

УДК 69.07, 691.615.5

ТРАВУШ В.И., КОНИН Д.В., РТИЩЕВА И.В.

РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МНОГОСЛОЙНОГО СТЕКЛА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

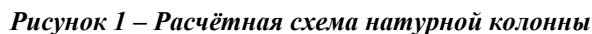
Представлены результаты испытаний конструкций из многослойного термоупрочнённого стекла. Рассмотрены вопросы расчёта на центральное сжатие, изгиб, сжатие с изгибом и устойчивость многослойных стеклянных конструкций. Даны описания расчётной схемы рассматриваемых конструкций и особенностей многослойного стекла. Проведена оценка существующих методик расчета, численного моделирования и их сравнение с результатами эксперимента. Обоснована тема исследования.

Ключевые слова: стекло, колонна, балка, термоупрочнённое стекло, многослойное стекло, стеклянная конструкция, светопрозрачный фасад, расчёт, центральное сжатие, сжатие с изгибом, чистый изгиб.

Введение

В последние годы при строительстве зданий практикуется использование несущих конструкций из стекла. Такие конструкции, как правило, держат светопрозрачный фасад или покрытие и более распространены за рубежом [9]. В частности, при конструировании и строительстве используются фасадные стеклянные конструкции со значительной расчетной длиной. Такой фасад с фахверковыми стеклянными стойками длиной более 16 м (рисунок 1) был исследован авторами настоящей статьи. Был выполнен комплекс испытаний конструкций из многослойного термоупрочнённого стекла. Исследовались колонны, используемые в качестве фахверковых несущих конструкций фасада, работающих как сжато-изгибаемые элементы со значительным эксцентриситетом. Одной из задач исследования являлось составление методики расчёта несущих конструкций из многослойного стекла на прочность и устойчивость. Отсутствие нормативно-технической документации по расчёту, проектированию и испытаниям несущих стеклянных конструкций и определяет необходимость составления настоящей методики.

В рамках научно-исследовательской работы были проведены испытания 18 образцов трех групп моделей из многослойного термоупрочнённого стекла прямоугольного поперечного сечения. **Первая группа моделей** («колонны»), марки К1 (рисунок 2) эквивалентна натурным колоннам по гибкости в обоих плоскостях и предназначена для испытаний центральным и внецентренным сжатием с заданным эксцентриситетом. **Вторая группа моделей** («балки»), марки Б2 (рисунок 3) предназначена для испытания на чистый изгиб. **Третья группа моделей** («призмы») (рисунок 4) предназначена для испытаний центральным сжатием и анализа работы материала составного сечения. Модели данной группы имеют состав сечения, соответствующий 1-ой группе моделей - марка К3а и натурным колоннам - марка К3б. Стёкла для всех моделей термоупрочнённые толщиной 12 мм, клеевые прослойки толщиной 0,89 мм. Экспериментальные образцы, натурные колонны и материал для них изготовлены одним производителем. При испытаниях моделей на сжатие обеспечена шарнирная работа верхней и нижней опор, исследуемый эксцентриситет, а также шарнирное опирание для балок.



Анализ полученных результатов показал, что на работу конструкции из стекла, так же как и из других материалов, велико влияние гибкости (i/L). Полное разрушение гибких образцов-стоек при нормальном нагружении происходит после потери устойчивости, при начальном разрушении (одиночная трещина) потеря устойчивости не происходит – деформации визуально не видны, $\sigma_{lc} < \sigma_{llc}$ в 1,06 ... 1,5 раза. При испытании образцов коротких балок полное разрушение наступало сразу после появления первых трещин (групповые веерообразные или наклонные), деформации ничтожно малы. Для центрально-сжатых образцов «призм» малой гибкости (без возможности потери устойчивости) характерна большая разница между напряжениями начального и полного разрушения – в 1,4 ... 2,8 раза.

