24	48	11,5	5,0	10	50	12	40	-55	+20	-20
32	14	0,10	0,14	13	2,1	3,0	11	40	18	40	47	64	0
33	11	0,17	0,24	24	9,2	5,7	12	30	15	31	-38	25	3
34	10	0,12	0,35	48	3,5	5,8	26	37	6	13	+66	-77	-68
35	2	0,10	0,11	22	2,0	-0,1	20	20	4	6	-95	-80	-70

Номер п/п	$\bar{U}$ м/с	$\bar{w}$ г/м ³	$\bar{\gamma}$ г/см ³	τ ч	P кг/м ²	P' кг/м ²	$b_{\text{ц}}$ мм	$b_{\text{к}}$ мм	$b'_{\text{ц}}$ мм	$b'_{\text{к}}$ мм	r_p %	$r_{\text{ц}}$ %	$r_{\text{к}}$ %
36	3	0,12	0,24	30	2,5	0,25	0	20	0	7	-88	0	-65
37	3	0,06	0,11	32	0,95	0,14	10	20	3	7	-84	-65	-70
38	3	0,06	0,06	36	1,5	0,16	10	20	1	2	-87	-90	-90
39	4	0,08	0,14	23	3,6	0,3	—	10	—	2	-62	—	-80
40	5	0,10	0,12	24	2,1	0,6	16	20	2	5	-71	-88	-75

Из таблицы видно, что в большинстве случаев измеренные значения массы и толщины отложений превышают расчетные, т. е. преобладают отрицательные значения погрешностей r_p , $r_{\text{ц}}$ и $r_{\text{к}}$. Максимальные по абсолютной величине значения погрешностей составляют 88—92%.

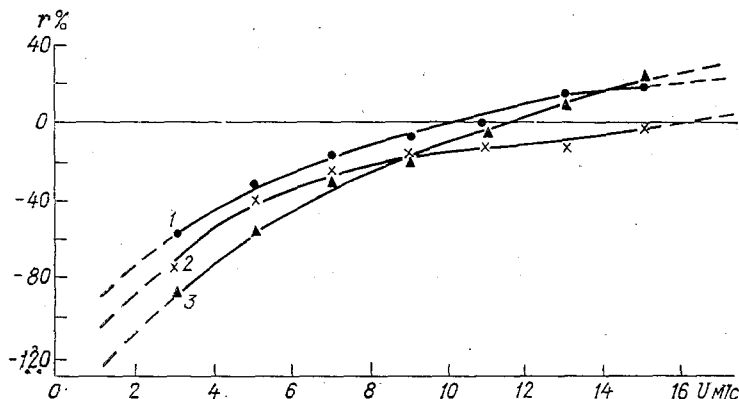


Рис. 2. Зависимость относительных ошибок расчета параметров отложений для щита $0,9 \times 1$ м от скорости ветра.

1 — вес отложения на 1 м² поверхности; 2 — толщина отложения в центре; 3 — толщина отложения по краям.

Какой-либо закономерной зависимости величины ошибок от плотности отложений, водности или продолжительности нарастания обнаружить не удалось. Поэтому была сделана попытка выявить зависимость величин r_p , $r_{\text{ц}}$ и $r_{\text{к}}$ от скорости ветра. С целью уменьшения случайных ошибок измерений величины r_p , $r_{\text{ц}}$ и $r_{\text{к}}$ осреднялись по градациям скорости.

Такой осредненный график изменения погрешностей r_p , $r_{\text{ц}}$ и $r_{\text{к}}$ представлен на рис. 2. Рисунок показывает, что наибольшие отрицательные ошибки в определении параметров отложений наблюдаются при малых скоростях ветра. Так, при $U=3$ м/с значения

r_p , r_u и r_k равны соответственно 90, 60 и 78%. С возрастанием скорости ветра отрицательные ошибки уменьшаются, а при дальнейшем увеличении скорости ($U > 10 \div 15$ м/с) погрешности меняют знак.

Учитывая точность измерения параметров отложений, можно сделать вывод, что при скоростях ветра менее 8 м/с расчетные формулы занижают толщину отложений на плоскости (особенно при $U < 5$ м/с). При скоростях от 8 до 16 м/с погрешности не выходят за пределы ошибок измерений, т. е. эти формулы достаточно хорошо согласуются с опытными данными. При $U > 16$ м/с расчетные методы завышают массу и толщину отложений тем больше, чем выше скорость ветра.

Из рисунка видно также, формулы несколько точнее (на 10—20%) позволяют определить толщину отложений, чем вес их.

На основании приведенного графика можно определить поправки для уточнения расчетных параметров отложений:

$$k_p = P/P', \quad (8)$$

$$k_u = b_u/b'_u, \quad (9)$$

$$k_k = b_k/b'_k. \quad (10)$$

В табл. 2 приведены такие поправки, определенные с помощью рис. 2.

Существенный интерес представляет сравнение данных измерений веса и толщины отложений на большом и малом щитах. (Здесь и далее «большим» условимся называть щит размером 3×3 м, «малым» — щит размером $0,9 \times 1$ м.) Результаты такого сравнения приведены в табл. 3 (обозначения величин те же, что

Таблица 2

Поправочные коэффициенты к расчетным значениям толщины и веса отложений на плоскости

Поправочный коэффициент	Скорость ветра, м/с							
	1	2	3	4	5	6	7	8
k_p	1,86	1,7	1,6	1,45	1,34	1,25	1,18	1
k_u	2,24	2,04	1,9	1,73	1,58	1,24	1,2	1,26
k_k	2,05	1,87	1,76	1,55	1,44	1,35	1,27	1,23

Поправочный коэффициент	Скорость ветра, м/с							
	9	10	12	14	16	18	20	24
k_p	1	1	1	1	0,82	0,75	0,67	0,56
k_u	1	1	1	1	0,72	0,67	0,60	0,50
k_k	1,2	1	1	1	1,1	1	1	0,76

Расчетные и экспериментальные параметры отложений на щитах

Номер п/п	$\overline{U}$ м/с	Малый щит						Большой щит						$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)'$	$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$
		P кг/м ²			P' кг/м ²			P кг/м ²			P' кг/м ²				
		$b_{\text{ц}}$ мм	$b_{\text{к}}$ мм	$b'_{\text{ц}}$ мм	$b'_{\text{к}}$ мм	$b_{\text{ц}}$ мм	$b_{\text{к}}$ мм	$b'_{\text{ц}}$ мм	$b'_{\text{к}}$ мм						
1	3	2,4	0	21	0,3	0	6	0,50	5	21	0,10	0,3	0,12	0,33	0,21
2	3	0,96	10	20	0,13	3	6	0,20	1	3	0,06	0,4	1,6	0,46	0,20
3	7	2,9	19	30	1,7	10	20	0,65	8	4	0,10	0,8	2,4	0,06	0,23
4	16	44,9	110	210	37,4	90	180	16,2	40	107	9,9	43	123	0,27	0,35
5	15	14,0	30	100	12,0	40	80	8,9	12	98	4,8	20	55	0,40	0,63
6	2	2,0	20	20	0,14	5	7	2,5	10	20	0,06	0,22	1,0	0,43	1,25
7	3	1,44	11	22	0,14	2	4	0,7	20	25	0,12	3,2	7,2	0,86	0,50
8	6	11,5	10	50	4,80	12	38	12,3	27	27	4,1	9	22	0,85	1,07
9	5	2,2	15	19	0,73	2,4	5	1,3	2	3	1,0	2,4	5	0,77	0,60
10	8	1,7	0	14	0,96	0	17	1,6	13	13	2,0	5	8	2,00	0,94
11	8	2,4	0	14	1,20	0	14	0,4	10	10	0,80	0,7	2	0,67	0,17
12	4	3,7	8	13	0,23	3,5	4,3	1,3	6	10	0,10	1,5	2,5	0,43	0,35

и в табл. 1, т. е. P , $b_{\text{ц}}$ и $b_{\text{к}}$ — измеренные, а P' , $b'_{\text{ц}}$ и $b'_{\text{к}}$ — расчетные параметры отложений на щитах); (P_3/P_1) — отношение измеренных весов отложений на щитах; $(P_3/P_1)'$ — расчетное отношение.

Несмотря на ограниченность данных синхронных измерений на двух щитах (всего 12 случаев), приводимая таблица позволяет сделать несколько выводов.

1. В большинстве случаев измеренная гололедная нагрузка на 1 м² малого щита в среднем в 3—5 раз превышает соответствующую нагрузку для большого щита. Толщина отложений также уменьшается с увеличением размеров щита. Тем самым подтверждается важный теоретический вывод о том, что интенсивность обледенения любых поверхностей (в том числе и плоских) убывает с увеличением их характерных размеров.

2. Данные измерений показывают менее резкое уменьшение веса и толщины отложений на большом щите (в сравнении с малым), чем следовало ожидать, исходя из теоретических соображений.

3. «Краевой эффект», т. е. преимущественное нарастание отложений по краям плоскости, имеет место и для большого щита (толщина отложений в центре последнего, как правило, меньше, чем по краям). Исключения составляют случаи со сложными отложениями, состоящими из зернистой и кристаллической изморози.

4. Погрешности расчетных параметров отложения в сравнении с измеренными для большого щита имеют тот же порядок, что и для малого.

Таким образом, впервые полученные данные измерений отложений на плоских щитах подтверждают основные качественные закономерности обледенения плоских тел, полученные с помощью теоретических моделей, и позволяют ввести поправки в расчетные параметры обледенения, а также уточнить рекомендуемый в Строительных нормах метод расчета гололедных нагрузок на различные элементы сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойков В. П. К постановке наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями в нижнем 500-метровом слое атмосферы на телевизионной башне в Останкино (Москва).— «Труды ЦВГМО», 1971, вып. 1, с. 131—139.

2. Волощук В. М. Введение в гидродинамику грубодисперсных аэрозолей. Л., Гидрометеиздат, 1971. 206 с.

3. Глухов В. Г. Об интенсивности обледенения тел различной формы.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 9, с. 74—78.

4. Глухов В. Г. О влиянии размеров и формы конструктивных деталей сооружений на величину гололедных нагрузок.— «Труды ГГО», 1976, вып. 334, с. 78—86.

5. Клинов Ф. Я. Изморозь и гололед в нижнем 300-метровом слое атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1970. 66 с.

6. Клинов Ф. Я., Бойков В. П. О гололедно-изморозевых отложениях в нижнем 500-метровом слое атмосферы по наблюдениям на телевизионной башне в Останкино.— «Труды ГГО», 1974, вып. 333, с. 22—33.

7. Левин Л. М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. М., Изд-во АН СССР, 1961. 267 с.

8. Строительные нормы и правила. СНиП П-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1975. 334 с.

9. Указания по определению гололедных нагрузок. СН-318—65. М., Стройиздат, 1966. 19 с.

10. Физика облаков. Под ред. А. Х. Хргиана. Л., Гидрометеиздат, 1961. 334 с.

11. Gluchov V. G. Die Vereisungsintensität von Körpern mit unterschiedlicher Form.—„Zs. Meteorologie“, Bd26, H2, 1976, S. 94—97.

А. П. Попова, И. И. Першин

УТОЧНЕНИЕ КАРТЫ ГОЛОЛЕДНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПАМИРО-АЛАЯ ПО СВЕДЕНИЯМ ОБ АВАРИЙНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И СВЯЗИ

Районирование территории Памиро-Алая по величинам гололедных нагрузок на топооснове М 1 : 2 500 000 выполнено ранее [1]. Однако, как показывает опыт исследования гололедных нагрузок по конкретным трассам воздушных линий (ВЛ), использование такой карты в горной части территории практически невозможно. Поэтому ставится задача составления более подробной (региональной) карты на топооснове М 1 : 500 000, для чего требуется более обширная исходная информация. Решение этой задачи только на основе имеющихся данных гидрометеорологических станций (ГМС) является нереальным, тем более что число ГМС с инструментальными наблюдениями за гололедом весьма ограничено и их данные в горных районах могут быть распространены лишь на определенные, как правило, незначительные территории.

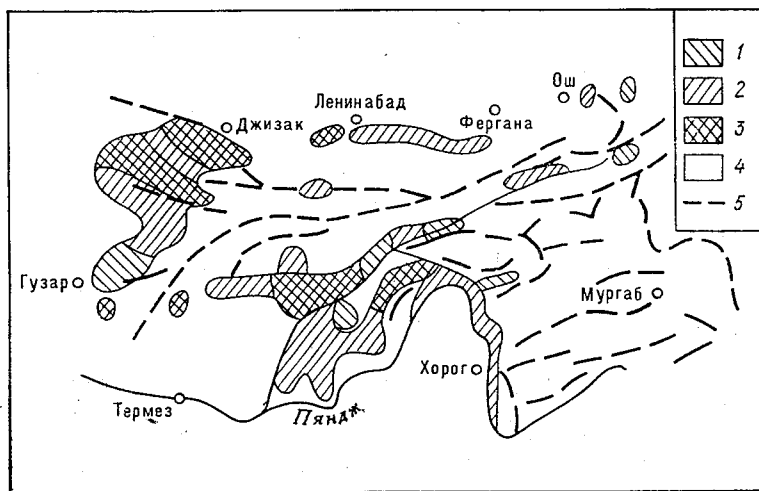
В качестве важного вспомогательного материала, дополняющего данные ГМС, могут служить сведения об опыте эксплуатации воздушных линий электропередачи и связи. По сравнению с данными ГМС они выгодно отличаются тем, что могут характеризовать более обширные территории с самыми различными формами рельефа [2—4].

В результате специальных экспедиционных поездок по предприятиям электрических сетей и узлам связи, расположенным на территории Памиро-Алая, был собран большой материал по обследованию и аварийности ВЛ. По своему характеру он весьма разнороден (акты аварий, письменные и устные сообщения ответственных работников, выписки из журналов), характеризуется неодинаковой точностью (визуальные наблюдения, инструментальные измерения и фотографии) и охватывает разные периоды эксплуатации (от 1 года до 20 лет). Однако несмотря на такую большую разнородность, его анализ позволяет существенно уточнить распределение гололедных нагрузок на исследуемой территории.

Методика оценки гололедности территории по сведениям об обследовании и аварийности ВЛ хорошо известна [2—4]. Она за-

ключается в том, что при наличии частых или неоднократных аварий на ВЛ расчетные условия должны быть повышены на один район даже при отсутствии данных о величинах отложений, а при их наличии они должны быть повышены соответственно фактически зарегистрированным весам отложений. Естественно, что при этом должны учитываться только данные непосредственных измерений.

Географическое распределение аварий на территории Памиро-Алая и их частота иллюстрируются рисунком. Из него видно, что чаще всего аварии наблюдаются в периферийных районах горной



Повторяемость и географическое распределение аварий на ВЛ и ЛС по причине сильного обледенения.

1 — единичные аварии, 2 — неоднократные аварии, 3 — частые аварии, 4 — сведений об авариях нет, 5 — хребты.

системы. Это объясняется тем, что, во-первых, именно здесь имеется более густая сеть ВЛ, а, во-вторых, периферийные районы являются более гололедными, и при проектировании ВЛ из-за отсутствия соответствующих данных по гололедным нагрузкам были допущены более значительные промахи.

Согласно [1], территория Голодной степи, а также предгорная часть северного склона Туркестанского хребта и его отрогов (горы Мальгузар и хребет Нуратау) с отметками до 1,0 км относится ко II району гололедности, а гребневая зона гор Мальгузар — в основном к III району. Однако, как следует из опыта эксплуатации имеющихся здесь ВЛ, величины гололедных нагрузок могут существенно превышать картированные. Так, например, на ВЛ 110 кВ Узловая — Ура-Тюбе (в 1968 и 1972 гг.) и на ВЛ 110 кВ Ленинабад — Заречная (в 1975 г.) на участках с отметками около 0,8—0,9 км наблюдались отложения мокрого снега и гололеда, которые

при опадании вызывали схлестывание проводов и отключение линии. Диаметр отложений мокрого снега, по визуальным оценкам, достигал до 100 мм. Обрывы проводов и падение опор зарегистрированы также на ЛС Урсатьевская — Ура-Тюбе и Ленинабад — Ганчи. Очень часто наблюдались аварии (до усиления) на ВЛ 220 кВ Джизак — Самарканд и ВЛ 110 км Джизак — Милутино, пересекающих горы Мальгузар и рассчитанных по условиям IV района гололедности. Фактически вес гололедно-изморозевых отложений на проводах ВЛ достигал 5,3 кг/м. Только после усиления этих линий на нагрузку 7 кг/м аварии практически прекратились. Из приведенных данных следует вывод, что в предгорной части границу между II и III районами следует провести по более низким отметкам: в предгорьях Туркестанского хребта — около 0,8 км, а на склонах гор Мальгузар — около 0,6 км. Гребневая зона с отметками выше 0,75 км должна быть отнесена к особому району гололедности.

Широкая долина р. Зеравшана (в районе г. Самарканда) с высотными отметками 0,8—1,0 км отнесена [1] ко II району гололедности. Однако на имеющихся здесь линиях, запроектированных по этим условиям, отмечались неоднократно весьма серьезные аварии от мокрого снега. Диаметр отложений, по визуальным оценкам, достигал 150 мм. Так, например, на ВЛ 10 и 35 кВ, а также на линиях связи, проходящих в районе, ограниченном пос. Ургут, городами Пенджикент и Самарканд, наиболее сильные аварии с массовым обрывом проводов и падением опор наблюдались в конце ноября 1967 г. Следовательно, этот участок Зеравшанской долины, характеризующийся благоприятными условиями для образования отложений мокрого снега, необходимо отнести к III району гололедности.

Склоны и гребневая зона западной оконечности Зеравшанского хребта с высотными отметками от 1,0 до 2,0 км отнесены к III району гололедности [1], что противоречит фактическим данным. На ЛС Самарканд — пер. Тахта-Карача — Каратепа, хотя она является относительно защищенной, в апреле 1955 г. диаметр гололедно-изморозевых отложений в районе перевала достигал 100 мм, что вызвало массовые обрывы проводов и падение опор. Примерно такая же картина наблюдалась на этой линии в 1967 и 1969 гг. Заметим, что линия является усиленной — до 20 опор на 1 км. Авария наблюдалась также на ВЛ 6 кВ в декабре 1974 г. от ветра и гололеда диаметром 60 мм. В результате экспедиционных измерений КиргНИОЭ и ТаджНИОЭ в 1973—1975 гг. в этом районе на открытых гребневых участках зарегистрированы отложения весом более 1,5 кг/м. Эти данные дают основание гребневую зону Зеравшанского хребта отнести к особому району гололедности.

Гиссарская и Яванская долины с отметками до 0,9 км отнесены ко II району гололедности [1]. Данные по опыту эксплуатации ВЛ показывают, что такие нагрузки могут быть распространены только на пониженные участки этих долин.

В Гиссарской долине большие отложения мокрого снега диа-

метром до 100 мм, которые послужили причиной аварий, наблюдались даже на отметках 0,7—0,8 км. Так, например, наблюдались обрывы проводов на ВЛ кВ Гиссар — клх им. XXII партсъезда, на ВЛ 35 кВ Регар — Пахтаабат, Душанбе — Гиссар. На ВЛ 220 кВ Душанбе — Регар на отметках около 0,9 км (в районе Каратага) наблюдалось отложение изморози диаметром до 150 мм (по визуальным оценкам), которое вызвало аварию (был вырван провод АСО-300 из зажима). На ВЛ 220 кВ Головная — Новая примерно на таких же отметках из-за сильного обледенения были срезаны болты крепления траверсы к опоре. Большие отложения мокрого снега диаметром до 100 мм наблюдались непосредственно в районе г. Душанбе, что вызвало обрывы проводов и большие перебои в электроснабжении (например, в декабре 1975 г.).

В Яванской долине на ВЛ 220 кВ Головная — Яван (на отметках от 0,7 км) отложения мокрого снега не превышали в диаметре 80 мм. На более высоких отметках величины отложений существенно увеличиваются. В районе пос. Яван (высотные отметки около 0,9 км) диаметр отложений неоднократно достигал 120 мм, что вызывало большие повреждения, особенно в распределительной сети (ВЛ 0,4—10 кВ).

