УДК 621.01
2.5.6. Технология машиностроения





А.С. Степанов,
В.В. Яхричев, А.В. Старостин
Вологодский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАСПАШНЫХ ВОРОТ

В статье приводятся результаты анализа напряженно-деформированного состояния распашных ворот системы ограждений. Сравниваются прочностные характеристики пяти типов ворот при воздействии ветровых нагрузок для семи климатических районов Российской Федерации. Исследование выполнено с использованием параметрического 3D-моделирования и метода конечных элементов в программном комплексе APM WinMachine. На основании полученных данных определены критические типоразмеры конструкций и разработаны рекомендации по их оптимизации.

Распашные ворота, ветровая нагрузка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, прочность, жесткость, APM WinMachine.

Распашные ворота являются неотъемлемым элементом систем ограждения промышленных территорий, частных владений и общественных пространств [1]. В условиях разнообразия климатических зон Российской Федерации особую актуальность приобретает обеспечение надежной работы конструкций при воздействии экстремальных ветровых нагрузок [2]. Цифровизация процессов проектирования позволяет проводить комплексный анализ конструкций на ранних этапах разработки [3].

Объектом исследования являются пять типов распашных ворот системы ограждений: «ЭГИДА», «ПРОФИЛЬ», «ЗАЩИТА» и их модификации для северных регионов. Для анализа использовался программный комплекс APM WinMachine версии 17. В модуле прочностного расчета данного программного пакета были выполнены статические расчеты напряженно-деформированного состояния.

Целью работы было провести сравнительный анализ различных типов ворот для определения их устойчивости к ветровым нагрузкам в различных климатических условиях, а также выявить критические типоразмеры, требующие конструктивной оптимизации.

Исходные данные для расчета включали:

– ширину проема ворот: от 4,0 до 10,0 м;

– ветровые районы РФ: I–VII (скорость ветра 27–65 м/с);

– материалы конструкций: стальные профили согласно КД заказчика;

– коэффициенты аэродинамического сопротивления согласно СП 20.13330.2016.

На рисунке 1 представлена типовая для проводимого исследования расчетная модель ворот «ЭГИДА» TECHNO.B.265-340.

В ходе статического расчета конструкций были получены распределения эквивалентных напряжений по Мизесу для различных типоразмеров ворот. Выполнены расчеты для створки «ЭГИДА» шириной 9,5 м в V ветровом районе.

Для всех типов ворот построены графики зависимости максимальных напряжений и прогибов от ширины проема и ветровой нагрузки. На рисунке 2 представлен график изменения максимальных напряжений для ворот «ЭГИДА» в зависимости от ширины проема для V ветрового района.

На рисунке 3 представлена выборка результатов для ветровых районов I, III, V и VII для нескольких размеров ширины проезда.

Анализ результатов показал, что для всех серий ворот наблюдается нелинейный рост максимальных напряжений и прогибов с увеличением ширины проема и скорости ветра. Критическими с точки зрения прочности ($\sigma_{max} > 250$ МПа) и жесткости являются типоразмеры с шириной проема $\geq 6{,}0$ м для ветровых районов V–VII.

Сравнительный анализ трех типов поворотных шарниров показал, что стандартная антивандальная петля М16 обладает недостаточным запасом прочности (K = 1,14), в то время как специализированная петля «Холод» демонстрирует высокую надежность (K = 2,35).