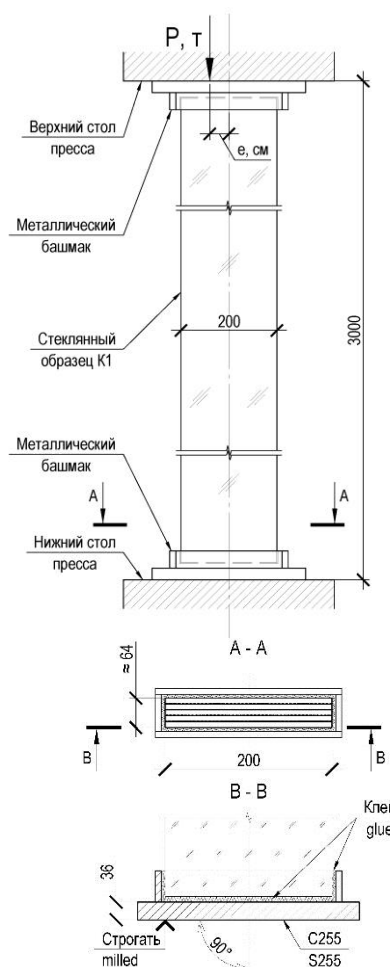


Рисунок 2 – Схема экспериментального образца 1-ой группы моделей (линейные размеры в мм)

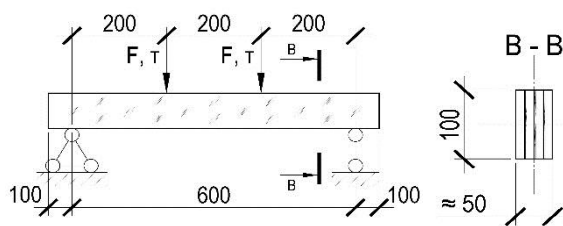


Рисунок 3 – Схема экспериментального образца 2-ой группы моделей (линейные размеры в мм)

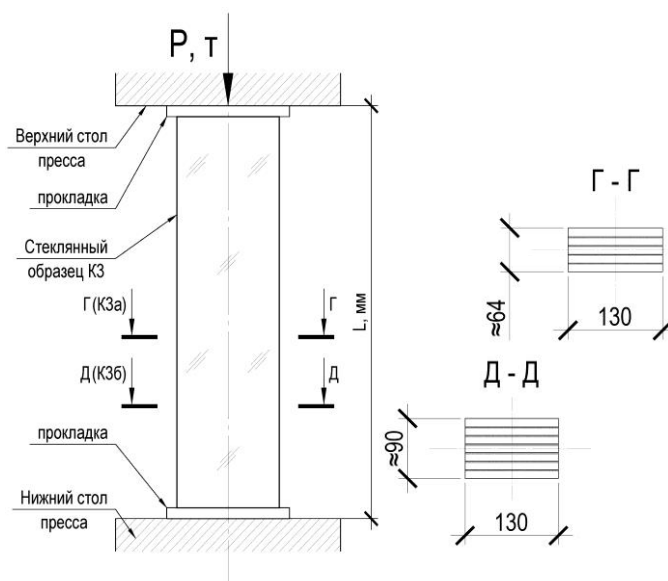


Рисунок 4 – Схема экспериментального образца 3-ей группы моделей (линейные размеры в мм)

В процессе эксперимента было определено, что работа стекла с трещинами опасна, поэтому несущая способность многослойного стекла принята по первой ступени разрушения. Максимальное рекомендуемое **расчётное** напряжение для рассматриваемых образцов из термоупрочнённого многослойного стекла составляет $R_{ag} = 29$ МПа, нормативное значение напряжения составляет не менее $R_{ag}^0 = 41$ МПа.

Стекло - изотропный материал. Для него характерна прямая пропорциональная зависимость между напряжением и укорочением (удлинением) во всем диапазоне его работы. Стекло может сохранять свои упругие свойства вплоть до разрушения [8, 11]. Но многослойное стекло имеет в своём составе материалы со значительно отличающимися характеристиками и свойствами: листовое стекло и полимерный клей. Поэтому естественно для многослойного стекла различие свойств в разных направлениях сечения одного элемента, и для расчёта несущих конструкций использовать фактический модуль упругости стекла по ГОСТ 33087-2014 $E=70$ ГПа не допустимо. Соответственно, значения модуля упругости стеклянных многослойных образцов различны для главных осей сечения и составляют: в направлении перпендикулярном слоям стекла – 30 000 МПа; вдоль слоёв стекла – 60 000 МПа. Для расчета конструкции по деформациям предлагается принимать $E_g=12\,500$ МПа для учета возможных расслоений и незначительных начальных разрушений - эта очевидная предпосылка была подтверждена испытаниями.

Физико-механические характеристики многослойных стёкол так же определяют технология и контроль изготовления [7] – от разных производителей они имеют отличные

характеристики. Указанные выше значения действительны только для колонн-рёбер из многослойного термоупрочнённого стекла произведённого фирмой «sedak GmbH&Co.KG» с формулой изготовителя: 12mm OW TVG 0.89mm SQ Folle 12mm OW TVG 0.89mm SQ Folle 12mm OW TVG 0.89mm SQ Folle ... 12mm OW TVG (от 4-х до 7-и слоёв).

