

УДК 624.075+624.078+519.23

Мананов А.З. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: man48-75@mail.ru

Галимшин Р.А. – кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ОЦЕНОК

АННОТАЦИЯ

Поверочные расчеты с использованием нормативных методов расчета показали существенное превышение нормальных изгибных напряжений над расчетными сопротивлениями для конструктивного элемента покрытия. Соответственно требовалось усиление с 4,71-кратным увеличением несущей способности покрытия. На основе использования интервальных оценок и статистического моделирования показано, что достаточно усиления конструкций с обеспечением двукратного увеличения несущей способности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочность, статистическое моделирование, расчетная схема, числовые множества.

Manapov A.Z. – candidate of technical sciences, associate professor

Galimshin R.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

TESTING CALCULATIONS OF WOODEN DESIGNS ELEMENTS WITH THE USE OF INTERVAL ESTIMATIONS

ABSTRACT

Testing calculations with the use of standard methods have shown essential excess of normal bending pressure over settlement resistance for a constructive element of a covering. Accordingly strengthening with 4,71-fold increase in bearing ability of a covering was required. On the basis of interval estimations use and statistical modeling it is shown that there is enough design strengthening with maintenance of double increase in bearing ability.

KEYWORDS: durability, statistical modeling, the settlement scheme, numerical sets.

В 2010 году специалистами Казанского государственного архитектурно-строительного университета выполнены обследование и поверочные расчеты здания бани № 7, расположенного по адресу: РТ, г. Казань, ул. Павлухина, д. 41 А, в том числе и стропильных конструкций кровли.





Рис. 1. Общий вид здания, стропильные конструкции кровли в составе обрешетки и стропильных ног из досок 170x50 мм, расположенных с шагом 1,1 м

Поверочные расчеты с использованием нормативных методов расчета [5] показали существенное превышение в 4,71 раз нормальных изгибных напряжений над расчетными сопротивлениями для конструктивного элемента «стропильная нога» из доски сосна 1-2 сорта с размерами сечения 170x50 мм. Кровельные конструкции здания были реконструированы в 1995 году и успешно испытывались снеговыми нагрузками в течение 15 лет. По этой причине вывод о необходимости усиления с обеспечением 4,71-кратного увеличения несущей способности мог бы показаться слишком затратным. В соответствии с создавшимися обстоятельствами требовался дополнительный анализ рисков, связанных с решением усиления обследуемой конструкции. Такой анализ был выполнен методом статистического моделирования, обобщенная блок-схема которого представлена ниже в табличной форме.

Таблица 1

Составление детерминированной схемы расчета конструкции для сравнения нормальных напряжений изгиба $S = s * K_m * 6 / b * h^2$ с удельной прочностью древесины $R = R_{вр} * K_{дл} * K_{одн}$	
Определение интервальных оценок группы параметров, определяющих нормальные напряжения	Определение интервальных оценок группы параметров, определяющих удельную прочность
Генерация множеств интервальных оценок группы параметров, определяющих нормальные напряжения	Генерация множеств интервальных оценок группы параметров, определяющих удельную прочность
Создание множества, определяющего нормальные напряжения	Создание множества, определяющего удельную прочность
Сравнение двух множеств, определяющих нормальные напряжения и удельную прочность	

Всего при статистическом моделировании работы деревянных стропильных конструкций были задействованы 12 расчетных параметров, информационное содержание и интервальные оценки которых приведены в таблице 2. Методом статистического моделирования с использованием функций взаимодействия исходных параметров были получены два численных множества: напряжений и удельной прочности. Выводы по результатам моделирования принимались на основе сравнения этих множеств.