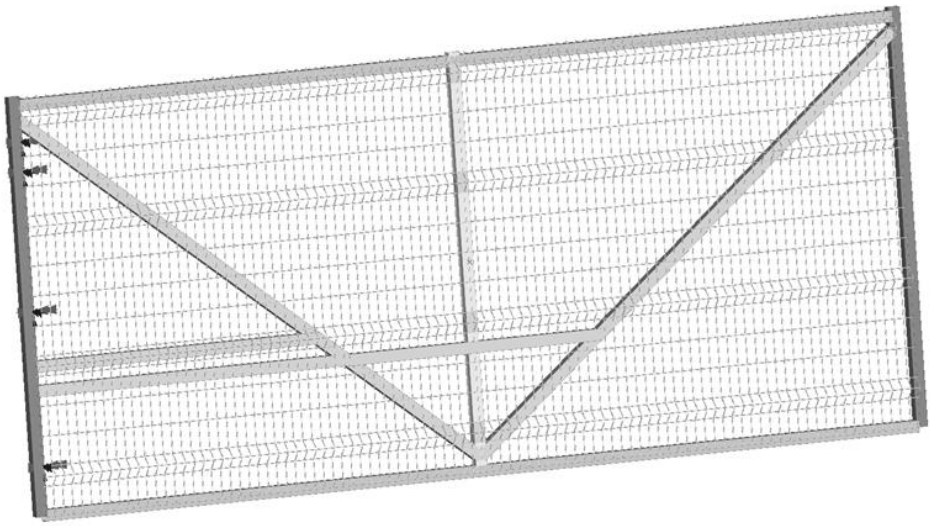


Рис. 1. Расчетная модель ворот «ЭГИДА» TECHNO.B.265-340

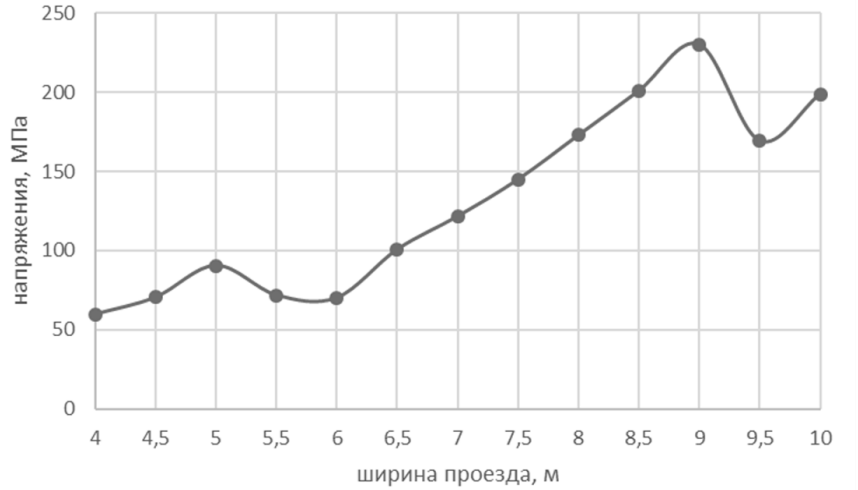


Рис. 2. Напряжения в створке «ЭГИДА» для V ветрового района

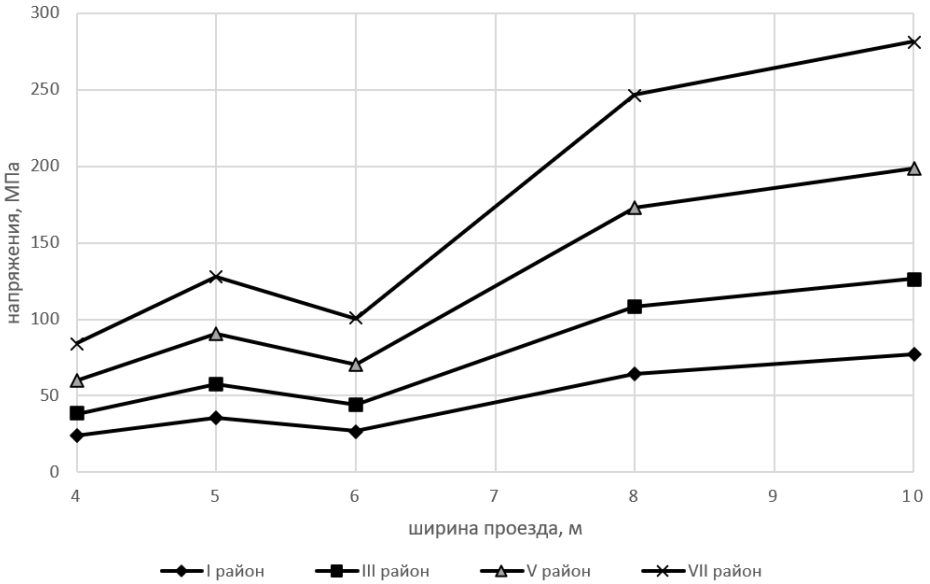


Рис. 3. Напряжения в створке «ЭГИДА» для разных ветровых районов

На основе анализа результатов предложены инженерные решения по модернизации конструкций:

– структурная оптимизация каркаса для серий «ПРОФИЛЬ»;

– увеличение количества петель для критических типоразмеров;

– оптимизация геометрии шарнирных соединений.

Согласно расчетным параметрам, установленным при анализе моделей, ряд типоразмеров ворот имеет недостаточный запас прочности для эксплуатации в регионах с высокой ветровой нагрузкой. Разработанные параметрические модели и методика расчета являются эффективным инструментом для проведения быстрых и точных проверочных расчетов в процессе проектирования.

Полученные результаты имеют практическую ценность для производителей ограждающих конструкций, позволяя оптимизировать конструкцию, минимизировать риск отказа оборудования в эксплуатации и расширить географию поставок продукции в регионы с экстремальными климатическими условиями.

Литература

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : [утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 декабря 2016 г. № 891/пр] : введен в действие 2017-06-17. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 82 с.

2. Булавин, В. Ф. Инженерный анализ и новые технологии в методе конечных элементов / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – № 2(328). – С. 109–120.

3. Замрий, А. А. Практический учебный курс. CAD/CAE система APM WinMachine / А. А. Замрий. – Москва : ДМК-Пресс, 2007. – 144 с.

A.S. Stepanov, V.V. Yakhrichev, A.V. Starostin
Vologda State University

INVESTIGATION OF WIND LOAD IMPACT ON STRUCTURAL ELEMENTS OF SWING GATES

The article presents the results of the analysis of the stress-strain state of swing gates of fencing systems. The strength characteristics of five types of gates under wind loads for seven climatic regions of the Russian Federation are compared. The study was performed using parametric 3D modeling and the finite element method in the APM WinMachine software package. The obtained data enable the determination of the critical dimensions of structures and developing recommendations for their optimization.

Swing gates, wind load, finite element method, stress-strain state, strength, stiffness, APM WinMachine.