Расчёт несущих конструкций

Усилия в стеклянных конструкциях определяются по результатам пространственного расчета с использованием метода конечных элементов по деформированной схеме.

Геометрические характеристики сечения, расчетные длины, гибкости (λ) элементов из термоупрочнённого многослойного стекла определяются по общим законам теоретической и строительной механики. Геометрические характеристики определяются без учета клеевой прослойки – вместо нее учитывается зазор между стеклами соответствующего размера в пакете.

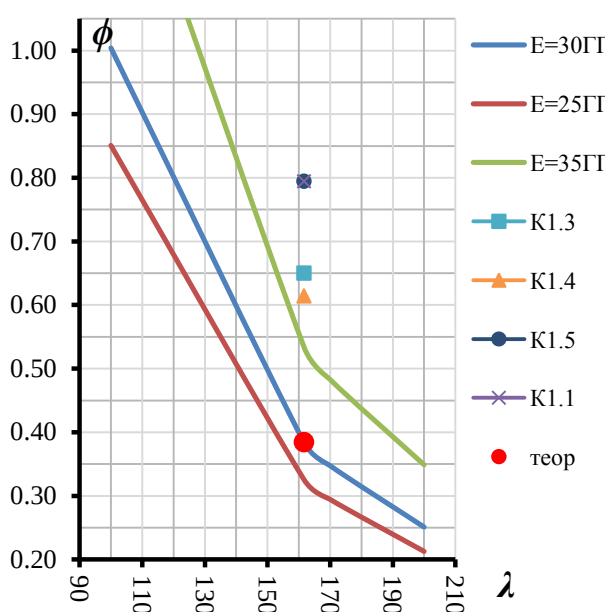


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента продольного изгиба от гибкости для стоек из многослойного термоупрочнённого стекла

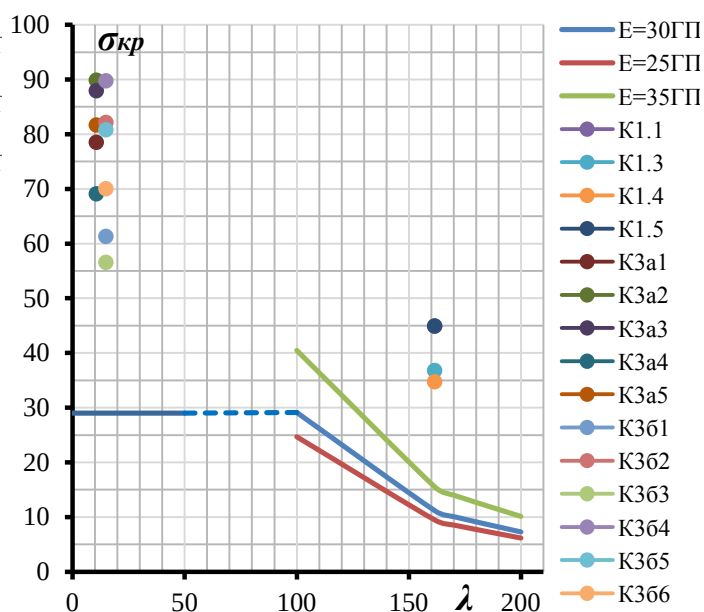


Рисунок 6 – График критических напряжений для стоек из многослойного термоупрочнённого стекла

На рисунках 5 и 6 показаны зависимости коэффициента продольного изгиба и критических напряжений от гибкости стоек. На участке малых гибкостей в диапазоне гибкостей от 0 до 50, критическое напряжение постоянно, равно расчётному напряжению $R_{ag}=29$ МПа и не зависит от гибкости стержня. При гибкости ориентировочно более 100 критическая сила, как известно, изменяется по закону Эйлера. На рисунках приведены кривые критических напряжений по Эйлеру для модуля деформации E равного 25, 30 и 35 ГПа. По результатам испытаний все центрально-сжатые стойки группы K1 разрушались при потере устойчивости из плоскости стеклянных листов. Модуль деформации для стоек из плоскости листов составляет 30 000 МПа (30 ГПа). Точечными значениями на графиках показаны критические напряжения в испытанных стойках. Гибкости испытанных стоек ($\lambda=161,6$) из плоскости практически соответствуют гибкостям из плоскости запроектированной конструкции (около $\lambda=160$, см. рисунок 1). На рисунке 6 видно, что фактически полученные критические напряжения (точечные значения при гибкости 161,6) выше получаемых расчетным способом, что идет в запас прочности. Критические

напряжения при гибкостях, отличных от представленных требуется уточнить при проведении дальнейших испытаний.

