

Выводы. Таким образом, для определения величины связанной деформации при расширении напрягающего бетона необходимо иметь:

1. Адекватные аналитические зависимости, описывающие развитие собственных эффективных относительных деформаций свободного расширения во времени для бетонов с различной маркой по самоупрочению, определяемой в стандартных условиях.

2. Аналитические зависимости для определения коэффициентов ползучести напрягающего бетона в раннем возрасте (до 28-ми суток реального возраста), установленном с учётом влияния температурно-влажностного режима окружающей среды (т.е. с учётом влияния условий хранения на стадии твердения и расширения напрягающего бетона).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона: монография / В.В. Тур. – Брест: изд. БрПИ, 1998. – 246 с.
2. Предварительно напряжённые железобетонные конструкции: монография / И. Гийон – М.: Стройиздат, 1958. – 498 с.
3. Расширяющийся и напрягающий цементы и самоупрочённые железобетонные конструкции: монография / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 389 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции из напрягающего бетона: ТКП 45-5.03-158-2009 / Министерство архитектуры и строительства РБ. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 28 с.
5. Early Age Deformation and Resultant Induced Stress in Expansive High Strength Concrete / I. Hidetoshi [et al.]. – Journal of Advanced Concrete Technology, 2004. – Vol. 2, №2. –155-174 p.
6. Применение базальтопластиковой арматуры при изготовлении самоупрочённых конструкций / В.В. Тур, О.С. Семенюк. – Вестник Брестского государственного технического университета, 2013. – № 1(79): Строительство и архитектура. – С. 99–103 с.
7. Expansive Performance of Self-stressing and Self-compacting Concrete confined with Steel Tube / X. Lei [et al.]. – Journal of Wuhan University of Technology-Mater, 2007. – P. 341–345.
8. JCI: Autogenous Shrinkage of Concrete / E. Tazawa [et al.]. – London, 1999. – 31 p.
9. Design of Concrete Structure. General Rules and Rules for Building: EN 1992-1: 2001 (Eurocode 2) / Brussel: European Committee for Standardization, Introduced October 2001. – 230 p.
10. Бетоны напрягающие. Технические условия: СТБ 2101-2010. – Введ. 28.07.2010. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 19 с.

УДК 624.011

Фурсов В.В., Бидаков А.Н.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Изучение механических и в первую очередь прочностных характеристик древесины показывает существование значительного разброса их величин. Подобный разброс зависит от конкретных факторов, влияющих на механические свойства, и характерен даже для стали, хотя последняя и рассматривается как однородный и изотропный материал. Очевидно, что при наличии неоднородностей, характерных для древесины, распределение в ней напряжений от приложенной внешней нагрузки будет таким же неравномерным, как и распределение прочностей. Более того, эта неравномерность должна сопровождаться значительным усложнением картины напряженного состояния при дополнительном наложении местных градиентов напряжений, возникающих при узловых сопряжениях, и наличия концентраторов. Для описания дисперсной среды как таковой, необходимо оценить характеристики в пределах различных ее объе-

мов. Существуют статистическая, энергетическая, технологическая и другие гипотезы о влиянии размеров элементов на их прочность. Наиболее корреспондируется с результатами исследований древесины статистическая теория. Прочностные характеристики для неё с достаточной степенью вероятности подчиняются нормальному закону распределения Гаусса. В случае неравномерного распределения напряжений материала при переходе от одной точки среды к другой, изменение тензора напряжений и всех его составляющих будет следовать не только статистическим колебаниям, но и еще закону внешнего неоднородного поля напряжений. Среднеквадратичная величина отклонения напряжений того или иного вида от среднего их значения характеризует коэффициент вариаций для той или иной конкретной выборки. Связь размеров образца или любого элемента с основными показателями его неоднородности – дисперсией какого-либо признака в данном материале – изучалась целым рядом ученых [1, 2, 7–11]. Проявление так называемого масштабного эффекта связывалось с наличием дефектов в образцах. С.Н. Журков и А.П. Александров [5] считали, что чем опаснее дефект, тем реже он встречается в единице объема. Минимальную прочность крупного образца в их трактовке следовало соотносить с прочностью наиболее слабого из мелких образцов. Вейбулл В. [2] развил эту теорию, положив в основу прочности изделия характеристики наиболее слабого его звена. Вероятность разрушения материала Вейбулл В. выбирал произвольно. Согласно его теории вероятность разрушения

$$S(\sigma) = 1 - e^{-\pi n(\sigma)^n}, \quad (1)$$

где $\pi(\sigma) = \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n$, а σ_0 , n – константы материала.