Приведенные данные позволяют достаточно четко обнаружить высотную границу, выше которой величины отложений и повторяемость аварий существенно увеличиваются. Как Гиссарскую, так и Яванскую долину с отметками, по крайней мере, выше 0,8 км следует отнести к III району гололедности.

Гребневая зона хребтов, расположенных в районе Южно-Таджикской депрессии (Рангон, Бабатаг, Актау, Каратау, Тереклитау и др.), отнесена в основном к III району, и лишь на выступающих по высоте участках выделены IV и особый районы.

Фактические данные по эксплуатации имеющихся здесь ВЛ показывают, что на пониженных участках хребтов, через которые проходят ВЛ, гололедные нагрузки могут весьма существенно превышать условия III района. Так, например, на склонах и гребне хребта Рангон с высотными отметками от 0,95 до 1,7 км (в районе перевала Зардалю) замерены отложения мокрого снега диаметром до 300 мм. Причем максимальные величины отложений наблюдались не на гребне, а несколько ниже на южном склоне. Непосредственно в районе перевала отмечались отложения в виде зернистой изморози и мокрого снега диаметром до 200 мм. Аварии на линии связи с обрывом проводов и падением столбов наблюдаются ежегодно. На двух ВЛ 10 кВ, проходящих в районе перевала перпендикулярно друг другу, также ежегодно наблюдаются аварии, а в декабре 1974 г. сразу упало 30 опор. На ВЛ 220 кВ Головная — Новая и ВЛ 220 кВ Нурек — Новая, построенных по условиям IV и особого районов гололедности, аварии (обрыв скоб и изоляторов, поломка траверс, срез болтов) наблюдались трижды (в 1971, 1972 и 1974 гг.).

На другом участке хребта Рангон, в районе Фахрабадского перевала, с отметками 0,9—1,3 км также наблюдались значитель-

ные отложения и аварии. Отложения смерзшегося мокрого снега и изморози достигали в диаметре 150 мм. Из-за сильных обледенений наблюдались аварии на ВЛ 6 кВ Ляур — Фахрабад (обрыв проводов) и на ВЛ 110 кВ Перепадная — Душанбе (отрыв гирлянды изоляторов).

Аварии наблюдались также на хребте Каратау с отметками 0,9—1,3 км на ВЛ 35 кВ Яван — Пастакан (февраль 1968 г.) и на хребте Тереклитау с высотными отметками 1,0—1,2 км на ВЛ 110 кВ Курган-Тюбе — Куляб (январь 1977 г.) и на ВЛ 10 кВ, питающей радиорелейную станцию.

На основании приведенных данных можно заключить, что открытые участки склонов и гребней хребтов Южно-Таджикской депрессии с отметками выше 1,0 км являются сильно гололедными и должны быть отнесены к особому району гололедности.

Весьма ценными являются данные об опыте эксплуатации ВЛ, расположенных в гребневой зоне с отметками выше 3,5 км, где метеостанции совершенно отсутствуют. Предполагалось [1], что величины гололедных отложений с высотой уменьшаются, начиная примерно с отметок около 2,0 км. Это исходит из данных ГМС Санглок и Анзобский Перевал. Однако, как показывают данные по опыту эксплуатации ВЛ 10 кВ, проходящей по северному склону и гребню Туркестанского хребта с отметками 3,8—4,2 км, здесь могут быть очень сильные обледенения. На гребневом участке линия ежегодно по несколько раз выходила из строя до тех пор, пока ее не усилили. Отложения изморози почти цилиндрической формы достигали в диаметре до 270 мм. Следовательно, в гребневой зоне с отметками около 4,0 км могут наблюдаться почти такие же интенсивные обледенения, как и на гребнях хребтов с более низкими отметками.

В заключение следует отметить, что сведения об обледенении и аварийности ВЛ с учетом условий, на которые они рассчитаны, повторяемости аварий и величин отложений позволяют сделать весьма существенные уточнения построенной карты нормативных гололедных районов. В одних районах они хорошо подтверждают и дополняют данные ГМС, в других — определяют необходимость повышения расчетных условий гололедности и уточняют территорию, для которой данные ГМС являются показательными или непоказательными. В комплексе с данными ГМС, а также данными экспедиционных и стационарных пунктов они позволяют провести более подробную дифференциацию территории по уровню гололедных нагрузок, что в дальнейшем может служить основой для составления региональной карты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леухина Г. Н. Гололедно-изморозевые явления и обледенение проводов в Средней Азии. — «Труды САРНИГМИ», 1972, вып. 7(88). 139 с.
2. Бургсдорф В. В., Муретов Н. С. Расчетные климатические условия для высоковольтных линий электропередачи. — «Труды ВНИИЭ», 1960, вып. 10, т. 1. 208 с.

3. Першин И. И. Оценка гололедности территории Тянь-Шаня по сведениям об аварийности воздушных линий электропередачи и связи.— В кн.: Проектирование энергосистемы и электрических сетей. Вып. 6. Информэнерго. Ташкент, 1971, с. 145—157.

4. Чиракадзе Г. И. Схема гололедного районирования Закавказья.— «Труды ТбилНИГМИ», 1959, вып. 4.

Н. И. Попов, В. В. Холодов

К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Оценка гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий (ВЛ), как правило, производится по данным измерений ГМС на гололедомерных станках. Предполагается прямая зависимость между отложениями на приемниках гололедомерного станка и на проводах, характер которой определяется поправочными коэффициентами на высоту подвеса и диаметр проводов ВЛ. При этом не учитывается принципиальное различие между приемниками гололедомерного станка и реальными проводами ВЛ, заключающееся в том, что провода при гололедообразовании имеют возможность поворачиваться вокруг своей оси (закручиваться), а жестко закрепленные приемники гололеда на станке лишены этой возможности.

Указанное различие в ряде случаев может приводить к нарушению зависимости между отложениями на проводах ВЛ и гололедомерном станке. Наблюдаемое несоответствие отложений впервые было отмечено в исследованиях ВНИИЭ [1, 3], а затем подтверждено и изучено последующими экспериментами [4, 6—8].

Закручивание проводов способствует более интенсивному гололедообразованию [4] и повышению коэффициента охвата. В результате при длительных и мощных процессах, формирующих расчетные гололедные нагрузки, на проводе в большей части пролета ВЛ коэффициент охвата становится $K=1$ и образуется устойчивая муфта, приближающаяся к цилиндрической форме. На жестко закрепленных проводах (приемниках) гололедомерного станка, как правило, такой муфты не образуется. Коэффициент охвата в большинстве случаев определяется величиной $K=0,3 \div 0,6$, отложения неустойчивы. При длительных процессах на гололедном станке происходит периодический отвал одностороннего осадка под действием собственного веса и ветра.

По своему характеру отложения на гололедомерном станке аналогичны отложениям на стандартных горизонтальных стержнях [2] и типичны для жестко закрепленных одиночных элементов

близких размеров. Большая продолжительность сохранения осадка и возможность образования в этот период новых отложений на проводе ВЛ делает их несравнимыми с отложениями на гололедных станках.

Величина расхождений в весе, форме и размерах отложений на проводе ВЛ и станке, при прочих равных условиях, зависит от

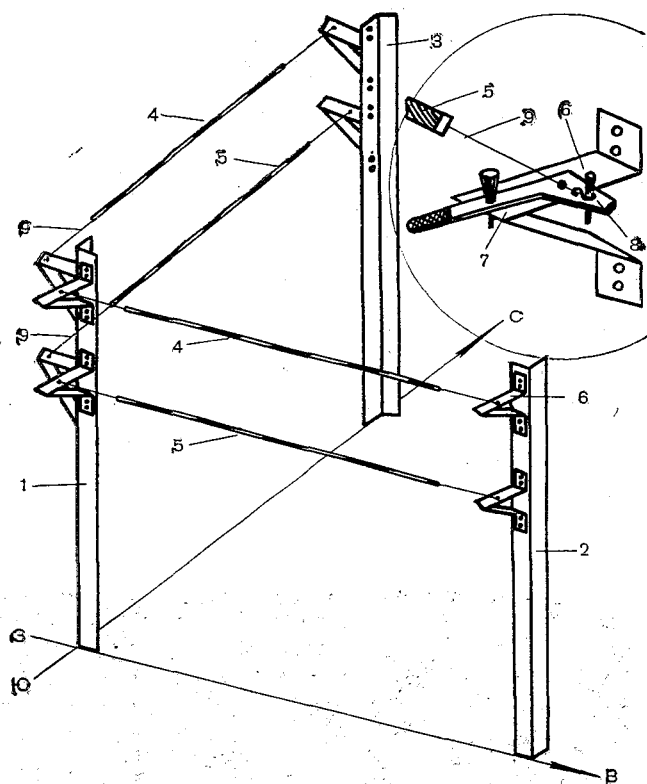


Рис. 1. Устройство для измерения гололедно-изморозевых отложений.

вида и плотности отложений. Для зернистой изморози и смеси прямое соотношение, с помощью поправочных коэффициентов, между отложениями на станке и на проводе объективно можно установить лишь для кратковременных, маломощных процессов гололедообразования, не вызывающих отвала отложений на станке. После первого же отвала связь между отложениями нарушается и отложения на гололедомерном станке не характеризуют отложений на проводе ВЛ [8].

Проведенное в работе [8] сравнение результатов наблюдений на станках и проводах ВЛ привело к необходимости модернизации

существующего гололедомерного станка с целью получения отложений, сопоставимых с проводами ВЛ во всем диапазоне возможных гололедных нагрузок. Была поставлена задача обеспечить возможность закручивания приемников станка под действием осадка при минимальных изменениях в существующей конструкции. Один из вариантов модернизации станка, предложенный Н. И. Поповым и И. И. Першиным, показан на рис. 1 [5]. К трем обычным стойкам станка 1, 2, 3 подвешиваются две пары съемных проводов 4 и 5, которые служат приемниками гололедно-изморозевых отложений. Провода крепятся к стойкам с помощью гибких тросиков к кронштейнам 6. Натяжение проводов осуществляется вертлюгами 7. Гибкие тросики 9 на концах имеют S-образные зацепы 8 для крепления к кронштейнам и вертлюгам.

Благодаря наличию переходных гибких тросиков, при нарастании на проводе гололедно-изморозевого отложения, он поворачивается вокруг своей оси, подобно проводу ВЛ.

Опытные образцы описанного и других вариантов установки в настоящее время проходят испытания на перевале Орто-Ашу (Тянь-Шань), на перевале Камышевый на о. Сахалин и в Тюменской области.

Из 27 предварительно проанализированных случаев с весом отложения зернистой изморози от 0,2 до 5 кг/м среднее отклонение весов на проводе ВЛ и модернизированной гололедомерной установке составило около 10% при соотношениях малого и большого диаметра отложений от 0,6 до 1. На гололедомерном станке в 16 случаях произошел отвал осадка, а в 11 случаях уменьшение

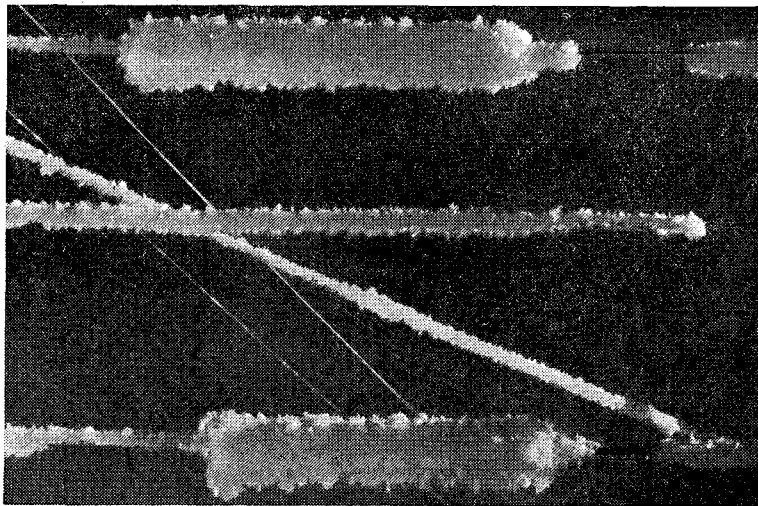


Рис. 2. Отложение зернистой изморози на жестко закрепленном и закручивающихся проводах.

веса отложения на станке по сравнению с весом на установке колебалось от 20 до 2400% (среднее 560%). Соотношение малого и большого диаметров на станке было от 0,17 до 0,6.

Как показали данные предварительного сравнения, гололедно-изморозевые отложения на предлагаемой гололедомерной установке и на реальных проводах ВЛ близки по величине и одинаковы по продолжительности сохранения осадка. Формы осадка на проводе гололедомерной установки и на проводе ВЛ идентичны.

На рис. 2 показан характер обледенения проводов на опытном стенде в стадии сохранения. Верхний провод (диаметром 5 мм) и нижний (диаметром 10 мм) с помощью гибких тросиков способны закручиваться. Средний закреплен жестко. Как видим, на жест-

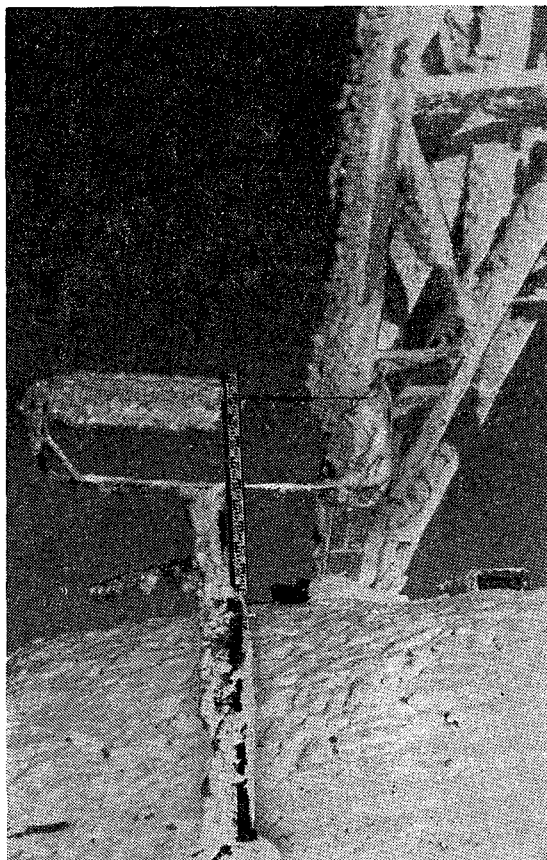


Рис 3. Отложения зернистой изморози на модернизированной гололедомерной установке и на опоре ВЛ 220 кВ.

ко закрепленном среднем проводе после очередного обрушения отмечается новое отложение осадка, в то время как на проводах, способных к закручиванию, гололедно-изморозевое отложение сохраняется. На рис. 3 представлен один из вариантов гололедного станка, способного устанавливаться поперек гололедонесущего потока и предназначенного для районов с переменным направлением ветра. На рисунке виден характер обледенения проводов на модернизированной гололедомерной установке и на опоре действующей ВЛ 220 кВ на о. Сахалин.

Новые конструкции гололедомерных установок позволят создать базу для объективной оценки гололедных процессов в горных районах на опорной сети гидрометеорологических станций, а также дадут надежный наземный индикатор гололедных нагрузок для энергосистем, занимающихся плавкой гололеда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бургсдорф В. В. Сооружение и эксплуатация линий электропередачи в сильно гололедных районах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1947. 196 с.
2. Клинов Ф. Я., Бойков В. П. О гололедно-изморозевых отложениях в нижнем 500-метровом слое атмосферы по наблюдениям с телевизионной башни в Останкино.— «Труды ГГО», 1974, вып. 333, с. 22—32.
3. Никифоров Е. П. Влияние закручивания провода на вес отложения гололеда.— «Труды ВНИИЭ», 1963, вып. 15, с. 220—227.
4. Никифоров Е. П. Влияние конструкции воздушных линий электропередачи на интенсивность гололедных отложений.— «Труды ГГО», 1974, вып. 333, с. 15—21.
5. Першин И. И., Попов Н. И. Гололедомерная установка. Авт. свид. № 543075.— Бюлл. «Открытия, изобретения, пром. образцы, товарные знаки», 1977, № 2, с. 124.
6. Подрезов О. А. Влияние закручивания, диаметра и высоты подвеса проводов на гололедные отложения в горных районах.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 37—45.
7. Предварительные результаты исследования гололедно-изморозевых отложений на проводах ВЛ на перевале Орто-Ашу.— В кн.: «Вопросы горной энергетики». Вып. 5. Фрунзе, Изд-во «Кыргызстан», 1975, с. 13—22. Авт.: Н. И. Попов, Ф. С. Рамазан, В. В. Холодов, И. М. Гуляев.
8. Холодов В. В., Попов Н. И. Влияние конструктивных параметров воздушных линий электропередачи на величину гололедных отложений на проводах.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 30—36.

А. Г. Захаров

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛОТНОСТЬ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

До настоящего времени исследования плотности и характера распределения гололедно-изморозевых отложений по поверхности проводились лишь для круглоцилиндрических тел. Это связано с влиянием гололеда и изморози на воздушные линии электро- и радиопередачи.

Значительный интерес для народного хозяйства представляет изучение воздействия гололедных отложений на плоские поверхности, установленные в положении, близком к вертикальному. С этой целью отделом прикладной климатологии был поставлен специальный эксперимент на Кольском полуострове, на базе двух гидрометстанций (ГМС) — Центральное и Перевал, с абсолютными отметками местности соответственно 1100 и 300 м. Описание станций и методики производства наблюдений приведено в работе [1].

За два гололедных сезона на шаблонах наблюдались практически все виды отложений, осаждающиеся на проводах гололедного станка (табл. 1).

Важным параметром, способным оказывать отрицательное влияние на эксплуатацию любых сооружений, является плотность гололедно-изморозевых отложений γ . Определение ее для плоской поверхности осуществлялось с помощью съемной пластины, установленной рядом с основным шаблоном. За период проведения наблюдений на ГМС Центральное γ определялась 79 раз, а на ГМС Перевал — 15 раз.

В табл. 2 представлены средние γ и экстремальные значения плотности ($\gamma_{\max}$ и $\gamma_{\min}$) в г/см³ различных видов отложений, число случаев n и повторяемость того или иного вида. Из таблицы видно, что в горных условиях зернистая изморозь, откладывающаяся на плоских поверхностях, имеет большую плотность, чем в негорных типах рельефа. Эти различия, вероятно, связаны с ветровым режимом. Так, максимальная скорость ветра при гололеде,

возможная один раз в 10 лет, на ст. Перевал равна 18 м/с, а на ст. Центральное этот показатель составляет 27 м/с.

Плотность кристаллической изморози по материалам двух станций изменяется от 0,01 до 0,08 г/см³. Различия в значениях γ данной пары станций являются наибольшими для смешанных отложений (смесей). Эти различия объясняются тем, что на ГМС Центральное преобладающим в смеси является отложение зернистой изморози, а на ГМС Перевал в смеси преобладает кристаллическая изморозь с более низкой плотностью.

Если сравнить значения плотности гололедно-изморозевых отложений на плоской поверхности с данными, полученными в работе [2], то можно заключить, что значения плотности отложений на шаблонах незначительно отличаются от этого параметра на проводах гололедного станка.

Таблица 1

Число случаев обледенения шаблонов с различными видами отложений

Станция	Годы наблюдений	Гололед	Зернистая изморозь	Кристаллическая изморозь	Снег	Смесь	Сумма
Центральное	1975—1977	14	39	11	3	31	98
Перевал	1975—1977	4	5	9	1	2	21

Таблица 2

Плотность гололедно-изморозевых отложений на плоской поверхности

Станция	$\bar{\gamma}$	$\gamma_{\max}$	$\gamma_{\min}$	n	Повторяемость, %
---------	----------------	-----------------	-----------------	---	------------------

Зернистая изморозь

Центральное	0,24	0,47	0,08	39	49,4
Перевал	0,12	0,24	0,05	4	26,6

Кристаллическая изморозь

Центральное	0,06	0,08	0,04	6	7,6
Перевал	0,03	0,08	0,01	9	60,0

Смесь

Центральное	0,14	0,23	0,05	31	39,2
Перевал	0,02	—	—	1	6,7

Снег

Центральное	0,05	0,07	0,04	3	3,8
Перевал	0,08	—	—	1	6,7

Для некоторых радиотехнических систем бывает важно не только значение такого параметра, как толщина отложения гололедного осадка, но и то, насколько этот осадок равномерно распределен по поверхности. Так как подобные сведения в литературе отсутствуют, то постановка указанного эксперимента является в некоторой степени уникальной.

