

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СОПРЯЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И СИЛОВЫХ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАГРУЗОК

¹Мартыненко Т. М., ²Пронкевич С. А., ³Скляр О. Н., ³Мартыненко И. М.

¹Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, Минск

²Белорусский государственный университет, Минск

³Белорусский национальный технический университет, Минск

Для проектирования зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения необходимо исследовать все возможные факторы, вызывающие деформации и напряжения в элементах строительных конструкций под действием внешних сил. Данные задачи требуют решения большого количества важных и трудных проблем как в теоретическом, так и в практическом планах. Проектирование рациональных несущих конструкций следует связывать с непосредственным использованием принципов, которым подчинено деформирование твердого тела. Прикладной характер этих исследований подтверждается тем, что они служат для разработки и обоснования методов расчета инженерных конструкций и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость. Вопросы устойчивости, вызываемого неравномерным нагревом или охлаждением, имеют большое значение для обеспечения прочности и эффективного функционирования строительных конструкций. Поэтому решению данных вопросов уделялось много внимания авторами [1–4]. До настоящего времени эти исследования не утратили свою актуальность ввиду меняющихся требований к современным конструкциям.

Известно, что термоупругие напряжения могут вызвать появление трещин в элементах конструкций, возникновение и развитие пластических деформаций, которые способствуют прогрессирующему разрушению конструкций [5]. С практической точки зрения для проектирования конструкций, работающих в термических и силовых полях, возникает вопрос о приведении в соответствие не только механических, но и термодинамических свойств тела и его пространственного устройства. Поэтому актуальной проблемой является изучение и создание современных, методик прогнозирования нестандартных тепловых режимов в зданиях, что в свою очередь требует разработки теплофизических моделей, позволяющих определять поля температуры.

При повышении температуры упругие характеристики стали изменяются [6]. На рис. 1 представлена зависимость модуля упругости и модуля сдвига углеродистой стали от температуры. Как видно при 600 °С модуль упругости уменьшается примерно на 30 %. Коэффициент Пуассона становится при этом весьма близким к 0,5.

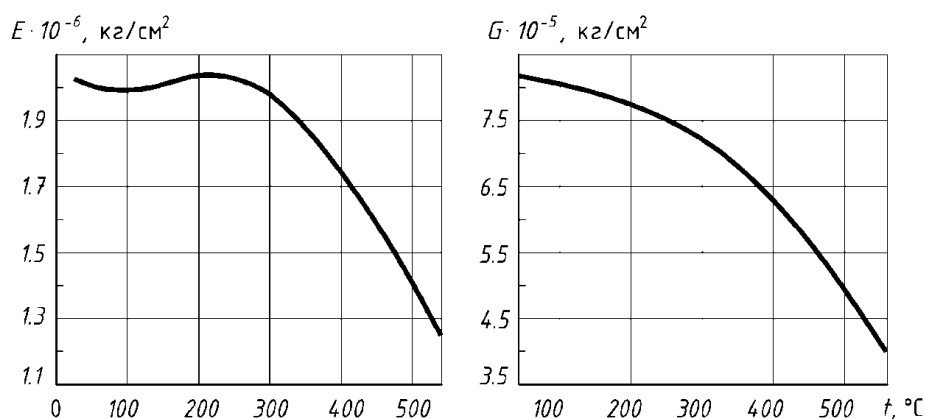


Рис. 1. Зависимость модуля упругости и модуля сдвига углеродистой стали от температуры

Исследования заключались в изучение устойчивости учебно-тренировочного комплекса (УТК) по критерию начальных параметров, при силовых и стационарных термических воздействиях в диапазоне температур 200–600 °С. На основании полученных теоретических и экспериментальных исследований определялись термоупругое напряженно-деформированное состояние (НДС) возникающие в УТК. Решение обозначенной задачи проводились на основе программного обеспечения ANSYS и осуществлялась в следующей последовательности:

- анализ силовых характеристик конструкции;
- исследование влияния распределения полей напряжения и температуры на структурные элементы УТК.