Расчет критических напряжений и коэффициента продольного изгиба

Коэффициент продольного изгиба вычисляется по формуле:

$$\varphi_g = \frac{\sigma_{кр}}{R_{ag}} \quad (1)$$

Теоретическое значение коэффициента при гибкости 161,6 и принятой прочности стекла 29 МПа составит 0,38 (красная точка на рисунке 5). Коэффициент продольного изгиба можно принять как отношение напряжения появления первой трещины к минимальному фактическому значению прочности многослойного стекла, получаемого по результатам испытаний ($\varphi_g^c = \frac{\sigma_{Ic}}{R_{g,min}}$, образец К3БЗ $R_{g,min}=56.54$ МПа). Фактические значения данного коэффициента, получаемые по результатам испытаний колеблются в диапазоне 0,61...0,79 (точечные маркеры на графике рисунка 5). График коэффициента продольного изгиба при $E=30$ ГПа лежит ниже точечных значений, что говорит о правильности выбранной кривой и способа определения критических напряжений и, соответственно, коэффициента продольного изгиба.

Принятая методика расчета критических напряжений и коэффициента продольного изгиба для рассчитываемых конструкций дает запас не менее 1,6, как и отношение фактического φ к теоретическому: $0.61/0.38=1.6$. Учитывая малоизученность работы многослойного стекла в качестве материала для несущих конструкций и многослойного стекла в частности, такой значительный запас прочности оправдан.

Определение напряжений в поперечных сечениях

Для определения максимальных напряжений и расчёта элементов из многослойного термоупрочнённого стекла следует выбирать расчётные значения нагрузок при наиболее невыгодном сочетании. Определение нагрузок и их сочетаний выполняется согласно СП [3].

Напряжение, соответствующее наиболее невыгодному сочетанию нагрузок, приходящихся на элемент, вычисляется как сумма напряжений от действующих усилий, поэтому, расчет по прочности элементов из многослойного термоупрочненного стекла следует выполнять по формуле:

$$\frac{\frac{N}{A_g} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}}{R_{ag}/\gamma_n} \leq 1 \quad (2)$$

где N – продольная сила, соответствующая рассматриваемому сочетанию усилий (наиболее невыгодному);

M_x , M_y – изгибающие моменты в разных плоскостях, соответствующие рассматриваемому сочетанию усилий, с учётом начального эксцентриситета приложения силы, а так же от прогиба при действии момента;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый согласно [4].

Ориентировочный расчет сжатых стержней по двум направлениям можно выполнять по формуле:

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi_g A_g R_{ag}} \leq 1 \quad (3)$$

Коэффициент продольного изгиба φ_g для соответствующих осей следует определять по результатам эксперимента и по формуле (1) и, но не более 1.

Напряжения, соответствующие критической силе $\sigma_{кр}$ для стойки (колонны) из многослойного термоупрочненного стекла при гибкости $\lambda \geq 100$ следует определять по формуле для соответствующих осей:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E_g}{\lambda^2} \quad (4)$$

Прогибы и деформации конструкций определяются по результатам численного расчета от соответствующих нормативных нагрузок при наиболее невыгодном сочетании по СП [3] с учетом рекомендуемых значений модуля деформаций.

Сопоставление результатов испытаний с результатами расчёта

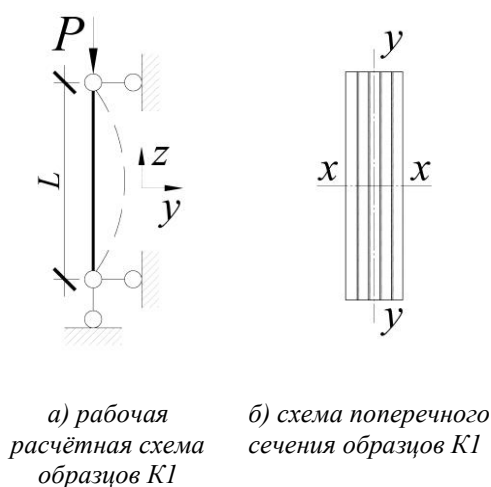


Рисунок 7 – Расчётная схема экспериментальных образцов

Сводные результаты испытаний для образцов типа К1 сведены в таблицу 1, соответственно расчётной схеме на рисунке 7.

