

И.С. АКСЁНОВ<sup>1</sup>, А.П. КОНСТАНТИНОВ<sup>1</sup>, А.А. ВЕРХОВСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия

## ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОКОННЫХ ПВХ ПРОФИЛЕЙ

**Аннотация.** Опыт эксплуатации ПВХ окон в районах с низкими зимними температурами наружного воздуха показал, что они подвержены значительным изгибным температурным деформациям, которые приводят к снижению их эксплуатационных качеств. Однако температурные деформации никак не учитываются при проектировании окон ПВХ, что связано с отсутствием инженерной методики их расчёта на температурные нагрузки. В настоящей статье представлен инженерный подход к расчету температурных деформаций оконных профилей ПВХ. Он реализован на примере расчета оконного ПВХ импоста с армирующим стальным сердечником на температурный изгиб для зимних условий эксплуатации. Расчёт выполнен двумя способами: численно-аналитическим и упрощенным аналитическим. Для верификации расчётной методики в климатической камере было проведено испытание двухстворчатого окна на температурную нагрузку. Сравнение результата расчётов с результатами испытаний показали расхождение в 10.6% (для численно-аналитического расчёта) и 16.2% (для аналитического расчёта). Результаты лабораторных испытания подтвердили принятое в расчётной методике допущение: расчёт температурных деформаций импоста при его шарнирном креплении к раме возможно вести без учёта жесткости примыкающих к импосту створок, поскольку створки и импост деформируются под действием температуры совместно и не передают друг на друга механических усилий.

**Ключевые слова:** ПВХ окна, прогиб импоста, температурная нагрузка, климатические воздействия, численно-аналитический метод расчёта.

I.S. AKSENOV<sup>1</sup>, A.P. KONSTANTINOV<sup>1</sup>, A.A. VERKHOVSKY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

## NUMERICAL ANALYTIC METHOD FOR CALCULATION OF PVC WINDOW PROFILES TEMPERATURE DEFORMATION

**Abstract.** The experience of operating PVC windows in areas with low winter outdoor temperatures has shown that they are subject to significant bending temperature deformations, which lead to a decrease in their performance. Nevertheless, these deformations are not taken into account in any way when designing PVC windows, which is due to the lack of an engineering methodology for calculating them for temperature loads. This article presents an engineering approach to the calculation of PVC window profiles temperature deformations. It is demonstrated on the example of a PVC window mullion with a reinforced steel core subjected to temperature bending in winter operating conditions. The calculation is performed in two ways: numerically analytical and simplified analytical. To verify the calculation method, a double-casement window was tested for temperature load in a climate chamber. Comparison of the calculation result with the test results showed a discrepancy of 10.6% (for numerical and analytical calculation) and 16.2% (for analytical calculation). The results of laboratory tests confirmed the assumption adopted in the calculation methodology: the calculation of the mullion temperature deformations when it is hinged to the frame can be carried out without taking

*into account the rigidity of the casements adjacent to the mullion, since the casements and the mullion are deformed under the influence of temperature together and do not transfer mechanical forces to each other.*