Особенностью системы конечно-элементного анализа ANSYS, в которой проводился расчет, является вычисление значения критической силы, при которой произойдет потеря устойчивости, в качестве множителя к приложенной силе. В комплексе ANSYS проверка устойчивости равновесия выполнялась в классическом Эйлеровом смысле для упругой системы.

Режим проверки устойчивости позволил дать ответ на следующие вопросы:

- каков коэффициент запаса устойчивости, т. е. во сколько раз нужно увеличить нагрузку, чтобы произошла потеря устойчивости;
- какова форма потери устойчивости;
- чему равны расчетные длины стержневых элементов.

Кроме того, имеется возможность увидеть энергетическую картину и понять какие части системы относятся к толкающим, а какие – к удерживающим.

Виртуальные испытания статического напряженно-деформированного состояния, возникающего в случае, когда действует температура 600 °С на поперечную несущую конструкцию, проводим применительно к модулю 40-футового морского контейнера, входящий в состав УТК.

Морской 40-футовый контейнер, имеет следующие характеристики: длина – 1219 см, ширина – 243 см, высота – 259 см, вес пустого контейнера составляет – 3900 кг, максимальный вес груза – 26 580 кг, объем 40-футового контейнера – 67,7 м³.

Расчетная схема представлена на рис. 2. Контейнер закреплен по четырем опорным точкам и к нему приложена вертикальная силовая нагрузка 5000 кг, имитирующая вес контейнера, находящегося сверху. На рис. 2, 3 показано напряженно-деформированное состояние, возникающее в модуле УТК.

L: Copy of Copy of Static Structural
Static Structural
Time: 1, 5
A Fixed Support
B Force: 50000 N

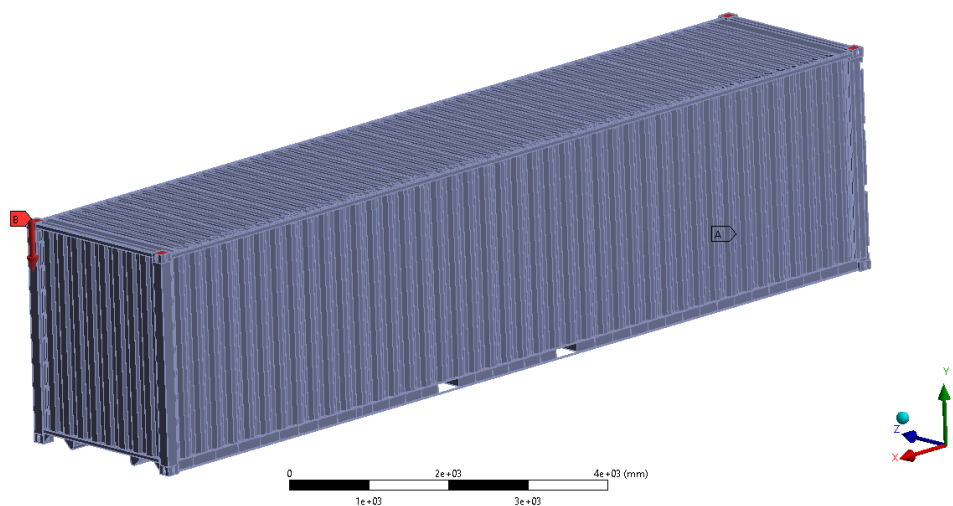


Рис. 2. Расчетная схема

L: Copy of Copy of Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 102,01
Min: 0,00018447

