

УДК 624(075.8)

Манапов А.З. – кандидат технических наук, доцентE-mail: man48-75@mail.ru**Галимшин Р.А.** – кандидат технических наук, доцент**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Статистическое моделирование работы элементов деревянных конструкций**Аннотация**

На примере растянутого осевым усилием элемента деревянных конструкций рассмотрено влияние рассеивания расчетных силовых и геометрических параметров, а также коэффициентов, учитывающих длительность действия нагрузки и влияние на прочность пороков, и размеров элемента на соотношения напряжения и удельной прочности. Задача решена численным статистическим моделированием с использованием метода Монте Карло. Результаты статистического моделирования работы растянутого осевым усилием элемента деревянных конструкций показали, что для принятых условий моделирования, при перегрузке элемента относительно несущей способности на 50, 75, 100 % превышение напряжений над удельной прочностью не наблюдается. При перегрузке элемента конструкции относительно несущей способности на 125 % имеет место превышение напряжений над удельной прочностью в 3 случаях на 10000 элементов за 20 лет эксплуатации.

Ключевые слова: напряжение, прочность, усилие, временное сопротивление, статистическое моделирование, метод Монте-Карло.

Дерево как конструкционный материал в силу природного происхождения имеет большой разброс механических характеристик, существенно больший сравнительно с такими материалами, как сталь и бетон. Особенности влияния на механические характеристики древесины различных условий работы конструкционного элемента учитываются специальными коэффициентами [1]. Расчетные механические характеристики древесины, так же, как и для других конструкционных материалов, определяются статистическими методами с использованием функций распределения. При этом используемые в нормативных расчетах статистические методы существенно снижают расчетные механические характеристики по сравнению со среднеожидаемыми значениями. Например, приводимые в работе [1] результаты испытаний сосны свидетельствуют, что средняя удельная прочность на растяжение существенно выше расчетного сопротивления (110 кгс/см^2), рекомендуемого нормами [2]. Соотношения между временным сопротивлением, нормативным сопротивлением и расчетным сопротивлением приведены также в [1], в табл. 1 содержится информация об упомянутых характеристиках для элемента из цельной древесины сосна 1 сорта, работающего на растяжение.

Таблица 1

Напряженное состояние и характеристика элементов	Сорт древесины	$R_{\text{вр}}$ среднее временное сопротивление, МПа	n коэффициент вариации	R^H , нормативное сопротивление, МПа	R расчетное сопротивление, МПа
Растяжение	1	34	0,24	20	10

При выполнении поверочных расчетов давно эксплуатирующихся деревянных конструкций в соответствии с современными нормативными требованиями условие прочности для отдельных конструктивных элементов не выполняется. Это в основном связано с возрастаниями расчетных снеговых нагрузок. В такой ситуации представляет интерес рассмотрение ситуации со статистических позиций, оценивая вероятность наступления отказа конструктивного элемента [3]. В данной статье методом статистического моделирования оценивается вероятность разрушения элемента конструкции, перегруженного

с точки зрения нормативного расчета. В качестве примера рассматривается центрально растянутый стержень расчетным усилием N размерами сечения 20×10 см, материал сосна 1 сорта, то есть материал соответствует данным, представленным в таблице 1. В таблице 2 представлены расчеты этого элемента конструкции в соответствии со СНиП II-25-80.

Таблица 2

Значение продольного усилия N (кгс)	Значение напряжения при детерминированном расчете (кгс/см ²)	Коэффициент использования несущей способности
25000	$s = \frac{N}{F_{ит}} = \frac{25000}{20 \cdot 10} = 125 \text{ кгс} / \text{см}^2 \geq R = 100 \text{ кгс} / \text{см}^2$	1,25
30000	150	1,50
35000	175	1,75
40000	200	2,00
45000	225	2,25

Определим, какова вероятность разрушения элемента конструкции при принятых силовых, прочностных и геометрических параметрах. Предварительно, используя данные нормативной и научной базы [3] назначим статистические характеристики параметров нагруженности, геометрических параметров и прочности.

