

И.С. АКСЁНОВ¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ДЕФОРМАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОКОННЫХ ПВХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЗКАХ

Аннотация. Опыт эксплуатации ПВХ окон в климатических условиях РФ показывает, что они подвержены значительным температурным деформациям. Температурные деформации ПВХ окон приводят к снижению их эксплуатационно-технических характеристик. Тем не менее, в настоящее время расчет данных конструкций на действие температурных нагрузок не выполняется. Это обусловлено в т.ч. и тем, что пока не разработаны методики расчета НДС ПВХ окон при действии температурных нагрузок. Разработка данной методики является целью настоящего исследования. Для расчета НДС ПВХ окна предложено разделить её на комбинации профилей и рассматривать комбинацию профилей как единичный элемент расчета. При введении ряда упрощений была создана расчетная схема комбинации профилей. Была получена универсальная форма системы дифференциальных уравнений, описывающих деформацию (и следовательно, НДС) комбинации оконных профилей. Было получено решение общего вида для данной системы уравнений, которое учитывает температурный изгиб профильных элементов ПВХ окон, влияние жесткости стеклопакета, условия закрепления профилей, действие произвольного количества сосредоточенных сил и моментов. Это позволяет вести расчет НДС любой оконной конструкции, которую можно представить в виде совокупности комбинаций профилей. Было предложено условие, ограничивающее температурные деформации оконной конструкции. Оно заключается в обеспечении деформаций оконного уплотнителя, не выходящих за пределы его рабочего диапазона, что может быть реализовано с использованием описанной расчетной методики.

Ключевые слова: температурные деформации, ПВХ окна, аналитический метод расчета, комбинация профилей, деформация оконного уплотнителя.

I.S. AKSENOV¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

DEFORMATION STABILITY OF PVC WINDOWS UNDER TEMPERATURE LOADS

Abstract. Experience in operating PVC windows in the climatic conditions of the Russian Federation shows that they are subject to significant temperature deformation. Temperature deformations of PVC windows lead to a decrease in their operational and technical characteristics. Nevertheless, at present the calculation of these structures for the action of temperature loads is not performed. This is due, among other things, to the fact that the methods for calculating the plastic deformation of PVC windows under the action of temperature loads have not yet been developed. The development of this methodology is the purpose of the present research. It was proposed to divide a window construction into profile combinations and to consider the profile combination as a single calculation element. By introducing a number of simplifications, a calculation scheme of profile combination was created. A universal form of a system of differential equations describing deformation of a combination of profiles was obtained. A general form solution for this system of equations has been obtained which takes into account temperature bending of window profile elements, impact of IGU rigidity, conditions of profile fixing, point forces and moments, which enables to calculate the strain-stress state of any structure which can be represented as a set of combination of profiles.

A condition limiting temperature deformations of a window structure has been proposed. It consists in ensuring the window seal deformations not exceeding its operating range, which can be verified using the described calculation methodology.