Для сравнительного анализа использована натурная фахверковая колонна, с размерами сечения 93.12мм × 850мм. Сечение состоит из семи слоёв термоупрочнённого стекла толщиной 12 мм с клеевыми горизонтальными распорками, шарнирное, с шагом прослойками 1,52 мм, формула сечения соответствует испытываемым образцам К36, расчётная схема эквивалентна образцам К1. Максимальная высота колонны 16,5 м, раскрепление из плоскости 4,2 м. Основание и оголовок стеклянной колонны шарнирно соединены с конструкциями фундамента и покрытия. Расчетная схема колонны и её сечение – см. на рисунке 1.

Таблица 1 – Сводные результаты испытаний образцов группы К1 («колонн»)

Марка модели	Нагрузка I-ой ступени разрушения, P_I , кН	Эксцентриситет приложения нагрузки, e_y , см	Напряжения I-ой ступени разрушения, σ_I , МПа	Среднее значение напряжения, σ_I , МПа	Величина деформаций на середине высоты стойки f , соответствующая нагрузке P_I , см					
					в плоскости меньшей жёсткости, x-x			в плоскости большей жёсткости, y-y		
					f_x	относительная деформация	среднее значение, $\bar{f}_x$	f_y	относительная деформация	среднее значение, $\bar{f}_y$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K1.1	539,55	0	44,92	40,324	-	-	0,211	-	-	0,076
K1.2	343,35	3	54,31		0,194	1/1546		0,024	1/12500	
K1.3	441,45	0	36,75		0,44	1/682		0,184	1/1630	
K1.4	416,925	0	34,71		0,039	1/7692		0,022	1/13636	
K1.5	539,55	0	44,92		0,17	1/1765		0,074	1/4054	

При шарнирных опорах верхнего и нижнего концов стержня, с учётом раскрепления в плоскости меньшей жёсткости; равномерно распределённой горизонтальной нагрузке в плоскости большей жёсткости и равномерно возрастающей вертикальной нагрузке коэффициент продольного изгиба принят равным единице: $\mu=1,0$. Таким образом, расчётная длина в плоскости большей жёсткости сечения y-y составляет $l_{efy}=16,5$ м, в плоскости меньшей жёсткости x-x - $l_{efx}=4,2$ м.

Наглядные результаты расчёта колонны в программном комплексе, с учётом различных модулей упругости отображены на рисунке 8: в плоскости сечения y-y $E_g=60\,000$ МПа, x-x - $E_g=30\,000$ МПа – рис. 8б, 8в, 8д; для расчёта перемещений $E_g=12\,500$ МПа – рис. 8г.

Сопоставление результатов расчётов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сопоставление результатов эксперимента, численного моделирования и расчёта

Наименование	Минимальное значение результата эксперимента для моделей K1 ¹⁾	Среднее значение результата эксперимента для моделей K1 ¹⁾	Результат численного моделирования в программном комплексе	Результат расчёта согласно вышеизложенной методике	Разница результатов расчёта и численного моделирования, %
Максимальное численное значение напряжения, σ , МПа	34,71	40,32	12,5 ²⁾	13,5 ²⁾	8 %
Отношение результата к среднему результату эксперимента (коэффициент использования)	0,86	1,00	0,31	0,34	8 %
Отношение результата к принятому максимально возможному напряжению многослойного термоупрочнённого стекла $R_{ag}=29$ МПа (коэффициент использования)	1,20	1,39	0,43	0,47	8 %
Перемещение (прогиб) по отношению к высоте образца в рабочей плоскости большей жёсткости у-у	$l/1630$	$l/3947$	$l/398$ ³⁾	$l/286$ ³⁾	39 %
Перемещение (прогиб) по отношению к высоте образца в плоскости меньшей жёсткости х-х	$l/682$	$l/1423$	$l/4200$ ²⁾	–	–

Из таблицы 1 видно, что результаты эксперимента изменяются в широких пределах: разница между максимальным и минимальным полученным напряжением σ_l в 1,565 раза, деформаций в 8 ... 11.5 раз. Первая ступень разрушения, при которой требуется замена конструкции, наступает до образования критических или видимых деформаций.