Таблица 3

Статистические характеристики параметров нагруженности

Наименование параметра	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
Растягивающее усилие в расчетном элементе конструкции	$N_n = N / g_f = 25000 / 1,2 = 20833$ кгс. Среднее арифметическое значение принято равным усилию от нормативных нагрузок	$\Delta_N = N_n (1 - g_f) / 3 = 1388$ кгс Обеспеченность расчетной нагрузки принято равным 3Δ

Таблица 4

Статистические характеристики геометрических параметров

Наименование параметра	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
Размер поперечного сечения a	20 см	$n = 0,02$ $\Delta a = 0,4$ см
Размер поперечного сечения b	10 см	$n = 0,02$ $\Delta b = 0,2$ см

Таблица 5

Статистические характеристики удельной прочности древесины

Наименование параметра	Среднее арифметическое значение	Среднее квадратическое отклонение
Временное сопротивление при стандартных испытаниях материала	$R_{сп} = 340$ кгс / см ²	$n = 0,24$ $\Delta_{сп} = 27,2$ 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	$K_{одн} = 0,73$	$\Delta_{одн} = 0,02$

Примем следующие условия моделирования: усилия в элементе конструкции изменяются во времени с длительностью одного цикла 100 минут; расчетная длительность эксплуатации – 20 лет. Общее число циклов изменения усилия 175200; общее количество

элементов конструкций равно 10000; геометрические параметры и удельная прочность сосны изменяются в пространстве множества конструктивных элементов. Используя генератор случайных чисел и принятые статистические характеристики параметров нагруженности, выполним моделирование усилий в элементе конструкции с интервалом 100 минут за расчетную длительность эксплуатации 20 лет. В таблице 6 и на рис. 1 для примера приведены первые 10 значений усилия, полученные с помощью генератора случайных чисел для параметров распределения, приведенных в таблице 3.

Таблица 6

Наименование параметра	Значения параметра (первые 10), полученные с помощью генератора случайных чисел для принятых статистических характеристик				
	Усилия (кгс)	20416	19060	21172	22605
	17802	20508	23239	22353	19325

Выполним моделирование геометрических параметров в соответствии с принятыми статистическими характеристиками и общим количеством элементов конструкций 10000 (табл. 7 и рис. 2).

Таблица 7

Наименование параметра	Значения параметра (первые 10), полученные с помощью генератора случайных чисел для принятых статистических характеристик				
	Размер поперечного сечения a (см)	20,0	20,5	19,7	19,7
19,6		20,4	20,1	19,9	
19,7		19,5			
Размер поперечного сечения b (см)	9,7	10,0	10,0	9,8	
	10,7	10,3	10,16	10,1	
	10,0	10,1			

Определим растягивающие напряжения $S = \frac{N}{a * b}$ в каждом из 10000 элементов с интервалом 100 минут за расчетную длительность эксплуатации 20 лет.

Таблица 8

Наименование параметра	Значения параметра (первые 10), полученные с помощью генератора случайных чисел для принятых статистических характеристик				
	Растягивающие напряжения $S = \frac{N}{a * b}$ (кгс/см ²)	104,5	112,8	106,6	106,2
	95,9	84,1	111,9	110,7	
	113,4	97,6			

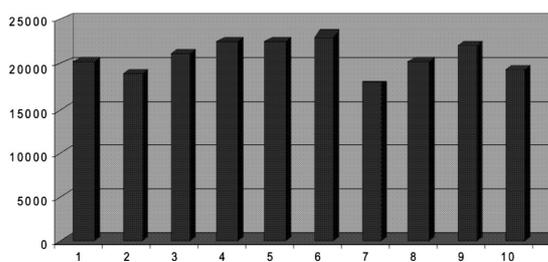


Рис. 1. Реализации усилия в элементе конструкции (кгс)