При рассмотрении данных, помещенных в табл. 1 и 2, можно отметить, что для ГМС Перевал наиболее характерно отложение кристаллической изморози, а для ГМС Центральное — зернистой изморози и смешанных отложений (смесей), в которых последняя доминирует.

Из 94 наблюдений плотности отложений, проведенных в указанных пунктах, 15 приходится на кристаллическую изморозь. Во всех случаях этот вид отложений распределяется на плоской поверхности размером $1 \times 0,9$ м более или менее равномерным слоем. То же самое можно сказать и о распределении снега. Отложений мокрого снега за весь период наблюдений вообще не отмечалось. Также не удалось взять на пробу плотности отложение гололеда. Распределение его по плоскости носит сложный характер. Чаще всего это капли или пятна, размеры и густота которых возрастают в нижней части шаблона, переходя в сплошное отложение с сосульками на его нижней кромке.

Распределение зернистой изморози и смесей с нею на плоской поверхности является типичным и характеризуется наличием «краевого эффекта», или канта изморози по краям шаблона, толщина которого b всегда больше толщины отложения в середине его (см. рис. 1 из [1]).

В соответствии с требованием эксперимента плоскость поверхности шаблона была установлена под углом $70-75^\circ$ к поверхности земли таким образом, что нижняя кромка щита по отношению к набегающему потоку являлась передней. Это обстоятельство сказывается на распределении данных видов отложений. Нижний кант имеет большую толщину и меньшую ширину отложения по сравнению с верхним кантом. Толщина оставшейся площади $b_{\text{оп}}$, заключенной между кантами изморози, приблизительно одинаковая по всему полю. Различия в линейных размерах нижнего и верхнего кантов обусловлены особенностями обтекания препятствия потоком, когда он на верхней кромке щита искажен влиянием нижнего канта.

В качестве характеристики соотношения размеров нижнего и верхнего кантов изморози был выбран показатель, численно равный отношению толщины нижнего канта $b_{\text{нк}}$ к толщине верхнего канта $b_{\text{вк}}$ или $K_{\text{в}} = b_{\text{нк}}/b_{\text{вк}}$. Среднее значение этого коэффициента $K_{\text{в}}$ по 33 измерениям 2,35.

В общем случае уравнение регрессии имеет вид

$$y = ax + b. \quad (1)$$

Так как образование кантов изморози на всех кромках щита начи-

нается одновременно, то уравнение (1) для связи линейных размеров кантов будет иметь вид

$$y = ax, \quad (2)$$

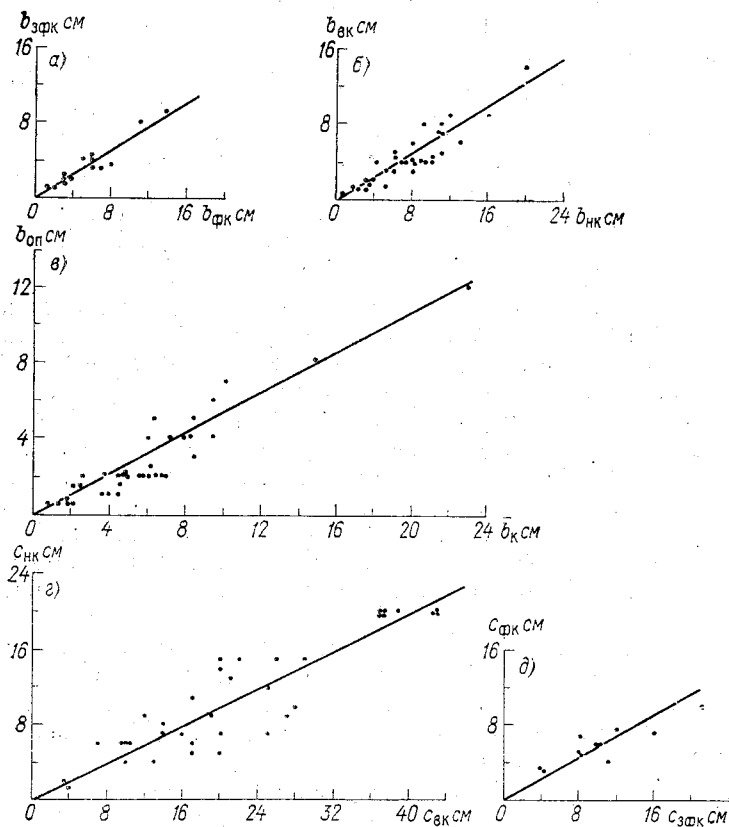
а линия связи на графике будет иметь нулевую начальную ординату. В данном случае связь значений толщины нижнего и верхнего кантов определяется уравнением

$$y = 0,6x. \quad (3)$$

Сама связь представлена на рис. 6.

Ширина нижнего канта $c_{нк}$ всегда меньше ширины верхнего канта $c_{вк}$. Аналогично предыдущему показателю отношение $K_c = c_{вк}/c_{нк}$ описывается уравнением

$$y = 0,5x,$$



Графики связи размеров гололедных отложений по площади шаблона.

среднее значение $\bar{K}=2,26$. Графическая связь значений $c_{\text{вн}}$ и $c_{\text{ни}}$ представлена на рис. 2.

Рассмотренные отношения характерны для случая, когда набегающий поток перпендикулярен нижней и верхней кромкам шаблона, что в реальных условиях наблюдается редко. Боковые канты отложения в этом случае имели одинаковые значения как толщины, так и ширины. Поэтому была проведена серия наблюдений, когда угол встречи потока с указанными кромками составлял 45° . Тогда соотношение размеров нижнего и верхнего кантов оставалось прежним, но значительно отличались размеры боковых кантов изморози. Причем толщина переднего, или фронтального, по отношению к набегающему потоку канта изморози $b_{\text{фн}}$ всегда была больше толщины зафронтального канта $b_{\text{зфн}}$. Ширина фронтального канта $c_{\text{фн}}$, наоборот, была всегда меньше $c_{\text{зфн}}$.

Среднее отношение $\bar{K}_b = b_{\text{фн}}/b_{\text{зфн}}$ оказалось равным 1,88, оно выражается уравнением

$$y = 0,6x. \quad (4)$$

Графическая связь значений $b_{\text{фн}}$ и $b_{\text{зфн}}$ представлена на рис. а.

Отношение значений ширины фронтального и зафронтального кантов $K'_c = c_{\text{зфн}}/c_{\text{фн}}$ также определяется уравнением (4) (рис. д), $\bar{K}'_c = 1,75$.

Как указывалось выше, толщина любого из четырех кантов всегда больше толщины оставшейся площади $b_{\text{оп}}$. Поэтому была проведена такая же оценка, как и в предшествующих случаях. Для этой цели ввели понятие толщины среднего канта $\bar{b}_k$, которое связано с $b_{\text{оп}}$ соотношением

$$K''_b = \bar{b}_k/b_{\text{оп}}. \quad (5)$$

Построенный по 36 измерениям b график связи (рис. в) дает уравнение регрессии вида

$$y = 0,5x. \quad (6)$$

Средняя же величина отношения $\bar{K}''_b = 2,51$.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Плотность различных видов гололедно-изморозевых отложений на плоской поверхности площадью около 1 м^2 близка к значениям γ по данным гололедного станка.

2. Распределение различных видов отложений на плоской поверхности неодинаково. Наиболее сложным является распределение гололеда, зернистой изморози и смесей.

3. Близкие значения K_b и K_c , а также близость их уравнений регрессии позволяют заключить, что угол наклона плоскости усложняет распределение отложения, однако при небольших значениях угла α (угол между плоскостью и вертикалью к поверхности

земли) его изменения не меняют объем и массу отложения. То же можно сказать про угол встречи β потока с плоскостью. При $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ $1,88 \leq K'_b \leq 1,00$ и $1,75 \leq K'_c \leq 1,00$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов В. Г., Захаров А. Г. К уточнению косвенного метода расчета интенсивности обледенения плоской поверхности.— См. наст. сб.
2. Заварина М. В. Удельный вес гололедно-изморозевых отложений.— «Труды ГГО», 1970, вып. 265, с. 30—44.

Р. П. Бернгардт

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОСОБО ОПАСНЫХ ОБЛЕДЕНЕНИЙ НА САХАЛИНЕ

Обледенения воздушных линий связи и электропередачи на Сахалине наблюдаются ежегодно. Но только такие обледенения, при которых под действием результирующей гололедно-ветровой нагрузки был возможен или причинен народному хозяйству материальный ущерб, называются особо опасными [4]. Отличительной чертой особо опасных обледенений на Сахалине является их возникновение при намерзании мокрого снега или переохлажденных жидких осадков.

Районы острова, в которых нередко наблюдаются особо опасные обледенения по весовой нагрузке и толщине стенки гололеда, выделяются на климатических картах гололедного районирования [1, 5] и учитываются при проектировании различных народнохозяйственных сооружений. При этом наряду с предельной весовой нагрузкой важно учитывать продолжительность ее действия [2].

Некоторые характеристики продолжительности (τ) особо опасных обледенений приведены в табл. 1, составленной по материалам наблюдений с 1949 по 1968 г. на равнинных гидрометстанциях южного Сахалина.

Данные табл. 1 показывают, что в течение гололедного сезона имеется два периода особо опасных обледенений — с октября

Таблица 1
Характеристики продолжительности (часы) особо опасных обледенений

Продолжительность	X	XI	XII	I—III	IV	V
$\tau_{\text{макс}}$	19	144	451	—	40	17
$\tau_{\text{мин}}$	6	4	8	—	14	7
$\tau_{\text{ср}}$	13,0	38,2	81,0	—	20,0	9,7
Число случаев	5	12	9	—	3	7

по декабрь и с апреля по май включительно. С осени по мере сокращения продолжительности светового дня, уменьшения высоты солнца и общего понижения температуры воздуха продолжительность особо опасных обледенений увеличивается. В декабре, например, когда высота солнца достигает своего минимума, особо опасное обледенение может сохраняться в среднем в течение нескольких дней. Весной особо опасные обледенения образуются на фоне общего повышения температуры. Продолжительность светового дня весной достигает 15 ч, поэтому нагревание гололедного отложения при дневной оттепели, как правило, приводит к его разрушению и максимальная продолжительность существования гололеда значительно меньше, чем осенью.

Наряду с экстремальными и средними характеристиками продолжительности особо опасных обледенений большое значение имеют их вероятностные характеристики [2]. Расчет вероятностных характеристик продолжительности особо опасных обледенений был проведен по методике, аналогичной методике расчета продолжительности сильных ветров на высотах нижнего слоя атмосферы [3]. Согласно этой методике, эмпирические значения интегральных повторяемостей максимумов продолжительности особо опасных обледенений рассчитаны по формуле

$$\Phi = \frac{m}{n+1}, \quad (1)$$

где n — число гололедных сезонов, расположенных в ряд по возрастанию продолжительности обледенения, m — порядковый номер гололедного сезона.

Кривые распределения интегральных повторяемостей максимумов продолжительности особо опасных обледенений аппроксимированы функцией

$$\Phi(\tau) = e^{-(\tau/\rho)^{-\alpha}}, \quad (2)$$

где $\Phi(\tau)$ — вероятность того, что продолжительность особо опасного обледенения меньше τ , а β и α — параметры распределения.

При этом вероятность периода повторения определена по формуле

$$\Phi = \frac{T-1}{T}, \quad (3)$$

где T — период повторения в годах.

Т а б л и ц а 2

**Вероятностные характеристики продолжительности
особо опасных обледенений (часы)**

Период	τ_2	τ_5	τ_{10}	τ_{15}	τ_{20}
X—XII	18	68	160	260	380
IV—V	15	28	39	48	56

В табл. 2 приведены вероятностные значения продолжительности особо опасных обледенений в пятом, особом, районе гололедности для осени и весны согласно принятому районированию [1]. Расчеты выполнены для группы станций, так как особо опасные обледенения на одной станции наблюдаются не ежегодно.

Данные табл. 2 показывают, что и вероятностные характеристики продолжительности особо опасных обледенений осенью значительно превосходят их продолжительность весной.

Но чем длительнее обледенение, тем вероятнее совпадение максимума гололедной и ветровой нагрузки. При продолжительности особо опасного обледенения от 0 до 5 ч была отмечена максимальная скорость ветра 8 м/с, при продолжительности 6—15 ч — 20 м/с, 16—30 ч — 24 м/с, а при продолжительности больше 30 ч — 28 м/с.

Таким образом, самые неблагоприятные условия эксплуатации различных народнохозяйственных сооружений и в первую очередь воздушных линий связи и электропередачи на Сахалине складываются в период наибольшей продолжительности особо опасных обледенений, т. е. в период с октября по декабрь включительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернгардт Р. П. Гололедное районирование территории о. Сахалин.— «Труды ГГО», 1976, вып. 361, с. 11—17.
2. Заварина М. В. Строительная климатология. Л., Гидрометеониздат, 1976. 310 с.
3. Заварина М. В., Соколова С. Н. Метод оценки продолжительности сильных ветров в пограничном слое атмосферы.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 87—95.
4. Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особоопасных гидрометеорологических явлениях. М., Гидрометеониздат, 1972. 19 с.
5. Строительные нормы и правила. П-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1976. 29 с.

Т. Н. Голикова

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ГОЛОЛЕДЕ НА РАВНИННОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР

Согласно методике, изложенной в [1], ГМО УГМС рассчитаны за каждый год два значения ветровой нагрузки: при достижении отложением годового максимума (Q_{Pm}) и при максимальной за все случаи гололедообразования скорости ветра (Q_m). Затем путем статистической обработки годовых максимумов Q_{Pm} и Q_m были определены вероятностные значения этих величин.

При расчете ветровой нагрузки при гололеде на провода воздушных линий (ВЛ) был использован коэффициент пересчета, равный 2, представляющий собой осредненное значение коэффициентов, приведенных в табл. 3а [1] для отложений с произведением ac менее 800 мм^2 (a и c — соответственно большой и малый диаметры отложения вместе с проводом гололедного станка).

Обобщение результатов экспериментальных исследований, выполненных на гололедном стенде ВНИИЭ и гололедных постах Украинского отделения Сельэнергопроект [2], позволило уточнить коэффициент пересчета для большего диапазона значений ac и представить его в виде уравнения

$$k_D = 1,325 + \frac{5,48}{\sqrt{ac}}. \quad (1)$$

При малых значениях ac коэффициент k_D близок к 2, при больших уменьшается до 1,5. Эти значения коэффициента пересчета подтверждаются также исследованиями, проведенными в КирНИОЭ [3].

Сравнительные расчеты ветровых нагрузок при гололеде с десятилетней повторяемостью, выполненные с $k_D=2$ и k_D по формуле (1), показали, что при абсолютной величине нагрузки до $0,7 \text{ кг/м}$ разница незначительна и ею можно пренебречь [4]. Поэтому при разработке карты понижающий нагрузку коэффициент 0,8 был введен лишь к тем значениям Q , которые с десятилетней повторяе-



Нормативные районы ветровой нагрузки при гололеде на ОЭС.

Штриховкой выделены горные районы.

мостью превосходили $0,7 \text{ кг/м}$. Как показал анализ результатов расчетов, выполненных ГМО УГМС, в большинстве случаев Q_m больше Q_{pm} .

При проектировании ВЛ необходимо знать вероятностную величину из годовых максимумов Q . Поэтому при построении карты

ветровых нагрузок при гололеде на ЕТС были выбраны наибольшие из них с повторяемостью один раз в 10 лет независимо от того, что было определяющим: размер отложения или скорость ветра. При анализе материалов и построении карты для равнинной части Европейской территории СССР использованы данные наблюдений 970 метеостанций. На ЕТС выделено семь нормативных районов.

Пределы изменения ветровой нагрузки Q_{10} на провод ВЛ, покрытый гололедом, и нормативные значения $\bar{Q}_{10}$ в каждом из районов указаны в табл. 1. Границы между районами проведены по нижнему пределу Q_{10} .

Таблица 1

Критерии районов и нормативное значение ветровой нагрузки при гололеде, возможной один раз в 10 лет

Номера района	Пределы Q_{10} кг/м	$\bar{Q}_{10}$ кг/м
I	менее 0,25	0,2
II	0,26—0,34	0,3
III	0,35—0,49	0,4
IV	0,50—0,74	0,6
V	0,75—1,09	0,9
VI	1,10—1,49	1,3
VII	1,50—1,99	1,8

Вследствие многообразия физико-географических и синоптических условий ветровая нагрузка при гололеде изменяется от 0,2 кг/м (в I районе) на большей части Прибалтики, Белоруссии, в Полесье, верховьях Днепра, на Мещерской низменности и равнинной части Севера ЕТС до 1,8 кг/м (в VII районе) на Донецком кряже, Приазовской возвышенности и Ергенях.

Нагрузки, соответствующие V и VI районам, характерны для Приволжской и Бугульминско-Белебеевской возвышенностей, а также прибрежных районов Белого и Баренцева морей.

Ветровая нагрузка при гололеде зависит от ряда физико-географических факторов: главным образом от рельефа местности, абсолютной и относительной высоты над уровнем моря, от экспозиции склона по отношению к преобладающему при максимальной нагрузке направлению ветра, от широты места, близости крупных водных бассейнов. Каждый из этих факторов влияет и на скорость ветра, а через нее — на размер гололедно-изморозевых отложений.

Для анализа влияния перечисленных факторов на размер ветровой нагрузки при гололеде по данным метеостанций, расположенных на наиболее крупных возвышенностях Европейской территории СССР, построены графики высотной зависимости. На основании их в табл. 2 приведены пределы высотных отметок, по которым проходят границы нормативных районов для девяти возвышенностей.

Данные табл. 2 могут быть использованы при построении региональных карт ветровой нагрузки при гололеде, а также при

Т а б л и ц а 2

**Распределение районов ветровых нагрузок при гололеде
по высоте над уровнем моря (метры) на возвышенностях
Европейской территории СССР**

Название возвышенности	Номер нормативного ветрового района при гололеде						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Белорусская	≤150	150— 180	180— 250	>250	—	—	—
Север Среднерусской	—	—	≤220	220— 280	>280	—	—
Юг Среднерусской	—	—	≤180	180— 220	>220	—	—
Юг Приднепровской	—	—	≤160	>160	—	—	—
Средняя часть Приволжской . .	—	—	≤160	160— 250	250— 300	>300	—
Бугульминско-Белебеевская . . .	—	—	—	≤180	180— 250	>250	—
Донецкий край	—	—	—	—	≤240	240— 280	>280
Приазовская	—	—	—	—	≤220	220— 270	>270
Ергени	—	—	—	≤120	120— 160	160— 180	>180

конкретном проектировании как дополнительный материал к карте в тех районах, для которых региональные карты еще не построены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету климатических параметров гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на провода ВЛ.— «Труды ВНИИЭ», 1975, вып. 48, с. 120—125. 1974. 34 с.
2. Никифоров Е. П., Голикова Т. Н. Уточнение расчета гололедно-ветровой нагрузки на провода ВЛ.— «Труды ВНИИЭ», 1975, вып. 48, с. 120—125.
3. Подрезов О. А. Влияние закручивания, диаметра и высоты подвеса проводов на гололедные отложения в горных районах.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 37—45.
4. Голикова Т. Н., Заварина М. В. Сравнение методов расчета ветровых нагрузок при гололеде.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 20—29.
5. Заварина М. В. Строительная климатология. Л., Гидрометеониздат, 1976. 310 с.