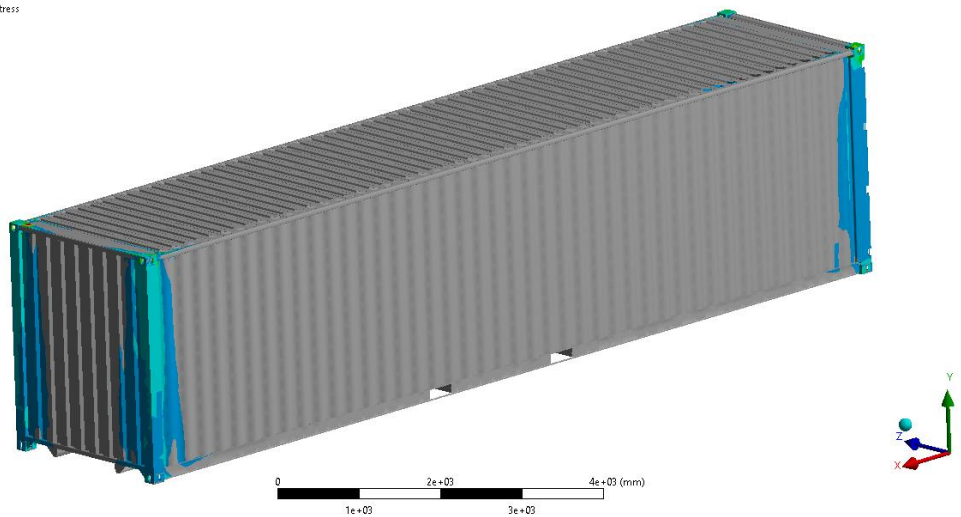
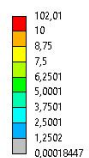


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений. Максимальное напряжение составляет 102 МПа

L: Copy of Copy of Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
Max: 0,046238
Min: 0

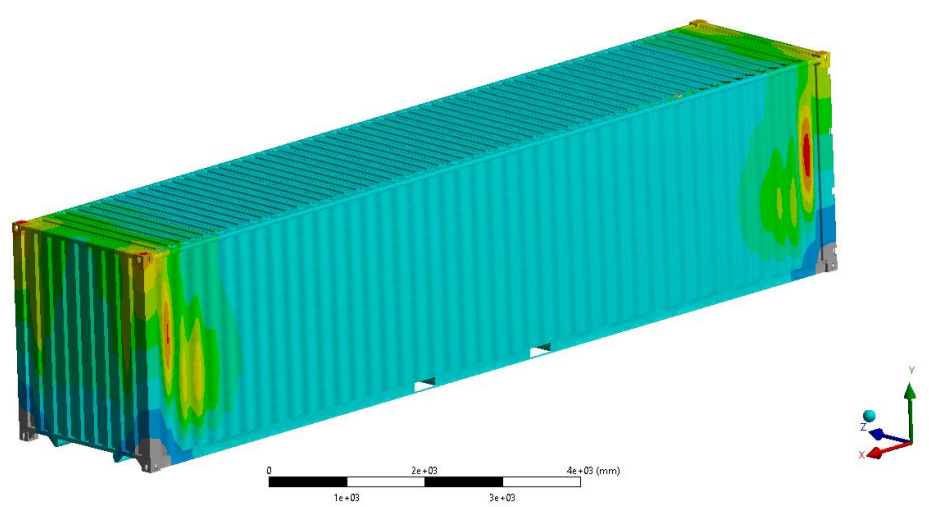
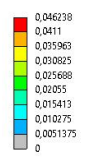


Рис. 4. Распределение деформаций

На рис. 5, 6 показаны первая и пятая формы потери устойчивости контейнера.

В данном случае приложена нагрузка 5000 кг, а множитель для первой формы потери устойчивости равен 324. Таким образом, для вычисления критической силы необходимо приложенную силу умножить на вычисленный системой множитель.