Таблица 2

Исходные параметры		
1	Число сооружений	1
2	Число стропильных ног	42
3	Планируемая длительность дальнейшей эксплуатации	30 лет
4	Максимальная испытательная снеговая нагрузка за 1995-2010 г.	212 кгс/м ²
5	Снеговая нагрузка <i>s</i>	снеговой район IV
6	Коэффициент перехода от веса снегового покрова на земле к весу снегового покрова на кровле <i>K</i>	СНиП 2.01.07-85
7	Коэффициент перехода от снеговой нагрузки к изгибающему моменту $K_m = M/s$	По расчету
8	Размер поперечного сечения <i>h</i>	Номинальный 17 см
9	Размер поперечного сечения <i>b</i>	Номинальный 5 см
10	$R_{вр}$ – среднее значение временного сопротивления при стандартных испытаниях материала	[3]
11	Коэффициент, учитывающий влияние на прочность длительного действия нагрузки	[5]
12	Коэффициент однородности, учитывающий влияние на прочность пороков и размеров элемента	[5]
Конечные результаты моделирования		
1	Числовое множество напряжений	Для наибольшей реализации снеговой нагрузки
2	Числовое множество удельной прочности	С учетом максимальной испытательной снеговой нагрузки за 1995-2010 г.

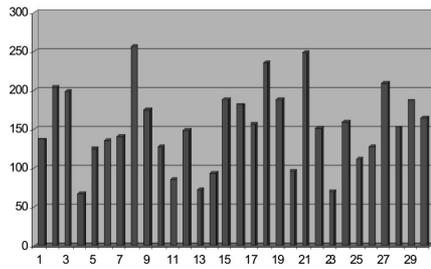
В соответствии с принятыми алгоритмами, на первом этапе выполнено моделирование нормальных напряжений в сечении с максимальным изгибающим моментом от суммы постоянных и снеговой нагрузки с использованием детерминированной функции взаимодействия

$$s = s^* K^6 / b^* h^2 \quad (1)$$

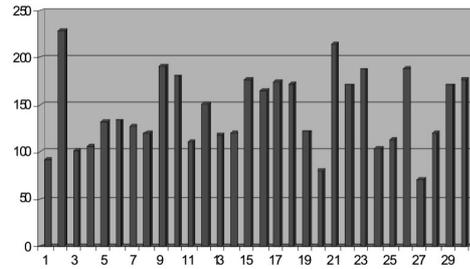
В формуле (1) задействовано 4 параметра. Для каждого из параметров при помощи генератора случайных чисел были созданы множества числовых значений, соответствующих функциям их распределения. Для моделирования снеговой нагрузки *s* на кровельные конструкции использована информация о параметрах ее распределении, содержащаяся в работах [1, 4]. Результаты статистического моделирования годовых максимумов снеговой нагрузки S_0 приведены на рис. 2. Всего выполнено 4 моделирования годовых максимумов снеговой нагрузки с продолжительностью 30 лет каждая. Так как в сочетании усилий, возникающих в стропильной ноге, участвуют только две группы нагрузок: постоянные и снеговая нагрузка, то изменения снеговой нагрузки в течение календарного года не рассматривались. По результатам моделирования максимальная реализация веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли оказалась равной 256 кгс/м².

Таблица 3

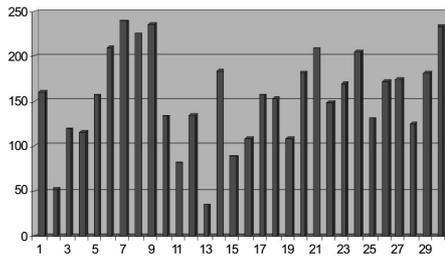
Источник информации	Среднее значение веса снегового покрова на 1 м ² горизонтальной поверхности	Коэффициент вариации n_f
[4]	$m = 150$ кгс/м ² . IV снеговой район	$n = 0,30$
[1]	141 кгс/м ² . (г. Казань)	0,32



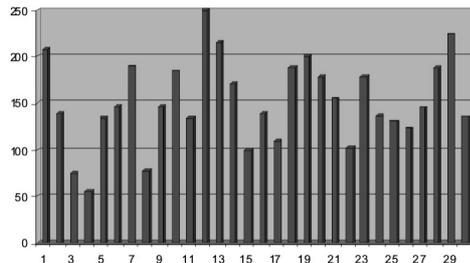
а) Первое моделирование.
Максимальная реализация 256 кгс/м²