Т. Н. Голицова

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ КАРТЫ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ГОЛОЛЕДЕ

Как показывает опыт эксплуатации воздушных линий (ВЛ) электропередачи, фактические ветровые нагрузки при гололеде нередко отличаются от расчетных. Поэтому возникла необходимость в уточнении метода расчета их, а также в создании крупномасштабных карт нормативных ветровых нагрузок при гололеде для нужд проектирования и эксплуатации ВЛ.

В данной статье приведен первый опыт районирования территории по ветровым нагрузкам при гололеде на примере Пензенской области. Для этой цели, помимо результатов работ, проведенных автором, использованы методические разработки, выполненные во Всесоюзном научно-исследовательском институте электроэнергетики (ВНИИЭ), Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) и в институтах Энергосетьпроект (ЭСП) и Сельэнергопроект (СЭП).

Ветровая нагрузка на сооружения (Q кг/м) согласно [1] определяется по формуле

$$Q = C_x q S, \quad (1)$$

где C_x — аэродинамический коэффициент лобового сопротивления; q — скоростной напор ветра в кг/м², равный $v^2/16$; v — скорость ветра в м/с; S — проекция площади сооружения на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку.

При расчете ВЛ электропередачи необходимо определить механическую нагрузку, которую испытывают в гололедно-ветровом режиме опоры и провода. Нагрузка на опору определяется максимальной ветровой нагрузкой на провод, покрытый гололедом; горизонтальной ветровой нагрузкой на тело опоры и весом гололеда при максимумах ветровой нагрузки на обледеневший провод. Расчет собственно проводов производится по наихудшему сочетанию двух составляющих: горизонтальной ветровой нагрузки на обледеневший провод и вертикальной нагрузки от веса гололеда и веса провода по так называемой результирующей нагрузке.

В основу построения региональных карт положены нормативные значения максимальной ветровой нагрузки на провод, покрытый гололедом. Расчет был произведен по формуле (1), где величина C_x принята согласно [1, 2], равной 1, 2.

Площадь S определяется как произведение среднего геометрического диаметра отложения на длину провода согласно [3], т. е.

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

где a и c — соответственно большой и малый диаметры отложения на проводе гололедного станка вместе с проводом в миллиметрах; l — длина провода, равная 1 м.

Скорость ветра выбрана максимальная за случай обледенения из таблиц ТМ-5, ТМ-1 или метеорологических ежемесячников.

Поскольку наблюдения за гололедом производятся на жестко закрепленном проводе гололедного станка с диаметром 5 мм на высоте 2 м от поверхности земли, необходимо было размеры отложения, замеренные на гололедном станке, пересчитать на провод диаметром 10 мм на высоте 10 м, принятый за нормативный.

Пересчет от гололедного станка к условиям воздушных линий осуществлен с помощью коэффициента k_D , зависящего от размеров отложений [4]:

$$k_D = 1,325 + \frac{5,48}{\sqrt{ac}}. \quad (3)$$

С введением его формула (1) приобрела вид

$$Q = (\sqrt{ac} + 4)v^2 \cdot 10^{-4}. \quad (4)$$

Нормативной ветровой нагрузкой при гололеде называется давление ветра на провод, покрытый гололедом, определенное с вероятностью повторения один раз в 10 лет.

Вероятностные значения ветровой нагрузки при гололеде определялись по интегральным кривым распределения, которые строились по многолетнему ряду наблюдений (не менее 15 лет). Значения годовых максимумов Q располагались в порядке их возрастания. Затем для каждого значения величины Q вычислялась его интегральная повторяемость в процентах по формуле

$$\Phi(Q) = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \quad (5)$$

где m — порядковый номер члена ряда; n — число членов ряда.

Интегральная кривая распределения $Q_{\max}$ — годовых максимумов ветровых нагрузок при гололеде — аппроксимируется функцией

$$\Phi(Q_{\max}) = e^{-(Q_{\max}/\beta)^{-\mu}}, \quad (6)$$

где β и μ — параметры распределения.

Для построения графиков используется клетчатка с осями $\lg \lg[\varphi(Q)]^{-1}$ и $\lg Q$, позволяющая линейризовать функцию (6).

На клетчатку нанесены точки, соответствующие сочетанию Q и $\varphi(Q)$, и по ним проведена прямая (рис. 1).

Период повторения нагрузки Q определен по формуле

$$T = \frac{1}{1 - \varphi(Q)}. \quad (7)$$

Следовательно, периоду повторения, равному 10 годам, соответствует $\varphi = 0,9$ (обеспеченность 90%). С проэкстраполированной в область больших повторяемостей прямой сняты значения Q различной обеспеченности.

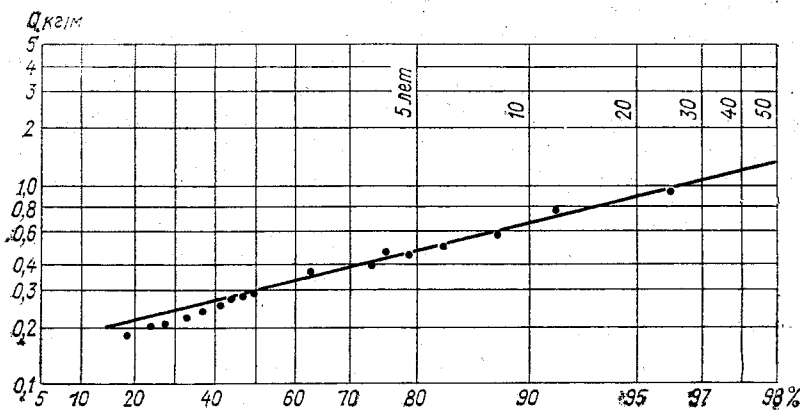


Рис. 1. Вероятностные значения ветровой нагрузки при гололеде (Q).

Гололедно-ветровой режим Пензенской области характеризуют данные инструментальных наблюдений девяти метеостанций (табл. 1).

При районировании территории по значению нормативной ветровой нагрузки при гололеде были выделены зоны с однородными условиями гололедообразования. К таким зонам относятся физико-географические провинции, в основу классификации которых положена общность в характере смены и трансформации воздушных масс. Согласно [5], территория Пензенской области располагается в Приволжской провинции лесостепной зоны.

Одним из основных факторов, влияющих на распределение ветровой нагрузки при гололеде по территории, является рельеф местности. В связи с этим было произведено выделение типов рельефа по классификации, в основу которой положена ориентация склонов по отношению к преобладающему во время годовых максимумов Q направлению ветра.

Для районирования равнинно-холмистой территории по ветровым нагрузкам при гололеде в [3, 6] рекомендуется выделять следующие основные типы рельефа:

1) равнина, плоская или пересеченная небольшими балками и оврагами местность с относительными превышениями не более 100 м. Последующие пять типов относятся к сильнопересеченной местности с относительными превышениями более 100 м;

2) долины рек, защищенные от гололедонесущего потока возвышенностями;

Таблица 1

**Ветровая нагрузка при гололеде
повторяемостью один раз в 10 лет (Q_{10})**

Станция	H м над ур. м.	Q_{10} кг/м	Номер района ветровых нагрузок при гололеде	Тип релье- фа
Белинский	199	0,46	III	1
Городище	233	0,65	IV	4
Земетчино	131	0,45	III	1
Каменка-Белинская	182	0,60	IV	1
Кондоль	231	0,60	IV	4
Кузнецк	270	0,95	V	4
Наровчат	149	0,55	IV	1
Пачелма	260	0,42	III	4
Русский Камешкир	246	0,76	V	4

3) долины рек, не защищенные от гололедонесущего потока;

4) подветренные склоны возвышенностей;

5) наветренные склоны возвышенностей и крутых берегов больших рек;

6) вершины возвышенностей, водораздельные плато;

7) острова, открытые побережья.

Поскольку на территории Пензенской области при максимальной ветровой нагрузке преобладают ветры южного направления, то южная, юго-восточная и восточная части области относятся к типу рельефа 4, западная и северо-западная ее части и открытая с юга равнина — к типу 1.

Для группы метеостанций, относящихся к одной и той же физико-географической провинции и к одному типу рельефа, определена зависимость вероятностных значений ветровой нагрузки при гололеде (Q_{10} кг/м) от абсолютной высоты места над уровнем моря (H м)

$$Q_{10} = f(H). \quad (8)$$

Результаты расчета наносились на график. По точкам способом наименьших квадратов построен график, отражающий зависимость ветровой нагрузки от высоты места. Если на изучаемой территории недостаточно метеостанций для построения такого графика, то следует привлекать данные метеостанций, расположенных поблизости в аналогичных физико-географических условиях.

Графики высотной зависимости построены для каждого типа рельефа. Они используются при построении региональных карт. По ним устанавливается, с какой абсолютной отметки начинается нижний предел градации, выбранный для того или иного района.

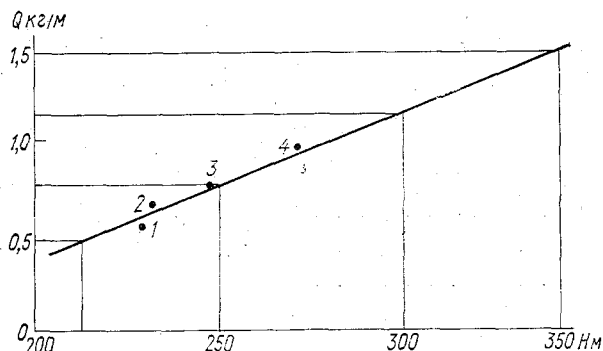


Рис. 2. Зависимость нормативной ветровой нагрузки (Q) от абсолютной высоты места (H).
1 — Кондоль, 2 — Городище, 3 — Русский Камешкир, 4 — Кузнецк.

На рис. 2 приведен график высотной зависимости для станций типа рельефа 4 Пензенской области.

В тех районах, где сеть метеостанций редка или местоположение их значительно отличается от условий прохождения ВЛ, данные о гололедных отложениях на ВЛ во время аварий и о скорости ветра являются ценной дополнительной информацией о гололедно-ветровом режиме изучаемой территории.

Расчет фактической нагрузки на провода ВЛ электропередачи и связи произведен по формуле

$$Q = C_x \frac{v^2}{16} \sqrt{AC},$$

где A и C — соответственно большой и малый диаметры отложения в миллиметрах, замеренные во время аварий на ВЛ; v — скорость ветра в м/с, зарегистрированная в момент аварии на ближайшей метеостанции или в ближайший срок ко времени аварии на ВЛ. Ветровые нагрузки при гололеде за время аварии обобщены в таблице и на карте разрушений. На карту нанесены ВЛ, подвергшиеся разрушению, с указанием участка, на котором была

авария, даты и величины фактических нагрузок, имевших место на ВЛ.

Региональная карта нормативных районов по ветровым нагрузкам при гололеде составлена в масштабе 1:1 500 000. На ней выделены районы в соответствии с градациями, приведенными в табл. 1 [7]. Границы нормативных районов ветровых нагрузок при гололеде проведены по изогипсам на гипсометрическом бланке в соответствии с пределами, определенными по графику зависимости $Q_{10}=f(H)$ на рис. 2.

Для этой цели от оси ординат, где отложены значения Q , через точки, соответствующие нижним пределам районов ветровых нагрузок при гололеде [7], проведены линии до пересечения с прямой высотной зависимости. Из точки пересечения опущена вертикаль на ось абсцисс, где отложено значение абсолютной высоты места H .

Таблица 2

**Распределение районов ветровых нагрузок
при гололеде на территории Пензенской области**

Номер района	Нормативное значение Q кг/м	Интервалы абсолютных отметок при	
		типе рельефа 1	типе рельефа 4
III	0,4	≤ 150 м	—
IV	0,6	150—200 м	200—250 м
V	0,9	—	250—300 м
VI	1,3	—	>300 м

На территории Пензенской области выделены III, IV, V и VI нормативные районы ветровых нагрузок при гололеде. В табл. 2 приведены высоты, по которым проходят границы нормативных районов.

Карта-схема нормативных районов ветровых нагрузок при гололеде на территории Пензенской области представлена на рис. 3.

Отступление от изложенной выше закономерности изменения ветровой нагрузки с высотой принято лишь на небольшой территории западнее Пензы, где с учетом опыта эксплуатации несколько расширена зона V района.

В заключение отметим, что согласно действующим в настоящее время Строительным нормам и правилам [1] ветровая нагрузка при гололеде на провода ВЛ вычисляется при ветре, скорость которого равна половине нормативной без гололеда, а размер гололеда принят равным нормативному при плотности $0,9 \text{ г/см}^3$. Следовательно, согласно СНиП на большей части территории Пензенской области ветровая нагрузка при гололеде составляет $0,4 \text{ кг/м}$, выделяются лишь небольшие участки с нагрузками, равными $0,6 \text{ кг/м}$, и на крайнем юго-востоке области — с нагрузками до $0,9 \text{ кг/м}$.

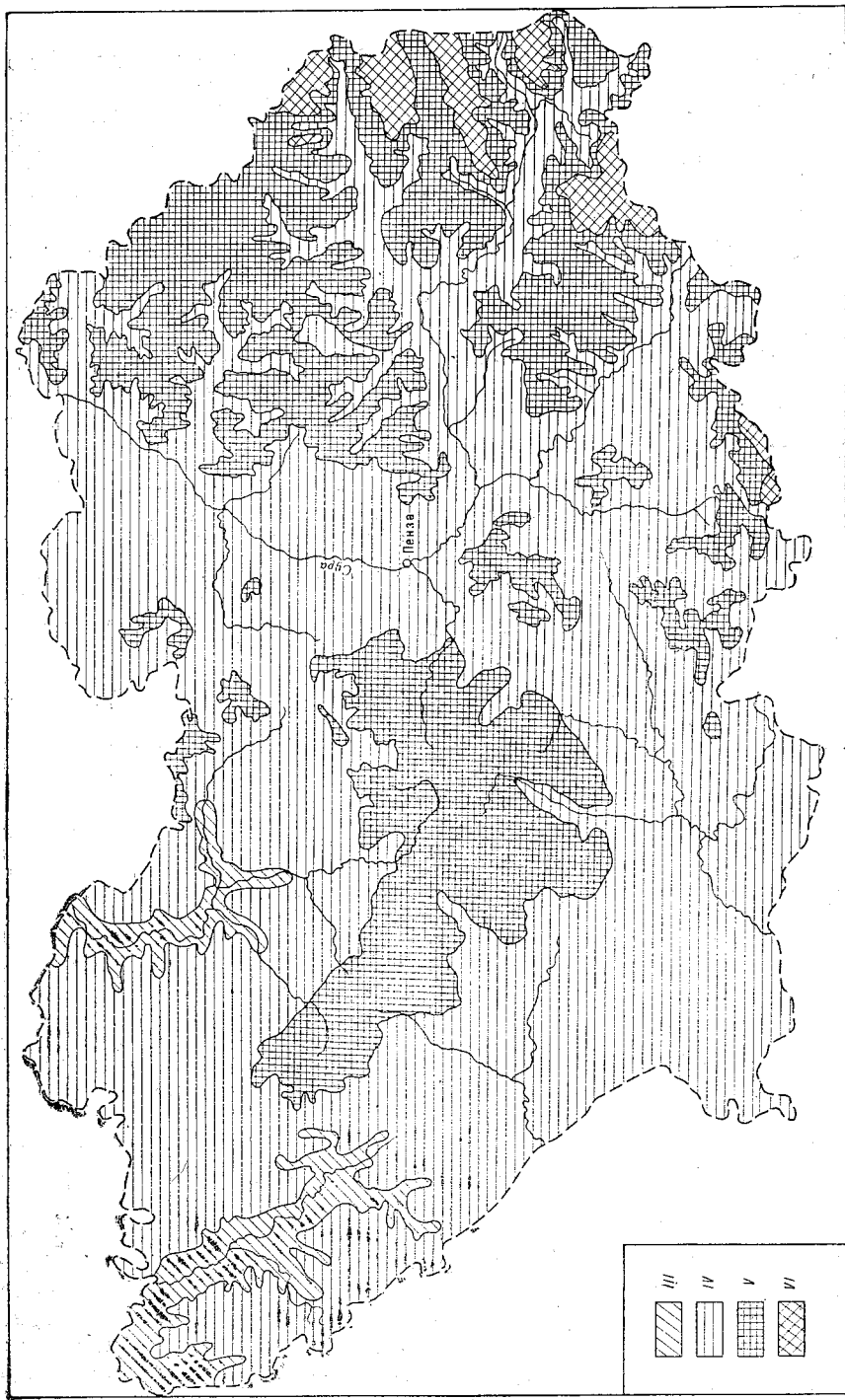


Рис. 3. Нормативные районы (III—VI) ветровых нагрузок при подготовке на территории Пензенской области

Проведенное районирование Пензенской области показывает, что нагрузка, равная 0,4 кг/м, для большей части области занижена. На той части территории, где высотные отметки от 250 до 300 м, за нормативную ветровую нагрузку при гололеде следует принимать 0,9 кг/м, а на небольших участках свыше 300 м — и до 1,3 кг/м.

Региональная карта ветровых нагрузок при гололеде позволит проектировщикам более точно определить границы ветровых районов при гололеде и выбрать наиболее экономичные условия для проектируемых ВЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные нормы и правила. П-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1976. 29 с.
2. Голикова Т. Н. Аэродинамические характеристики проводов, покрытых гололедом.— «Труды ГГО», 1976, вып. 379, с. 20—29.
3. Рекомендации по расчету климатических параметров гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на провода воздушных линий. Л., Гидрометеониздат, 1974. 35 с.
4. Никифоров Е. П., Голикова Т. Н. Уточнение расчета гололедно-ветровой нагрузки на провода ВЛ.— «Труды ВНИИЭ», 1975, вып. 48, с. 120—125.
5. Физико-географическое районирование территории СССР. Под ред. Н. А. Гвоздецкого. М., Изд-во МГУ, 1968. 576 с.
6. Методика разработки региональных карт нормативных районов по гололеду, используемых при проектировании и эксплуатации линий электропередачи. М., ОРГРЭС, 1976. 16 с.
7. Голикова Т. Н. Распределение ветровых нагрузок на провода воздушных линий при гололеде на равнинной части Европейской территории СССР.— См. наст. сб.

М. М. Борисенко

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА ВЫСОКИЕ СООРУЖЕНИЯ

В современный период быстрыми темпами расширяется строительство высоких сооружений. Наибольшая высота вентиляционных труб, проектируемых в настоящее время, достигает 600 м. Проектируются и возводятся обелиски высотой 100 м и более. Высотные конструкции для объектов связи и специализированные метеорологические опоры превышают нередко 300—500 м. В последние годы производились разработки проекта метеорологической опоры высотой 1000 м.

Технически обоснованные проекты строительства столь высоких сооружений немислимы без точного учета метеорологических воздействий. Основным метеорологическим воздействием на такие объекты является влияние ветрового потока. По мнению авторов монографии [2], недостаточное число обобщающих печатных работ, посвященных учету влияния ветрового потока на высокие конструкции, привело в последние годы к возникновению разрыва «между уровнем исследовательских работ и уровнем знаний в этой области у проектировщиков и инженеров». Поэтому авторы [2] главной задачей считают обобщение и систематизацию имеющихся результатов исследований.

В настоящей работе рассмотрены следующие характеристики ветра, используемые для расчета ветрового напора на высокие сооружения:

1) синхронные вертикальные профили ветра в нижнем 200—250-метровом слое атмосферы при наибольших за 5 лет значениях скорости ветра у земли;

2) коэффициенты порывистости ветра и определяемые по ним коэффициенты пульсации скоростного напора в приземном слое атмосферы;

3) синхронные вертикальные профили скорости ветра в нижнем 1000-метровом слое атмосферы при наибольших за 5 лет значениях скорости на различных уровнях в пределах этого слоя;

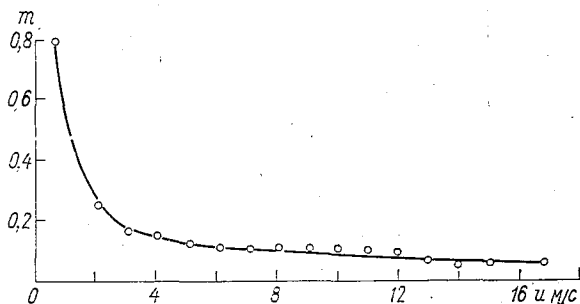
4) особенности распределения температуры воздуха по высоте в 1000-метровом слое при наибольших за 5 лет скоростях на разных уровнях этого слоя.