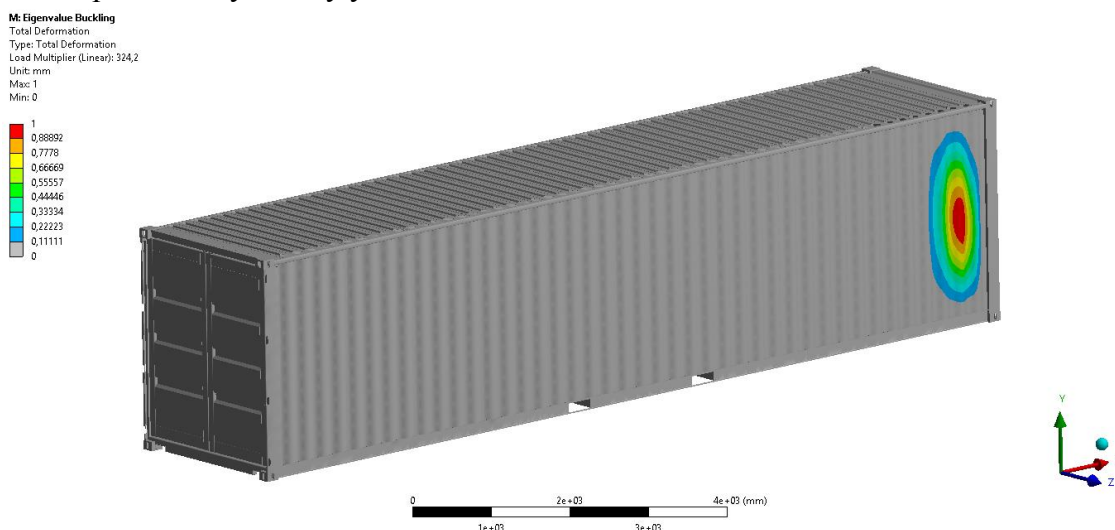


Рис. 5. Первая форма потери устойчивости. Значение множителя равно 324

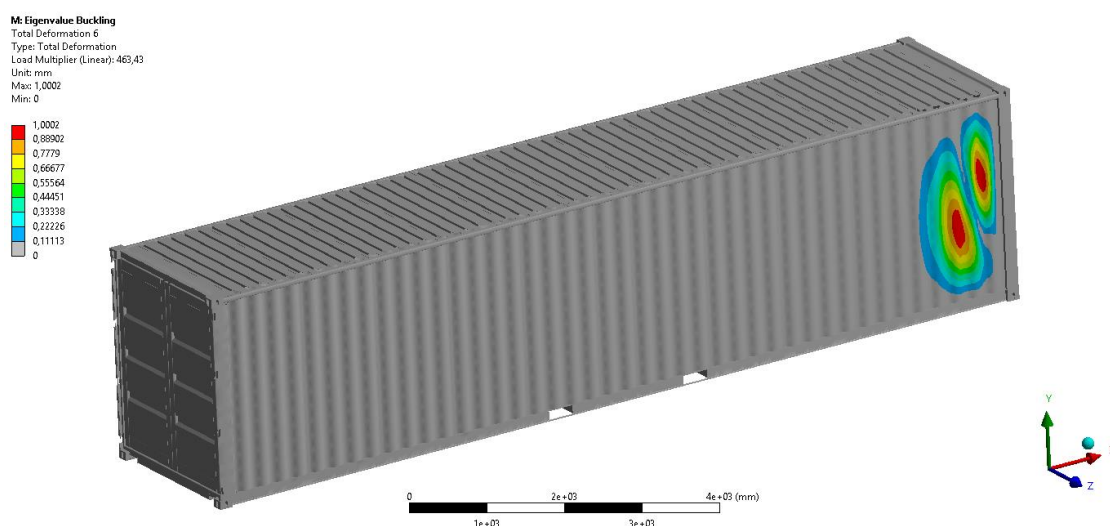


Рис. 6. Пятая форма потери устойчивости. Значение множителя равно 463

Рассмотрим расчетную схему 2. В дополнении к расчетной схеме 1 прикладывается температурная нагрузка 600 °C (рис. 6).

На рис. 7, 8 показано напряженно-деформированное состояние контейнера при заданной нагрузке.