б) Второе моделирование.
Максимальная реализация 228 кгс/м²



в) Третье моделирование.
Максимальная реализация 239 кгс/м²



г) Четвертое моделирование.
Максимальная реализация 249 кгс/м²

Рис. 2. Реализации годовых максимумов веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли

Моделирование коэффициента перехода от снеговой нагрузки к изгибающему моменту $K_m = M/s$ выполнено по следующему алгоритму. С учетом неопределенностей работы конструктивной схемы составлено 3 варианта расчетных схем с учетом 2 вариантов загрузки для каждой расчетной схемы. В первой расчетной схеме опирание стропильных ног на мауэрлат принято по шарнирной схеме, во второй расчетной схеме учтена дополнительная жесткость проволочных скруток в этом узле и в третьей расчетной схеме учтено дополнительно разгружающее действие консольных выпусков кровли.

Результаты расчетов изгибающих моментов и поперечных сил для принятых расчетных схем приведены в таблице 4. С использованием полученных результатов выполнены оценки коэффициента перехода от снеговой нагрузки к изгибающему моменту $K_m = M/s$ (табл. 5) и получено множество из 42 чисел (рис. 3 а), каждое из которых характеризует возможное значение коэффициента перехода K_m для одной из 42 стропильных ног.

Моделирование множеств, характеризующих геометрические размеры сечения стропильных ног, выполнено с использованием статистических оценок геометрических параметров стропильной ноги, приведенных в таблице 5. Результаты моделирования приведены на рис. 3 б и 3 в.

Таблица 4

1 вариант расчетной схемы									
<table border="1"> <tr> <td>1- загрузка- M_{max}</td> <td>94400 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>1- загрузка- Q_{max}</td> <td>908 кгс</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- M_{max}</td> <td>113400 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- Q_{max}</td> <td>1091 кгс</td> </tr> </table>	1- загрузка- M_{max}	94400 кгс*см	1- загрузка- Q_{max}	908 кгс	2- загрузка- M_{max}	113400 кгс*см	2- загрузка- Q_{max}	1091 кгс	
1- загрузка- M_{max}	94400 кгс*см								
1- загрузка- Q_{max}	908 кгс								
2- загрузка- M_{max}	113400 кгс*см								
2- загрузка- Q_{max}	1091 кгс								
<p>1 вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{94400}{241} = 391 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{908 * 180}{2047 * 5} = 16 \text{ - кгс / см}^2$	<p>2- вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{113400}{241} = 471 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{1091 * 180}{2047 * 5} = 19 \text{ - кгс / см}^2$								