I

Выполненные за последние годы разработки дали возможность сделать вывод, что при сильном ветре у земли вертикальный профиль скорости его до высоты, по крайней мере, 200—300 м хорошо описывается степенной функцией высоты:

$$\frac{\bar{u}(z)}{\bar{u}(z_1)} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^m. \quad (1)$$

С усилением ветра у поверхности земли показатель степени m в формуле (1) уменьшается, однако это уменьшение при больших скоростях незначительно. В качестве примера на рисунке показана



Зависимость показателя степени m в формуле (1) от скорости ветра на высоте 24 м. Мурманск, телевизионная мачта.

зависимость показателя степени от скорости ветра на высоте 24 м на телевизионной мачте в Мурманске.

При сильном ветре у земли, когда роль температурной стратификации атмосферы малосущественна, главным фактором, определяющим меру нарастания скорости с высотой в нижнем слое, является степень защищенности (закрытости) местности. Синоним этого понятия, часто употребляемый в метеорологической литературе — «макрошероховатость» подстилающей поверхности. Под защищенностью же понимают в первую очередь высоту препятствий, а затем уже — густоту их расположения на местности.

Автором произведена типизация вертикальных профилей сильных ветров, характеризуемых параметром m в формуле (1), по степени защищенности местности. В соответствии с этой типизацией выделены три основных и один дополнительный класс защищен-

ности местности и, следовательно, четыре типовых профиля ветра [3, 4].

В табл. 1 приведены значения параметра m в формуле (1) по классам защищенности, полученные разными исследователями. Данные автора приведены в двух последних графах таблицы. Они получены из анализа профилей ветра в 200-метровом слое, измеренных в общей сложности на 14 высотных мачтах за рубежом и 7 мачтах на территории СССР.

Таблица 1

Значения показателя степени m в формуле (1) по данным различных авторов

Класс защищенности местности	Автор				
	Давенпорт	Веллоцци и Коен	Барштейн	Борисенко	
				при $\bar{u} = 12$ м/с	при $\bar{u}$, най- большем за 5 лет
A_1	0,40	0,33	0,33	0,28	0,30
A	0,40	0,33	0,33	0,16	0,13
B	0,28	0,22	0,22	0,10	0,10
C	0,16	0,14	0,16	0,08	0,04

Из табл. 1 видно, что для умеренно защищенной (класс B) и открытой местности (класс C) показатель степени m при сильном ветре у земли, по данным автора, получился в несколько раз меньше, чем у других исследователей. Причина столь значительных расхождений состоит в следующем.

В работах Давенпорта, Барштейна, а также Веллоцци и Коена наряду с вертикальными профилями сильных ветров использовались по ряду измерительных пунктов и такие, когда скорость у земли была невелика [1, 14, 17]. Поскольку величина m в значительной мере зависит от скорости ветра, то естественно предположить, что использование данных по профилям слабых ветров приводит к завышению значений показателя степени m . Видимо, это обстоятельство и являлось причиной того, что значения m , полученные автором, который использовал данные по профилям только сильных ветров, оказались значительно меньшими, чем у Давенпорта и Барштейна.

Для условий городской застройки нами, в отличие от других авторов, были выделены два класса защищенности и соответственно два типовых профиля ветра, один — для городской местности с высотой строений 10—20 м (собственно класс A) и другой — для городских условий с высотой строений 30 м (класс A_1). В работах других авторов для городской застройки рекомендован один типовой профиль ветра (одно значение параметра m в формуле (1)) [1, 14, 17].

II

Коэффициент порывистости ветра $k = u_{\text{макс}}/\bar{u}$ может быть использован для введения «добавки» к статическому скоростному напору, который определяется по синхронному профилю скорости, осредняемой за длительный, порядка нескольких минут, период времени. Коэффициент порывистости связан с так называемым коэффициентом пульсации скоростного напора ветра p соотношением

$$p = k^2 - 1. \quad (2)$$

На основе обобщений данных исследований по порывистости ветра автором дана типизация профилей коэффициента порывистости и, следовательно, коэффициента пульсации скоростного напора ветра по классам защищенности местности (см. с. 123 из работы [3]). Упомянутые здесь коэффициенты порывистости для различных классов защищенности получены нами для расчетных, возможных один раз в 5 лет значений средней скорости $\bar{u}$.

Значения коэффициента порывистости ветра k при расчетных скоростях $\bar{u}$ могут быть получены, если известна зависимость максимального порыва скорости $u_{\text{макс}}$ от средней скорости его, т. е. от $\bar{u}$.

В ряде работ [4, 6, 15, 16, 18] был сделан вывод, что зависимость $u_{\text{макс}}$ от $\bar{u}$ может быть аппроксимирована линейным уравнением

$$u_{\text{макс}} = a\bar{u} + b. \quad (3)$$

Это обстоятельство удобно использовать для получения линейной экстраполяцией значений $u_{\text{макс}}$ при заданной величине $\bar{u}$. Коэффициент порывистости k определяется из выражения (3)

$$k = a + b/\bar{u}. \quad (4)$$

III

В связи с задачей расчета 1000-метровой опоры автором рассматривался вопрос выбора оптимальной методики определения статической компоненты ветрового напора на это сооружение.

Проведенное нами изучение характера ветровых профилей в километровом слое атмосферы при больших скоростях имело целью выявление в первую очередь таких профилей, когда суммарный скоростной напор ветра на 1000-метровое сооружение был бы наибольшим.

Вместе с тем, очевидно, не меньший интерес представляют и такие профили ветра, когда скорость изменяется очень резко на каком-либо участке 1000-метрового слоя, т. е. отмечаются сильные вертикальные сдвиги скорости с высотой.

Необходимость проведения упомянутых разработок была обусловлена еще и тем обстоятельством, что как в СНиП 1962 г. издания [13], так и СНиП 1974 г. [12] принято возрастание скорости ветра с высотой по степенному (логарифмическому) закону только до уровня 350 (400) м, а выше — считается, что она с высотой не меняется.

Анализ фактических данных по синхронным вертикальным профилям ветра в 1000-метровом слое показал, что при сильном ветре изменение скорости с высотой весьма неравномерное. Это обстоятельство затрудняет или вообще делает невозможным применение для аналитической аппроксимации таких профилей простых формул, вроде рассмотренной нами выше (1). Исключение составляют профили, когда очень сильные ветры наблюдаются вблизи верхней границы километрового слоя атмосферы. В таких случаях профиль скорости во всем этом слое с достаточно высокой точностью аппроксимируется степенной формулой (1) [3, 5].

Автором были подробно рассмотрены особенности вертикальных профилей ветра в 1000-метровом слое при наибольших за 5 лет скоростях на уровнях 12, 100, 200, 300, 500, 600 и 900 м над землей.

Для этого использовались данные измерений аэрологических станций Северо-Запада и Центра ЕТС: Смоленск, Воейково (близ Ленинграда), Псков, Кемь и Петрозаводск. Станции эти были выбраны по признаку наилучшего качества данных наблюдений в рассматриваемом районе. По сравнению с остальными станциями ряды надежных аэрологических наблюдений в перечисленных пяти пунктах были наиболее продолжительными и к 1973 г. достигли 10—12 лет.

Для получения данных по вертикальным профилям ветра в 1000-метровом слое при расчетных скоростях на разных уровнях внутри этого слоя использовался метод статистической экстраполяции. Для этого использовалось не менее 120—150 профилей скорости в 1000-метровом слое при максимальном за месяц ветре на каждом из семи уровней по каждой станции.

Были получены следующие выводы:

1) При наибольших за 5 лет скоростях на уровне флюгера в нижней части километрового слоя ветер с высотой несколько ослабевает, а выше 100—200 м — вновь усиливается с высотой. Вертикальные сдвиги скорости незначительны во всем километровом слое.

2) При наибольших за 5 лет скоростях между уровнями 200 и 500 м наблюдается ослабление скорости ветра по обе стороны от уровня с наибольшей скоростью.

3) Самые большие вертикальные сдвиги ветра имеют место в тех случаях, когда максимальная за 5 лет скорость наблюдается в пределах подслоя от 100 до 300 м. Такие сдвиги отмечаются ниже уровня с максимальной скоростью, которой соответствует середина оси «мезоструи».

4) При наибольшей за пять лет скорости на верхней границе

километрового слоя происходит сравнительно равномерное ослабление ветра с приближением к земле.

5) Осредненная по всему 1000-метровому слою скорость ветра $\bar{v}$ (12, ..., 900) оказывается наиболее значительной, когда максимальная за 5 лет скорость отмечается в верхней половине километрового слоя.

В табл. 2 приведены сведения по вертикальным профилям ветра в 1000-метровом слое, которые вычислялись разными способами.

В качестве профиля 1 даны синхронные профили ветра, соответствующие наименее благоприятной для сооружения ситуации, т. е. когда суммарный статический ветровой напор является наибольшим за 5 лет. (Выше мы уже убедились, что ветровой напор на 1000-метровую опору максимален, когда наибольшая за 5 лет скорость имеет место в верхней половине километрового слоя).

В профилях 2 и 3 даны отношения скоростей на высотах 1000-метрового слоя, вычисленных по СНиП (1974) с использованием степенного закона при $m=0,22$ и $m=0,16$, к значениям скорости на тех же высотах при «наиболее неблагоприятном ветровом профиле» (см. профиль 1). При вычислении скоростей на высотах 1000-метрового слоя использовались расчетные скорости на высоте 10 м, возможные один раз в 5 лет, причем между уровнями 10 и 350 м предполагалось их возрастание с высотой по степенному закону (1) с показателем степени соответственно 0,22 и 0,16. Выше уровня 350 м скорость принималась постоянной по высоте.

Аналогично вычислялись и скорости для профиля 4 с той лишь разницей, что возрастание скорости с высотой между 10 и 350 м считалось по логарифмическому закону.

Для профиля 5 приводятся отношения пятилетних максимумов скорости на высотах километрового слоя (по так называемой «огibaющей максимумов») к значениям скорости на тех же высотах при наиболее неблагоприятном ветровом профиле (см. профиль 1).

Расчет скоростного напора ветра на очень высокие сооружения по огibaющей максимумов, который предлагается, например, в [7], представляется нам недостаточно физически обоснованным, так как известно, что максимумы скорости ветра одновременно на разных высотах мощного атмосферного слоя наблюдаются редко.

Из табл. 2 можно заключить, что суммарный статический ветровой напор на сооружение, рассчитанный по огibaющей максимумов скорости, в 1,3—1,9 раза больше, чем рассчитанный по «наиболее неблагоприятному» из синхронных вертикальных профилей ветра, т. е. когда фактический ветровой напор на 1000-метровую опору наибольший за 5 лет.

Можно, таким образом, сделать вывод, что применение метода огibaющей максимумов приводит к довольно значительному завышению расчетной ветровой нагрузки на 1000-метровую опору. Примерно к такому же завышению в суммарном ветровом напоре на 1000-метровое сооружение приводит и использование степенного профиля ветра при $m=0,16$ и $m=0,22$ (как это предлагается

Таблица 2

Среднее по
300-м слою

в СНиП 1974 г.) и логарифмического профиля ветра (по СНиП 1962 г.). Надо к этому добавить, что, судя по характеру подстилающей поверхности в районах рассмотренных нами всех пяти аэрологических пунктов, их следует отнести, скорее, к умеренно защищенной местности (класс Б). Следовательно, использование соответствующего положения СНиП, т. е. степенного закона с показателем степени 0,22, может привести к завышению нагрузки по сравнению с реальной, рассчитываемой по наиболее неблагоприятному синхронному профилю ветра, в среднем в 1,5 раза.

IV

Приведенные выше результаты расчетов по изменению с высотой скоростного напора ветра не учитывали реального распределения по высоте температуры воздуха при сильном ветре. Иными словами, ветровой напор считался до сих пор нами функцией только одной переменной — скорости ветра, т. е. $q \sim u^2$, а температура и плотность воздуха предполагались величинами, от высоты не зависящими. Такой подход сохранился и в СНиП 1974 г. [12] подобно тому, как это имело место в СНиП 1962 г. [13].

Особенности вертикального изменения в 1000-метровом слое температуры воздуха при наибольших за пять лет скоростях ветра на разных высотах этого слоя были нами рассмотрены по данным измерений на аэрологической станции Смоленск.

Значения температуры воздуха на высотах километрового слоя атмосферы при расчетных скоростях ветра были получены путем графической экстраполяции кривых зависимостей температуры воздуха от скорости в сторону возрастания последней. Оказалось, что при очень сильных ветрах в километровом слое атмосферы преобладают температуры, близкие к 0°C или несколько ниже. Диапазон изменчивости средних значений температуры воздуха при максимальных скоростях составляет от $+2$ до -12°C . Эти значения существенно ниже того, которое принято в СНиП [12, 13] для расчета скоростного напора ветра в кг/м^3

$$q = \frac{1}{16} u^2. \quad (5)$$

Значение численного коэффициента в уравнении (5) получено при условии, что температура воздуха 15°C , а атмосферное давление 760 мм рт. ст.

Расчеты скоростного напора ветра в 1000-метровом слое атмосферы, учитывающие реальное распределение температуры (t) и давления (p) по высоте, производились нами по формуле, приведенной в работе Г. А. Савицкого [10]:

$$q(z) = \frac{1}{16} u^2 \frac{p}{1013} \cdot \frac{273 + 15}{273 + t}. \quad (6)$$

Осредненные по всему 1000-метровому слою атмосферы значения ветрового напора, вычисленные с учетом реального профиля температуры и давления по формуле (6), оказались лишь немногим меньшими, чем без их учета. Поправка к ветровому напору, учитывающая реальное распределение плотности воздуха по высоте, в среднем для 1000-метрового слоя составляет около 5% от значения ветрового напора. Эта величина эквивалентна занижению средней по 1000-метровому слою скорости ветра примерно на 0,5 м/с, т. е. находится в пределах погрешности ее определения.

Полученные оценки могут, очевидно, считаться показательными для климатических условий средней полосы Европейской территории СССР. Для пунктов же, находящихся в существенно иных климатических условиях, эта поправка может принимать другие значения. Например, в южных районах, где температура воздуха в среднем выше, следует ожидать более заметного снижения ветрового напора по сравнению с рассчитанным без учета реального распределения по высоте плотности воздуха.

Результаты, изложенные в разделах III и IV настоящей статьи, дают основание для рекомендации рассчитывать ветровой напор на 1000-метровое сооружение принципиально иначе, нежели это рекомендуется по СНиП [12, 13] или по огибающей максимумов скорости [7].

Именно, ветровой напор правильнее вычислять по наиболее неблагоприятному профилю ветра, который имеет место, когда наибольшая за 5 лет скорость ветра отмечается в верхней половине километрового слоя. В таком случае реальные значения напора ветра на 1000-метровую опору в среднем в 1,4—2,0 раза меньше, чем вычисленные по огибающей максимумов или по СНиП, т. е. на основе степенного (или логарифмического) распределения ветра с высотой при наибольшей за 5 лет скорости у земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барштейн М. Ф. Современное состояние вопроса о воздействии ветра на высокие сооружения.— «Труды ИЭМ», 1972, вып. 27, с. 2—12.
2. Беспрозванная И. М., Соколов А. Г., Фомин Г. М. Воздействие ветра на высокие сплошно-стенчатые сооружения, М., Стройиздат, 1976. 182 с.
3. Борисенко М. М. Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы.— «Труды ГГО», 1974, вып. 320. 205 с.
4. Борисенко М. М. Распределение ветра в нижнем 200-метровом слое атмосферы над городом.— «Труды ГГО», 1977, вып. 368. 151 с.
5. Борисенко М. М. Расчет вертикальных профилей ветра при больших скоростях. Информ. письмо ГУГМС № 17. М., Гидрометеиздат, 1968, с. 34—47.
6. Долгушин И. П. О связи между осредненной скоростью и отдельными порывами ветра.— «Сб. работ Горьковской и Волжской ГМО», 1968, вып. 5, с. 34—38.
7. Заварина М. В. Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1971. 163 с.
8. Любошинская В. К. К вопросу об учете сдвига ветра в пограничном слое атмосферы.— «Труды ЦВ ГМО», 1975, вып. 6, с. 57—64.

9. Никитин Н. В., Травуш В. И. Ветровые нагрузки в Москве.— «Строительная механика и расчет сооружений», 1973, № 3, с. 51—52.

10. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. М., Стройиздат, 1972. 110 с.

11. Соколов А. Г., Гусев М. И. О динамическом воздействии ветра на высотные сооружения.— «Труды ЦВ ГМО», 1975, вып. 6, с. 45—50.

12. Строительные нормы и правила. II-6—74. Нагрузки и воздействия, М., Стройиздат, 1976. 29 с.

13. Строительные нормы и правила. II-A. 11—62. Нагрузки и воздействия. М., Госстройиздат, 1962. 24 с.

14. Davenport A. G. Gust loading factors.— „J. Struct. div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.” June 1967, vol. 93, N ST. 3, p. 11—34.

15. Davis F. K., Newstein H. The variation of Gust Factors with Mean Wind Speed and with Height.— „J. Appl. Met.”, June 1968, vol. 7, N 3, p. 372—376.

16. Monahan H. H., Armendariz M. Gust factor variations with Height and Atmospheric Stability.— „J. Geophys. Res.”, 1971, vol. 76, N 24, p. 5807—5818.

17. Vellozzi J., Cohen E. Gust response factors.— „J. Struct. div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.”, June 1968, ST. 6, p. 1295—1313.

18. Wieringa J. Gust factors over open water and build-up country.— „Boundary—Layer Meteorol.”, 1973, vol. 3, N 4, p. 421—444.

Б. М. Беленький

**О СНЕГОВЫХ НАГРУЗКАХ В РАЙОНЕ ОБЪЕКТОВ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «АПАТИТ»
им. С. М. КИРОВА**

При проектировании зданий и сооружений в обязательном порядке учитываются нагрузки, которые подразделяются на постоянные и временные. Последние бывают длительные, кратковременные и особые. Снеговые нагрузки относятся к кратковременным [12].

Карта районирования территории СССР по весу снежного покрова [12] выделяет в Мурманской области три района: IV, охватывающий побережье и прилегающие к нему местности, где вес снежного покрова P_0 на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли равен 150 кг ; V, занимающий центр полуострова, где вес равен 200 кг/м^2 , и горный район.

Отметим, что на карте районирования территории СССР по весу снежного покрова (кг/м^2) возможному один раз в 5 лет, опубликованной в статье [4], Кольский полуостров отнесен целиком к IV району с нагрузкой 150 кг/м^2 .

Горные районы Кольского полуострова, и в частности Хибин, характеризуются тем, что там как количество осадков, в том числе твердых, так и плотность снежного покрова значительно отличается от наблюдаемых в равнинных районах. Так, если на Кольском полуострове выпадает в среднем за год $500\text{—}600 \text{ мм}$ осадков [10], то в долинах Хибин осадки возрастают до 1000 мм , а на платообразных вершинах — до 1650 мм . Из этого количества в виде твердых осадков выпадает на равнине в среднем $44\text{—}55\%$, или $200\text{—}300 \text{ мм}$, а в Хибинах $57\text{—}70\%$, или $600\text{—}1200 \text{ мм}$. Если средняя плотность при наибольшей декадной высоте снежного покрова колеблется в равнинных районах области в пределах от $0,19$ до $0,26 \text{ г/см}^3$ [10], то в Хибинах она имеет значения от $0,31$ до $0,37 \text{ г/см}^3$.

Хотя настоящая статья имеет ограниченную цель — дать снеговые нагрузки для объектов объединения «Апатит», расположенных в различных высотных зонах, но, по всей вероятности, эти последние могут быть распространены и на другие горные районы Коль-

ского полуострова, поскольку стационарных наблюдений там нет, а экспедиционные близки к полученным в Хибинах [3].

