

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/54TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/54TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/54TVN215>)

УДК 624.07

Галямичев Александр Викторович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Россия, Санкт-Петербург¹

Ассистент кафедры строительной механики и строительных конструкций

E-mail: galyamichev@yandex.ru

Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта

¹ 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29

Аннотация. Светопрозрачные конструкции, навесные вентилируемые фасады (НВФ) и точечное планарное остекление постоянно применяются в качестве основных фасадных элементов современного здания. Объединяя в себе функции тепловой и акустической защиты, их качества должны дополняться надёжной работой под действием внешних нагрузок. Граничное положение конструкций требует особого подхода к определению действующих на них силовых факторов и оценке их влияния.

Однако в нормативной литературе при отсутствии единого профильного свода правил, положения по проектированию современных ограждающих элементов требуется обобщать с требованиями к несущим и фахверковым конструкциям, что приводит к многочисленным вопросам, ошибкам и выявляет несоответствие документов друг другу. Результатом такого положения дел является снижение качества и увеличение затрачиваемых на фасад денежных средств.

Проведённый в статье анализ научной и нормативной литературы, указывает на необходимость проведения дополнительных расчётов, оказывающих влияние на работу конструкции, вносит ясность в части назначения коэффициентов надёжности по нагрузке, обращает внимание на специфику расчёта козырьков (в том числе, набравших в России популярность, козырьков с точечным креплением) и фасадов на снеговые и ветровые воздействия, соответственно. На основе отечественного и зарубежного опыта делается предположение о методе оценки второго предельного состояния облицовочных элементов, выполненных из различных материалов.

Материалы данной статьи могут быть использованы в качестве основных положений при проектировании ограждающих конструкций, а приведённые примеры расчётов использоваться в методических целях.

Ключевые слова: ограждающие конструкции; навесной вентилируемый фасад; определение нагрузок; светопрозрачные конструкции; коэффициент надёжности; деформации; пиковая ветровая нагрузка; козырёк; анкерное крепление; собственный вес; эффект кривого зеркала.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Галямичев А.В. Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/54TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI:
10.15862/54TVN215

Широкое применение современных фасадных конструкций, таких как, светопрозрачные стеновые элементы (в России их не совсем корректно принято называть «витражами», хотя фр. vitrage – произведение изобразительного декоративного искусства сюжетного или орнаментального характера из цветного стекла, рассчитанное на сквозное освещение (см. рис. 1 и рис. 2)), навесные вентилируемые фасады и точечное планарное остекление, требует повышенного внимания к качеству их проектирования. В первую очередь, это связано с необходимостью сочетания в себе несущих, ограждающих, теплоизолирующих и эстетических качеств. Однако, на сегодняшний день, инженерную работу по данному направлению сложно назвать выверенной и однозначной, что непосредственно влияет на качество и стоимость фасадных конструкций.



Рис. 1. Витраж (Stained Glass) на железнодорожной станции «Pennsylvania Station», Балтимор, штат Мэриленд, США



Рис. 2. Светопрозрачные стены (Glass walls) Всемирного торгового центра в Брюсселе, Бельгия

Особенно это становится актуальным в сегодняшних условиях масштабной экономии, когда на первый план выходит необходимость в оптимизации проектов, которые напрямую связаны с использованием текущей нормативной документации, регламентирующей работу конструкторов. Со времени принятия актуализированных СП (сводов правил), значительно изменивших методологию расчёта ограждающих конструкций, прошло уже четыре года. Ряд экспертов, специализирующихся по вопросам фасадных конструкций, высказывал свои замечания, предложения и даже критику определённых положений данных документов в своих статьях [1, 2, 3 и т.д.], но никакой положительной динамики в решении актуальных проектных задач до сих пор нет. В данной статье автор предлагает рассмотреть и обсудить с читателями ряд нормативных вопросов, напрямую касающихся технико-экономических показателей проектов ограждающих конструкций.

Для более детального освещения проблемы, давайте рассмотрим алгоритм проектирования строительных конструкций:

1. Создание конструктивной формы (схемы) и её преобразование в расчётную схему.
2. Сбор нагрузок на конструкцию.
3. Статический расчёт по правилам строительной механики (получение усилий в элементах конструкции).
4. Подбор сечений.
5. Проверка конструкции по второму предельному состоянию (т.н. проверка по жёсткости включает в себя оценку прогибов, кренов и т.п.).

6. Проверка конструкции по первому предельному состоянию (т.н. проверка по несущей способности оценивает прочность, устойчивость и долговечность конструкции).
7. Конструирование узлов (расчёт соединений элементов: подбор и проверка количества болтов, заклёпок, определение длины и катета сварного шва; оценка местной устойчивости сечений конструкции при действии сосредоточенных сил).

Первым очевидным недостатком существующей системы проектирования является **отсутствие единого нормативного документа**, включавшего бы в себя как особенности конструирования ограждающих конструкций, так и опыт применения и результаты апробации научных разработок в области фасадного строительства. На данный момент, каждый из вышеперечисленных пунктов должен соответствовать определённому набору действующих строительных норм. К примеру, позиции алгоритма №2, 5 и 6 напрямую зависят от СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*», но тем не менее часть требований в реальных проектах либо не выполняется, либо неоднозначна, и, как следствие, трудновыполнима. Рассмотрим данные аспекты подробнее.