Из таблицы 2 также следует, что максимальные численные значения напряжений результатов моделирования и расчёта значительно меньше средних и минимальных результатов эксперимента (до 69%) и принятому максимально возможному напряжению (расчётному сопротивлению) стекла $R_{ag}=29$ МПа (до 57%), что позволяет утверждать о надёжности выбранной методики расчёта. Деформации по результатам расчёта в рабочей плоскости с большей жёсткостью сечения превышают значения, полученные по результатам эксперимента, а в меньшей – значительно меньше. Это связано с тем, что экспериментальные модели не имели горизонтального нагружения и потеря их устойчивости происходит в плоскости меньшей жёсткости сечения. В свою очередь, рассматриваемые натурные стеклянные стойки работают как сжато-изгибаемые, прогиб которых от горизонтальной нагрузки значительно превышает величину деформации потери устойчивости от нормальной силы, и был определён с учётом пониженного модуля упругости $E_g=12500$ МПа. Разночтения результатов численного моделирования и расчёта связаны с особенностью загрузки фахверка (рисунок 1а). С учётом всех допущений и запасов, максимальная полученная

величина прогиба не превышает существующего ограничения по ГОСТ 33087-2014, равного 1/250. Возможное увеличение микротрещин и последующее разрушение при значительных деформациях, компенсирует пониженный модуль упругости для расчёта по прогибам изгибаемых конструкций.

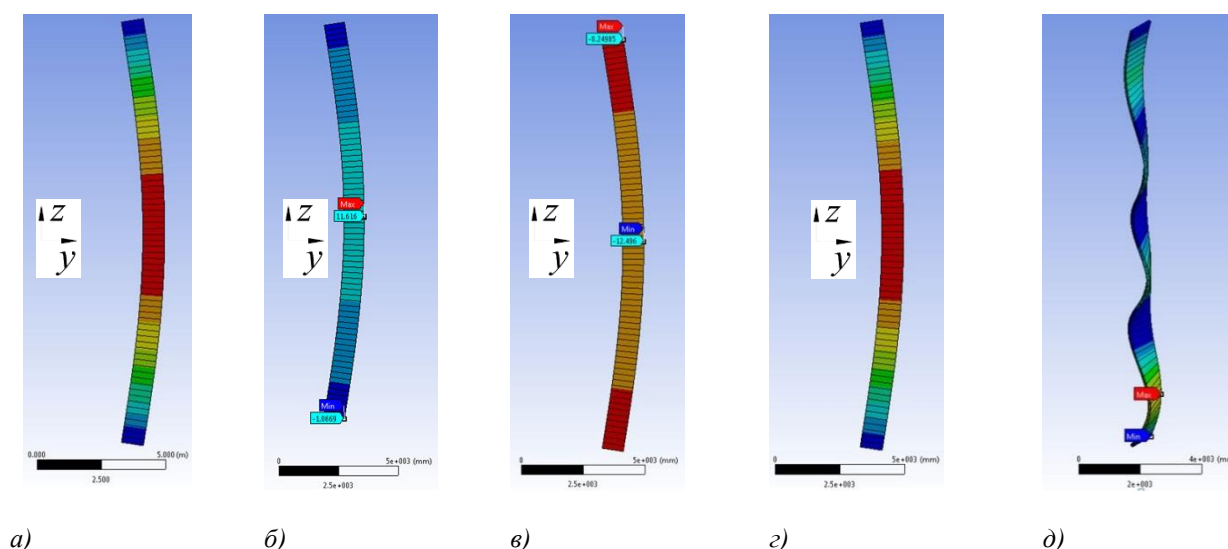


Рисунок 8 – Результатов расчёта стеклянной колонны в программном комплексе:
а) изгибающие моменты, Н×м; б) Максимальные суммарные напряжения (+), МПа;
в) минимальные суммарные напряжения (-), МПа; г) суммарные перемещения, мм;
д) форма потери устойчивости

При проектировании стеклянных конструкций следует выполнять расчет на устойчивость формы на действие расчетных постоянных, длительных и кратковременных нагрузок. Допускаемое расчётное напряжение для стекла значительно ниже границы разрушающего напряжения. Такое снижение теоретической несущей способности связано с характером нагрузки (знакопеременная) на исследуемые колонны, термическими и механическими воздействиями [7, 8], а также с возможными пороками стекла: посторонними включениями, микродефектами и неровностями, которые вызывают концентрацию напряжений и потерю прочности хрупкого материала [8, 10, 11]. Коэффициент запаса по устойчивости формы, представляющей собой отношение расчетной величины нагрузки, при которой возникает возможность потери общей устойчивости конструкции, к величине эксплуатационной нагрузки на конструкцию, должен быть не менее 1,3.

Выводы

По результатам проведённых испытаний проведён комплекс расчётов конструкций из многослойного термоупрочнённого стекла: на центральное сжатие, сжатие с изгибом и чистый изгиб. В общей сложности задействованы результаты испытаний 18 моделей.