Тогда зависимость хрупкой прочности в функции от объема испытываемого образца будет иметь вид:

$$\sigma_{хр} = \frac{A}{V^{1/n}}. \quad (2)$$

Здесь A – некая постоянная, зависящая от характера напряженного состояния; $1/n$ – постоянная, учитывающая неоднородность материала.

При рассмотрении различных видов напряженного состояния весьма важным является обоснование аргумента, относительно которого производится оценка влияния масштабности. В качестве аргумента принимались линейные размеры, площадь, объемы, части объемов и т.д. Наиболее часто оценка масштабности производилась для изгибаемых элементов.

Так, Знаменский Е.М. [3, 4], в результате анализа значительного количества образцов, предложил учитывать изменение сечений по формуле:

$$K = 0,73 + \frac{0,54}{h_0}, \quad (3)$$

при этом $h_0 = 2$ см.

Ньюмин и Трейер [8] учли коэффициент высоты:

$$K = 1 - 0,07 \left(\sqrt{\frac{h}{2}} - 1 \right). \quad (4)$$

где $K = 1$ (для стандартных размеров 2x2 дюйма).

Юлинен А. [6] определял коэффициент масштабности относительно стандарта при $h_0 = 2$ см с помощью выражения:

$$K = \frac{1,06(1 + 0,16h)}{1 + \frac{0,2}{h}}. \quad (5)$$

Конечно, варьирование лишь одного линейного размера неправомочно, нельзя игнорировать возможное изменение других размеров.

Американский справочник по древесине [10] рекомендует следующее выражение, базирующееся на гипотезе "слабого звена":

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{h_2 L_2 \left(1 + \frac{m a_2}{L_2}\right)}{h_1 L_1 \left(1 + \frac{m a_1}{L_1}\right)}, \quad (6)$$

где R_1, R_2 – пределы прочности при изгибе; h – высота сечений;

L – пролет балки; a – расстояние между сосредоточенными силами;

m – константа.

Исключая формулу 6, являющуюся универсальной, что само по себе представляется условным, все остальные формулы получены для цельной древесины. При оценке масштабного фактора, при сжатии, Быковский В.И. [1] предложил две формулы с аргументами в виде высоты, от которой он сам вскоре отказался, и площади.

На современном уровне наиболее заслуживающим внимание было предложение Соболева Ю.С. [12], полученное для цельной древесины:

$$\sigma_{ср}^c = \frac{51.3}{F^{0.0238}}, \quad (7)$$

где F – площадь поперечного сечения.

Согласно требованиям ЕС-5, для прямоугольных элементов из клееной древесины базовая высота при изгибе или сжатии составляет 600 мм. Для высоты при изгибе или ширине при растяжении клееной древесины менее 600 мм характеристические значения f_{mk} и $f_{t,0,k}$ могут быть увеличены на коэффициент K_h

$$K_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\}, \quad (8)$$

где h – высота изгибаемых или ширина при растянутых элементах, мм.

Проведенные авторами контрольные испытания по оценке масштабного фактора для цельной древесины, а также обработка отдельных ранее проведенных исследований, позволяють утверждать, что в качестве аргумента для сжатия и растяжения целесообразно принимать площадь, а при изгибе – некий приведенный объем ($v_{ср} = bh^2$).

Данные по статистической обработке результатов исследований цельной древесины на сжатие приведены в табл. 1. По результатам обработки, представленной в полулогарифмической системе координат, получены следующие формулы:

$$\sigma_c = 52,2 - 3,48 \lg F; \quad (9)$$

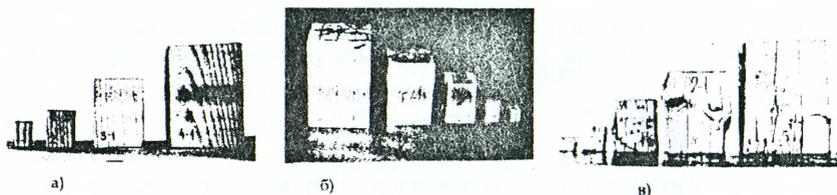
$$m_c = 1 - 0,066 \lg F. \quad (10)$$

Таблица 1 – Результаты испытаний на сжатие образцов из цельной древесины с учетом масштабного фактора