**Keywords:** *PVC windows, mullion deflection, temperature load, climatic effects, numerical-analytical method of calculation.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елдашов Ю.А., Сесюнин С.Г., Ковров В.Н. Экспериментальное исследование типовых оконных блоков на геометрическую стабильность и приведенное сопротивление теплопередаче от действия тепловых нагрузок // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 146–149.
2. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol 463. No 3. doi:10.1088/1757-899X/463/3/032048.
3. Konstantinov A. and Verkhovsky A. Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol 753. No 3. doi:10.1088/1757-899X/753/3/032022.
4. Fleury G., Thomas M. Variations to window air permeability according to outside temperature // Cahiers Du Centre Scientifique et Technique Du Batiment. 1972. Vol 132. No. 1129.
5. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. № 3–1. С. 263–269.
6. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house // ASHRAE Transactions. 1998. Vol 104. No Pt 1B. Pp. 1254–1260.
7. Kehrli D. Window air leakage performance as a function of differential temperatures and accelerated environmental aging // Thermal performance of exterior envelopes of building III. 1985. Pp. 872–890. [Online]. Available: <https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985/B3/papers/066.pdf>
8. Кунин Ю.С., Алекперов Р.Г., Потапова Т.В. Зависимость воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций от температурных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С.114–120.
9. Куренкова А.Ю. Уроки 2010 года, или особенности изготовления оконных блоков из ПВХ-профилей шириной более 68 мм // Светопрозрачные конструкции. 2011. № 1. С. 10–12.
10. Van Craenendonck S., Lauriks L., Vuye C., Kampen J. Local effects on thermal comfort: Experimental investigation of small-area radiant cooling and low-speed draft caused by improperly retrofitted construction joints // Building and Environment. 2018. Vol 147. Pp. 188–198. doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.021.
11. Schiepel D. and Westhoff A. Study on the Influence of Turbulence on Thermal Comfort for Draft Air // New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XIII. STAB/DGLR Symposium 2020. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. 2021. Pp. 494–503. doi:10.1007/978-3-030-79561-0\_47.
12. Manz H., Frank T. Analysis of thermal comfort near cold vertical surfaces by means of computational fluid dynamics // Indoor and Built Environment. 2004. Vol 13. No 3. Pp. 233–242. doi:10.1177/1420326X04043733.
13. Konstantinov A.P., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. doi:10.1051/e3sconf/20183302025.
14. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 1. Зимние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 1-2. С. 6–9.
15. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 2. Летние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 3. С. 12–15.
16. Сесюнин С.Г., Елдашов Ю.А. Моделирование сопряженной задачи термоупругости на примере анализа вариантов конструктивного оформления оконного блока зданий // Светопрозрачные конструкции. 2005. № 4. С. 14–18.
17. Аксенов И.С., Константинов А.П. Аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния оконных профилей ПВХ при действии температурных нагрузок // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып.11. С. 1437–1451. doi:10.22227/1997-0935.2021.11.1437-1451.
18. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Temperature deformations of PVC window profiles with reinforcement // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). P. 98-111. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-98-111>
19. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol 98. No 6. doi:10.18720/MCE.98.8.
20. Carbery L.D., Kimberlain J.H. Structural silicone glazing: optimizing future designs based on historical performances // Intelligent Buildings International. 2020. Vol 12. No. 3. Pp. 169–179. doi:10.1080/17508975.2018.1544881.