Keywords: *temperature deformations, PVC windows, analytical calculation method, combination of profiles, window seal deformation.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. 3-е изд. Москва: Издательство ABC, 2003. 320 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1. 8-е изд., перераб. и доп., Москва: Машиностроение, 2001. 920 с.
3. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia [Температурная деформация окна в климатических условиях России] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 463. 032048.
4. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation [Оценка влияния ветровых и температурных нагрузок на деформацию окон из ПВХ] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 3 (753). 032022.
5. 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.
6. Elmahdy A.H. Air leakage characteristics of windows subjected to simultaneous temperature and pressure differentials [Воздухопроницаемость окон, подверженных одновременному воздействию перепадов температуры и давления] // Window Innovations. 05 June 1995, Toronto, Ontario, Canada. 1995. С. 146–163.
7. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house [Измерение воздухопроницаемости окон при низких температурах и её влияние на годовые энергетические показатели дома] // ASHRAE Transactions. 1998. № Pt 1B (104). С. 1254–1260.
8. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. № 1 (3). С. 263–269.
9. Верховский А.А., Зимин А.Н., Потапов С.С. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 16–19.
10. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the Negative Temperatures Influence on the PVC Windows Air Permeability [Оценка влияния отрицательных температур на воздухопроницаемость окон ПВХ] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 2 (753). 022092.
11. 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.
12. Konstantinov A., Verkhovsky A., Lyabakova E. Sound insulation of PVC windows at negative outdoor temperatures [Звукоизоляция окон из ПВХ при отрицательных наружных температурах] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 1 (896). 012054.
13. Константинов А.П., Верховский А.А. Влияние отрицательных температур на теплотехнические характеристики оконных блоков из ПВХ профилей // Строительство и реконструкция. 2019. № 83 (3). С. 72–82.
14. Гныря А. И. [и др.]. Влияние инфильтрации холодного воздуха на сопротивление теплопередаче стеклопакета // Известия ВУЗов. Строительство. 1999. № 3 (2). С. 102–105.
15. Емельянов Р.Т., Ревенко В.В. Оценка влияния изменения естественного воздухообмена на энергопотребление здания с учётом показателя герметичности современных окон // Молодой ученый. 2018. № 188 (2). С. 21–25.
16. Веснин В.И. Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проёмы // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 24 (3). С. 10–16.
17. Halle S. [и др.]. The Combined Effect of Air Leakage and Conductive Heat Transfer in Window Frames and Its Impact on the Canadian Energy Rating Procedure [Комбинированный эффект воздухопроницаемости и кондуктивной теплопередачи в оконных рамах и его влияние на канадскую процедуру энергетической классификации]. AIVC. 1998. SF-98-12-3 (4108).
18. Elghamry R., Hassan H. Impact of window parameters on the building envelope on the thermal comfort, energy consumption and cost and environment [Влияние параметров окон ограждающей конструкции здания на тепловой комфорт, потребление, стоимость энергии и окружающую среду] // International Journal of Ventilation. 2020. № 4 (19). С. 233–259.
19. Wang L., Greenberg S. Window operation and impacts on building energy consumption [Эксплуатация окон и влияние на энергопотребление здания] // Energy and Buildings. 2015. № 92. С. 313–321.
20. Heydari A., Sadati S. E., Gharib M. R. Effects of different window configurations on energy consumption in building: Optimization and economic analysis [Влияние различных конфигураций окон на потребление энергии в здании: оптимизация и экономический анализ] // Journal of Building Engineering. 2021. № 35. 102099.

21. Choi Y., Ozaki A., Lee H. Impact of Window Frames on Annual Energy Consumption of Residential Buildings and Its Contribution to CO₂ Emission Reductions at the City Scale [Влияние окон на годовое энергопотребление жилых зданий и его вклад в сокращение выбросов CO₂ в масштабах города] // *Energies*. 2022. № 10 (15). 3692.
22. Cuce E. Role of airtightness in energy loss from windows: Experimental results from in-situ tests [Роль герметичности в потерях энергии из окон: экспериментальные результаты натурных испытаний] // *Energy and Buildings*. 2017. № 139. С. 449–455.
23. Chen S. [и др.]. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use [Измеренные показатели герметичности жилых зданий в Северном Китае и их влияние на энергопотребление при централизованном отоплении помещений] // *Energy and Buildings*. 2012. № 51. С. 157–164.
24. Сесюнин С. Г., Елдашов Ю. А. Моделирование сопряженной задачи термоупругости на примере анализа вариантов конструктивного оформления оконного блока зданий // *Светопрозрачные конструкции*. 2005. № 4.
25. Власенко Д.В. Почему коробит окно. Кто виноват и что делать? // *Оконное производство*. 2014. № 39. С. 42–44.
26. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 2. Летние поперечные деформации. // *Светопрозрачные конструкции*. 2013. № 3. С. 12–15.
27. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 1. Зимние поперечные деформации. // *Светопрозрачные конструкции*. 2013. № 2 (1). С. 6–9.
28. Аксёнов И.С., Константинов А.П. Упрощенный подход к моделированию уплотнителя для прочностного расчета оконных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2021. № 3 (16). С. 317–330.
29. Аксёнов И.С., Константинов А.П. Аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния оконных профилей ПВХ при действии температурных нагрузок // *Вестник МГСУ*. 2021. № 11. С. 1437–1451.
30. Аксёнов И.С., Константинов А.П. Аналитический расчет сложного напряженно-деформированного состояния армированного ПВХ профиля при температурной нагрузке // *Жилищное строительство*. 2022. № 11. С. 19–28.
31. Цвей А. Ю. Балки и плиты на упругом основании. Лекции с примерами расчета по специальному курсу строительной механики: учеб. пособие. Москва: МАДИ, 2014. 96 с.