Сбор нагрузок на НВФ (навесные вентилируемые фасады) и светопрозрачные ограждающие конструкции

Собственный вес металлических фасадных конструкций

Зачастую, собственный вес фасадных металлических конструкций не включают в расчёт ввиду своей малости. Действительно, масса одного погонного метра алюминиевой фасадной стойки варьируется от 1 до 5 кг, а, к примеру, один погонный метр межэтажной оцинкованной направляющей для НВФ не превышает по массе 2,5 кг. Тем не менее, учёт данной нагрузки вести необходимо, так как она существенно влияет на результат расчёта анкерного крепления каркаса к основанию:

Пример расчёта значения вырывающего усилия в анкерном дюбеле от действия собственного веса металлических конструкций (рис. 3):

Расчётная схема, рассматриваемой нами межэтажной системы НВФ (в качестве примера использована система NordFOX), представляет собой внецентренно растянутую направляющую и изгибаемый кронштейн, работающий как консоль и передающий нагрузку на несущее основание через анкерное крепление и подошву опоры. В данной конструкции неизвестной расчётной величиной является значение вырывающего усилия фасадного дюбеля, определяемое экспериментальным способом на объекте строительства согласно СТО 44416204-010-2010 «Крепления анкерные. Метод определения несущей способности по результатам натуральных испытаний».

Полученная величина несущей способности должна быть выше значения внешней силы, приходящей на

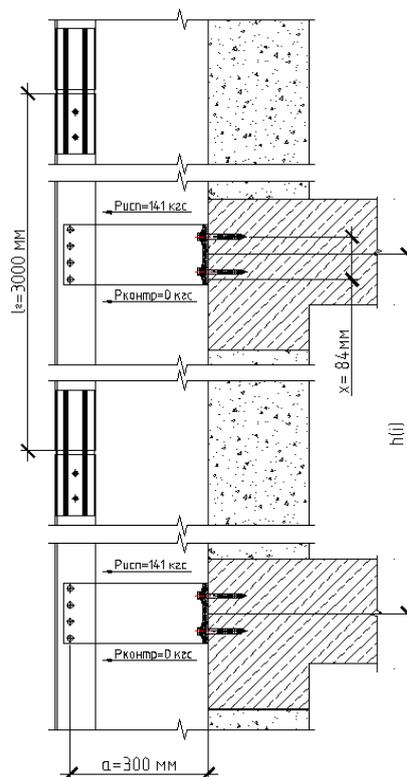


Рис. 3. Конструктивная схема НВФ. Приложение нагрузки от собственного веса направляющей (источник: разработано автором)

соответствующее анкерное крепление, значение которой определяется на основании нижеследующего алгоритма:

$$P_{исп} = P_n \cdot m,$$

где m - коэффициент надёжности по материалу, принимаемый равным 5 для анкерных дюбелей, согласно табл. 2 СТО 44416204-010-2010.

По условию примера, определим значение вырывающего усилия только от действия собственного веса металлических конструкций:

$$P_n = \frac{Q \cdot a}{x},$$

где a - вылет кронштейна в мм

x - плечо силы - расстояние от анкера до равнодействующей опорной реакции

$$Q = l \cdot g_{подс}$$

$$g_{подс} = p \cdot \gamma_f,$$

где γ_f - коэффициент надёжности по нагрузке, принимаемый равным 1,05 для конструкций из металла

p - вес 1 погонного метра направляющей - 2,5 кгс/м.п.

$$g_{подс} = 2,5 \cdot 1,05 = 2,625 \frac{кгс}{м.п.}$$

$$Q = 3 \cdot 2,625 = 7,875 кгс$$

$$P_n = \frac{7,875 \cdot 0,3}{0,084} = 28,125 кгс$$

$$P_{исп} = 28,125 \cdot 5 = 140,625 кгс$$

Вывод: 3 метра направляющей (массой 2,5 кг/п.м.) на отnose 300 мм от стены требуют от анкера несущей способности на вырыв не менее 28 кгс (а с учётом коэффициента надёжности по нагрузке для фасадного дюбеля, при натурных испытаниях, вырывающее усилие должно быть показано не менее 140,6 кгс).

Также необходимо заметить, что конструктивное решение несущих кронштейнов для НВФ подразумевает наличие двух-трёх отверстий под анкеры (рис. 4), при этом, важной особенностью является полноценная работа только одного верхнего фасадного дюбеля (или клинового анкера). Нижний анкер либо выключен из работы (при тяжёлых облицовках в зоне его установки происходит работа кронштейна на смятие из-за действия изгибающего момента), либо, при малом собственном весе облицовки, работает на вырыв, но значительно меньший по значению в сравнении с верхним дюбелем. Логичным конструктивным решением для данного узла является применение

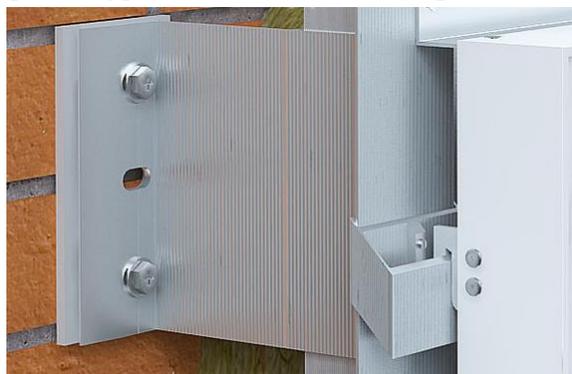


Рис. 4. Несущий кронштейн NordFOX (источник: официальный сайт компании NordFOX - <http://nordfox.ru/>)

полноценного крепления в верхней части кронштейна (например, дюбель 10x100 или 10x120) и уменьшенного прижимающего (дюбель 10x80) для компенсации возможных деформаций при навеске облицовки. **Допускается не устанавливать нижний анкер** в случае, если просадка системы от собственного веса облицовки незначительна или корректируется при монтаже.

При сборе нагрузок важно различать площадь сбора весовой и ветровой составляющих, так как при различных высотах этажей в здании, данные величины могут отличаться. В межэтажных системах, весовая нагрузка определяется по длине направляющей, а ветровая по формуле:

$$A_{ветр} = \frac{(h_i + h_{i+1})}{2} \cdot B,$$

где B - грузовая ширина (в большинстве случаев, расстояние между направляющими);

h_i, h_{i+1} - высота нижележащего и вышележащего этажей.

