



Почему коробит окна. Кто виноват и что делать?



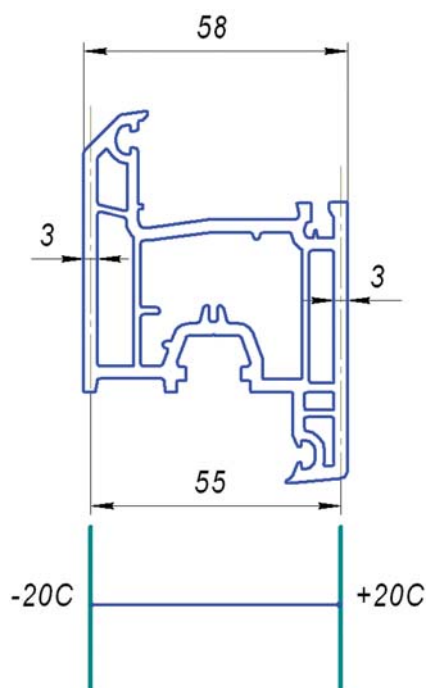
Если Вы не первый год производите, устанавливаете, продаете ПВХ-окна, то наверняка слышали, а может быть видели и даже пытались бороться с эффектом коробления створок при высокой разнице температур снаружи и внутри помещения. Такое красивое и безупречное окно на момент установки вдруг начинает продуваться при морозах и заклинивать в жару. Плохой профиль? Плохой уплотнитель? Плохая фурнитура? Возникают любимые на Руси вопросы «Кто виноват и что делать?».

Да простят меня праздные читатели, но я предлагаю окунуться в теорию и немножко вспомнить математику с физикой...

Взглянем на таблицу физических параметров различных материалов*.

Жесткий ПВХ имеет коэффициент линейного расширения на порядок выше алюминия и стали. Конечно, у различных марок ПВХ коэффициент отличается, но в очень небольших пределах.

При возникновении разницы температур, особенно зимой, наружная сторона профиля сжимается, что вызывает изгиб профиля внутрь, подобно биметаллической пластине.



Материал	Коэффициент линейного термического расширения 1/°C	Модуль упругости Е МПа
Жесткий ПВХ	$7...8 \times 10^{-5}$	~2700
Алюминий	$2,4 \times 10^{-5}$	~67 000
Стекло	$0,9...1,2 \times 10^{-5}$	~55 000
Сталь	$1,2 \times 10^{-5}$	210 000
Дерево вдоль волокон	$0,2...0,4 \times 10^{-5}$	10 000 – 14 000

* при температуре 21°C

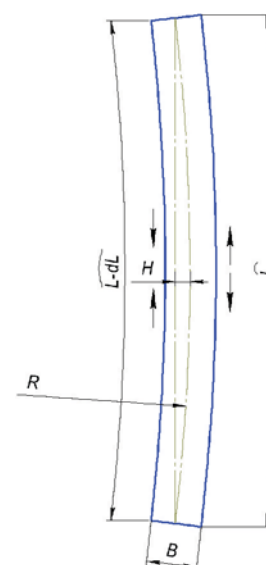
Современные многокамерные ПВХ-профили имеют сложную для расчета конфигурацию и не менее сложную картину температурных полей, поэтому точное математическое моделирование чрезвычайно непростая задача, однако я предлагаю провести упрощенный расчет для определения порядка величины прогиба, а потом сверить его с экспериментальными данными.

Возьмем неармированный профиль Z-створки, у которой ширина и толщина наружной и внутренней лицевых стенок близки. Упростим расчетную модель до двутавра с нулевой толщиной полок. Внутренние стенки имеют почти равномерный градиент температурного поля, что позволяет не учитывать их в расчетной модели. Концы балки считаем свободными.

При разнице температур dT длина одной из полок отрезка профиля длиной L изменится на:

$$dL = L \cdot K \cdot dT \quad (1)$$

При этом отрезок профиля примет форму сектора кольца толщиной B и радиусом изгиба R .



Для сектора кольца справедливы следующие равенства:

$$L = \alpha \cdot R \text{ или } \alpha = L/R \quad (2)$$

$$L - dL = \alpha \cdot (R - B) = L/R \cdot (R - B) = L(1 - B/R) \quad (3)$$

$$\text{Отсюда } dL = LB/R \text{ или } R = LB/dL$$

Подставив (1) получим изящную формулу для радиуса изгиба:

$$R = B / (K \cdot dT) \quad (4)$$

Допустим, сегодня на улице -25°C , а в доме $+25^{\circ}\text{C}$. При этом на внешней и внутренних лицевых поверхностях профиля температура составит примерно -20°C и $+20^{\circ}\text{C}$ (округлим для простоты). Трехкамерный 58-миллиметровый профиль, по средней линии внешних стенок приравненный к двутавру 55 мм, стремится выгнуться с радиусом $R = 55 / (0,00007 \cdot 40) = 19643$ мм или 19,643 метра.