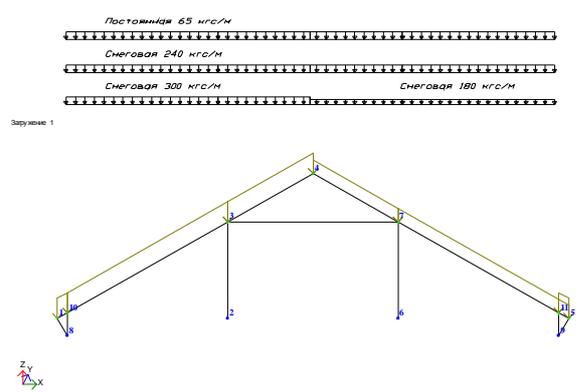
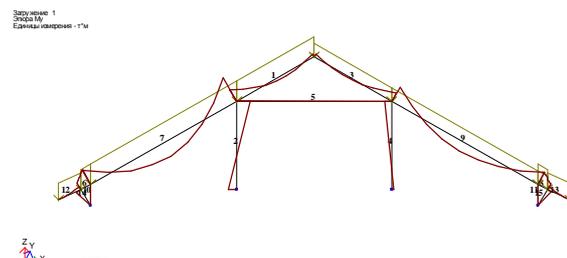
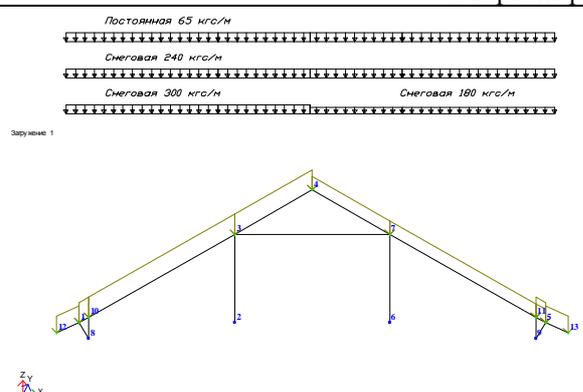
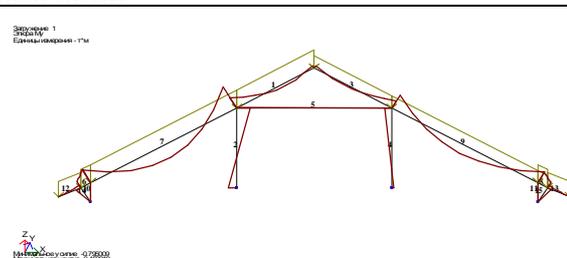
2 вариант расчетной схемы									
 <p>Постоянная 65 кгс/м Снеговая 240 кгс/м Снеговая 300 кгс/м Снеговая 180 кгс/м</p> <p>Зарушение 1</p>	 <p>Зарушение 1 Эквив. нагрузка - 17м</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1- загрузка- M_{max}</td> <td>66910 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>1- загрузка- Q_{max}</td> <td>902 кгс</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- M_{max}</td> <td>80300 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- Q_{max}</td> <td>1045 кгс</td> </tr> </table>	1- загрузка- M _{max}	66910 кгс*см	1- загрузка- Q _{max}	902 кгс	2- загрузка- M _{max}	80300 кгс*см	2- загрузка- Q _{max}	1045 кгс
1- загрузка- M _{max}	66910 кгс*см								
1- загрузка- Q _{max}	902 кгс								
2- загрузка- M _{max}	80300 кгс*см								
2- загрузка- Q _{max}	1045 кгс								
<p>1 вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{66910}{241} = 277 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{902 * 180}{2047 * 5} = 16 \text{ - кгс / см}^2$	<p>2- вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{80300}{241} = 333 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{1045 * 180}{2047 * 5} = 18 \text{ - кгс / см}^2$								
3 вариант расчетной схемы									
 <p>Постоянная 65 кгс/м Снеговая 240 кгс/м Снеговая 300 кгс/м Снеговая 180 кгс/м</p> <p>Зарушение 1</p>	 <p>Зарушение 1 Эквив. нагрузка - 17м</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1- загрузка- M_{max}</td> <td>66250 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>1- загрузка- Q_{max}</td> <td>901 кгс</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- M_{max}</td> <td>79500 кгс*см</td> </tr> <tr> <td>2- загрузка- Q_{max}</td> <td>1040 кгс</td> </tr> </table>	1- загрузка- M _{max}	66250 кгс*см	1- загрузка- Q _{max}	901 кгс	2- загрузка- M _{max}	79500 кгс*см	2- загрузка- Q _{max}	1040 кгс
1- загрузка- M _{max}	66250 кгс*см								
1- загрузка- Q _{max}	901 кгс								
2- загрузка- M _{max}	79500 кгс*см								
2- загрузка- Q _{max}	1040 кгс								
<p>1 вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{66250}{241} = 275 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{901 * 180}{2047 * 5} = 16 \text{ - кгс / см}^2$	<p>2- вариант загрузки</p> $s = \frac{M}{W_x} = \frac{79500}{241} = 330 \text{ - кгс / см}^2$ $t = \frac{Q * S_{бр}}{I_{бр} * b_{расч}} = \frac{1040 * 180}{2047 * 5} = 18 \text{ - кгс / см}^2$								