Собственный вес заполнения

Данный тип нагрузки является определяющим для НВФ и немаловажным для светопрозрачных конструкций, но и он учитывается в расчётах не всегда корректно и в полной мере. Чаще всего заполнение участвует в определении сечения ригеля по результатам анализа чистого изгиба балки, вызванного приложением сосредоточенных сил в местах расположения подкладок под стеклопакеты (рис. 5).

В то же время, зачастую **упускается расчёт соединения фербиндера со стойкой**, который, в конечном итоге, может являться определяющим при выборе сечения ригеля. Также, аналогично с собственным весом металлических конструкций, нагрузка от заполнения становится основной при подборе анкерных креплений.

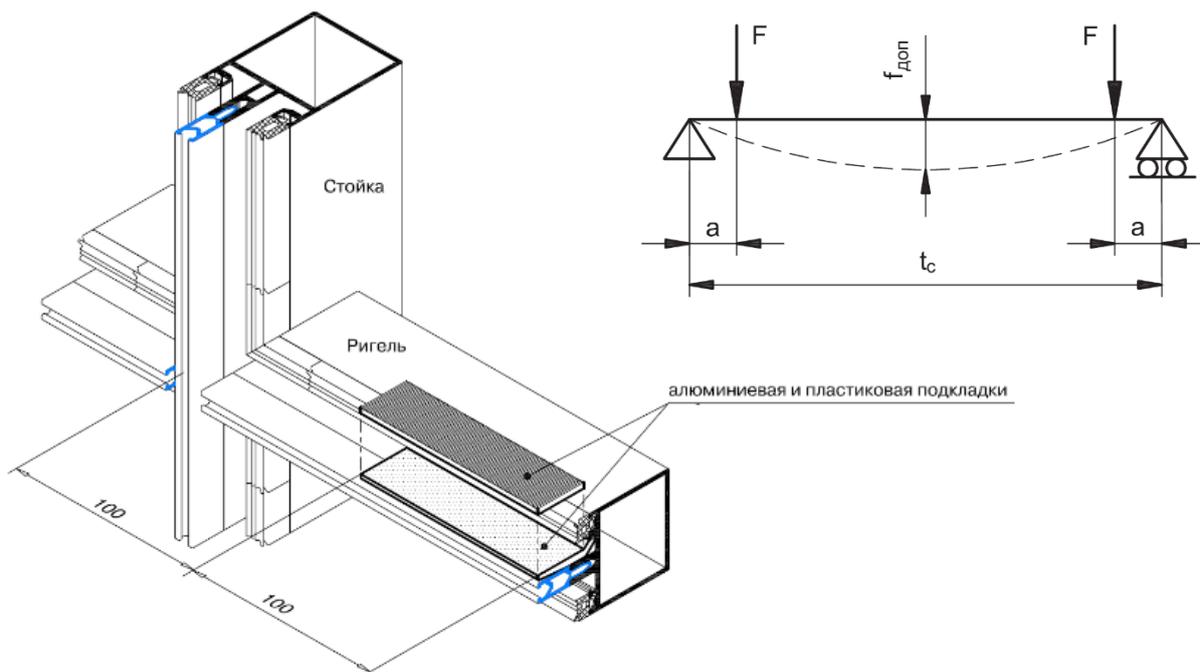


Рис. 5. Конструктивная и расчётная схемы приложения нагрузки от собственного веса заполнения в светопрозрачных конструкциях (источник: каталог технических решений Realit RF50)

Нормативные показатели массы облицовочных материалов указываются в паспортах на данные изделия. Масса стеклопакетов определяется по плотности стекла, которая зависит от его химического состава. Плотность обычных натрий-кальций-силикатных стёкол, в том числе оконных, колеблется в пределах 2500—2600 кг/м³. Плотность керамического гранита, основного материала для облицовки несветопрозрачных элементов фасада, составляет 2400 – 2500 кг/м³.

При этом необходимо учитывать коэффициент надёжности по нагрузке, определяемый по СП 20.13330.2011:

- Для каменных конструкций (керамический гранит, натуральный камень, терракота и т.п.) – $\gamma_f = 1.1$
- Для изоляционных конструкций, выполняемых в условиях заводского производства (к которым можно отнести стеклопакеты, сэндвич-панели и т.п.) – $\gamma_f = 1.2$

В действующей нормативной документации можно встретить рекомендации по назначению пониженного значения коэффициента надёжности по нагрузке от собственного веса светопропускающих элементов: $\gamma_f = 1.1$, согласно МДС 31-8.2002 «Рекомендации по проектированию и устройству фонарей для естественного освещения помещений».

Вопрос применения данных коэффициентов неоднозначен и требует утверждения, но логично предположить, что вариант, предложенный в МДС², является более приближенным к реалиям, нежели абстрактный коэффициент, предложенный в СП 20.13330.2011 (см. Табл. 1).

² МДС 31-8.2002. Рекомендации по проектированию и устройству фонарей для естественного освещения помещений.

Таблица 1

Назначение коэффициента надёжности по нагрузке от собственного веса светопропускающих элементов (источник: разработано автором)

Коэффициент надёжности по нагрузке от собственного веса светопропускающих элементов	
СП 20.13330.2011	МДС 31-8.2002
$\gamma_f = 1.2$	$\gamma_f = 1.1$

Снеговая нагрузка

Учёт снеговой нагрузки характерен для наклонных участков фасада или зенитных фонарей. Алгоритм сбора данной нагрузки является стандартным, но есть и характерные особенности, присущие ограждающим конструкциям. В первую очередь – это учёт сноса снеговых массивов с кровель зданий при проектировании лоджий с остеклённой кровлей или, в особенности, козырьков. Данный фактор способен увеличивать снеговую нагрузку в 1,5-2 раза, что является определяющим при расчёте данных конструкций.

Пример расчёта снеговой нагрузки на светопрозрачный козырёк (рис. 6):

Определим равномерно распределённую снеговую нагрузку на выступающую конструкцию козырька, согласно Приложению Г.8³.