Прогиб H посередине отрезка L — стрела сегмента.

$$H = R(1 - \cos \alpha / 2) = B(1 - \cos \alpha / 2) / KdT \quad (5)$$

Например, для балконной двери с высотой створки 2000 мм

$\alpha = 2000 / 19643 = 0,102$ рад. прогиб составит $H = 25,54$ мм!!! Кошка в щель не пройдет, но мышка средней упитанности может... Конечно, это верно только для отдельного куска профиля при заданной разнице температур лицевых стенок.

Для тех, кто с детства не любит косинусы, все же напомним:

$$\cos \alpha = 1 - 2\sin^2(\alpha/2) \text{ или } 1 - \cos(\alpha/2) = 2\sin^2 \alpha/4 \quad (6)$$

Угол сектора кольца при $\alpha \rightarrow 0$ позволяет принять $\sin \alpha \approx \alpha$ или $1 - \cos(\alpha/2) \approx \alpha^2/8$

Подставив (2) и (4) получим формулу прогиба для малых углов сектора кольца:

$$H = R(L/R)^2/8 = L^2/8R = L^2 KdT/8B \quad (7)$$

Проверим предыдущий пример по этой формуле: $H = 25,45$ мм — погрешность весьма мала.

Таким образом, прогиб прямо пропорционален квадрату длины элемента, разнице температур лицевых стенок и обратно пропорционален толщине профиля (монтажной глубине).

Посчитаем выгиб неармированной по ширине створки 600 мм, что разрешено ГОСТом. Как правило, при такой ширине не устанавливаются дополнительные запорные цапфы фурнитуры и брус можно считать балкой со свободно опертыми концами.

$$H = 600^2 \cdot 0,00007 \cdot 50 / 8 \cdot 55 = 2,29 \text{ мм}$$

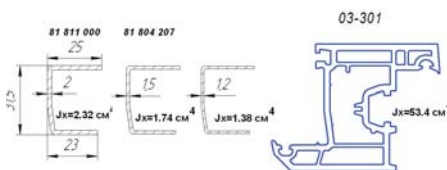
В большинстве профильных систем расчетный зазор на уплотнение составляет 3-4 мм с нормированным допуском $\pm 0,5 \dots 1,0$ мм. Увеличение зазора на 2,29 мм из-за выгиба створки неминуемо приводит к продуванию.

Самое время сравнить расчет и натурные испытания. Мороз до -35°C в январе позволил провести замеры при условиях очень близких к расчетным. Выгиб неармированной створки шириной 610 мм по середине составил 1,7 мм при разнице температур $dT = 40^{\circ}\text{C}$. Расчет по формулам дает величину 2,37 мм. Ошибка расчета получилась в 1,4 раза — очень немного при весьма смелых допущениях. Но выявленная погрешность не отменяет выведенные зависимости. Кроме того, на реальный результат повлияло то, что двухкамерный 32-миллиметровый стеклопакет частично взял на себя роль отсутствующего армирования. По этой же причине низ типичной балконной двери, где стоит сэндвич, коробится сильнее верха.

Если провести аналогию термического прогиба с ветровой нагрузкой и подставить полученные цифры в известную формулу, то чтобы получить прогиб 1,7 мм на неармированной полке створки шириной 610 мм, потребуется ветровое давление 6900 Па, что соответствует скорости ветра 106 м/с или 382 км/час.

Вряд ли у кого-то остались сомнения, что пластику необходим стальной усилитель. В силу высокой теплопроводности армирование в ПВХ-профиле имеет практически одинаковую температуру по сечению, поэтому не подвержено сколько-нибудь заметному термическому изгибу и является единственным, что может противостоять термической деформации ПВХ-профиля. Полагаться на стеклопакет, по крайней мере, опрометчиво — жесткость явно недостаточна. Высокий перепад температур создает серьезную механическую нагрузку и на сам стеклопакет, поэтому не стоит перегружать его лишними функциями.

Рассмотрим совместную работу ПВХ-профиля и стального армирования



Особенностью совместной работы ПВХ-профиля и армирования является то, что при нормальной температуре $+20^{\circ}\text{C}$ с обеих сторон их жесткость складывается, но при термической деформации они работают друг против друга. Хотя модуль уп-

ругости ПВХ в 78 раз ниже стали, но результирующие жесткости вполне сопоставимы.