До 1962 г., когда был введен СНиП [11], для районов Азиатского Крайнего Севера и Дальнего Востока вес снежного покрова принимался численно равным $2H$, где H — средняя из наибольших высот покрова [6].

Согласно [12], нормативная снеговая нагрузка на 1 м^2 площади горизонтальной проекции покрытия P_H определяется по формуле

$$P_H = P_0 c, \quad (1)$$

где P_0 — вес снежного покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли; c — коэффициент перехода от веса снежного покрова земли к снежной нагрузке на покрытие.

Таблица 1

Снеговые нагрузки ($\text{кг}/\text{м}^2$)

Наименование карьеров и объектов	H м над ур. м.	Период, годы	Число лет	Средняя максимальная декадная высота, см	Средняя плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Запас воды в снеге, $\text{кг}/\text{м}^2$
АНОФ-2 [10]	160	—	—	—	—	200
Ст. Кировск	211	1964—1976	12	96	0,30	288
Саамский карьер (Саамская долина)	360	1930, 1931, 1933, 1950—1962	16	133	0,31	412
Карьер Юкспорского рудника (плато Юкспор)	910	1950—1976	27	155	0,37	574
Карьер Центрального рудника (плато Расвумчорр)	1090	1962—1976	15	154	0,37	570

Примечания: 1. АНОФ-2 — апатито-нефелиновая обогатительная фабрика № 2; 2. В районе Кировска намечается строительство АНОФ-3.

Вес снежного покрова в горных районах рассчитывается как среднее из максимальных ежегодных запасов воды в снежном покрове. При этом ряд наблюдений должен быть не менее 10 лет [12].

Данные по снеговым нагрузкам и другие данные, необходимые для их вычисления, приведены в табл. 1. К сожалению по Саамскому (наблюдения с 1930 по 1962 г.) и Юкспорскому (с 1936 г.) карьерам за ряд лет сведений по плотности снежного покрова нет, поэтому к обработке приняты неполные ряды лет.

На рис. 1 проиллюстрирована зависимость запаса воды в снеге, соответствующего снеговой нагрузке в $\text{кг}/\text{м}^2$, от высоты над уровнем моря. График построен по данным многолетних максимальных декадных высот снежного покрова при средней плотности снега для высот от 160 до 1090 м.

Для плоских с уклонами до 12% и сводчатых покрытий одно- и многопролетных зданий без фонарей, проектируемых в районах, где за три наиболее холодных месяца средняя скорость ветра $v > 2$ м/с, значения коэффициента c в формуле (1) могут быть согласно [12] снижены на величину $k=1,2-0,1 v$.

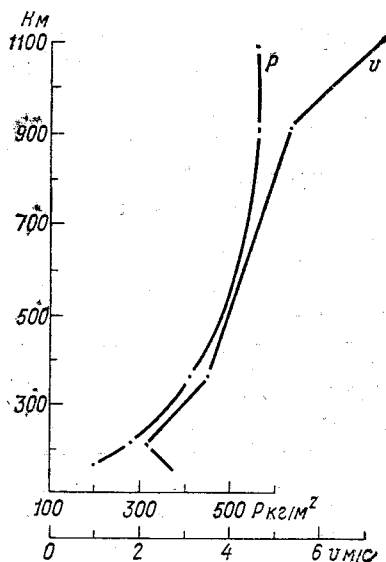


Рис. 1. Запас воды в снеге (P) и средняя скорость ветра (v) за три самых холодных месяца года в функции высоты над уровнем моря.

В табл. 2 приведены значения температуры воздуха и скорости ветра для рассматриваемых пунктов. Как видно, указанное выше условие применимо ко всем объектам объединения.

Из рис. 1 видно, что при скоростях ветра, наблюдаемых на платообразных вершинах Хибин, снеговые нагрузки там могут быть снижены на 30—50%, в то же время это снижение в долинах может составить только 10—20% или же вообще отсутствовать. Для покрытий с уклонами от 12 до 20% одно- и многопролетных зданий без фонарей снижение коэффициентов c на 15% может производиться в Хибинах с абсолютной отметки не ниже 500 м.

Однако следует обратить внимание на то, что метеорологические площадки для карьеров Юкспорского и Центрального рудников находятся на открытом, ничем не защищенном месте и максимальный водозапас для них бе-

рется с учетом дефляционной деятельности ветра. Поэтому данные для площадок близки к тем, которые могли бы быть получены на кровлях, и, по всей вероятности, не нуждаются ни в каких поправках (или же эти поправки меньше тех, которые предусматриваются [12]). Конечно, следует учитывать то, что снегосборный бассейн метеорологических площадок по размерам не идет в сравнение со снегосборным бассейном кровель.

Заметим, что нагрузки на плато Юкспор, рассчитанные за сравнимый с плато Расвумчорр период, несколько выше (630 кг/м²). Это, очевидно, следствие больших скоростей ветра на плато Расвумчорр, из-за которых происходит сильная дефляция снежного покрова. При плотности снежного покрова, одинаковой с плато Расвумчорр, средняя максимальная высота снега на Юкспоре составила 167 см. Аналогичное положение наблюдается и со снежностью [7], которая за 1962—1971 гг. на Юкспоре оказалась более высокой, чем на Расвумчорре.

Таблица 2

Средняя температура и скорость ветра за самые холодные месяцы

Наименование карьеров и объектов	Месяц	Температура, °С	Скорость ветра, м/с
АНОФ-2 [8,9]	XII	—10,6	2,8
	I	—13,2	2,7
	II	—13,3	2,6
Ст. Кировск	XII	—10,5	2,0
	I	—14,9	2,1
	II	—15,3	2,1
Саамский	XII	—9,6	3,6
	I	—11,3	3,5
	II	—11,6	3,5
Юкспорский	XII	—11,6	5,4
	I	—12,1	5,5
	II	—12,8	5,4
Центральный	XII	—12,7	7,1
	I	—13,4	7,5
	II	—14,7	7,3

Особенности снегонакопления на платообразной вершине горы Юкспор четко видны из табл. 3.

Эта таблица составлена на основании сопоставления нарастающего количества выпадающих твердых осадков и запаса воды в снеге.

Из рассмотренных одиннадцати зим с Расвумчорра всегда происходил снос, который в отдельные зимы в десятки раз превышал таковой на Юкспоре. На последнем же в иные зимы сноса вообще не наблюдалось, более того происходила аккумуляция. В среднем же за рассматриваемый период с Расвумчорра было снесено 42%, а с Юкспора — немногим более 3% снега.

В работе [4] отмечается, что в долинах Камчатки максимальный вес снежного покрова достигал 350 кг/м², в Петропавловске-Камчатском — 530 кг/м², в Начиках — 790 кг/м². Последнее позволило выделить на Камчатке дополнительные районы.

Таблица 3

Дефляция (—)
и аккумуляция (+)
снежного покрова
на платообразных
вершинах Хибин (%)

Зима, год	Гора Расвумчорр	Гора Юкспор
1962-63	—64	—32
1963-64	—58	—24
1964-65	—32	+1
1965-66	—24	—11
1966-67	—20	—21
1967-68	—38	+14
1968-69	—63	—9
1969-70	—17	+49
1970-71	—45	—10
1971-72	—59	—28
1972-73	—41	+33

Отметим, что в Саамской долине во второй декаде апреля 1953 г. вес снежного покрова составлял 608 кг/м^2 ($H=152 \text{ см}$, $\rho=0,40 \text{ г/см}^3$). Всего за период наблюдений было замерено 22 случая с весом, равным или превышающим 500 кг/м^2 .

В районе карьера Юкспорского рудника в третьей декаде мая 1952 г. вес снежного покрова составил 911 кг/м^2 ($H=198 \text{ см}$, $\rho=0,46 \text{ г/см}^3$). Вес, равный или превышающий 700 кг/м^2 , зафиксирован в 39 случаях.

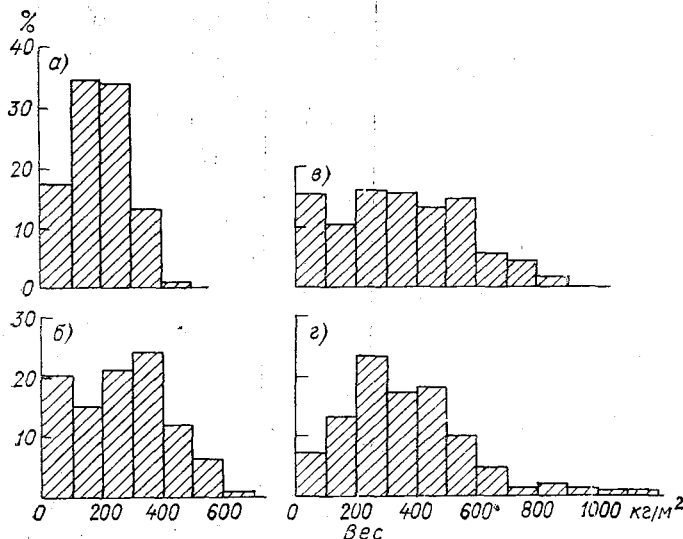


Рис. 2. Гистограммы распределения весов снежного покрова в районах ст. Кировск (а), Саамского карьера (б), карьеров Юкспорского (в) и Центрального (г) рудников.

В районе карьера Центрального рудника во второй декаде мая 1967 г. вес снежного покрова равнялся 1147 кг/м^2 ($H=273 \text{ см}$, $\rho=0,42 \text{ г/см}^3$). В 12 случаях вес был равен или превышал 800 кг/м^2 .

В районе ст. Кировск вес снежного покрова семь раз превысил 375 кг/м^2 , достигнув максимума — 408 кг/м^2 — в шестой пентаде марта 1976 г. В 71% всех случаев такое превышение отмечалось в марте.

Из рис. 2 а видно, что в районе ст. Кировск наиболее часто (в 69% всех случаев) наблюдаются нагрузки в пределах 100—299 кг/м^2 . Обеспеченность нагрузок до 300 кг/м^2 составляет 86%. Нагрузки свыше 400 кг/м^2 редки.

В районе Саамского карьера (рис. 2 б) наиболее часты нагрузки от 200 до 399 кг/м^2 (46%). До 400 кг/м^2 нагрузки обеспечены на 81%. Свыше 600 кг/м^2 нагрузки встречаются редко.

Для карьера Юкспорского рудника (рис. 2 в) наиболее характерные нагрузки лежат в пределах от 200 до 599 кг/м² (их вероятность 61%). Обеспеченность нагрузок до 600 кг/м² составляет 88%. Нагрузки свыше 900 кг/м² наблюдаются редко.

Для карьера Центрального рудника (рис. 2 г) наиболее часто (62%) встречаются нагрузки в пределах от 100 до 499 кг/м². До 600 кг/м² нагрузки обеспечены на 89%. Нагрузки свыше 1000 кг/м² редки.

Таким образом, спектр нагрузок увеличивается с ростом абсолютных отметок примерно в 2 раза, что связано с большим разнообразием погодных условий в верхней части Хибин по сравнению с нижней. Обеспеченность нагрузок до 600 кг/м² уменьшается от 100% на ст. Кировск до 90% в районе карьера Центрального рудника.

В [4, 5] рекомендуется расчеты снеговых нагрузок производить не по средним из годовых максимумов веса снежного покрова, а по его вероятностным значениям.

Нами для указанных пунктов было произведено спрямление интегральных кривых распределения вида

$$F(x) = e^{-(x/\beta)^{\gamma}}, \quad (2)$$

т. е. кривых, подчиняющихся двухпараметрическому закону [1].

При расчетах было использовано 345 случаев веса снежного покрова на карьере Центрального рудника, 592 — Юкспорского, 319 — на Саамском карьере и 267 случаев на ст. Кировск. Снеговые нагрузки, превышаемые один раз в 5 лет ($p=20\%$) приведены в табл. 4.

Сравнивая эти нагрузки с нагрузками, указанными в табл. 1, видно, что расчеты по [4] ниже на 4—9% полученных по [12] (без учета понижающего коэффициента на ветер).

Таблица 4
Снеговые нагрузки, возможные один раз в 5 лет

Пункт наблюдения	Нагрузка
Ст. Кировск	269
Саамский карьер	389
Карьер Юкспорского рудника	525
Карьер Центрального рудника	550

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Режим больших скоростей ветра на территории СССР для учета ветровых нагрузок на сооружения. — В кн.: Вопросы прикладной климатологии, Л., Гидрометеиздат, 1960, с. 38—51.
2. Бельский В. М., Иванова Л. Я., Нечаев Н. Ф., Ржевский Б. Н., Талалаев С. М. Количественная характеристика метелей в Хибинах по многолетним инструментальным наблюдениям. Мат-лы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. Вып. 23. М., Январь 1974, с. 141—146.
3. Дементьев А. А. Снежный покров в горных районах Кольского полуострова. — «Природа и хозяйство Севера». Апатиты, 1971, с. 104—109.
4. Заварина М. В., Липовская В. И. Районирование территории СССР по снеговой нагрузке на горизонтальную поверхность. — «Метеорология и гидрология», 1973, № 9, с. 69—73.

5. Заварина М. В. Строительная климатология. Л., Гидрометеониздат 1976. 312 с.
6. Ключкин Н. К. Некоторые вопросы прикладной метеорологии Северо-Востока СССР.— В кн.: Вопросы прикладной метеорологии. Л., Гидрометеониздат 1960, с. 22—30.
7. Ржевский Б. Н. Генетические особенности и колебания снежности горных плато Хибин.— В кн.: Вопросы геофизики, гляциологии и географии снежного покрова. Апатиты, 1972, с. 15—17.
8. Справочник по климату СССР. Вып. 2. Ч. 2. Л., Гидрометеониздат, 1955. 144 с.
9. Справочник по климату СССР. Вып. 2. Ч. 3. Л., Гидрометеониздат, 1966. 120 с.
10. Справочник по климату СССР. Вып. 2. Ч. 4. Л., Гидрометеониздат, 1968. 174 с.
11. Строительные нормы и правила. II-A.11—62. Нагрузки и воздействия. М., Госстройиздат, 1962. 24 с.
12. Строительные нормы и правила. II-6—74. Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1976. 29 с.

К. Ш. Хайруллин

ОСВЕЩЕННОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Данные по естественной освещенности широко используются при проектировании оконных проемов жилых и производственных зданий, а также для планирования расхода энергии по искусственному освещению улиц и зданий [2, 4, 9].

В настоящее время как в СССР, так и за рубежом отсутствуют сведения по естественной освещенности больших территорий, подобно суммарной, прямой и рассеянной радиации, регулярно измеряемой на метеорологических станциях стандартными приборами по единой методике. В СССР регулярные наблюдения над освещенностью велись лишь в Павловске, что позволило сопоставить ее с солнечной радиацией и разработать методику пересчета актиметрической информации в единицу освещенности путем умножения на эквивалент, практически мало меняющийся при высотах солнца более 5° [5]. Надежные способы получения освещенности при малых высотах солнца и в сумеречное время отсутствуют, и работы в этом направлении в Гидрометеорологической службе практически не ведутся.

Еще более сложный вопрос — освещенность вертикальных и наклонных поверхностей, которая зависит от ориентации стен, яркости различных частей небосвода, типа облачности и альбедо подстилающей поверхности. Пересчет горизонтальной радиации на вертикальные поверхности, с последующим переводом актиметрических единиц в освещенность, лишь увеличит ошибку расчета по сравнению с непосредственным пересчетом горизонтальной суммарной радиации в вертикальную освещенность, с учетом свойств отражающей поверхности и типа облачности (в основном нижнего яруса).

По данным натурных наблюдений даже в летний период, когда отраженная радиация не вносит значительных коррективов в значения суммарной радиации, расхождения наблюдаемых и рассчитанных сумм (особенно неинсолируемых стен) велики и достигают 70—80% [3].

Автором был поставлен эксперимент в Норильске, позволивший получить фактические суммы радиации, поступающей на стены разной ориентации, а также количество радиации «проваливающейся» через реальное остекление [11]. В среднем за год через реальное окно проходит всего 50% суммарной радиации (пример таких результатов приведен в табл. 1). Такое же явление будет наблюдаться и с освещенностью, т. е. из рассчитанной освещенности стен разной ориентации лишь 50% будет проходить в помещение через окно.

Таблица 1

Суммарная радиация (кал/(см²·мин)), приходящая на различно ориентированные поверхности и проходящая через остекление зданий в г. Норильске (10 июня — 10 августа)

Ориентация поверхности	Расположение пиранометра	Срок наблюдений ч, мин								Сумма за сутки, кал
		0 30	3 30	6 30	9 30	12 30	15 30	18 30	21 30	
Горизонтальная	Город	0,05	0,12	0,38	0,84	1,05	0,43	0,04	0,01	546
ЮЮЗ, вертикальная	На стене	0,10	0,53	0,83	0,88	0,28	0,10	0,05	0,04	570
ВСВ, вертикальная	За стеклом	0,01	0,32	0,44	0,06	0,03	0,02	0,01	—	191
	На стене	0,08	0,49	0,65	0,30	0,06	0,04	0,02	0,01	354
Отношение, %		13	65	67	20	50	50	50	—	54
ЗЮЗ, вертикальная	За стеклом	0,04	0,06	0,07	0,07	0,21	0,43	0,21	0,03	230
	На стене	0,06	0,08	0,11	0,12	0,38	0,54	0,33	0,04	312
Отношение, %		66	75	64	58	56	75	62	75	70

Режим освещенности горизонтальной поверхности, полученный по данным сети актинометрических станций СССР, подробно рассмотрен в монографии коллектива авторов [5], где сведения об освещенности получены путем умножения суммарной радиации на световой эквивалент $k=65$ клк·кал⁻¹·см²·мин. При $h_{\odot}=10^{\circ}$ $k=62$ клк·кал⁻¹·см²·мин, а при $h_{\odot}=75^{\circ}$ $k=72$ клк·кал⁻¹·см²·мин. При пасмурной погоде $k=72$ клк·кал⁻¹·см²·мин. При расчете учтены в какой-то мере и свойства подстилающей поверхности. По данным расчета составлен атлас карт освещенности по месяцам и срокам для территории СССР. Ценный ряд наблюдений над вертикальной освещенностью и методические проработки осуществлены в обсерватории МГУ [1, 7]. Эти сведения, а также эпизодические наблюдения в ГГО [10, 11] над соотношением горизонтальной суммарной радиации и вертикальной освещенностью, осуществленные при различных альbedo подстилающей поверхности и состояниях облачности нижнего яруса, позволили получить эмпири-

ческие расчетные формулы [10], пригодные для получения средних месячных значений освещенности стен разной ориентации.

В формуле пересчета $E = Qk$, где E — суммарная освещенность в клк; Q — суммарная радиация в кал/(см²·мин); k — переводной эквивалент в клк·кал⁻¹·см²·мин. Коэффициенты k найдены для различных значений A (альbedo в процентах) и нижней облачности ($N=0 \div 2$ — ясно (Я), $N=3 \div 7$ — полужасно (ПЯ); $N=8 \div 10$ — пасмурно (П)). Для стен, не инсолируемых прямой солнечной радиацией, значения k следующие:

$$k'_я = 2,5 \pm 0,19A; \quad k'_{пя} = 5,5 \pm 0,17A; \quad k'_п = 8 \pm 0,15A;$$

для инсолируемых стен

$$k_я = 46 \pm 0,85A; \quad k_{пя} = 24 \pm 0,50A; \quad k_п = 12 \pm 0,15A.$$

Обращает на себя внимание обратный ход эквивалента для неосвещенных стен по сравнению с освещенными, когда в пасмурную погоду эквивалент освещенности больше, чем в ясную, за счет большего отражения от облачного покрова. В то же самое время сумма освещенности в ясную погоду больше за счет больших сумм суммарной радиации [1].