Значение снеговой нагрузки на козырёк определяется по зависимости:

$$S = S_0 \mu = S_0 \left(1 + \frac{1}{h} (m_1 l_1 + m_2 l_2) \right)$$

$$= 180 \cdot \left(1 + \frac{1}{8} (0.4 \cdot 16 + 0.4 \cdot 1.765) \right) =$$

$$= 340 \text{ кгс/м. кв.,}$$

где $l_1 = 16 \text{ м}$, $l_2 = 1,765 \text{ м}$,
 $m_1 = m_2 = 0,4$ (для плоских покрытий с $\alpha \leq 20^\circ$);

h - высота перепада, м, отсчитываемая от карниза верхнего покрытия до кровли

нижнего и при значении более 8 м принимаемая при определении μ равной 8 м;

Также в нормативной документации есть разночтения по назначению коэффициентов надёжности по снеговой нагрузке. К примеру, в СП 20.13330.2011 снеговые нагрузки указаны расчётными, а для перевода в нормативные рекомендуется применять коэффициент 0.7 (т.е. коэффициент $\gamma_f = 1.43$). В МДС 31-8.2002 можно

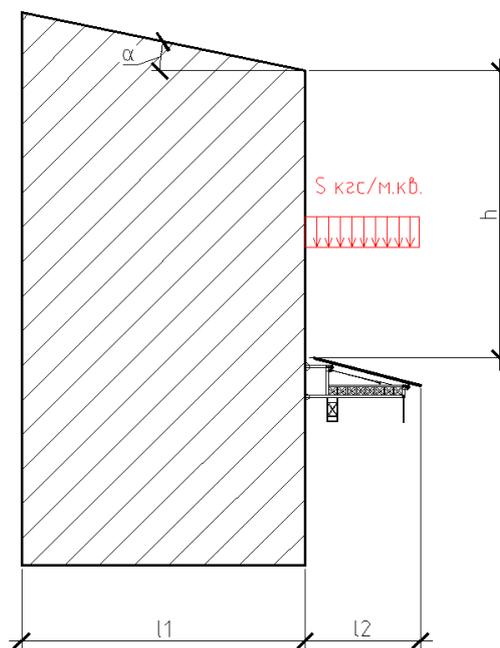


Рис. 6. Иллюстрация к примеру по определению снеговой нагрузки на козырёк (источник: разработано автором)

³ СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

встретить рекомендации по назначению повышенного значения коэффициента $\gamma_f = 1.6$. В результате, аналогично с собственным весом заполнения, есть разночтения, которые необходимо исключить. В данном вопросе логично согласиться с требованием актуализированного СП, поскольку с 01.07.2003 г. вступило в силу изменение снеговых нагрузок и оно было внесено в СНиП 2.01.07-85* под номером 2 и действует до сих пор, в то время как МДС⁴ был выпущен раньше и данного изменения не затрагивал (см. Табл. 2).

Таблица 2

**Назначение коэффициента надёжности по снеговой нагрузке
(источник: разработано автором)**

Коэффициент надёжности по снеговой нагрузке	
СП 20.13330.2011	МДС 31-8.2002
$\gamma_f = 1.43$	$\gamma_f = 1.6$

Ветровая нагрузка

Ситуация с определением ветровой нагрузки на ограждающие конструкции коренным образом изменилась с 2011 года, введением в действие СП 20.13330.2011, и до сих пор вызывает немало споров в сообществе инженеров-проектировщиков. Справедливости ради стоит отметить, что для навесных вентилируемых фасадов ещё в 2004 году были выпущены «Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции», предвосхищавшие появление более жёстких требований по учёту ветровой нагрузки. Но в результате, на текущий момент, действуют нормы заведомо превышающие и рекомендации⁵.

Заранее необходимо отметить, что по теме ветровых нагрузок на фасадные конструкции настало время посвятить отдельную статью или свод рекомендаций, как в 70-е годы появились соответствующие труды^{6,7}.

Тем не менее, начать обзор данного вопроса необходимо с того, что до 2011 года, несмотря на упоминание в СНиП «Нагрузки и воздействия» о необходимости учёта пульсационной w_p составляющей ветровой нагрузки, большинство фасадных инженеров осуществляли свои расчёты витражных конструкций на действие только лишь средней w_m составляющей, согласно методическим указаниям, опубликованным в каталогах фасадных систем^{8,9}.

Согласно актуализированной нормативной документации¹⁰ (пункт 11.2), введено в действие понятие пиковой нагрузки для элементов ограждения и узлов их крепления, которую

⁴ МДС 31-8.2002. Рекомендации по проектированию и устройству фонарей для естественного освещения помещений.

⁵ Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. ФАУ ФЦС, 2004 г.

⁶ Руководство по расчету зданий и сооружений на воздействие ветра. М.: Стройиздат, 1978.

⁷ Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972.

⁸ Каталог алюминиевых конструкций и профилей «АГ 50 Фасадное остекление».

⁹ Каталог алюминиевых конструкций и профилей «Система AGS 150».

¹⁰ СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

можно интерпретировать как усреднённое значение ветрового порыва. Само по себе появление и уточнение степени воздействия на фасадные конструкции ветрового давления ожидаемо и оправдано в связи с увеличением количества геометрически сложных зданий, в том числе повышенной высотности.

В то же время, возникает ряд вопросов по корректному применению методики определения данной нагрузки и, как результат, оценке полученных в конструкциях усилий и перемещений. На примере расчётов по методикам до и после 2011 года предлагается оценить влияние введения пиковой ветровой нагрузки.

Пример расчёта фасадной конструкции на действие ветра (рис. 7):

Задача состоит в определении сечения стойки светопрозрачной конструкции магазина в городе Санкт-Петербург, расположенной на втором этаже (верхняя отметка находится на высоте 10 м) в угловой зоне 50-метрового жилого здания. В качестве заполнения применяется стеклопакет.

