

УДК 629.113.073

*Д. В. Мишута, В. Б. Альгин, В. Г. Михайлов*

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА-КОНТЕЙНЕРА ПЕРЕМЕННОГО ОБЪЕМА

UDC 629.113.073

*D. V. Mishuta, V. B. Algin, V. G. Mikhailov*

## ASSESSMENT OF THE DEFLECTED MODE OF A CONTAINER BODY OF VARYING VOLUME

### **Аннотация**

Рассматривается применение пакетов 3-мерного проектирования высокого уровня и инженерного анализа для расчета напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера специального назначения. Приведены результаты прочностных исследований кузова-контейнера с помощью пакета ANSYS на соответствие требований ГОСТ Р 51876-2008.

### **Ключевые слова:**

кузов-контейнер, пакет 3D-проектирования ProE, пакет инженерного анализа ANSYS, напряженно-деформированное состояние.

### **Abstract**

The application of high level 3D design software packages and engineering analysis to calculate the deflected mode of a special-purpose container body is considered. The paper presents the results of studying the strength of a container body with the application of ANSYS software concerning its compliance with GOST Р 51876-2008 requirements.

### **Key words:**

container body, ProE 3D software package, engineering analysis with ANSYS software, deflected mode.

### **Введение**

Создание кузовов-контейнеров специального назначения негрузового типа (рис. 1) требует тщательной проработки их конструкции и доводки по результатам испытаний. Особенно это относится к кузовам-контейнерам переменного объема, которые изначально менее прочные, чем постоянного, т. к. их складываемые боковые стенки из сэндвич-панелей не несут нагрузку. Эти контейнеры ориентированы на автомобили 4×2, 6×6 (грузоподъемностью 8...14 т), и их прочностные показатели меньше, чем у грузовых с массой 30,5 т.

Кузова-контейнеры могут использоваться как в составе шасси, так и ав-

тономно, например, в качестве мобильного пункта управления войсками, МВД, МЧС, госоргана при чрезвычайных ситуациях, а также мобильного госпиталя. Они должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51876-2008 [1]. Для таких специализированных контейнеров возможно уменьшение допустимых нагрузок при морских перевозках до заявленных производителем, что должно быть отражено в табличке CSC. Как правило, они выпускаются единичными и мелкими сериями на предприятиях, на которых нет дорогостоящего оборудования для испытаний на прочность по ГОСТ Р 51876-2008, поэтому исследования подобного вида контей-

неров не проводились. Дорогостоящее оборудование имеется только на некоторых предприятиях СНГ, выпускающих грузовые контейнеры крупными партиями. Но поскольку конструкция полностью металлических грузовых контейнеров (нетто масса 7...8 т, полная 30,5 т) давно отработана и стандартизирована и сложно создать что-либо новое, производители или не проявляют интереса к этим работам, или стараются

не раскрывать свое ноу-хау в области создания контейнера специального назначения с небольшой полной массой 5...9 т с уровнем штабелирования 1...8 [2]. Как правило, для снижения веса контейнеров специального назначения используется каркасная конструкция из труб в сочетании с сэндвич-панелями, которые обеспечивают хорошую теплоизоляцию.



Рис. 1. Общий вид кузова-контейнера переменного объема

Этот класс кузовов-контейнеров в СНГ теоретически и экспериментально мало изучен. Известно лишь, что зарубежные фирмы проводили исследования по моделированию нагрузок и оценке прочности [3, 4], но какими средствами и каковы достижения, информации нет. В связи с необходимостью обеспечения высокого уровня конкурентоспособности была предпринята попытка исследовать напряженно-деформированное состояние контейнера согласно ГОСТ Р 51876-2008 с помощью пакета ANSYS 12.1.

#### **Модель и результаты моделирования**

Для проведения исследований была создана 3D-модель контейнера (рис. 2) в пакете высокого уровня и сохранена в формате Parasolid. Несущая конструк-

ция данного контейнера представляет собой сварной металлический каркас из тонкостенных труб прямоугольного сечения из стали Ст3 Кп с раскрываемыми сэндвич-панелями. Принимая во внимание, что сэндвич-панели в конструкции переменного объема не несут нагрузок, последние в модели не учитывались. Использовалась твердотельная модель, т. к. моделирование сварки может привести к еще большим погрешностям [5].

Исследования проводились при следующих видах нагружения по ГОСТ Р 51876-2008:

- штабелирование, когда к верхним фитингам прилагаются вертикальные нагрузки, равные массе (30,5 т) установленных сверху на них контейнеров с коэффициентом динамичности 1,8;
- продольный перекоп при нагрузке 75 кН на верхние фитинги;

– поперечный перекос при нагрузке 150 кН на верхние фитинги;

– подъем контейнера за верхние фитинги.