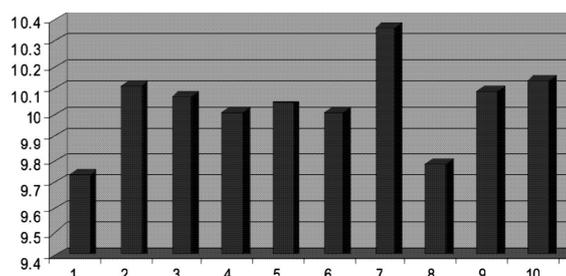


Рис. 2 а. Реализации размеров поперечного сечения в (см)

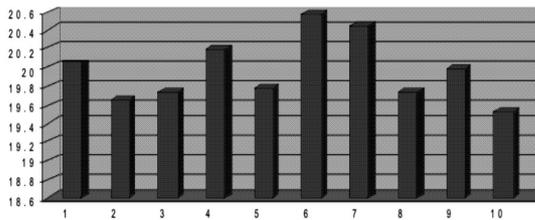


Рис. 2 б. Реализации размеров поперечного сечения a (см)

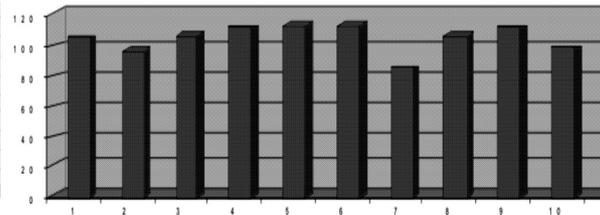


Рис. 3. Реализации напряжения S в кгс/см²

Выполним моделирование удельной прочности древесины в соответствии с принятыми статистическими характеристиками и общим количеством элементов конструкций 10000. Для этого при помощи генератора случайных чисел, используя функции распределения, представленные в таблице 5, получим по 10000 значений удельной прочности для стандартных испытаний материала, коэффициента, учитывающего влияние на прочность длительного действия нагрузки, и коэффициента однородности, учитывающего влияние на прочность пороков и размеров элемента.

Таблица 9

Наименование параметра	Значения параметра (первые 10), полученные с помощью генератора случайных чисел для принятых статистических характеристик			
Значения удельной прочности в стандартных испытаниях материала (кгс/см ²)	390	362	350	325
	371	345	3545	248
	311	304		
Коэффициент, учитывающий влияние на прочность длительного действия нагрузки	0,73	0,75	0,70	0,77
	0,77	0,78	0,74	0,76
	0,77	0,75		
Коэффициент однородности, учитывающий влияние на прочность пороков и размеров элемента	0,71	0,72	0,73	0,72
	0,74	0,73	0,74	0,74
	0,73	0,74		

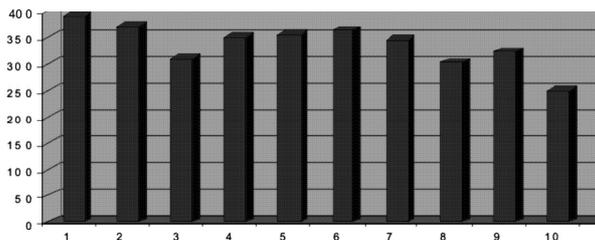


Рис. 4 а. Реализации значений удельной прочности для стандартных испытаниях материала (кгс/см²)