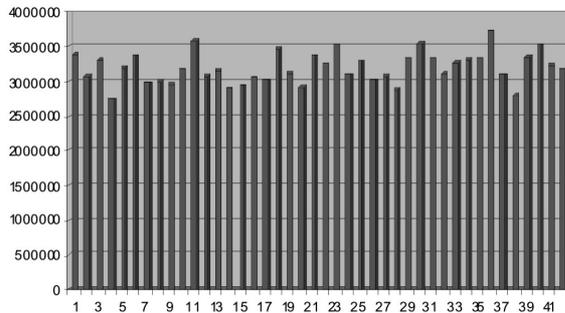
Таблица 5

Определение параметра	Интервальная оценка	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
Оценки коэффициента перехода от снеговой нагрузки к изгибающему моменту K _м =M/s	От 2,65 * 10 ⁶ см ³ до 3,78* 10 ⁶ см ³	3,21 * 10 ⁶ см ³	0,19 * 10 ⁶ см ³

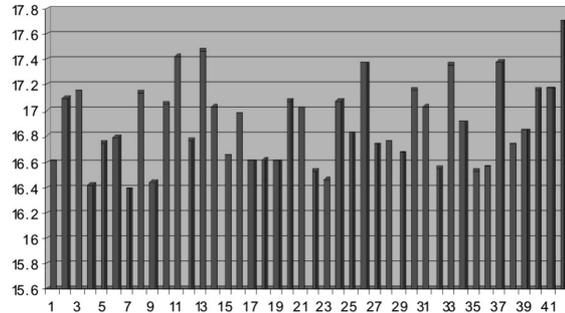
Таблица 6

Наименование параметра	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
Размер поперечного сечения h	17 см	v = 0,017 Δa = 0,3 см
Размер поперечного сечения b	5 см	v = 0,03 Δa = 0,15 см

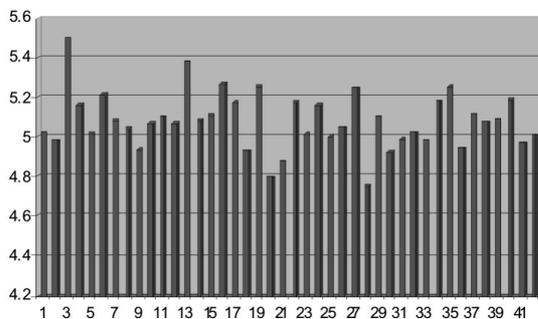
С использованием результатов моделирования коэффициента перехода от нагрузок к изгибающему моменту K_m , размеров поперечного сечения стропильной ноги h и b с учетом функции взаимодействия $K_s = K_m \cdot 6 / b \cdot h^2$ получено множество реализаций коэффициента перехода от нагрузок к нормальным напряжениям от изгиба K_s (рис. 3 г)



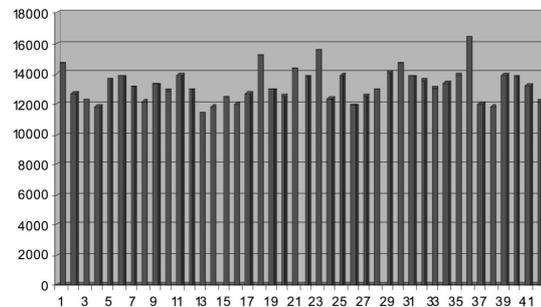
а) Реализации коэффициента перехода K_m



б) Реализации размера поперечного сечения h



в) Реализации размера поперечного сечения b



г) Реализации коэффициента перехода K_s

Рис. 3. Реализации коэффициента перехода от нагрузок к изгибающему моменту K_m , размеров поперечного сечения стропильной ноги h и b и коэффициента перехода от нагрузок к нормальным напряжениям от изгиба K_s .

Моделирование напряжений от суммы постоянных и снеговой нагрузки выполнено с использованием детерминированной формулы перехода $s = s \cdot K \cdot 6 / b \cdot h^2$. На рис. 4 б приведены реализации напряжений, полученных по результатам моделирования для наиболее снежной зимы $S_0 = 256 \text{ кгс/м}^2$. Максимальное значение изгибных напряжений по результатам статистического моделирования оказалось равным $s = 493 \text{ кгс/см}^2$, что несколько больше результата $s = 471 \text{ кгс/см}^2$, полученного нормативным расчетом.