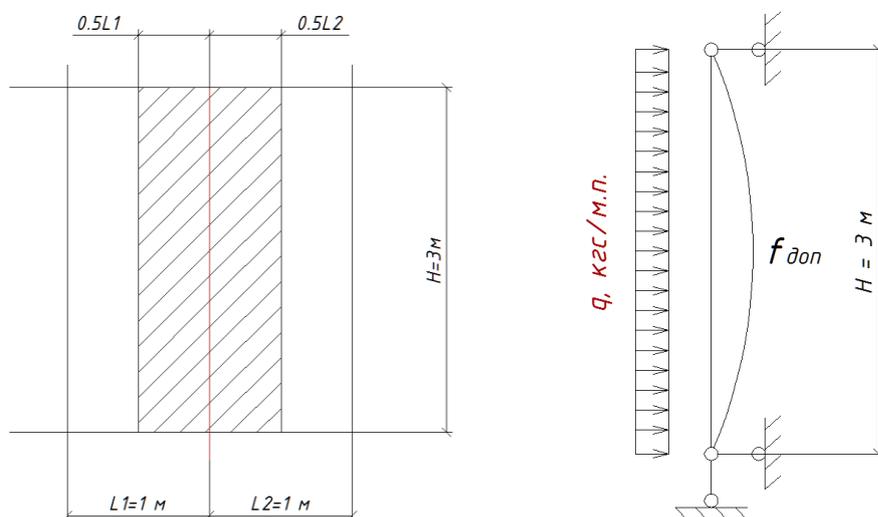


Рис. 7. Иллюстрация к примеру по определению ветровой нагрузки на фасадную стойку (источник: разработано автором)

Подбор сечения стойки фасада будем осуществлять из условия обеспечения фактического прогиба меньше допусаемого.

$$f_{\text{факт}} \leq f_{\text{доп}}$$

где $f_{\text{факт}}$ – фактический прогиб стойки от действия внешней нагрузки, который может быть определён по формуле:

$$f_{\text{факт}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{qH^4}{EJ}$$

где q - распределённая нагрузка на стойку от действия нормативной ветровой нагрузки;

E - модуль упругости алюминия, принимаемый по таблице 3 обязательного приложения 1 СНиП 2.03.06-85 в зависимости от температуры эксплуатации (от -40 до +50 °С модуль упругости $E = 7,1 \cdot 10^5 \text{ кгс} / \text{см}^2$);

$f_{\text{доп}}$ – допусаемый прогиб стойки.

Классически¹¹ принято считать, что допускаемый прогиб алюминиевой конструкции не должен превышать:

- для одинарного остекления: $f_{\text{доп}} = \frac{H}{200}$
- для остекления стеклопакетами: $f_{\text{доп}} = \frac{H}{300}$

В результате, для определения сечения стойки достаточно выразить её момент инерции. Учитывая, что в качестве заполнения приняты стеклопакеты, то окончательная формула примет вид:

$$J \geq \frac{375}{96} \cdot \frac{qH^3}{E}$$

Определение q - вариант сбора нагрузки до 2011 года:

Равномерно распределённая нормативная ветровая нагрузка на фасадную стойку определяется по формуле:

$$q = w_m \cdot B,$$

где B – грузовая ширина приложения ветровой нагрузки, (для текущего примера $B = 1\text{м}$);

w_m – нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки, определяемое по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot c \cdot k(z),$$

где w_0 – нормативное ветровое давление, принимается по таблице 5 СНИП 2.01.07-85, в зависимости от принадлежности объекта к ветровому району, (для Санкт-Петербурга $w_0 = 30$ кгс/м.кв.);

c – аэродинамический коэффициент, согласно таблице Приложения 4 СНИП 2.01.07-85. Для вертикальных фасадов (наклон не более 15°) - $c = 0,8$;

$k(z)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, согласно таблице 6 СНИП 2.01.07-85, в зависимости от типа местности и высоты расположения витража над поверхностью земли. Для типа местности В и высоты расположения витража 10 метров - $k = 0,65$;

$$w_m = 30 \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 15,6 \text{ кгс/м. кв.}$$

$$q = 15,6 \cdot 1 = 15,6 \text{ кгс/м. п.}$$

Определение q - вариант сбора нагрузки после 2011 года:

$$q = w_{+(-)} \cdot B,$$

где $w_{+(-)}$ – нормативное значение пикового положительного и отрицательного воздействия ветровой нагрузки, определяемого по формуле:

$$w_{+(-)} = w_0 k(z_e) [1 + \xi(z_e)] c_{p+(-)} v_{+(-)},$$

¹¹ На основании ГОСТ 23166-99 «Блоки оконные. Общие технические условия» и МДС 31-8.2002. Рекомендации по проектированию и устройству фонарей для естественного освещения помещений.

где z_e – эквивалентная высота (согласно п. 11.1.5¹², эквивалентная высота, приравниваемая высоте здания. В нашем случае - это 50 метров (вместо 10 метров по методике 2011 года);

$k(z_e), \xi(z_e)$ – коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте z_e (согласно п. 11.1.6 и 11.1.8, $k(50) = 1,24$, $\xi(50) = 0,77$);

$v_{+(-)}$ – коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (-); значения этих коэффициентов приведены в таблице 11.8⁴ в зависимости от площади ограждения А, с которой собирается ветровая нагрузка (для нашего примера грузовая площадь равна 3 квадратным метрам и методом интерполяции получено значение $v_{+(-)} = 0,97$);

$c_{p+(-)}$ – пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (-), определяемые по Приложение Д.1.17¹¹ (рис. 8):