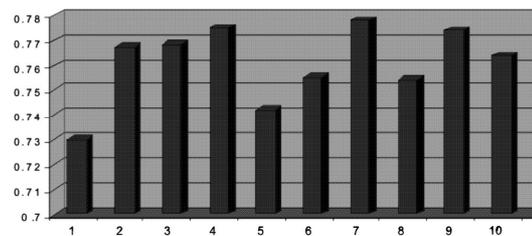


Рис. 4 б. Реализации значений коэффициента K_{dl}

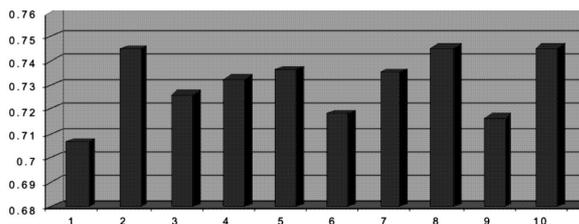


Рис. 4 в. Реализации значений коэффициента $K_{одн}$

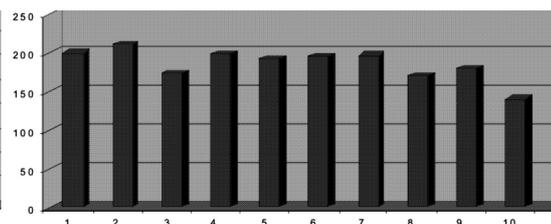


Рис. 5. Реализации удельной прочности с учетом коэффициентов K_{dl} и $K_{одн}$ (кгс/см²)

Определим удельную прочность на растяжение, пронумеровав полученные значения и перемножив их по порядку их расположения $R=R_{сп} * K_{дл} * K_{одн}$ для каждого из 10000 элементов. В таблице 10 и на рис. 5 для примера приведены первые 10 значений удельной прочности.

Таблица 10

Наименование параметра	Значения параметра (первые 10), полученные с помощью генератора случайных чисел для принятых статистических характеристик			
Удельная прочность на растяжение $R=R_{сп} * K_{дл} * K_{одн}$ (кгс/см ²)	201	196	174	171
	212	197	199	180
	193	142		

Сравнение реализаций удельной прочности с реализациями напряжений показало отсутствие случаев превышения напряжений удельной прочности древесины сосна на растяжение.

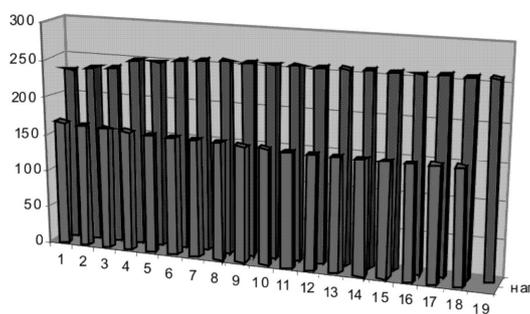


Рис. 6. Минимальные значения удельной прочности R и максимальные значения напряжения S (кгс/см²) при действии усилия N= 30000 кгс

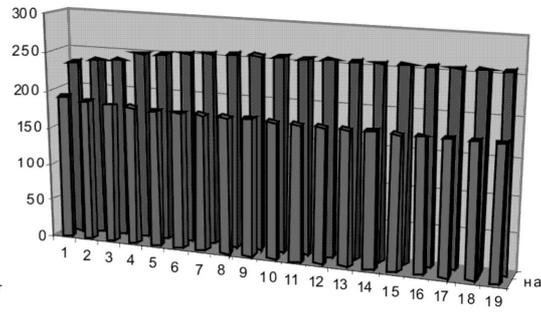


Рис. 7. Минимальные значения удельной прочности R и максимальные значения напряжения S (кгс/см²) при действии усилия N= 35000 кгс

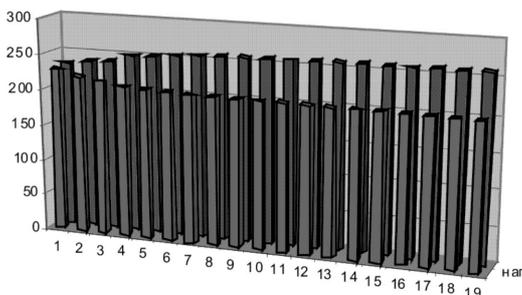


Рис. 8. Минимальные значения удельной прочности R и максимальные значения напряжения S при действии усилия N= 40000 кгс