Так как экспериментальные наблюдения проводились в реальных городских условиях, то в формулах косвенным образом уже учтена закрытость горизонта, влияющая на приход всех видов радиации. По разработанной методике была подсчитана освещенность стен основных ориентаций (С, В, З, Ю) в период дневного максимума, примерно совпадающего с актинометрическими сроками для большинства актинометрических станций СССР, а по этим данным построены карты средней месячной освещенности стен основных ориентаций. В дальнейшем при описании климатов больших городов будут подсчитаны средние суточные и месячные суммы вертикальной освещенности.

Пример составленных карт освещенности для актинометрических сроков в апреле представлен на рис. 1 и 2. Горные районы на них выделены штриховкой. Значения освещенности (в срок примерного максимума) стен южной и восточной ориентации для одних и тех же районов примерно совпадают, достигая 45—50 клк на северо-востоке Азиатской территории СССР и 30—40 клк на юге СССР.

На Европейской территории СССР освещенность в эти сроки колеблется в пределах 15—20 клк, что связано с меньшим числом ясных дней и отсутствием снежного покрова на большей части ЕТС. Освещенность стен западной ориентации в 15 ч 30 мин меньше, чем восточной в 9 ч 30 мин, что связано в основном с суточным ходом облачности и уменьшением прозрачности атмосферы во второй половине дня, особенно вблизи промышленных центров. Освещенность стен северной ориентации также рассчитана для 12 ч 30 мин, хотя максимальные суммы для конкретного месяца будут при восходе и заходе солнца. Строго говоря, для зимних месяцев

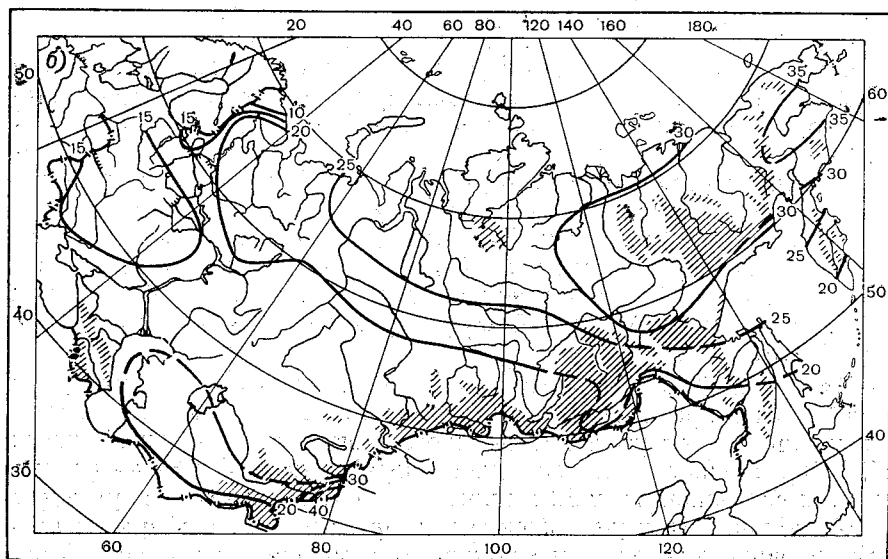
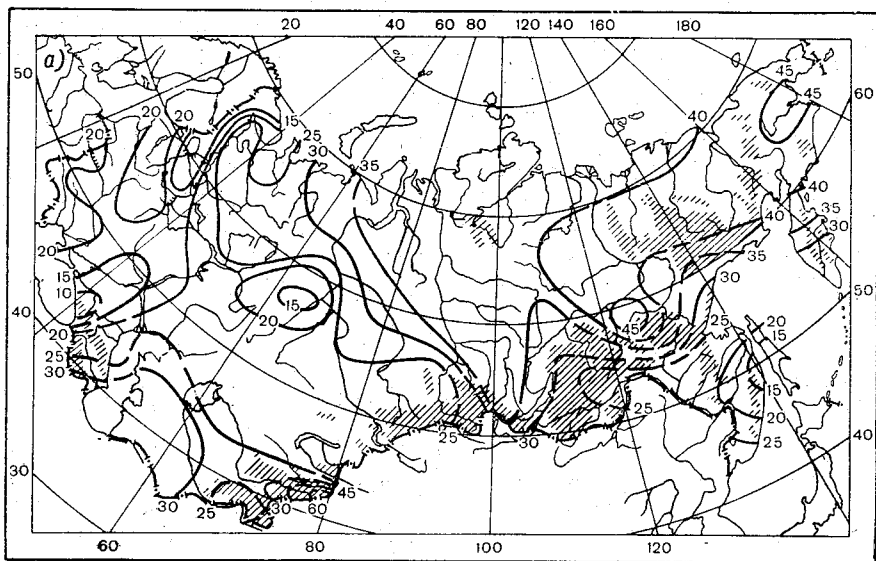


Рис. 1. Средняя освещенность (клк) стен восточной (а) в 9 ч 30 мин и западной (б) в 15 ч 30 мин ориентаций. Апрель.

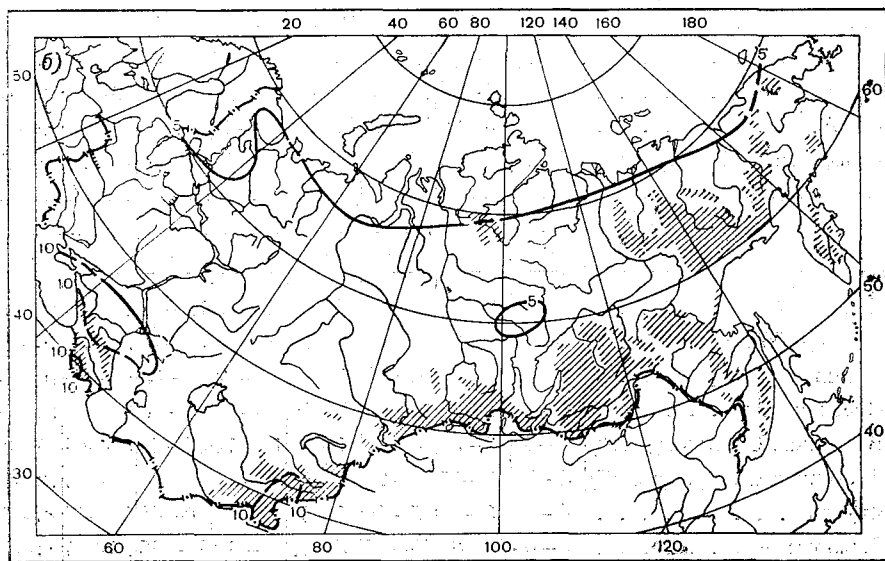
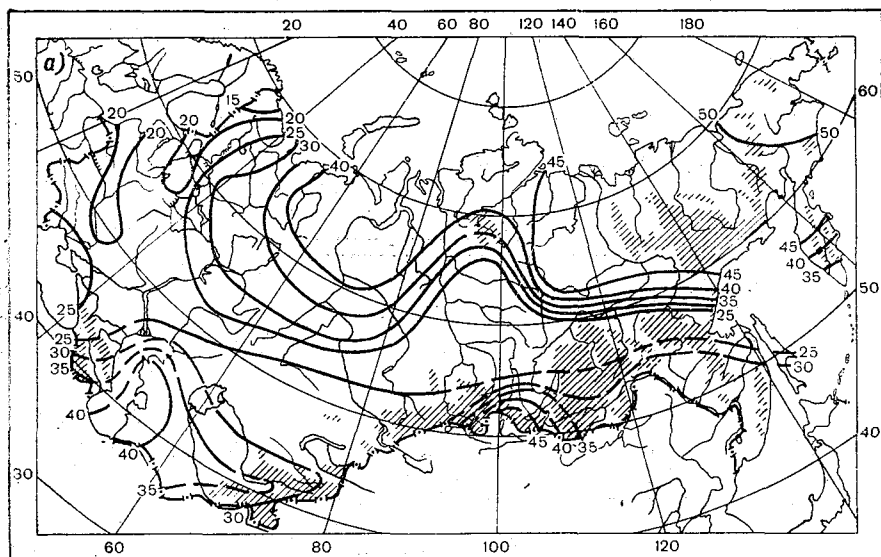


Рис. 2. Средняя освещенность (клк) стен южной (а) в 12 ч 30 мин и северной (б) в 12 ч 30 мин ориентаций. Апрель.

срок 12 ч 30 мин для северной стены является оптимальным, а для переходных и летних освещенность нужно рассчитывать в периоды восхода и захода солнца, однако для единообразия, ввиду отсутствия в эти периоды наблюдений на всей сети станций, а также ввиду влияния городской застройки на освещенность при низких стояниях солнца, срок 12 ч 30 мин для северной стены был признан наиболее оптимальным. В этот срок диффузная радиация максимальная и ее вклад в освещение северной стены наибольший.

По построенным картам были выделены районы (совпадающие с крупными физико-географическими) и для них составлена сводная таблица освещенности для месяцев-представителей основных сезонов, удобная для практического использования (табл. 2).

Таблица 2

Освещенность (клк) вертикальных поверхностей в различных районах СССР (φ — широта места)

Район	Июль				Январь			
	С	В	Ю	З	С	В	Ю	З
ЕТС ($\varphi > 50^\circ$)	6—8	10—25	20—25	18—20	0—3	0—3	0—4	0—1
ЕТС ($\varphi < 50^\circ$)	8—12	30—35	30—40	20—25	4—5	3—10	5—10	2—5
Западная Сибирь	7—9	20—25	25—30	15—20	0—5	0—7	0—15	0—5
Средняя Азия	8—10	30—55	35—70	22—60	6—8	8—13	15—20	5—15
Восточная Сибирь ($\varphi > 60^\circ$)	6—7	21—24	25—30	10—15	0—3	0—1	0—7	0—1
Восточная Сибирь ($\varphi < 60^\circ$)	7—9	22—25	25—30	15—20	4—6	2—10	8—20	2—5
Якутия	6—7	15—25	22—28	15—20	0—3	0—3	0—5	0—1
Забайкалье	8—9	24—25	15—25	15—20	4—7	5—12	10—20	2—6
СВ АТС	6—8	10—20	12—20	10—15	0—2	0—5	0—5	0—1
Приморье и Приамурье	8—10	10—20	15—25	10—15	5—8	10—15	15—25	4—7

Район	Октябрь				Апрель			
	С	В	Ю	З	С	В	Ю	З
ЕТС ($\varphi > 50^\circ$)	2—4	2—8	3—10	2—5	6—10	15—20	15—40	15—22
ЕТС ($\varphi < 50^\circ$)	4—6	10—20	15—25	6—10	6—8	10—20	25—35	15—18
Западная Сибирь	3—5	3—8	4—10	1—6	8—12	20—35	30—40	15—25
Средняя Азия	7—8	10—25	15—35	7—15	8—10	25—30	30—35	18—20
Восточная Сибирь ($\varphi > 60^\circ$)	2—4	3—5	4—7	1—2	10—12	35—40	30—45	25—30
Восточная Сибирь ($\varphi < 60^\circ$)	4—5	10—15	10—20	2—5	8—10	25—35	25—30	18—22
Якутия	4—5	3—6	5—10	1—5	12—14	40—45	30—45	28—30
Забайкалье	5—6	10—20	15—25	5—10	8—10	25—35	25—35	20—25
СВ АТС	4	3—5	10—15	4—5	13—15	40—45	45—50	30—35
Приморье и Приамурье	6	10—15	15—20	8—10	8—10	15—25	25—30	20—25

Полученные данные согласуются с расчетами по приходу суммарной радиации на стены, выполненными в работе [8].

Таким образом, на сегодняшний день имеются для всей территории СССР сведения о радиационном и световом режиме как горизонтальной, так и вертикальных поверхностей [3, 5, 6, 8, 11]. Этих фоновых сведений достаточно для оценки естественных энергетических запасов солнечной радиации. Однако этой информации недостаточно для решения следующих задач, связанных с использованием солнечной радиации в практических целях:

- 1) естественное освещение жилищ с учетом плотности и этажности застройки;
- 2) сумеречная освещенность (в целях экономии электроэнергии);
- 3) учет расхода электроэнергии на освещение в дневное время в пасмурные дни или при низком стоянии солнца (в северных районах).

Для решения первой задачи (условия инсоляции в реальной городской застройке) необходимо проведение специальных натурных наблюдений в городах, заключающихся в измерении хотя бы суммарной радиации (освещенности) стен разной ориентации и количества радиации, проходящей через реальное остекление. Подобный эксперимент для разных сезонов был проведен в г. Норильске. Пример полученных результатов представлен в табл. 1.

Для решения *второй* задачи (сумеречная освещенность) необходимо создание чувствительных приемников и также постановка регулярных наблюдений в пунктах с различными климатическими условиями (особенно это относится к режиму облачности).

Для решения *третьей* задачи (прогноз расхода электроэнергии на освещение) необходима совместная работа метеорологов и энергетиков. В первом приближении эта задача разрешима при существующем состоянии актинометрической сети, когда можно сопоставлять суточный ход суммарной радиации с расходом электроэнергии и давать прогноз освещенности на 1—2 дня в основном по облачности, с использованием современных средств, в частности метеорологических локаторов, позволяющих давать количество, тип и плотность облаков. На станциях необходимо производить наблюдения над суммарной радиацией не только горизонтальной, но и вертикальных поверхностей основных ориентаций, можно С, В и Ю, так как радиационный режим западной ориентации близок к восточной.

В основу прогноза радиации (освещенности) на следующие и последующие сутки должен быть положен прогноз нижней облачности по трем градациям: ясно, полуюсно, пасмурно.

Учитывая, что планирование расхода электроэнергии на освещение идет по прошедшему дню, такой прогноз должен дать определенную экономическую эффективность. В основу методики должен быть положен попеременный учет и неучет прогностических данных естественной освещенности в городе, при планировании затрат электроэнергии и в дальнейшем — сравнение экономического

эффекта в зависимости от прогноза и реальных радиационных условий (табл. 3).

После получения подобных сведений проводится анализ условий естественной освещенности и затрат на искусственное освещение в зависимости от типов погоды.

Таблица 3

Расход электроэнергии в зависимости от типа погоды

Тип погоды	Затраты электро- энергии		Число случаев (дни)		Разность	ΣE сум- марная за неделю
	с учетом прогноза	без учета прогноза	<i>a</i>	<i>b</i>		
Ясно	<i>A</i>	<i>A'</i>	2	3	$A/a - A'/b$	D^1
Полужасно	<i>B</i>	<i>B'</i>	5	4	$B/a - B'/b$	D^2
Пасмурно	<i>C</i>	<i>C'</i>	10	7	$C/a - C'$	D^3

На основании проделанной работы можно сделать следующие основные выводы:

1. Естественная освещенность вертикальных поверхностей разных ориентаций сильно отличается от освещенности горизонтальной поверхности вследствие анизотропности диффузной (отраженной и рассеянной) радиации.

2. Разработанная методика позволяет по имеющимся климатическим данным (суммарная радиация, альbedo, облачность) рассчитывать средние условия освещенности стен разной ориентации.

3. Данные стандартных актинометрических наблюдений позволяют выявить вклад условий освещенности в расход электроэнергии в городах, однако для правильного учета освещенности в прогнозистических целях необходима постановка специальных наблюдений над освещенностью в условиях реальной застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумова Г. М., Гараджа М. П., Евневич Т. Е., Незваль Е. И., Никольская Н. П. Исследование радиационного режима городов. Информ. письмо ГУГМС № 20. М., Гидрометеиздат, 1976, с. 50—60.
2. Аверкиев М. С. Метеорология. Ч. 2. Световые и электрические явления в атмосфере. МГУ, 1960, с. 7—48.
3. Адаменко В. Н., Хайруллин К. Ш. Инсоляция стен по наблюдениям в Ленинграде.— «Труды ГГО», 1973, вып. 306, с. 19—25.
4. Бартенева О. Д., Довгялло Е. Н., Полякова Е. А. Экспериментальные исследования оптических свойств приземного слоя атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1967. 244 с.
5. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
6. Берлянд Т. Г. Распределение солнечной радиации на континентах. Л., Гидрометеиздат, 1961. 228 с.

7. Климат Москвы. Под ред. А. А. Дмитриева, Н. П. Бессонова. Л., Гидрометеиздат, 1969, с. 128—234.

8. Пивоварова З. И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства.— «Труды ГГО», 1973, вып. 321, 128 с.

9. Труды II Всесоюзной конференции по световому климату. М., Госстройиздат, 1961. 96 с.

10. Хайруллин К. Ш. Влияние городской застройки на трансформацию солнечной радиации и освещенности. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду Прибалтики. Вильнюс, 1976, с. 24—26.

11. Хайруллин К. Ш. Экспериментальные исследования инсоляции зданий в Норильске.— «Труды ГГО», 1976, вып. 351, с. 160—165.

Э. Х. Аминов

УЧЕТ УВЛАЖНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В г. ТАШКЕНТЕ

В современных зданиях, имеющих многослойные теплозвукоизоляционные прокладки стен, при их многократном увлажнении ухудшается структура отделочного слоя на фасадах зданий, ускоряется коррозия стальной арматуры внутри стен.

Для характеристики увлажнения стен зданий дождями разработаны различные климатические показатели, с помощью которых оцениваются совместные действия дождя и ветра. Первой попыткой решения данной задачи были работы английских исследователей Р. Е. Лаци и Х. С. Шеларда [6]. Для целей учета климатологических условий в строительном проектировании на территории Англии они предложили некий условный «индекс косых дождей» — произведение годового количества осадков $\bar{X}$ на среднюю годовую скорость ветра $\bar{u}$, деленное на 1000

$$X_v = \bar{X}\bar{u}/1000. \quad (1)$$

Несмотря на условность этого критерия (авторы не разъясняют физический смысл этого индекса) с помощью его можно произвести сравнительную оценку различных районов в отношении смачивания стен косыми дождями. Такая оценка выполнена в большинстве стран Европы, а также в Индии [5, 7]. По данным наблюдений на территории СССР этот индекс был рассчитан Ц. А. Швер [4], причем использовались не средние годовые скорости ветра, а скорости ветра при выпадении жидких осадков; такой расчет является более точным. Этот индекс является первым приближением в задаче о расчете количества воды, попадающей на стены зданий: он характеризует некое воображаемое максимальное увлажнение стены, превышающее реальное, так как ни одна реально существующая стена не остается перпендикулярной разным направлениям дождя. Широкое распространение этого индекса связано с его простотой и наглядностью при сопоставлении результатов. Однако для строительного проектирования недостаточно знания лишь относительного индекса. Необходимы методы количественного рас-

чета реального слоя осадков, попадающих на отделочные покрытия зданий, с учетом местных особенностей, зависящих от многих факторов.

Существенным шагом к решению этой задачи явились работы А. А. Цвида [1—3], который начал с создания вертикального осадкомера и организации пунктов наблюдений на Дальнем Востоке, во Владивостоке и Хабаровске. Затем им была предложена эмпирическая формула для расчета этой величины в условиях Дальнего Востока:

$$X_v = 0,27 \bar{\mu} \bar{X}_r. \quad (2)$$

Здесь $\bar{\mu}$ и X_r — средняя скорость ветра и годовые значения осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность. Значение $\bar{\mu}$ затем было несколько уточнено с учетом повторяемости скоростей ветра.

$$X_v = (1,4P_1 + 2,4P_2 + 3,0P_3)X_r, \quad (3)$$

где P_1, P_2, P_3 — повторяемости скоростей ветра в градациях 6—9, 10—14 и ≥ 15 м/с.

Увлажнение вертикальных поверхностей осадками находится в прямой зависимости от направления и скорости ветра во время осадков и от количества осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность [4].

Количество осадков и скорость ветра по территории непостоянны, сочетание их может быть самым разнообразным, поэтому полученные ранее другими авторами данные об интенсивности смачивания вертикальных поверхностей нельзя распространить на многие другие пункты, в том числе и находящиеся на территории Узбекистана.

Для выяснения вопроса о режиме выпадения осадков в г. Ташкенте были рассчитаны повторяемости различных скоростей и направлений ветра при осадках за каждый месяц, объединенные затем по сезонам и за годовой период (табл. 1).