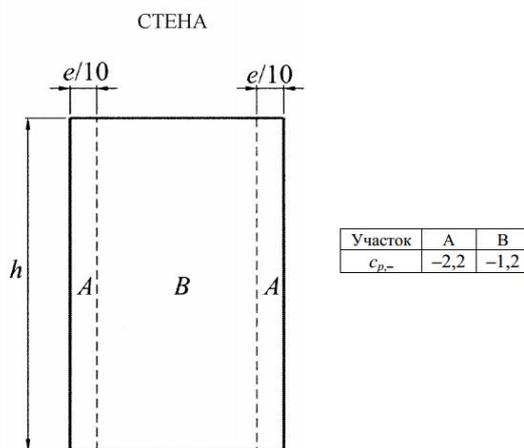


Рис. 8. Иллюстрация к определению аэродинамических коэффициентов $c_{p+(-)}$ (источник: СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*»)

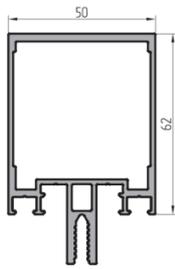
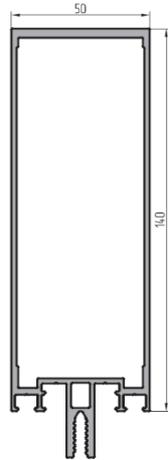
Так как по заданию предполагается расположение витража в угловой зоне, следовательно $c_{p+(-)} = 2,2$. Таким образом, окончательная формула приобретает вид:

$$w_{+(-)} = 30 \cdot 1,24 \cdot [1 + 0,77] \cdot 2,2 \cdot 0,97 = 140,5 \text{ кгс/м.кв.}$$
$$q = 140,5 \cdot 1 = 140,5 \text{ кгс/м. п.}$$

¹² СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

Таблица 3

Подбор сечения фасадной стойки по методикам до и после 2011 года (источник: разработано автором, изображения стоек: из каталога Alutech ALT F50)

Распределённая ветровая нагрузка	
СНиП 2.01.07-85* (до 2011 года)	СП 20.13330.2011 (после 2011 года)
$q = 15,6$ кгс/м. п.	$q = 140,5$ кгс/м. п.
Сечение стойки по результатам расчёта	
$J \geq 23,2$ см ⁴	$J \geq 209$ см ⁴
АУРС. F50.0102 ($J = 40,79$ см ⁴)	АУРС. F50.0106 ($J = 283,75$ см ⁴)
	

Разница в итоговых результатах очевидна (см. Табл. 3) и, разумеется, оказывает огромное влияние на бюджет даже самых экономичных проектов, так как затраты на профиль – это только часть удорожания. В рамках расчётов ограждающих конструкций необходимо также осуществлять подбор толщины остекления, которая напрямую зависит от величины ветровой нагрузки (расчёт толщины стекла по СП 20.13330.2011 для холодных балконов приведёт к единому типу заполнения как на высоте 50 м, так и на 10 м – за счёт постоянной величины эквивалентной высоты). На данный момент, проектировщики стараются вести расчёт на дифференцированное значение пиковой ветровой нагрузки по высоте, что является корректным и с точки зрения здравого смысла (неравномерное значение ветровой нагрузки подтверждается результатами испытаний) и экономической логики, но противоречит требованиям СП. В ином случае, расходы на остекление значительно бы ударили по карману участников рынка.

В статье [1] был подробно описан алгоритм расчёта стеклянных панелей. Стоит дополнить её рядом важных замечаний. Одним из них является то, что фактически, ограничений по расчёту на прогиб стекла в отечественных нормах не представлено: в ГОСТ 23166-99 «Блоки оконные. Общие технические условия» (п. 5.1.4) даются ограничения на прогиб **оконных** конструкций (светопрозрачные элементы из алюминиевого фасадного профиля, считаю, являются несколько иным типом конструкций) и в МДС 31-8.2002 (п. 3.8.9) приведены допустимые относительные прогибы **несущих элементов фонарей** (не заполнения, а стоек, ригелей и т.п.): 1/200 для листового стекла и 1/300 для стеклопакетов. Остальные нормативные документы (ГОСТ 24866-99, ГОСТ 111-2001, СН 481-75 и др.) оговаривают только вопрос о прочности стекла. В свете того, что расчёт стекла по второму

предельному состоянию может являться определяющим, настало время решить вопрос о том, каким образом его оценивать.

Зарубежный опыт не имеет единого мнения по данному вопросу, например, немецкие TRLV¹³ (технические правила использования остекления с линейными опорами) делят остекление на вертикальное (Vertikalverglasung) менее 10° и горизонтальное (Überkopfverglasung) более 10° отклонения от вертикали. Для вертикального остекления, опёртого по четырём сторонам, прогиб не нормируется, а для горизонтального составляет – 1/100. Для горизонтальных стеклопакетов, опёртых по трём или двум сторонам, ограничение составляет 1/200 длины свободной грани.

Вопрос также осложняется спецификой ограждающих конструкций – от изменения температуры и внутреннего давления, стеклопакет деформируется, в результате чего на фасаде может появляться эффект «кривого зеркала» (см. рис. 9). Существует мнение, что он становится заметным начиная с прогибов порядка 1/350 [4].



Рис. 9. Эффект «кривого зеркала» на фасаде (источник: статья в интернет-журнале «Строительный эксперт», Банников Д. «Прозрачный структурализм», <http://ardexpert.ru/article/1103>)

Обобщая данную информацию, можно сделать вывод, что **облицовки ограждающих конструкций необходимо отнести к отдельному виду конструктивных элементов**, требования к которым различаются, исходя из их положения в пространстве.