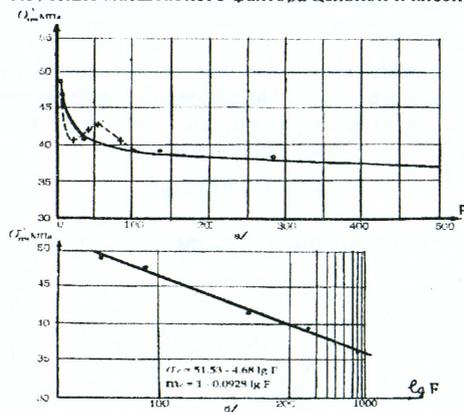
Группы образцов	Сечение b x h x l (мм)	Кол-во n (шт)	\bar{M} МПа	σ МПа	v %	m МПа	P %
1	20x20x30	38	50,7	3,89	7,7	0,632	1,2
2	30x30x45	41	48,4	3,36	6,9	0,531	1,1
3	60x60x90	36	47,2	4,40	9,3	0,730	1,55
4	90x90x134	30	46,8	2,57	5,5	0,469	1,0
5	120x120x180	32	44,1	3,24	6,5	0,671	1,52

Следует отметить, что закономерное уменьшение пределов прочности при увеличении размеров образцов, сопровождается эффектом снижения коэффициентов вариации (гипотеза В.В. Болотина), которые гостированы для малых образцов из чистой древесины (ортотропные объемы). При существующей системе нормирования это неизбежно должно привести к некоторому увеличению значений расчетных сопротивлений.

Проведенные авторами испытания клееной древесины на осевые усилия (сжатие, растяжение, смятие, общим количеством около 700 образцов) установили общие закономерности разрушения, происходящего на границе ранних и поздних клеточных слоев в пределах одной наиболее слабой доски между смежными клеевыми швами. При этом клей диффундирует в смежные доски и фактически является некоей армирующей прослойкой. Оценка масштабного фактора для клееной древесины на сжатие была проведена для образцов различных размеров при учете геометрического, кинетического и температурно-влажностного подобия. Результаты испытаний клееной древесины на сжатие приведены в таблице 2, а также на графиках, выполненных в декартовой и полулогарифмической системе координат, где приведены аналитические выражения, полученные после статистической обработки (рис. 2), а общий вид образцов после испытаний представлен на рис. 1.



а, б – образцы для испытаний на сжатие из цельной и клееной древесины;
в – клееные образцы после испытаний
Рисунок 1 – Изучение масштабного фактора цельной и клееной древесины



а-в) обычных, б-в) полулогарифмических координатах
Рисунок 2 – Влияние масштабного фактора на прочность сжатых клееных элементов

Анализируя графики на рис. 3 следует обратить внимание на снижение предела прочности при испытании образцов, состоящих из одной доски. В образцах из двух досок наблюдается рост пределов прочности, что указывает на армирующее влияние клевого шва. Этот эффект проявляется для сечений, состоящих из трёх досок, а при рассмотрении сечений с большим количеством досок влияние клеевых швов существенно снижается.

Таблица 2 – Учет масштабного фактора при испытаниях на сжатие клееной древесины

Группы	№ серий	Кол во п шт.	Сечения bхh см	l см	F см ²	lg F	W %	R _n ^{сп} МПа	v %	R ^{сп} группы МПа
I	1	20	2x2	3	4	0,6	7,5	48,5	6,4	46,9
II	2	20	2x2	3	4	0,6	10,0	45,3	4,9	
III	3	20	2x2	3	4	0,6	10,0	48,3	6,8	
III	4	10	3x3	4,5	9	0,95	10,0	48,4	9,8	
I	5	36	7x3,1	15	21,7	1,34	7,2	40,8	13	41,6
III	6	10	6x6	9	36	1,55	10,1	42,0	11	
I	7	30	14x4	19,9	56	1,75	7,4	42,6	12,8	
III	8	10	9x9	13,4	81	1,90	10,0	41,8	10,3	
III	10	10	12x12	18,0	144	2,16	11,0	41,8	7,8	40,2
	11	24	14x20,6	30,1 60,1	288,4	2,46	7,3	38,5	8,5	
	12	12	13,9x41,6	60,0	578,2	2,76	7,4	38,2	6,7	36,7
II	13	18	14x55	78	770	2,88	10	35,9	6,0	
	14	3	13x110	180	1430	3,15	10	35,6	-	

Примечание: группы I и II по [9], а группа III – испытания авторов

Для сопоставления приведены некоторые результаты Осиной Т.Ю. и Романова П.Г. [9], обработанные по методике авторов. Непосредственные данные этой работы не могли быть использованы, поскольку указанные авторы принимали в качестве аргумента эффективный объем, предложенный для изгиба Смирновой Т.П. [11], а также не приводили пределы прочности к 12% влажности. Учитывая, что в крупных образцах смятие торцов не является характерным, такой подход для сжатия следует признать весьма приближенным. Кроме того, в этой работе высоты поперечных сечений элементов прямоугольной формы принимались различными – от 2 см до 1,8 м, в связи с чем значение эффективного объема становилось неопределенным. Таким образом, механический перенос хорошо аргументированной для изгиба идеи на другой вид напряженного состояния может привести к погрешностям.