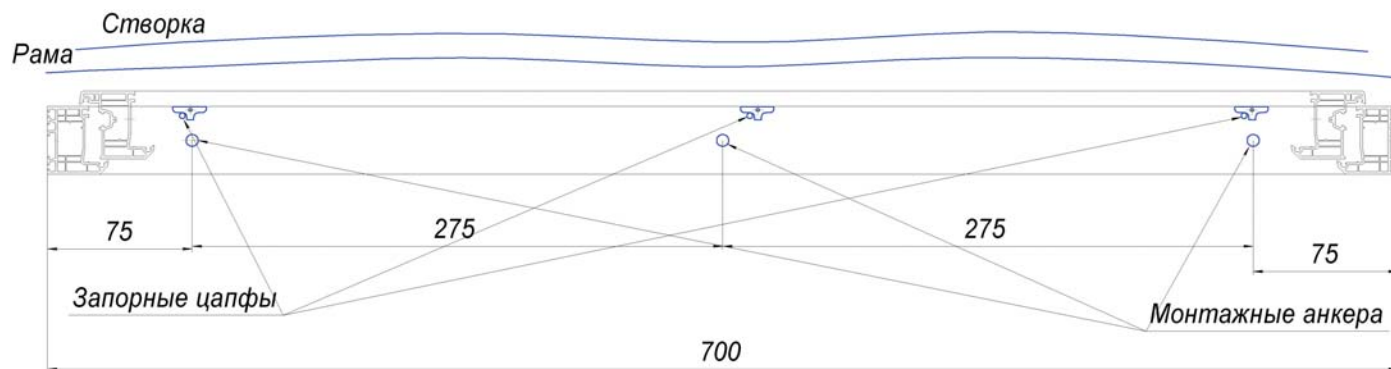
Из таблицы видно, что для рассмотренных сочетаний профилей армирование способно уменьшить прогиб в 2...3,3 раза, что достаточно точно подтверждают экспериментальные замеры.

Чрезвычайно важно не только чтобы армирование было, но и чтобы оно было правильно закреплено. В идеальном случае для максимальной передачи усилий на металл саморезы должны стоять как заклепки на крыле самолета — один к одному и зигзагом. Однако существует «принцип разумной достаточности». В различных профильных системах требования к правилам армирования несколько различаются, однако лежат в близком диапазоне. Крайний саморез ставится в 40 — 70 мм от края армирования и далее с шагом от 250 до 400 мм. Меньшие значения рекомендованы для цветных профилей. Увеличение дистанции первого самореза от края приводит к тому, что свободный конец армирования просто не работает. Минимальное расстояние от среза армирования должно быть не меньше, чем больший размер сечения армирования для устранения краевого эффекта, однако и не больше для максимальной эффективности его работы.

Еще одно важное замечание. Обычно армирование располагается в ПВХ-профиле с некоторым зазором в 1 — 1,5 мм. Это необходимо для компенсации допустимых отклонений геометрии самого армирования и внутренних стенок профиля, которые, кстати, не лимитируются стандартами. Если армирование прихвачено всего 2-мя саморезами, то ПВХ-профиль свободно изгибается, проворачиваясь на саморезах как на шарнирах, не передавая усилий на армирование, пока не упрутся во внутреннюю перегородку. Тонкие внутренние перегородки не самая надежная опора, да и 1 мм свободного изгиба зачастую достаточно для появления продувания через уплотнения. Крепление армирования по 3-м точкам устраняет проблему, даже если между саморезами получилось 200 мм и ГОСТ такого не требует.

До сих пор мы рассматривали термический прогиб незакрепленного профиля, но в реальном окне створка имеет несколько точек крепления через фурнитурные зацепы и петли к раме, которая в свою очередь также выгибается внутрь и имеет собственные

Профиль	Момент инерции J_x см ⁴	Модуль упругости E МПа	Жесткость на изгиб $J_x \cdot E$	Соотношение жесткости
Створка 03-301	53,4	2700	144 180	
81 811 000 2 мм	2,32	210000	483 000	3,3:1
81 804 207 1,5 мм	1,74	210000	357 000	2,5:1
Арм. 1,2 мм	1,38	210000	294 000	2:1



точки крепления к проему, который уже можно считать неподвижным. Реальное искривление будет иметь волнообразную форму, и размер зазора между рамой и створкой зависит от картины наложения этих волн.