Для вертикальных облицовок с отклонением от вертикали менее 10 градусов расчёт имеет смысл вести **исключительно по первому предельному состоянию**. Это объясняется тем, что безопасность применения стекла, стеклопакетов, тонкого, стандартного и объёмного керамического гранита, поликарбоната, фиброцементных плит и других вариантов заполнения НВФ и светопрозрачных конструкций, обеспечивается за счёт сохранения несущей способности и целостности (основных параметров проверки по первому предельному состоянию). Конструктивные и эстетико-психологические требования по жёсткости для фасадных облицовок не характерны, так как прогиб не оказывает существенного влияния на их работу (конструктивный параметр) и максимальные деформации достигаются только при пиковой (порывистой) ветровой нагрузке, т.е. не носят долговременный характер (эстетико-психологический параметр). При этом, проектирование ограждающих элементов должно учитывать ряд специфических требований:

¹³ TechnischeRegelnfür die Verwendung von linienförmiggelagerten Verglasungen (TRLV) - Schlussfassung August 2006.

- 1) Расчётное сопротивление пластичных материалов не должно превышать значений, соответствующих зоне упругой работы (до площадки текучести) для металлокассет из оцинкованной стали, бронзы, алюминиевых композитных листов и т.п.;
- 2) Допустимые технологические прогибы на конструкции должны указываться в альбомах технических решений или технических свидетельствах, их соблюдение и подтверждение расчётом является обязательным (для светопрозрачных конструкций таковыми, например, являются расстояния от паза ригельного термомоста до стеклопакета или створки (рис.10));

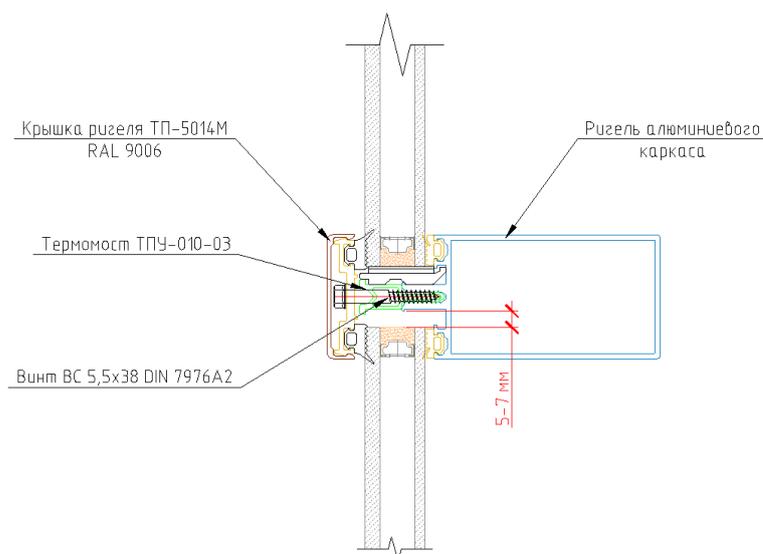


Рис. 10. Сечение ригеля в светопрозрачной конструкции (источник: разработано автором)

- 3) Предельные прогибы стеклопакетов от ветровой нагрузки не должны приводить к разгерметизации их контура, который может быть заполнен инертным газом (к примеру, аргоном);
- 4) Деформации от ветровых нагрузок не должны приводить к появлению зазоров в конструкциях, через которые внутрь помещений могут попадать воздушные потоки наружного воздуха (появляться сквозняк);
- 5) Действие ветровой нагрузки не должно приводить к появлению неблагоприятных акустических последствий в конструкции (стука, свиста и других шумовых эффектов);
- 6) Эффект «кривых зеркал» необходимо упреждать в ходе архитектурного проектирования на этапе подбора заполнения по теплотехническим, акустическим и, как результат, оптическим показателям (с привлечением изготовителей стекольной продукции);
- 7) Особое внимание при проектировании ограждающих конструкций, исключительно по первому предельному состоянию, следует уделять разработке и проверке узловых решений, к примеру, на вырыв и срез самонарезающих винтов и вытяжных заклёпок в тонколистовом металле и др.

Для облицовок ограждающих конструкций с горизонтальным расположением (с отклонением более 10° от вертикали) необходимо предусматривать требования, предусмотренные п. 15.2 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*» - для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные

прогибы и перемещения которых не оговорены настоящим и другими нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать $1/150$ пролета или $1/75$ вылета консоли.

Подводя итог вышесказанному, очевидно, что для развития фасадных конструкций в России существует необходимость в обобщении обозначенных тезисов и расширении диалога по данному направлению. Площадкой для обсуждения и разработки «дорожной карты» по определению правил проектирования фасадных конструкций может стать, к примеру, ежегодный конгресс «Facades of Russia+» или иная конференция, способная организовать и поддержать рабочую группу специалистов, готовых разработать комплект стандартов по светопрозрачным конструкциям и навесным вентилируемым фасадам, где бы нормативы учитывали специфику таких конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ю. Куренкова, А.В. Кузьменко, О.М. Куренкова. Учёт ветровых нагрузок при расчёте толщины стекла в светопрозрачных конструкциях // Светопрозрачные конструкции №2 (82), 2012 год. Стр. 5-15.
2. Верховский А.А., Щередин В.В., Нанасов И.М., Елизарова Е.В., Гальцев Д.И. Стеклопакеты: проблемы и решения // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. Т. 5. № 5. С. 56-63.
3. Зубков В.А. Прочность листового стекла, опертого по контуру, при действии сосредоточенной нагрузки // Стекло и керамика. 2012. № 6. С. 11-14.
4. «Татпроф». Принципы статического расчета светопрозрачных конструкций// Светопрозрачные конструкции №1 (99), 2015 год. Стр. 4-5.
5. Черемхина Е.А., Чесноков А.Г. Введение в планарное остекление // СтройПРОФИль 2004. № 4-04. С. 50-58.
6. Борискина И.В., Щуров А.Н., Плотников А.А. Окна для индивидуального строительства. Техническое руководство по проектированию современных окон из ПВХ для объектов коттеджного строительства и зданий малоэтажной застройки / ООО «Функе Рус», ООО «Кристалл Гласс», «ЗИГЕНИЯ-АУБИ КГ». М., 2010. 320 с.
7. Борискина И.В., Шведов Н.В., Плотников А.А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Том II Оконные системы из ПВХ / НИУПЦ «Межрегиональный институт окна». СПб, 2005. 320 с.
8. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование оконных систем гражданских зданий: Учебное пособие. СПб: ВЫБОР, 2008. 360 с.
9. Кондратьева Н.В. Прочность листового стекла в фасадных системах, покрытиях и перекрытиях зданий и сооружений // Стекло и бизнес. 2010. №2. С. 40-42.
10. Кондратьева Н.В. Саморазрушение закаленного стекла в светопрозрачных конструкциях // В сборнике: «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре», Электронный ресурс: материалы 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2013 года. под редакцией М.И. Бальзанникова, Н.Г. Чумаченко. Самара, 2014. С. 813-814.
11. А.В. Галямичев. Конструктивная и расчетная схема светопрозрачных конструкций // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 5 (91). С. 40-42.
12. А.В. Галямичев, В.А. Соколов. Определение фактической несущей способности комбинации алюминиевых стержней и стеклянного заполнения // В сборнике: XL неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. Национальный исследовательский Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, отв. ред. Н.Д. Беляев. 2011. С. 352-354.