Общие выводы

1. Поскольку поперечные сечения цельной древесины ограничены диаметрами сортиментов, влияние масштабного фактора на неё незначительно.

2. При сжатии клееных сечений количество швов, вызывающих повышение прочности, составляет 3 шва, а при дальнейшем увеличении их количества также проявляется эффект масштабности.

3. При учёте масштабного фактора весьма важным является правильный выбор аргумента, относительно которого он рассматривается. Так, для сжатия, растяжения, скалывания в качестве аргумента следует принимать площади поперечных сечений, а для изгиба некий приведенный объём.

4. Разработаны аналитические зависимости, позволяющие оценить не только прочностные характеристики, но и провести коррекцию коэффициента масштабности.

5. На кафедре МДК ХНУСА за последнее время проведено значительное количество испытаний на различные виды напряженно-деформированного состояния клееных деревянных конструкций. Разработаны предложения по учёту масштабного фактора для скалывания, изгиба, а также упругих характеристик клееной древесины, которые из-за ограниченности объёма будут помещены в последующих публикациях.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быковский, В.Н. Соппротивление материалов во времени с учетом статических факторов / В.Н. Быковский. – М.: Госстройиздат. 1958. – 268 с.
2. Вейбулл, В.А. Усталостные испытания и анализ их результатов / В.А. Вейбулл. – М.: Машиностроение. 1964. – 275 с.
3. Знаменский, Е.М. Об учете характера и длительности действия нагрузок при нормировании расчетных сопротивлений древесины // В кн.: несущие деревянные конструкции: сб. научных трудов. – М.: ЦНИИСК, 1981. – С. 127–132.
4. Знаменский, Е.М. Совершенствование нормирования расчетных характеристик деревянных конструкций // Тр. ЦНИИСК. – М. – 1989 – С. 36–47.
5. Журков, С.Н. Временная зависимость прочности твердых тел / С.Н. Журков, Б.Н. Нарзуллаев // Журн. техн. физики. – 1953. – Т. 23. – № 10. – С. 1677–1689.
6. Ulinen, A. Über die Bestimmung der Zeitbedingungen elastischen und Festigkeitseigenschaften des Holzes mit Hilfe allgemeinen nichtlinear viscoelastischen rheologischen Modells. // Holz und Werkstoff. H.S. – 1965.
7. Бартенев, Г.М. Об анизотропии и природе масштабного фактора стекла // «Заводская лаборатория». – № 9. – 1960.
8. Волков, С.Д. О кинетике разрушения и масштабном эффекте // Завод. лаб. – № 3. – 1960.
9. Осина, Т.Ю. Влияние масштабного фактора на прочность клееной древесины при сжатии вдоль волокон: сб. научных трудов / Т.Ю. Осина, П.Г. Романов – М.: ЦНИИСК, 1989. – С. 110–117.
10. Справочное руководство по древесине. Лаборатория деревянных конструкций США. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 549 с.
11. Смирнова, Г.П. Разработка и совершенствование деревянных конструкций / Г.П. Смирнова, Е.М. Знаменский, 1984 – С. 138–147.
12. Соболев, Ю.С. Древесина как конструкционный материал. – М.: Лесная промышленность», 1979. – 248 с.

УДК 691

Хотько А.А., Садин Эбраим Язуб

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

Одним из решений, позволяющих экономить стальную арматуру в железобетонных конструкциях, является использование в качестве армирования композитной (стеклопластиковой и базальтопластиковой) арматуры в предварительно напряженных изгибаемых несущих композитобетонных конструкциях [3, 4, 5]. Однако в связи с рядом особенностей композитной арматуры (низкий модуль упругости, более низкая огнестойкость изделий армированных композитной арматурой, низкая прочность при поперечных нагрузках, сложность изготовления гнутых арматурных изделий) методики расчета и конструирования композитобетонных конструкций будут иметь существенные отличия по сравнению с методиками расчета и конструирования железобетонных конструкций [3, 4].

Ввиду отсутствия нормативных документов, регламентирующих требования к стеклопластиковой арматуре, имеются различия, как в технологии изготовления арматуры, так и в геометрических параметрах образующегося при производстве периодического профиля. Производится арматура с песчаной посыпкой поверхности и без нее. При этом является очевидным тот факт, что, обладая различными параметрами периодического профиля, стеклопластиковая армату-