Моделирование удельной прочности конструкционного материала сосна выполнено с использованием информации, приведенной в [3], откорректированной с учетом испытаний снеговыми нагрузками за 1995-2010 годы.

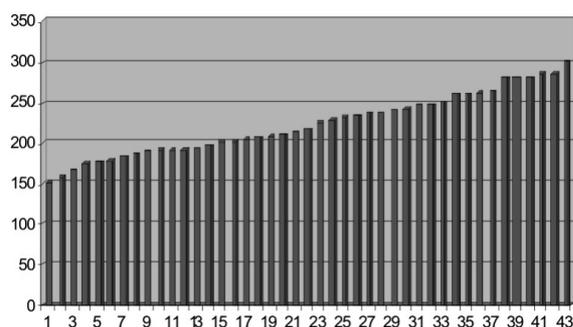
Таблица 7

Напряженное состояние и характеристика элементов	Сорт древесины	$R_{вр}$ - среднее временное сопротивление МПа	V , Коэффициент вариации	$R_{нр}$ нормативное сопротивление МПа	γ_m Коэффициент надежности	R , расчетное сопротивление МПа
Изгиб	1	36	0,17	26	1,22	14
	2	33		24	1,22	13
Скалывание вдоль волокон	1 2, 3	6	0,23	3,6	1,3	1,8
		5		3,2	1,3	1,6

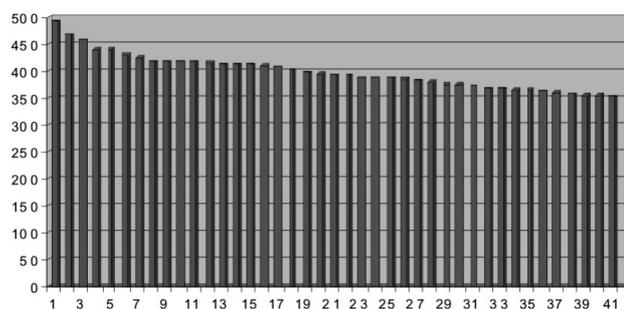
Статистическое моделирование удельной прочности выполнено с учетом распределений временного сопротивления при стандартных испытаниях и коэффициентов, учитывающих влияние на прочность длительного действия нагрузки, пороков древесины и размеров элемента (табл. 8). С учетом результатов испытаний снеговой нагрузкой с максимальным значением $S_0 = 232 \text{ кгс/м}^2$, нижняя граница оценки удельной прочности древесины принята равной нормальному напряжению $S = 282 \text{ кгс/см}^2$, возникающему при снеговой нагрузке $S_0 = 232 \text{ кгс/м}^2$.

Таблица 8

Наименование параметра	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
$R_{вр}$ – среднее значение временного сопротивления при стандартных испытаниях материала	$R_{вр} = 330 \text{ кгс/см}^2 - 360 \text{ кгс/см}^2$	$v = 0,17$ $\Delta_{вр} = 56,1 \text{ кгс/см}^2 - 61,2 \text{ кгс/см}^2$
Коэффициент, учитывающий влияние на прочность длительного действия нагрузки	$K_{дл} = 0,76$	$\Delta_{дл} = 0,02$
Коэффициент однородности, учитывающий влияние на прочность пороков и размеров элемента	$K_{одн} = 0,83$	$\Delta_{одн} = 0,05$



а) Реализации удельной прочности древесины, без учета испытаний эксплуатационными нагрузками



б) Реализации изгибных напряжений в стропильной ноге для наиболее снежной зимы $S_0 = 256 \text{ кгс/м}^2$

Рис. 4. Реализации удельной прочности древесины и изгибных напряжений в стропильной ноге

На конечном этапе выполнено сравнение двух множеств: множества, определяющего нормальные напряжения от изгиба стропильной ноги, и множества, определяющего удельную прочность использованной древесины. На рис. 5 показано это сравнение до усиления стропильных конструкций. Результаты показали, что при планируемом сроке дальнейшей эксплуатации в 30 лет следует ожидать перегрузку конструкций в 1,86 раз относительно его несущей способности. Результаты расчетов с использованием норм дали коэффициент перегрузки конструкций 4,71.