Существующие расчетные методы учета осадков, поступающих на вертикальные поверхности, дают достаточно ясную картину их распределения для тех районов, где осадки выпадают при скоростях ветра 6 м/с и более. Между тем в Ташкенте 98% осадков выпадает при скорости ветра менее 5 м/с, а более 50% — при скоростях до 2—3 м/с.

График поступления осадков на вертикальные поверхности в г. Ташкенте построен по результатам натурных наблюдений. Измерения осадков на вертикальные поверхности произведены с января по декабрь 1976 г., однако они позволяют отметить некоторые закономерности.

Из графика прежде всего следует, что на вертикальные поверхности осадков выпадает меньше, чем на горизонтальные.

Наблюдается различие в количестве поступления осадков на вертикальные поверхности в зависимости от румбов, при этом

Таблица 1

**Средняя повторяемость (%) скоростей ветра по градациям
при выпадении осадков в г. Ташкенте (1966—1975 гг.)**

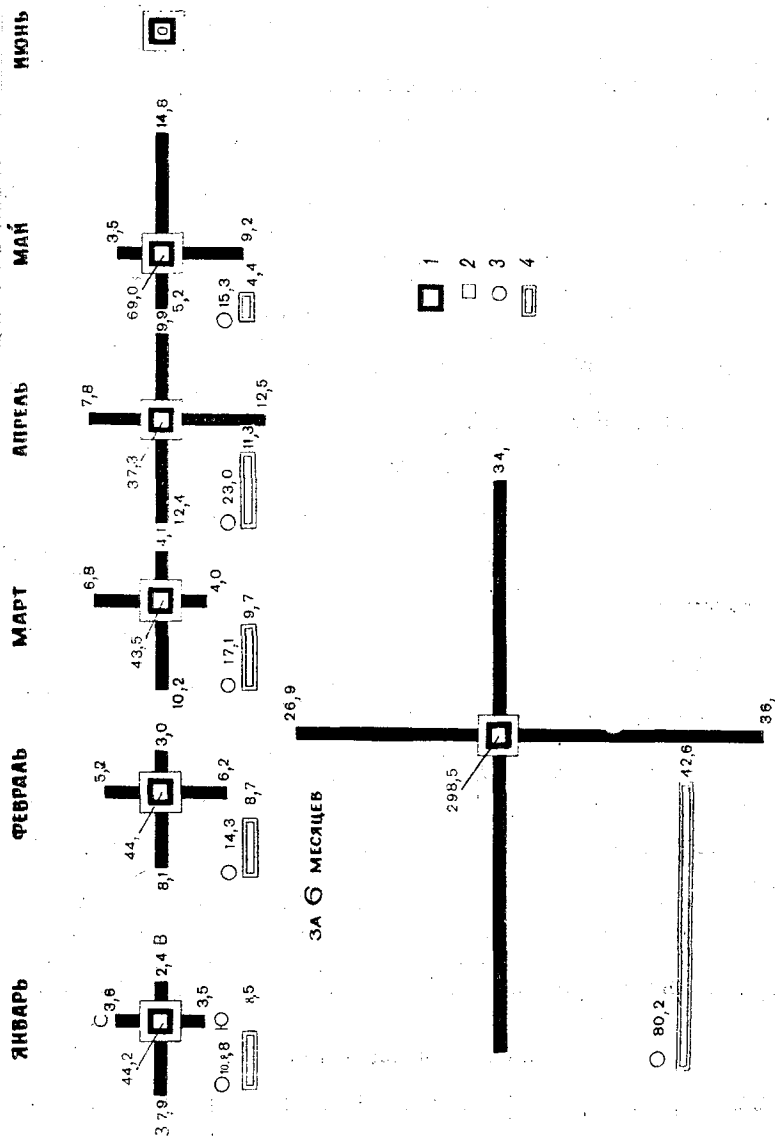
Направление ветра при осадках	Скорость ветра, м/с											
	1	2	3	4	5	6—9	1	2	3	4	5	6—9
	Зима						Весна					
С	5,3	2,6	1,8	0,4	0,4	0,1	5,2	3,4	1,8	0,8	1,1	0,4
СВ	5,1	2,1	2,1	0,5	0,2	—	4,9	2,4	2,9	0,6	0,6	0,3
В	3,8	1,6	1,4	0,2	0,1	—	4,1	3,7	0,9	0,8	0,4	0,2
ЮВ	6,2	2,7	—	0,5	0,2	—	4,0	2,0	1,8	0,4	0,2	—
Ю	7,0	3,2	2,3	0,5	0,4	0,1	3,7	3,4	1,7	0,6	0,4	—
ЮЗ	6,8	2,7	0,5	0,1	0,1	—	5,7	2,6	2,0	0,6	0,8	0,6
З	5,3	4,4	2,1	0,5	0,1	0,2	4,4	3,2	2,1	1,1	0,8	0,3
СЗ	7,5	8,0	2,4	1,7	1,1	0,1	5,8	7,3	2,9	1,4	2,9	1,2
Штиль	5,5						1,7					

Направление ветра при осадках	Скорость ветра, м/с											
	1	2	3	4	5	6—9	1	2	3	4	5	6—9
	Осень						Год					
С	3,9	5,6	2,0	0,8	1,1	0,3	5,0	3,4	2,0	0,7	0,9	0,3
СВ	3,9	2,5	2,2	1,1	0,3	—	5,1	2,5	2,3	0,8	0,4	0,1
В	7,0	4,2	0,8	0,3	—	—	4,5	2,7	1,1	0,4	0,2	0,1
ЮВ	4,2	4,2	0,8	0,3	—	—	5,1	2,7	0,8	0,5	0,3	—
Ю	3,9	1,4	2,0	0,3	—	—	5,4	2,8	1,9	0,7	0,3	0,1
ЮЗ	4,8	2,0	1,7	0,6	—	—	6,0	2,5	1,2	0,4	0,3	0,2
З	4,8	2,2	0,8	0,6	0,8	0,3	4,7	3,5	1,8	0,7	0,5	0,3
СЗ	7,6	7,0	5,1	1,4	1,1	2,0	6,9	7,4	3,1	1,6	1,7	0,9
Штиль	3,7						3,7					

четко выражено преобладание количества осадков на стены западной экспозиции.

В отдельные месяцы возможны отклонения от указанной закономерности (например, в мае преобладали осадки при восточном ветре). В среднем за шесть месяцев 1976 г. преобладало поступление осадков на вертикальные поверхности юго-западной четверти.

Суммарный график за год указывает на сравнительно небольшие различия в поступлении осадков на стены различных экспозиций. При этом на вертикальные поверхности количество осадков меньше, чем на горизонтальные, в 6—10 раз.



Учет увлажнения вертикальных поверхностей в г. Ташкенте.

1 — горизонтальный осадкомер, 2 — вертикальный осадкомер, 3 — вращающийся осадкомер, 4 — специальный осадкомер.

Напомним, что на Дальнем Востоке, по данным А. А. Цвида, на вертикальные поверхности осадков выпадает больше, чем на горизонтальные, в 1,7—2,5 раза.

Установление связи между количеством осадков, выпадающих на вертикальные поверхности различных ориентаций, с количеством осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность и скоростью ветра дает возможность определить количество влаги, попадающее на стены зданий в пунктах с соответствующими климатическими параметрами.

В настоящее время исследования поступления осадков на вертикальные поверхности весьма немногочисленные. Однако эти эксперименты пока не нашли сколько-нибудь широкого практического использования. Учитывая практическую важность изучения осадков, поступающих на вертикальные поверхности, и ограниченность имеющихся материалов, нами была предпринята попытка решить эту задачу экспериментальным путем. Полученные данные дают возможность судить о количестве осадков, выпадающих на вертикальные поверхности различных ориентаций.

Количество осадков, выпадающих на вертикальную стенку, может быть выражено следующей формулой:

$$h_v = kvh_r \cos(\varphi - \psi), \quad (4)$$

где φ — азимут ветра, ψ — азимут стены, v — скорость ветра при осадках, h_v и h_r — количество осадков, выпадающих на горизонтальную и вертикальную поверхность соответственно, k — эмпирический коэффициент.

На основании данных измерений по вертикальным осадкомерам проведенных в Ташкенте, получены по формуле (4) среднее месячное значение $\bar{k}$ и средние квадратические отклонения этого коэффициента σ_k для месяцев с осадками:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum(k_i - \bar{k})^2}{n - 1}}, \quad (5)$$

где n — количество случаев за месяц. Значения $\bar{k}$, σ_k и n приводятся в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что $\bar{k}$ изменяется в течение года, имея повышенное значение в холодный период года, видимо, потому, что зимой размеры капель обычно меньше, чем в теплый период, и перенос их при малых скоростях оказывается более существенным.

Таблица 2

Значения коэффициентов

Коэффициент	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII
$\bar{k}$	0,15	0,31	0,22	0,14	0,1	0,12	0,16	0,28	0,25
σ_k	0,108	0,232	0,126	0,081	0,084	0,072	0,097	0,061	0,097
n	25	40	28	29	20	4	20	11	17

Среднее годовое (за месяцы с осадками) значение оказалось равным 0,19.

Как показали данные натурных измерений, осадки могут попадать не только со стороны преобладающего направления ветра, но и на поверхности с иными ориентациями, в том числе на подветренную сторону вертикальной поверхности за счет завихрения воздушного потока. Этот эффект не может быть учтен формулой (4), так как в этом случае получаются отрицательные значения h_b , что не имеет физического смысла. Поэтому для учета осадков, поступающих на подветренную сторону, предлагается следующая формула:

$$h_b = k^* h_r v \left(1 - \frac{\alpha}{h_r v} \right). \quad (6)$$

Эмпирический коэффициент α равен 1, k^* относится к условиям попадания осадков на подветренную сторону.

Средние месячные значения k^* , полученные по данным измерений вертикальными осадкомерами в Ташкенте, приведены ниже:

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
k^*	0,052	0,154	0,034	0,080	0,015	0,050	0,062	0,068	0,170

По ним найдено среднее годовое значение $\bar{k}^*$. Оно равно 0,0691.

По значениям $\bar{k}$ за каждый месяц и $\bar{k}^*$ было подсчитано для каждого сезона количество осадков, выпавших на наветренную и подветренную стороны с применением данных о средних месячных осадках на горизонтальную поверхность, а также скоростей ветра при осадках по г. Ташкенту за период 1966—1975 гг.

Теперь можно написать выражения, подобные (4):

$$h'_b = \bar{k} h_r v \cos(\varphi - \psi), \quad (7)$$

$$h''_b = \bar{k}^* h_r v \left(1 - \frac{1}{h_r v} \right). \quad (8)$$

Формулу для определения количества осадков, выпадающих на вертикальную стену, представим в виде

$$\begin{aligned} h_b = & \left(\frac{n_\psi}{N} \right) \bar{k} \bar{h}_r \bar{v}_\psi \left\{ \left[\left(1 - \frac{\sigma_\varphi^2}{2} \right) + \rho_{h_r v} C_{vh_r} C_{vv} \right] \cos(\bar{\varphi} - \psi) - \right. \\ & \left. - \sigma_\varphi (\rho_{h_r \varphi} C_{vh_r} + \rho_{v \varphi} C_{vv}) \sin(\bar{\varphi} - \psi) \right\} + \left(1 - \frac{n_\psi}{N} \right) \times \\ & \times \bar{k}^* \bar{h}_r \bar{v}_\psi \left[\left(1 - \frac{1}{h_r v_\psi} \right) + \rho_{h_r v} C_{vh_r} C_{vv} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Если для ориентировочных расчетов принять коэффициенты корреляции в формуле (9) равными нулю то, h_b можно определить с помощью следующего выражения:

$$h_b = \left(\frac{n_\psi}{N} \right) \bar{k} \bar{h}_r \bar{v}_\psi \left(1 - \frac{\sigma_\varphi^2}{2} \right) \cos(\bar{\varphi}_\psi - \psi) +$$

$$+ \left(1 - \frac{n_{\psi}}{N}\right) \overline{k^* h_{\Gamma} v_{\psi}} \left(1 - \frac{1}{h_{\Gamma} v_{\psi}}\right). \quad (10)$$

Здесь n_{ψ} — число случаев выпадения осадков на наветренную сторону стенки; N — общее число случаев выпадения осадков; σ_{φ} — среднее квадратическое отклонение направления ветра, приносящего осадки на наветренную сторону; φ_{ψ} — среднее направление ветра, дующего на стенку, обращенную в сторону ветра; $\bar{v}_{\psi}$ — средняя скорость ветра, дующего с наветренной стороны; $\rho_{h_{\Gamma} v}$ — коэффициент корреляции между h_{Γ} и v ; $\rho_{h_{\Gamma} \varphi}$ — коэффициент корреляции между h_{Γ} и φ ; $\rho_{v \varphi}$ — коэффициент корреляции между v и φ ; $C_{vh_{\Gamma}}$ — коэффициент вариации выпадения осадков на горизонтальную поверхность; C_{vv} — коэффициенты вариации скорости ветра.

В результате расчетов по формуле (10) получены средние сезонные значения осадков на вертикальные поверхности по восьми основным румбам по отдельным сезонам и за год по г. Ташкенту (табл. 3).

Таблица

Среднее количество осадков (миллиметры) в разрезе года, выпадающих на вертикальные поверхности за период 1966—1975 гг. в г. Ташкенте

Время года		Количество осадков на							
		горизонтальную поверхность	вертикальные поверхности						
			С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З
Зима	164	44,9	39,1	37,9	39,1	39,9	36,3	43,4	45,4
Весна	175	30,2	27,4	25,5	26,7	25,6	27,4	31,0	31,8
Осень	70	17,2	13,2	12,5	11,9	12,4	15,5	15,5	17,4
Год	424	93,0	84,74	77,3	77,9	78,1	79,8	91,1	95,8

Эти результаты дают представление о количестве осадков попадающих на вертикальные поверхности различных ориентаций и, следовательно, и об увлажнении этих поверхностей. Полученные выводы помогут строителям, проектировщикам более обоснованно подходить к решению вопросов о наиболее рациональном применении и эксплуатации существующих типов покрытий отделочных поверхностей зданий и сооружений различных ориентаций.

Автор выражает искреннюю благодарность Ю. М. Денисову за помощь в разработке теории, Б. А. Айзенштату и М. В. Завариной прочитавшим рукопись и сообщившим свои замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цвид А. А. Измерение осадков, выпадающих на вертикальные поверхности. — «Метеорология и гидрология», 1960, № 11, с. 40—42.
2. Цвид А. А., Данилов В. А. О связи количества влаги, выпадающего

на вертикальные поверхности, со скоростью ветра и осадками.—Сб. научн. работ ДВ Промстройпроекта. Вып. 6. Хабаровск, 1964, с. 92—105.

3. Цвид А. А. Комплексный учет климата в строительстве на Дальнем Востоке. Благовещенск, 1967. 232 с.

4. Швер Ц. А. Об оценке увлажнения стен при косых дождях.—«Труды ГГО», 1969, вып. 246, с. 122^а—129.

5. Ishisaki H., Mitsuta V., Sano V. Rainfall deposit on a wall of a building in a storm.—„Bull. Wisast. Prev. Pes. Inst.”, 1970, vol. 20, p. 95—103.

6. Lacy R. E., Schellard H. C. An index of driving rain.—„Meteorol. Mag.”, 1962, vol. 91, N 1080, p. 38—45.

7. Narayanan S. A driving rain index map India.—„Indian J. Meteorol. Geophys.”, 1967, vol. 18, N 1, p. 129—130.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М. В. Заварина.</i> О точности вероятностных климатических показателей	3
<i>М. В. Заварина, М. Н. Мытарев, С. Н. Соколова.</i> Преобладающий вид гололедно-изморозевых отложений на ЕТС	11
<i>М. Н. Мытарев.</i> Годовые максимумы гололедных нагрузок на АТС	15
<i>В. П. Бойков.</i> К оценке косвенного метода расчета гололедных нагрузок на высотные сооружения	19
<i>В. Г. Глухов, А. Г. Захаров.</i> К уточнению косвенного метода расчета интенсивности обледенения плоской поверхности	27
<i>А. П. Попова, И. И. Першин.</i> Уточненные карты гололедного районирования Памиро-Алая по сведениям об аварийности воздушных линий электропередачи и связи	38
<i>Н. И. Попов, В. В. Холодов.</i> К вопросу о точности гололедно-изморозевых наблюдений	44
<i>А. Г. Захаров.</i> Особенности распределения и плотность гололедно-изморозевых отложений на плоской поверхности	49
<i>Р. П. Бернгардт.</i> Продолжительность особо опасных обледенений на Сахалине	55
<i>Т. И. Голикова.</i> Распределение ветровых нагрузок на провода воздушных линий при гололеде на равнинной части Европейской территории СССР	58
<i>Т. Н. Голикова.</i> Опыт разработки и построения региональной карты ветровых нагрузок при гололеде	62
<i>М. М. Борисенко.</i> Некоторые характеристики ветра для определения нагрузок на высокие сооружения	70
<i>Б. М. Бельский.</i> О снеговых нагрузках в районе объектов производственного объединения «Апатит» им С. М. Кирова	80
<i>К. Ш. Хайруллин.</i> Освещенность вертикальных поверхностей на территории СССР	87
<i>Э. Х. Аминов.</i> Учет увлажнения вертикальных поверхностей в г. Ташкенте	96

Труды ГГО, вып. 408

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА СООРУЖЕНИЯ

Редактор В. И. Кузьменко. Технический редактор В. И. Семенова.
Корректор Т. В. Алексеева

ИБ № 915

дано в набор 23.12.77. Подписано в печать 4.07.78. М-09550. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1.
ит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 7. Уч.-изд. л. 6,66. Тираж 720 экз. Индекс МЛ-191.
Заказ № 227. Цена 50 коп. Заказное. Гидрометеиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

оргавальская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли Совета Министров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.

УДК 551.501

О точности вероятностных климатических показателей. Заварина М. В. Труды ГГО, 1978, вып. 408, с. 3—10.

На основании законов теории вероятностей рассчитаны погрешности определения вероятности климатических параметров, входящих в СНиП. Эти погрешности зависят от длительности периода использованных наблюдений, а также от периода повторения параметра и проектируемой долговечности строительного объекта.

Табл. 2. Илл. 3. Библ. 7.

УДК 551.501+551.574.42

Преобладающий вид гололедно-изморозевых отложений на АТС. Заварина М. В., Мытарев М. Н., Соколова С. Н. Труды ГГО, 1978, вып. 408, с. 11—14.

В связи с тем что при расчете ветровой нагрузки важно знать, какой вид отложения преобладает в данной местности, подсчитаны повторяемости различных видов гололедно-изморозевых отложений на территории СССР по годовым максимумам нагрузки и всей совокупности случаев гололедно-изморозевых отложений.

Приводится карта повторяемости преобладающих видов гололедно-изморозевых отложений на АТС.

Табл. 1. Илл. 1. Библ. 5.

УДК 551.501+551.574.42

Годовые максимумы гололедных нагрузок на АТС. Мытарев М. Н. Труды ГГО, 1978, вып. 408, с. 15—18.

По данным метеорологических станций АТС, помещенным в технические обзорах, составленных в ГМО УГМС, произведено сравнение максимальной толщины стенки гололеда за каждый из гололедных сезонов 1969—1976 гг. со значениями, приведенными в СНиП, возможными один раз в 5 лет.

Определен вид гололедно-изморозевого отложения, при котором чаще все превышался норматив.

Табл. 5. Библ. 2.

УДК 551.509.54+551.507.7

К оценке косвенного метода расчета гололедных нагрузок на высотные сооружения. Бойков В. П. Труды ГГО, 1978, вып. 408, с. 19—26.

На основе комплексных измерений на высотной метеорологической мачте в Обнинске проведена экспериментальная проверка косвенного метода расчета гололедных нагрузок на высотные сооружения, разработанного в ГГО. Проводятся сравнения вычисленных теоретически и измеренных экспериментально величин гололедной нагрузки на избранный элемент сооружения.

Расчеты показывают, что предлагаемая методика обеспечивает точность расчетов, достаточную для практических целей.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 11.