1. Анализ результатов испытаний сжатых и сжато-изгибаемых элементов, показал, что разрушение стоек из многослойного стекла последовательное: $\sigma_{Ic} < \sigma_{IIc}$ в 1.06 ... 1.5 раза, с обильным постепенным трещинообразованием, характер их работы позволяет предупредить обрушение, при соблюдении режима эксплуатации.

2. Разрушение изгибаемых конструкций, напротив, имеет внезапный характер: $\sigma_{Ic} = \sigma_{IIc}$, что требует значительных запасов при проектировании: избегать большие пролёты, использовать сечения повышенной жёсткости, исключая значительные прогибы,

учитывая малую изученность работы стеклянных конструкций и широкий диапазон результатов прочностных показателей.

3. Анализ перемещений моделей под нормальной нагрузкой по ступеням нагружения показал отсутствие резких скачков и перепадов перемещений вплоть до разрушения. Деформации увеличиваются последовательно и плавно с увеличением диапазона после появления первой трещины.

4. По результатам испытаний и анализа составлена методика расчёта для фахверковых колонн из термоупрочнённого многослойного стекла, включающая: определение геометрических характеристик сечения, расчёт сжато-изгибаемых элементов, устойчивости и коэффициентов продольного изгиба для центрально сжатых элементов. Особенности расчетов являются: использование различных модулей упругости в направлениях главных осей сечения - вдоль слоёв сечения многослойного стекла $E_g=60$ ГПа, поперёк слоёв - $E_g=30$ ГПа, и при расчёте деформаций - $E_g=12,5$ ГПа; пониженное значение расчётного сопротивления относительно экспериментальных данных $R_{ag}=29$ МПа; низкий коэффициент продольного изгиба. Рассматриваемая методика была разработана для определённых конструкций, с конкретным составом сечения и характеристиками материала и была подтверждена результатами численного моделирования и расчёта. Данные рекомендации необходимо расширить и дополнить для более широкого применения.

5. На настоящий момент, расчёты любой несущей конструкции из стекла необходимо подтверждать экспериментальным путём, с испытанием прототипа проектируемой конструкции, а также контрольных образцов. При этом материалы и изготовители моделей и натуральных конструкций должны совпадать. Использование результатов и материалов других изготовителей может серьёзно исказить расчёт ввиду разнообразия соединительных материалов и технологий изготовления.

6. Вследствие вышеизложенного очевидна необходимость строго регламентированных правил по проектированию и расчёту стеклянных конструкций как несущих элементов, в том числе из многослойного стекла. Требуются установленные стандарты на проведение испытаний стеклянных конструкций для различных видов напряжённо-деформированного состояния, определение прочности контрольных образцов, и другие необходимые нормирующие документы.

7. Для формирования нормативной документации и разработки более точной и универсальной методики расчёта стеклянных конструкций, в том числе и из многослойного стекла, требуется проведение более масштабных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
2. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2).
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
4. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
5. СН 481-75 Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов.
6. Зажигалкин А.В., Смирнов М.И., Чесноков А.Г., Кизилов С.Н. Техническое регулирование в области строительного стекла // Стандарты и качество. 2018. №10. С.18-21.
7. Зубков В.А., Кондратьева Н.В. Причины разрушения стекла // Сборник статей «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре». Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С.44-47.

8. Демьяненко М.А., Стратий П.В. Основы проектирования несущих конструкций из стекла // Системные технологии. 2018. № 26. С. 168-172.
9. Птухина И.С., Дроздецкая М.А., Числова М.М., Шаторная А.М. Стекло как материал несущих колонн // Инновации в науке Санкт-Петербург. 2017. №6 (67). С.74-78
10. Мельникова С.С., Панчук Н.Н. Стекланные конструкции в архитектуре // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции. Хабаровск: ФАД ТОГУ, 2013. Т 3. С.244-250.
11. Гогин А.Г. Несущие конструкции из стекла. Чебоксары: Издательство ООО "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс". 2016.
12. Дубынин Н.В., Магай А.А. Современное стекло светопрозрачных фасадов многофункциональных высотных зданий. ОАО ЦНИИЭП жилища // Вестник МГСУ Москва. 2010. №3. С. 36-42.

Владимир Ильич Травуш

ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,
д.т.н., профессор,
E-mail: travush@mail.ru

Денис Владимирович Конин

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва, Россия,
к.т.н.,
E-mail: konden@inbox.ru

Ирина Владимировна Ртищева

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва, Россия,
E-mail: rtischevaiv@ya.ru

TRAVUSH V. I., D. KONIN D.V., RTISHCHEVA I. V.