Рецензент: Лалин Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика и строительные конструкции» ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Galyamichev Aleksandr Viktorovich

St. Petersburg Polytechnic University
Saint-Petersburg, Russia

E-mail: galyamichev@yandex.ru

The specifics of determining loads on the building envelope and its effect on the results of static analysis

Abstract. Glass walls, ventilated facades and point-fixing planar glazing constantly applied as the base elements of a modern building facade. Combining functions of thermal and acoustic protection, their qualities must be complemented by a safe work under the influence of external loads. The boundary position of structures requires a special approach to the definition of acting on them types of stresses and assessing of their impact.

However, absence of a unified set of rules for façade structures, compels us to adopt requirements for the design of modern enclosing elements according to the rules for carrying structures and frames, which leads to many issues, mistakes and detects a mismatch documents to each other. The result of this situation is reducing of quality and increasing cost of the facade.

Analyze of scientific and normative literature, made in article, indicates the need for additional calculations that has influence on a design work, clarifies the purpose of the safety factor for load, pay attention to specifics of calculating visors (including popular in Russia glass visors with point fixing) and facades on the snow and wind loads. Based on domestic and foreign experience, in article author makes suggestion on how to limit deformations of façade cladding, made from different materials.

Materials of this article can be used as guidelines in the design of facade structures and examples of calculations used for methodological purposes.

Keywords: the building envelope; ventilated facades; determination of loads; glass walls; safety factor; deformations; peak wind load; visor; anchoring; self-weight; effect of distorting mirrors.

REFERENCES

1. A.Yu. Kurenkova, A.V. Kuz'menko, O.M. Kurenkova. Uchet vetrovykh nagruzok pri raschete tolshchiny stekla v svetoprozrachnykh konstruksiyakh // Svetoprozrachnye konstruksii №2 (82), 2012 god. Str. 5-15.
2. Verkhovskiy A.A., Shcheredin V.V., Nanasov I.M., Elizarova E.V., Gal'tsev D.I. Steklopakety: problemy i resheniya // AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. 2012. T. 5. № 5. S. 56-63.
3. Zubkov V.A. Prochnost' listovogo stekla, opertogo po konturu, pri deystvii sosredotochennoy nagruzki // Steklo i keramika. 2012. № 6. S. 11-14.
4. «Tatprof». Printsipy staticheskogo rascheta svetoprozrachnykh konstruksiy // Svetoprozrachnye konstruksii №1 (99), 2015 god. Str. 4-5.
5. Cheremkhina E.A., Chesnokov A.G. Vvedenie v planarnoe osteklenie // StroyPROFII' 2004. № 4-04. S. 50-58.
6. Boriskina I.V., Shchurov A.N., Plotnikov A.A. Okna dlya individual'nogo stroitel'stva. Tekhnicheskoe rukovodstvo po proektirovaniyu sovremennykh okon iz PVKh dlya ob"ektov kottedzhnogo stroitel'stva i zdaniy maloetazhnoy zastroyki / ООО «Funke Rus», ООО «Kristall Glass», «ZIGENIA-AUBI KG». M., 2010. 320 s.
7. Boriskina I.V., Shvedov N.V., Plotnikov A.A. Sovremennye svetoprozrachnye konstruksii grazhdanskikh zdaniy. Spravochnik proektirovshchika. Tom II Okonnye sistemy iz PVKh / NIUPTs «Mezhregional'nyy institut okna». SPb, 2005. 320 s.
8. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. Proektirovanie okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy: Uchebnoe posobie. SPb: VYBOR, 2008. 360 s.
9. Kondrat'eva N.V. Prochnost' listovogo stekla v fasadnykh sistemakh, pokrytiyakh i perekrytiyakh zdaniy i sooruzheniy // Steklo i biznes. 2010. №2. S. 40-42.
10. Kondrat'eva N.V. Samorazrushenie zakalennogo stekla v svetoprozrachnykh konstruksiyakh // V sbornike: «Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture», Elektronnyy resurs: materialy 71-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR 2013 goda. pod redaktsiyey M.I. Bal'zannikova, N.G. Chumachenko. Samara, 2014. S. 813-814.
11. A.V. Galyamichev. Konstruktivnaya i raschetnaya skhema svetoprozrachnykh konstruksiy // Svetoprozrachnye konstruksii. 2013. № 5 (91). S. 40-42.
12. A.V. Galyamichev, V.A. Sokolov. Opredelenie fakticheskoy nesushchey sposobnosti kombinatsii alyuminiyevykh sterzhney i steklyannogo zapolneniya // V sbornike: XL nedelya nauki SPbGPU. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Natsional'nyy issledovatel'skiy Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskiy universitet, otv. red. N.D. Belyaev. 2011. S. 352-354.