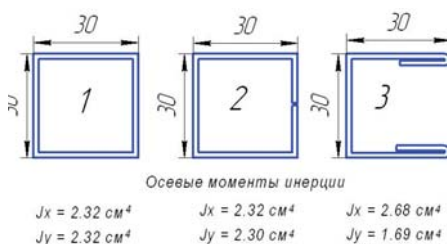
Наилучшее совпадение «волн», а значит, постоянство величины зазора на уплотнении достигается, когда точки крепления рамы в проеме близки к точкам расположения фурнитурных запоров. Если рама жестко закинута штукатурными откосами, то остается практически прямой, что ухудшает прилегание створки. Отсюда же вытекает объяснение, почему при обустройстве пластиковых или гипсокартонных откосов необходимо обеспечить подвижность стыка к раме через приемный F-профиль, и отчего иногда трескаются штукатурные откосы.

Некоторые поставщики профиля считают панацеей от всех проблем использование «замкнутого армирования». Давайте разберемся...

Во-первых, «замкнутым» можно считать только армирование без разрыва, то есть сварную или горячекатаную трубу любого сечения, но никак не «гнутой профиль прямоугольного сечения». Профиль с разрывом, даже если он «почти» замкнут, не имеет никаких преимуществ перед G- или П-образными профилями.

Для тонкостенных профилей (а таковыми считаются профили, где внешний габарит сечения в 10 и более раз больше толщины стенки) существенное и бесспорное отличие проявляется только в жесткости на кручение — порядка в 50 — 200 раз выше, чем для профилей того же сечения, но с разрывом. Также известно, что изгиб разомкнутого профиля сопровождается кручением, вызванным тем, что центр жесткости не лежит в плоскости приложения силы (точки крепления саморезами), из-за чего возникает крутящий момент. Однако имеющий несомненно замкнутый контур ПВХ-профиль обладает вполне достаточной приведенной жесткостью на кручение. Кроме того, рама

окна, где возможно применение замкнутых армирующих профилей, не испытывает серьезных нагрузок на кручение, а в обычных створках (кроме дверных) ее использование не позволяет такая наука как «топология».



Расчет показывает, что при равной металлоемкости и внешних габаритах преимущество имеет профиль №3. Незамкнутый и даже непохожий на замкнутый.

Кроме термических деформаций на систему рама/створка воздействует упругое сопротивление уплотнения. Оно создает дополнительную нагрузку, действующую на выгиб профиля. Притворные уплотнения обычно рассчитаны на вполне конкретный зазор между рамой и створкой. При расчетном зазоре усилие прижима находится в нормальных пределах для обеспечения легкой работы фурнитуры и обеспечивает достаточную плотность притвора. При попытке уменьшить этот зазор сила противодействия сжатого уплотнения резко возрастает, и хотя напротив запорных элементов зазор уменьшается, и пресловутый тетрадный листок невозможно выдернуть из защемления, повышенная нагрузка приводит к нерасчетному изгибу профиля, и на полудистанции между запорными цапфами зазор наоборот увеличивается. Как же велико бывает удивление инженеров по гарантии, прибывших на рекламацию и отчаявшихся безуспешно крутить прижимы на «зиму», случайно, отпустив их на «лето», через 10 минут обнаружить, что проблема решена...

Для успешной работы уплотнения прижим не должен быть лучше — он должен быть правильным!

Углубляться в эту тему можно бесконечно, но предварительные ответы на поставленные вопросы, кажется, ясны.

Кто виноват? — Законы физики.

Что делать? — Соблюдать... Изучать и соблюдать до последней буквы технологию производства, монтажа, рекомендации производителей фурнитуры.

Власенко Дмитрий

ООО «Винтек Пластик»

Производство и центральный склад:
142277, Московская обл., Серпуховский р-н,
дер. Васильевское, д. 3 Б
Тел.: (4967) 76-48-20
Факс: (4967) 76-48-28

Московский офис:
142784, Москва, Румянцево дер., Киевское ш., 1
Бизнес-парк Румянцево, оф. 810 Г
Тел.: (495) 646-3545
Факс: (495) 646-3546
e-mail: info@wintech.ru

Представительства и склады в России:

Представительство в Казани
420111, Республика Татарстан,
г. Казань, ул. А. Кутуя, д. 163 А
Тел.: (987) 297-2755
e-mail: ildar.fahretdinov@wintech.ru

Представительство и склад в Нижнем Новгороде
Тел.: (910) 141-4495
e-mail: andrey.pigalov@wintech.ru

Представитель в Новосибирске
Тел.: (913) 913-7672
e-mail: andrey.genkel@wintech.ru

Представитель в Краснодаре
Тел.: (919) 998-6539
e-mail: vladimir.leon@wintech.ru

www.wintech.ru