REFERENCES

1. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy [Modern window systems designing for civil buildings]. Moscow: Izdatel'stvo ABC, 2003. 320 p. (rus)
2. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. V 3 t. T. 1 [Handbook of the mechanical engineer in 3 vol. Vol. 1]. Moscow: Mashinostroenie, 2001. 920 p. (rus)
3. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. No. 463. 032048.
4. 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. No. 3 (753). 032022.
5. Eldashov Yu.A., Sesyunin S.G., Kovrov V.N. Eksperimental'noe issledovanie tipovykh okonnykh blokov na geometricheskuyu stabil'nost' i privedennoe soprotivlenie teploperedache ot deystviya teplovykh nagruzok [Experimental study of typical window units for geometric stability and reduced heat transfer resistance when exposed to thermal loads]. *Vestnik MGSU*. 2009. No. 3. Pp. 146–149. (rus)
6. Elmahdy A.H. Air leakage characteristics of windows subjected to simultaneous temperature and pressure differentials. *Window Innovations*. 1995. Pp. 146–163.
7. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house. *ASHRAE Transactions*. 1998. No. Pt 1B (104). Pp. 1254–1260.
8. Shekhovtsov A.V. Vozdukhopronitsaemost' okonnogo bloka iz PVKh profiley pri deystvii otritsatel'nykh temperatur [Air permeability of the window unit made of PVC profiles at negative temperatures]. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 1 (3). Pp. 263–269. (rus)
9. Verkhovskiy A.A., Zimin A.N., Potapov S.S. Primenimost' sovremennykh svetoprozrachnykh ograzhdayushchikh konstruksiy dlya klimaticheskikh regionov Rossii [Applicability of modern translucent structures for climatic regions of Russia]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 6. Pp. 16–19. (rus)
10. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the Negative Temperatures Influence on the PVC Windows Air Permeability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 2 (753). 022092.
11. Kunin Yu.S., Alekperov R.G., Potapova T.V. Zavisimost' vozdukhopronitsaemosti svetoprozrachnykh konstruksiy ot temperaturnykh vozdeystviy [Dependence of air permeability of translucent structures on temperature impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 10. Pp. 114–120. (rus)
12. Konstantinov A., Verkhovsky A., Lyabakova E. Sound insulation of PVC windows at negative outdoor temperatures. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 1 (896). 012054.