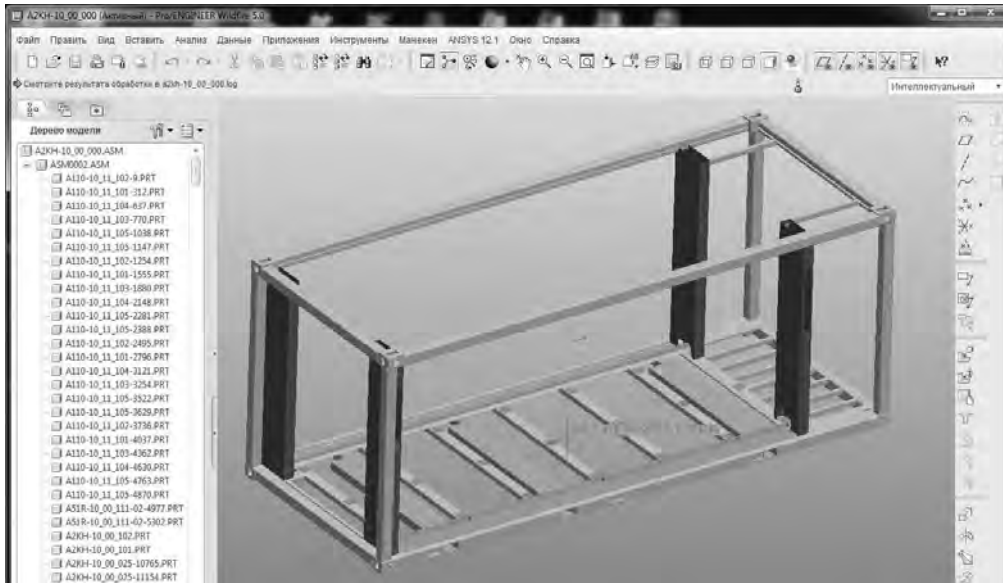


Рис. 2. Общий вид созданной 3D-модели

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) для нагрузки 538,2 кН (2-уровневое штабелирование), приведенные на рис. 3, показывают, что наиболее нагру-

жены стойки возле машинного отсека и двери. Напряжения в них достигают 77...97 МПа. В сварных фитингах в местах концентрации имеют место локальные контактные напряжения 155 МПа.

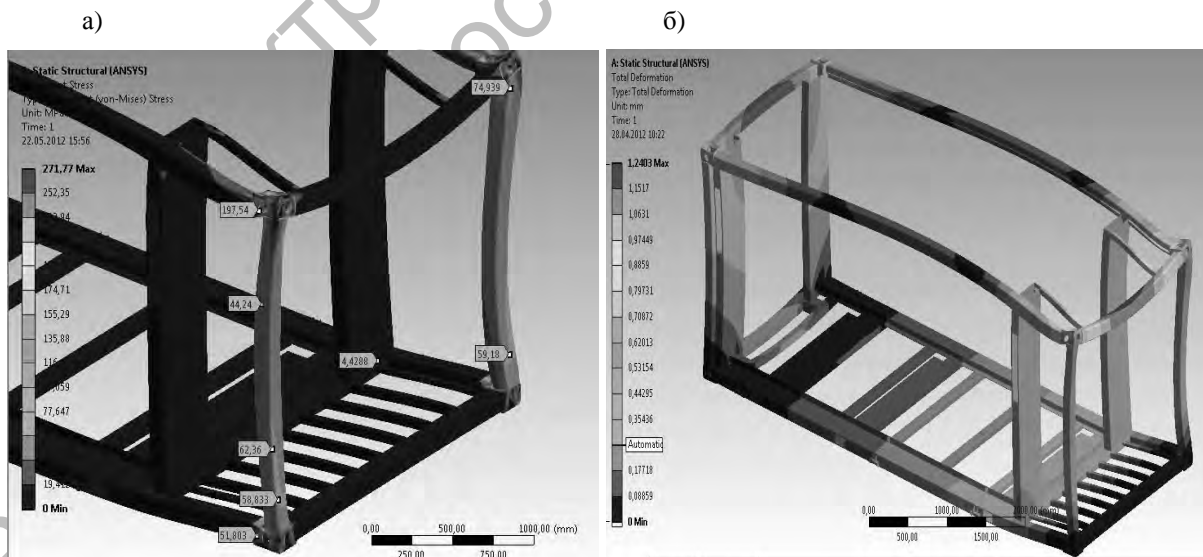


Рис. 3. НДС контейнера при нагрузке 538,2 кН при 2-уровневом штабелировании: а – напряжения; б – деформации

Деформации верхних фитингов – 1,2 мм. По стойкам имеется 2...2,5-кратный запас прочности, по фитингам – 1,3-кратный. В целом, каркас кузова контейнера обеспечивает 2-уровневое штабелирование (538 кН), имеет более высокие показатели, чем его аналоги Weatherhaven (430 кН), А.Д.Д. Производство (200...300 кН).