REFERENCES

1. Eldashov Yu.A., Sesyunin S.G., Kovrov V.N. Eksperimental'noe issledovanie tipovykh okonnykh blokov na geometricheskuyu stabil'nost' i privedennoe soprotivlenie teploperedache ot dei-stviya teplovykh nagruzok [Experimental study of typical window units for geometric stability and reduced heat transfer resistance from the action of thermal loads] // Vestnik MGSU. 2009. № 3. Pp. 146–149.
2. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol 463. No 3. doi:10.1088/1757-899X/463/3/032048.
3. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol 753. No 3. doi:10.1088/1757-899X/753/3/032022.
4. Fleury G., Thomas M. Variations to window air permeability according to outside temperature // Cahiers Du Centre Scientifique et Technique Du Batiment. 1972. Vol 132. No. 1129.
5. Shekhovtsov A. Air permeability of an PVC-window when exposed to freezing temperatures // Vestnik MGSU. 2011. № 3–1. Pp. 263–269.
6. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house // ASHRAE Transactions. 1998. Vol 104, No Pt 1B. Pp. 1254–1260.
7. Kehrl D. Window air leakage performance as a function of differential temperatures and accelerated environmental aging // Thermal performance of exterior envelopes of building III. 1985. Pp. 872–890. [Online]. Available: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985/B3\\_papers/066.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985/B3_papers/066.pdf)
8. Kunin Y.S., Alekperov R.G., Potapova T.V. Dependence of air permeability of translucent structures on temperature impacts // Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo [Industrial and civil engineering]. 2018. (10). Pp. 114–120. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2018&v=10&p=00&r=19> (rus).
9. Kurenkova A.Yu. Uroki 2010 goda, ili osobennosti izgotovleniya okonnykh blokov iz PVKh-profilei shirinoi bolee 68 mm [Lessons of 2010, or the peculiarities of manufacturing window units from PVC profiles over 68 mm wide] // Svetoprozrachnye konstruksii [Translucent structures]. 2011. № 1. Pp. 10-12 (rus).
10. Van Craenendonck S., Lauriks L., Vuye C., Kampen J. Local effects on thermal comfort: Experimental investigation of small-area radiant cooling and low-speed draft caused by improperly retrofitted construction joints // Building and Environment. 2018. Vol 147. Pp. 188–198. doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.021.
11. Schiepel D. and Westhoff A. Study on the Influence of Turbulence on Thermal Comfort for Draft Air // New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XIII. STAB/DGLR Symposium 2020. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. 2021. Pp. 494–503. doi:10.1007/978-3-030-79561-0\_47.
12. Manz H., Frank T. Analysis of thermal comfort near cold vertical surfaces by means of computational fluid dynamics // Indoor and Built Environment. 2004. Vol 13. No 3. Pp. 233–242. doi:10.1177/1420326X04043733.
13. Konstantinov A.P., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. doi:10.1051/e3sconf/20183302025.
14. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoi deformatsii PVKh-profilya. Chast' 1. Zimnie poperechnye deformatsii [Estimation of the value of PVC profile thermal deformation. Part 1. Winter transverse deformations] // Svetoprozrachnye konstruksii [Translucent structures]. 2013. № 1-2. Pp. 6–9.
15. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoi deformatsii PVKh-profilya. Chast' 2. Letnie poperechnye deformatsii [Estimation of the value of PVC profiles thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations] // Svetoprozrachnye konstruksii [Translucent structures]. 2013. № 3. Pp. 12–15.
16. Sesyunin S.G., Eldashov Yu.A. Modelirovanie sopryazhennoi zadachi termouprugosti na primere analiza variantov konstruktivnogo oformleniya okonnogo bloka zdaniy [Modeling of the conjugate problem of thermoelasticity on the example of window analysis] // Svetoprozrachnye konstruksii [Translucent structures]. 2005. № 4. P. 14-18.
17. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. An analytical method for calculating the stress-strain state of PVC window profiles under thermal loading // Vestnik MGSU. 2021. No 11. Pp. 1437–1451. doi:10.22227/1997-0935.2021.11.1437-1451.
18. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Temperature deformations of PVC window profiles with reinforcement // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). P. 98-111. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-98-111>
19. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol 98. No 6. doi:10.18720/MCE.98.8.
20. Carbary L.D., Kimberlain J.H. Structural silicone glazing: optimizing future designs based on historical performances // Intelligent Buildings International. 2020. Vol 12. No. 3. Pp. 169–179. doi:10.1080/17508975.2018.1544881.

**Информация об авторах:**

**Аксёнов Иван Сергеевич**

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва, Россия,  
аспирант.

E-mail: [ivanak1995@mail.ru](mailto:ivanak1995@mail.ru)

**Константинов Александр Петрович**

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, руководитель научно-исследовательского центра «Фасадные системы».

E-mail: [apkonst@yandex.ru](mailto:apkonst@yandex.ru)

**Верховский Алексей Адольфович**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и  
строительных наук», г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, руководитель испытательного центра «Фасады СПК».

E-mail: [v2508@rambler.ru](mailto:v2508@rambler.ru)

**Information about authors:**

**Aksenov Ivan S.**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
graduate student.

E-mail: [ivanak1995@mail.ru](mailto:ivanak1995@mail.ru)

**Konstantinov Aleksandr P.**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate in technical sciences, head of the Research Center «Facade Systems».

E-mail: [apkonst@yandex.ru](mailto:apkonst@yandex.ru)

**Verkhovsky Aleksey Ad.**

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,  
candidate in technical sciences, head of the Test Center «Facades SPK».

E-mail: [v2508@rambler.ru](mailto:v2508@rambler.ru)