13. Konstantinov A.P., Verkhovskiy A.A. Vliyanie otritsatel'nykh temperatur na teplotekhnicheskie kharakteristiki okonnykh blokov iz PVKh profilya [The effect of negative temperatures on the thermal performance of window units made of PVC profiles]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. No. 83 (3). Pp. 72–82. (rus)
14. Gnyrya A. I. et. al. Vliyanie infil'tratsii kholodnogo vozdukha na soprotivlenie teploperedache steklopaketa [Influence of cold air infiltration on the thermal transmittance of the insulating glass unit]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo*. 1999. No. 3 (2). Pp. 102–105. (rus)
15. Emel'yanov R.T., Revenko V.V. Otsenka vliyaniya izmeneniya estestvennogo vozdukhoobmena na energopotrebleniye zdaniya s uchetom pokazatelya germetichnosti sovremennykh okon [Assessment of the impact of changes in natural air exchange on the energy consumption of the building, taking into account the airtightness index of modern windows]. *Molodoy uchenyy*. 2018. No. 188 (2). Pp. 21–25. (rus)
16. Vesnin V.I. Infil'tratsiya vozdukha i teplovye poteri pomeshcheniy cherez okonnyye proemy [Air infiltration and room heat loss through window openings]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 24 (3). Pp. 10–16. (rus)
17. Halle S. et al. The Combined Effect of Air Leakage and Conductive Heat Transfer in Window Frames and Its Impact on the Canadian Energy Rating Procedure. AIVC. 1998. SF-98-12-3 (4108).
18. Elghamry R., Hassan H. Impact of window parameters on the building envelope on the thermal comfort, energy consumption and cost and environment. *International Journal of Ventilation*. 2020. No. 4 (19). Pp. 233–259.
19. Wang L., Greenberg S. Window operation and impacts on building energy consumption. *Energy and Buildings*. 2015. No. 92. Pp. 313–321.
20. Heydari A., Sadati S. E., Gharib M. R. Effects of different window configurations on energy consumption in building: Optimization and economic analysis. *Journal of Building Engineering*. 2021. No. 35. 102099.
21. Choi Y., Ozaki A., Lee H. Impact of Window Frames on Annual Energy Consumption of Residential Buildings and Its Contribution to CO₂ Emission Reductions at the City Scale. *Energies*. 2022. No. 10 (15). 3692.
22. Cuce E. Role of airtightness in energy loss from windows: Experimental results from in-situ tests. *Energy and Buildings*. 2017. No. 139. Pp. 449–455.
23. Chen S. et. al. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use. *Energy and Buildings*. 2012. No. 51. Pp. 157–164.
24. Sesyunin S.G., Eldashov Yu.A. Modelirovaniye sopryazhennoy zadachi termouprugosti na primere analiza variantov konstruktivnogo oformleniya okonnogo bloka zdaniy [Simulation of the coupled problem of thermoelasticity on the example of a window unit structural design analysis]. *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2005. No. 4. (rus)
25. Vlasenko D.V. Pochemu korobit okno. Kto vinovat i chto delat'? [Why the window is crooked. Who is to blame and what to do?]. *Okonnoye proizvodstvo*. 2014. No. 39. Pp. 42–44. (rus)
26. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoy deformatsii PVKh-profilya. Chast' 2. Letnie poperechnyye deformatsii [Estimation of the value of thermal deformation of PVC profiles. Part 2. Summer transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2013. No 3. Pp. 12–15. (rus)
27. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoy deformatsii PVKh-profilya. Chast' 1. Zimnie poperechnyye deformatsii [Estimation of the value of thermal deformation of PVC profile. Part 1. Winter transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2013. No. 2 (1). Pp. 6–9. (rus)
28. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Uproshchenny podkhod k modelirovaniyu uplotnitelya dlya prochnostnogo rascheta okonnykh konstruksiy [A simplified approach to the window gasket modeling for window strength calculation]. *Vestnik MGSU*. 2021. No. 3 (16). Pp. 317–330. (rus)
29. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Analiticheskiy metod rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya okonnykh profilya PVKh pri deystvii temperaturnykh nagruzok [An analytical method for calculating the stress-strain state of PVC window profiles under thermal loading]. *Vestnik MGSU*. 2021. No. 11. Pp. 1437–1451. (rus)
30. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Analiticheskiy raschet slozhnogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya armirovannogo PVKh profilya pri temperaturnoy nagruzke [Analytical Calculation of the Complex Stress-Strain State of Reinforced PVC Profile under Temperature Load]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2022. No. 11. Pp. 19–28. (rus)
31. Tsvey A.Yu. Balki i plity na uprugom osnovanii. Lektsii s primerami rascheta po spetsial'nomu kursu stroitel'noy mekhaniki: ucheb. posobie [Beams and slabs on elastic foundation. Lectures with examples of calculations in a special course of structural mechanics: textbook.]. Moscow: MADI, 2014. 96 p. (rus)

Информация об авторе:

Аксёнов Иван Сергеевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

инженер ИЛ НИЦ «Фасадные системы».

E-mail: i.aksyonov@ikbs-mgsu.ru

Information about author:

Aksenov Ivan S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, engineer at the Facade Systems Research Center.

E-mail: i.aksyonov@ikbs-mgsu.ru