CALCULATIONS OF LOAD-BEARING STRUCTURES MADE OF MULTILAYERED GLASS FOR STRENGTH AND STABILITY

The results of testing of structures made of multilayer heat-strengthened glass are presented. The problems of calculation for central compression, bending, bending compression and stability of multilayer glass structures are considered. Descriptions of the design scheme of the considered structures and features of multilayer glass are given. The estimation of the existing methods of calculation, numerical modeling and their comparison with the results of the experiment. The research topic is substantiated.

Keywords: glass, column, beam, heat-strengthened glass, multilayered glass, glass structure, translucent facade, calculation, central compression, compression with a bend, bending.

REFERENCES

1. Russian Building Code SP 16.13330.2017 Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-23-81* [Steel structures. Updated version of SNIp II-23-81*]. Moscow, 2017. (rus)
2. Russian Building Code SP 63.13330.2012 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 52-01-2003 (s izmeneniyami N 1, 2) [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. The updated edition of SNIp 52-01-2003 (with Amendments No. 1, 2)]. (rus)
3. Russian Building Code SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.01.07-85 [Loads and impacts. The updated edition of SNIp 2.01.07-85]. (rus)
4. Russian National Standard GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksiy i osnovaniy. Osnovnyye polozheniya [Reliability of building structures and bases. The main provisions]. (rus)
5. Russian Building Code SN 481-75 Instruksiya po proyektirovaniyu, montazhu i ekspluatatsii steklopaketov [Instruction for design, installation and operation of glass packages]. (rus)
6. Zazhigalkin A. V., Smirnov M. I., Chesnokov A. G., Kizilov S. N. Tekhnicheskoye regulirovaniye v oblasti stroitel'nogo stekla [Technical regulation in the field of building glass]. *Standards and quality*. 2018. No. 10. Pp. 18-21. (rus)

7. Zubkov V. A., Kondratiev N. V. Prichiny razrusheniya stekla [Causes of glass failure]. Sbornik statey "Traditsii i in-novatsii v stroitel'stve i arkhitekture" [Traditions and innovations in construction and architecture]. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. 2015. Pp.44-47. (rus)
8. Demyanenko, M. A., Straty P. V. Osnovy proyektirovaniya nesushchikh konstruksiy iz stekla [Fundamentals of designing of bearing structures of glass]. *Sistemnyye tekhnologii*. 2018. No. 26. Pp. 168-172. (rus)
9. Ptukhina I. S., M. A. Drozdetskiy, M. Chislova, A. M. Saturna. Steklo kak material nesushchikh kolonn [Glass as a material of load-bearing columns]. *Innovatsii v nauke Sankt-Peterburg* [Innovations in science St. Petersburg]. 2017. No. 6 (67). Pp. 74-78. (rus)
10. Mel'nikova S. S., Panchuk N. N. Steklyannyye konstruksii v arkhitekture // Novyye idei novogo ve-ka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Glass structures in architecture / / New ideas of the new century: materials of the international scientific conference]. Khabarovsk: FAD PNU, 2013. Vol. 3. Pp. 244-250. (rus)
11. Gogin A. G. Nesushchiye konstruksii iz stekla [Load-bearing structures of glass]. Cheboksary: Izdatel'stvo OOO "Tsentr nauchnogo so-trudnichestva "Interaktiv plyus". 2016. (rus)
12. Dubynin N. V., Magay A. A. Sovremennoye steklo svetoprozrachnykh fasadov mnogofunktsional'-nykh vysotnykh zdaniy. OAO TSNIIEP zhilishcha [Modern glass translucent facades of multifunctional high-rise buildings. OAO tsniiep zhilishcha]. *Vestnik MGSU*. 2010. No 3. Pp. 36-42. (rus)

Travush Vladimir I.

ZAO «GORPROEKT», Moscow, Russia

doctor in tech. sc., prof., prof.

E-mail: travush@mail.ru

Konin Denis V.

TSNIISK NAMED AFTER V. A. KOUCHERENKO (JSC «Research center of construction»), Moscow, Russia, candidate in tech. sc.,

E-mail: konden@inbox.ru

Rtischeva Irina V.

TSNIISK NAMED AFTER V. A. KOUCHERENKO (JSC «Research center of construction»), Moscow, Russia,

E-mail: rtischevaiv@ya.ru