На основании полученных данных, свидетельствующих о перегруженности конструкций, были разработаны технические решения по усилению стропильных конструкций с установкой между существующими стропильными ногами дополнительных стропильных ног из аналогичного материала и аналогичных геометрических размеров. Результаты сравнения напряжений с удельной прочностью древесины после усиления стропильных конструкций показали, что максимально ожидаемые напряжения в стропильной ноге не будут превышать 93 % от минимально возможного значения удельной прочности.

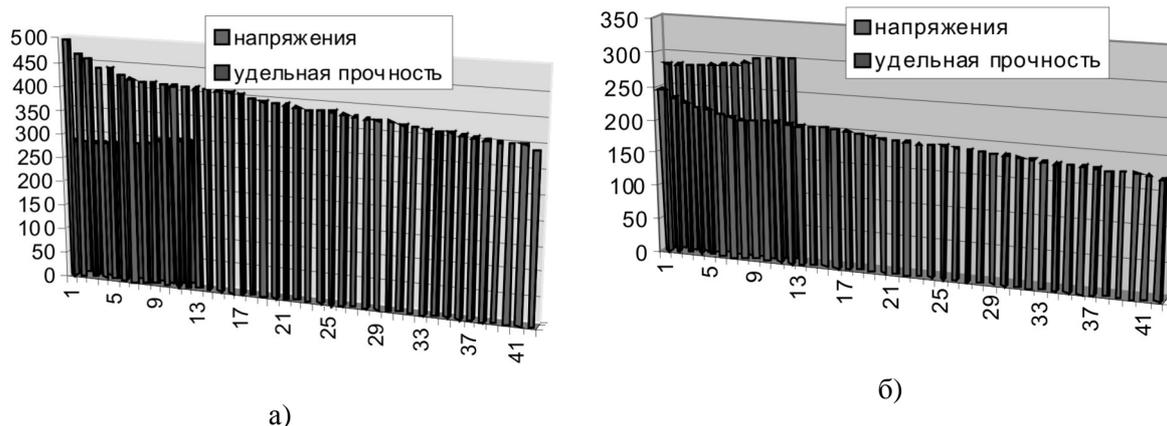


Рис. 5. Результаты сравнения напряжений с удельной прочностью древесины до усиления (а) и после усиления (б) стропильных конструкций

Выводы

Расчетные модели с использованием интервальных оценок нагрузок, коэффициентов перехода от нагрузок к усилиям и напряжениям, геометрических размеров сечений и возможностями корректировки ожидаемой прочности материалов с учетом результатов испытаний эксплуатационными нагрузками доказали достаточность предлагаемых технических решений усиления стропильных деревянных конструкций. При требуемом, в соответствии с действующими нормами, увеличении несущей способности в 4,71 раза доказана достаточность усиления несущей способности в 2 раза. Внедрение интервального метода расчета в конкретном случае обеспечило существенную экономию средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батршина С.Ф. Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия. – Казань: Издательство КГУ, 2005. – 76 с.
2. Мананов А.З. Расчет надежности и ресурса строительных конструкций методом статистического моделирования: Учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2010. – 131 с.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). – М., 1998. – 102 с.
4. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»). – М., 1989. – 148 с.
5. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 61 с.

REFERENCES

1. Batrshina S.F. Snow cover dynamics in territory of Tatarstan in second half of XX-th century. – Kazan: Publishing house KGU, 2005. – 76 p.
2. Mananov A.Z. Reliability resource. – Kazan: KSUAE, 2010. – 132 p.
3. The grant on designing of wooden designs (SNiP II-25-80) – M., 1998. – 102 p.
4. The grant on designing of steel designs (SNiP II-23-81*). – M., 1989. – 148 p.
5. SNiP II-25-80 Wooden designs. Norms of designing / Gosstroy of Russia. – M.: GUP UP CPP, 1999. – 61 p.