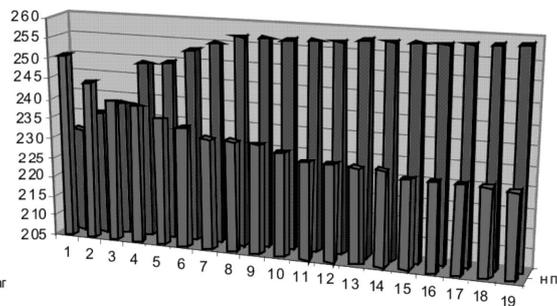


Рис. 9. Минимальные значения удельной прочности R и максимальные значения напряжения S при действии усилия N= 45000 кгс

Аналогичным образом для принятых условий моделирования, а именно длительности одного цикла 100 минут; расчетной длительности эксплуатации 20 лет, общего количества элементов конструкций 10000 были выполнены расчеты на усилия 30000 кгс, 35000 кгс, 40000 кгс и 45000 кгс. Результаты расчетов показали, что при усилиях 30000 кгс, 35000 кгс, 40000 кгс также не наблюдается случаев превышения напряжений удельной прочности древесины сосна на растяжение. А при усиллии 45000 кгс наблюдается 3 случая превышения напряжений над удельной прочностью на 10000 элементов за 20 лет эксплуатации. Полученные результаты свидетельствуют, что при принятых условиях рассеивания расчетных параметров конструктивный элемент имеет достаточную надежность при напряжениях на 50, 75, 100 %, превышающих расчетное сопротивление, рекомендуемое СНиП II-25-80 [2].

Выводы

Результаты статистического моделирования работы растянутого осевым усилием элемента деревянных конструкций показали, что для принятых условий моделирования, а именно длительности одного цикла 100 минут; расчетной длительности эксплуатации 20 лет, общего количества элементов конструкций 10000 при перегрузке элемента относительно несущей способности, определенной по методике СНиП II-25-80, на 50, 75, 100 % превышение напряжений над удельной прочностью не наблюдается. При перегрузке элемента относительно несущей способности, определенной по методике СНиП II-25-80, на 125 % имеет место превышение напряжений над удельной прочностью в 3 случаях на 10000 элементов за 20 лет эксплуатации.

Список литературы

1. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). – М., 1989. – 102 с.
2. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 61 с.
3. Манапов А.З. Расчет надежности и ресурса строительных конструкций методом статистического моделирования: Учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2010. – 131 с.

Manapov A.Z. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: man48-75@mail.ru

Galimshin R.A. – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Wood structure elements work statistical modeling

Resume

On an example of wooden structures' element stretched by an axial thrust the influence of dispersion of calculated power and geometrical parameters, and also the factors considering duration of the load and the influence on the durability of defects, and the sizes of element on parities pressure – a weight strength– is considered. The problem is solved by numerical statistical modeling with the use of Monte-Carlo method. At the first stage of decision the parameters of efforts distribution, geometrical sizes, factors considering features of wooden structures work, lumber material weight strength – a pine of 1 grade – have been defined. At the second stage a generation of set of random numbers of the adopted distribution function is executed and at the third stage, using the stress functions, the statistical set of stresses, which is comparable to the statistical weight strength set is obtained.

Statistical modeling results of work of wooden structures' element stretched by an axial thrust have shown that for the accepted conditions of modeling, namely duration of one cycle in 100 minutes; settlement duration of the operation 20 years, total of designs elements 10000 at an overload of an element concerning a load-carrying capacity defined by technique SNIIP II-25-80 on 50, 75, 100 % excess of pressure over weight strength is not observed. At an overload of an element concerning a load-carrying capacity defined by technique SNIIP II-25-80 on 125 % excess of pressure over weight strength in 3 cases on 10000 elements for 20 years operation takes place.

Keywords: pressure, durability, statistical modeling, method of Monte-Carlo.

References

1. The grant on designing of steel designs (SNIIP II-23-81*). – М.: 1989. – 148 p.
2. SNIIP II-25-80 Wooden designs. Norms of designing / Gosstroy of Russia. – М.: GUP UP CPP, 1999. – 61 p.
3. Manapov A.Z. Reliability resource. – Kazan: KSABA, 2010. – 131 p.