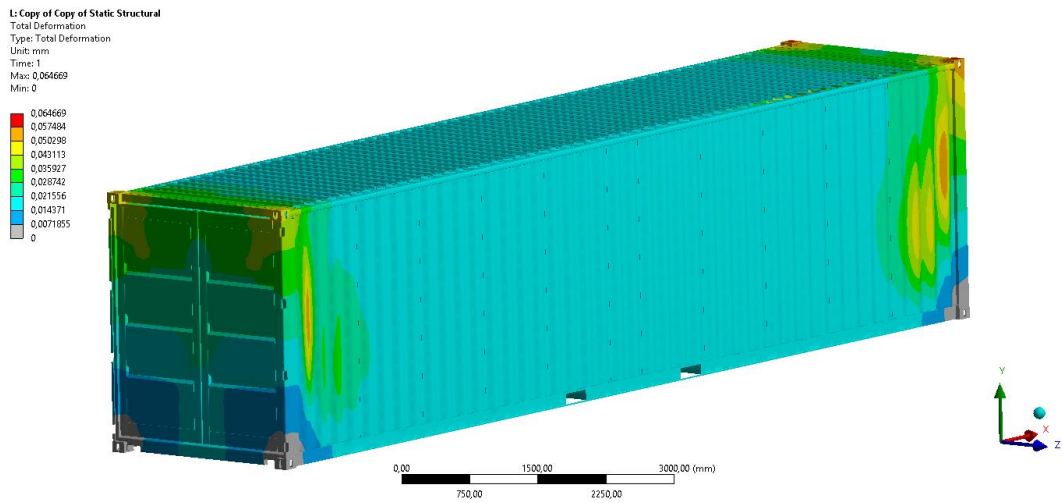


Рис. 7. Распределение деформаций в модуле УТК

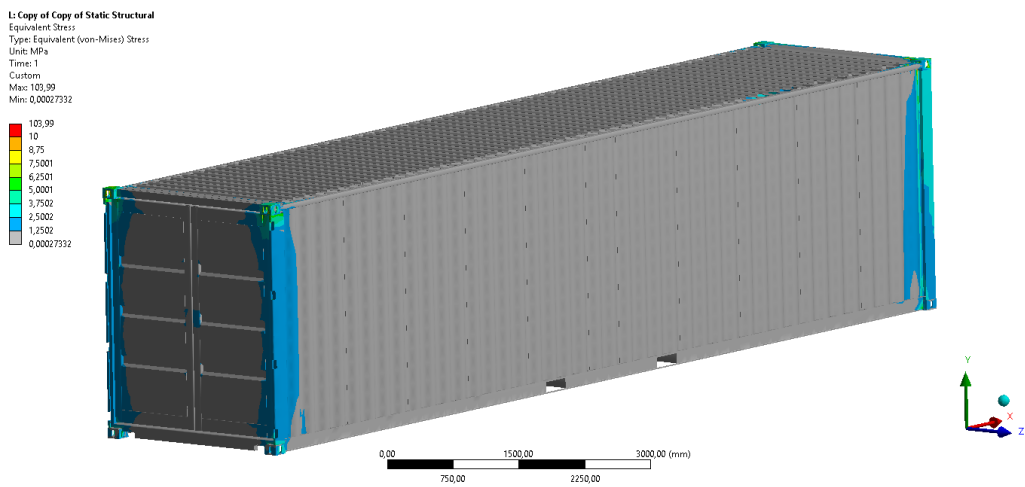


Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений. Максимальное напряжение составляет 104 МПа

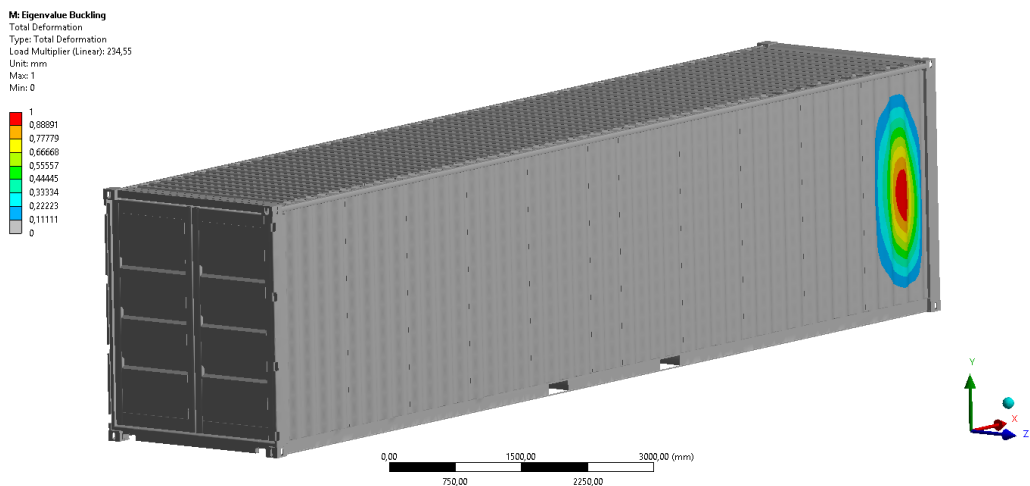


Рис. 9. Первая форма потери устойчивости при комбинированной силовой и температурной нагрузках. Значение множителя равно 234

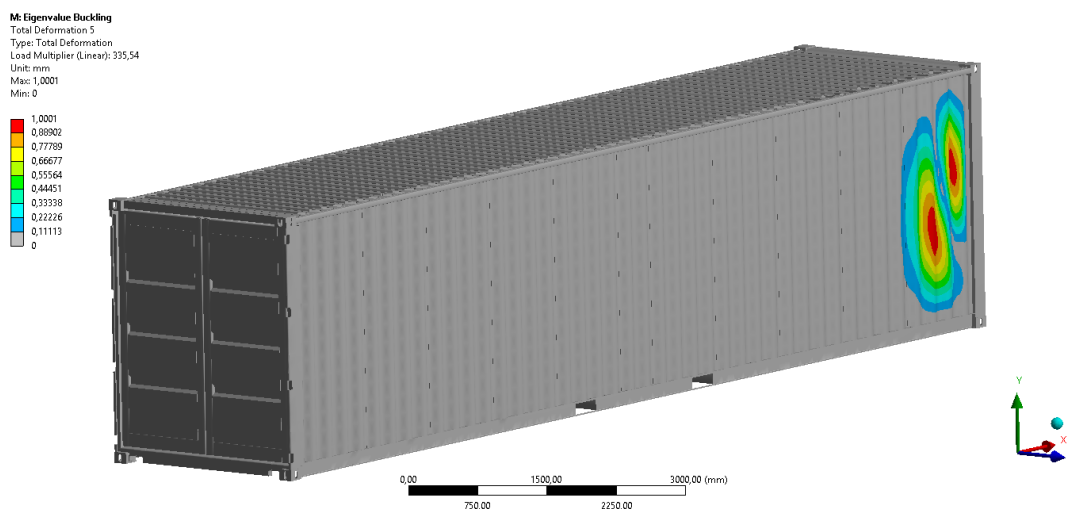


Рис. 10. Пятая форма потери устойчивости при комбинированной силовой и температурной нагрузках. Значение множителя равно 335

Выводы. Как видно из результатов расчета, в случае силового воздействия контейнер обладает значительным запасом прочности, однако при комбинированном (силовом и температурном) нагружении запас прочности уменьшается приблизительно на 30 %, что может привести к существенным ограничениям по его эксплуатации. Полученные результаты согласуются с работами авторов Bangash M. Y. H. [3], Новожилов В. В. [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
2. Белов, Н. Н. Расчет железобетонных конструкций на взрывные и ударные нагрузки / Н. Н. Белов [и др.]. – Томск: STT, 2004. – 465 с.
3. Bangash, M. Y. H. Explosion-Resistant Building Structures / M. Y. H. Bangash, T. Bangash // Design, Analysis, and Case Studies. – Berlin: Springer, 2006. – 450 с.
4. Новожилов, В. В. Теория тонких оболочек / В. В. Новожилов. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 432 с.
5. Власов, В. З. Общая теория оболочек / В. З. Власов. – М.: Физматгиз, 1949. – 784 с.
6. Matsagar, V. A. Computing stress and displacement response of composite plates under blast / V. A. Matsagar // Disaster Advances. – 2014. – Vol. 7, No 1. – P. 23–38.

Поступила: 29.01.2021