Результаты моделирования при продольном перекосе 75 кН, приведенные на рис. 4, показывают, что стойки сильно

нагружены. Напряжения в них достигают 156 МПа. На стойках отсека механизма подъема напряжения достигают порядка 208 МПа. Деформация верхних стоек составляет порядка 9,4 мм. Результаты исследования свидетельствуют, что используемая сталь Ст3 Кп ( $\sigma_T > 180...220$  МПа) не обеспечивает требуемой прочности. Необходим переход на более высокопрочные стали типа 09Г2С, 10ХГСНД и др. с пределом текучести  $\sigma_T > 300...400$  МПа.

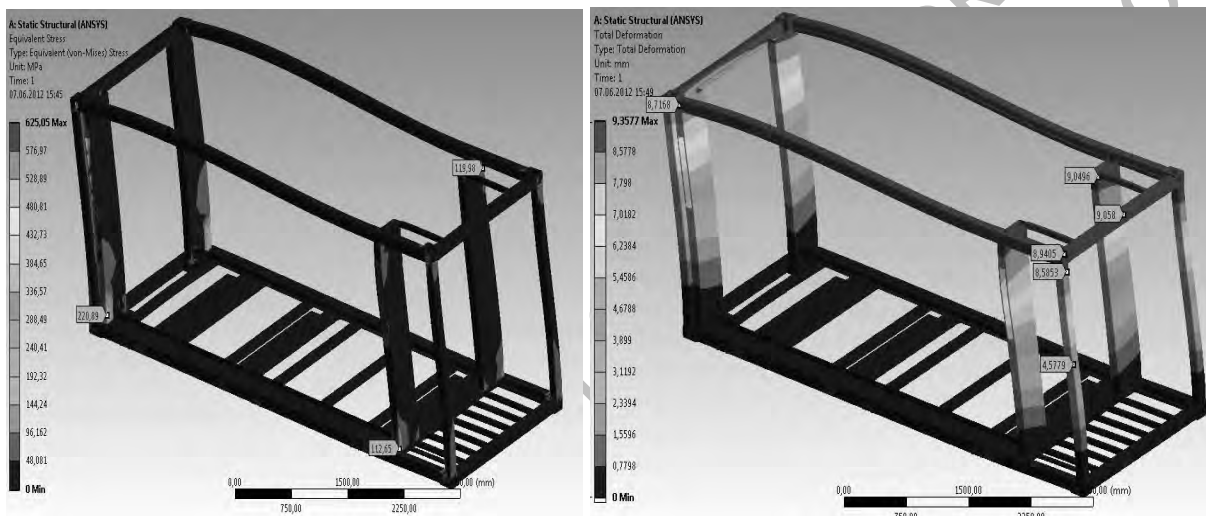


Рис. 4. НДС контейнера при продольном перекосе при нагрузке 75 кН

Результаты моделирования при поперечном перекосе 150 кН приведены на рис. 5. Максимальные напряжения (259 МПа) имеют место в местах сварки отсека с поперечиной пола и на вертикальных стойках машинного отсека. Величина деформации по вертикальным фитингам достигает 24 мм. Здесь также требуются переход на более качественные стали и установка укосин или уменьшение допустимой нагрузки до 75...10 кН и отражение ее в табличке CSC. Для сравнения – Weatherhaven выдерживает лишь 46 кН.

Дополнительно были проведены исследования при нагрузке 1615 кН, соответствующей 4-уровневому штабелированию грузовых контейнеров.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) для этой нагрузки, приведенные на рис. 6, показывают, что наиболее нагружены стойки возле машинного отсека и двери. Напряжения в них достигают 132...191 МПа. Деформации верхних фитингов – 3,7 мм. Таким образом, чтобы обеспечить 4-уровневое штабелирование необходимо использовать еще более высокопрочные стали, литые фитинги и установить дополнительные укосины. Экстраполяция результатов свидетельствует, что для реализации 8-уровневого штабелирования (3840 кН) требуются использование вертикальных стоек из труб 160×160×6 мм и переработка конструкции.

На рис. 7 представлено напряженно-деформированное состояние контейнера при подъёме за четыре верхних фитинга из расчета массы контейнера

9,1 т × 1,8 (для учета коэффициента динамичности при погрузочно-разгрузочных работах).

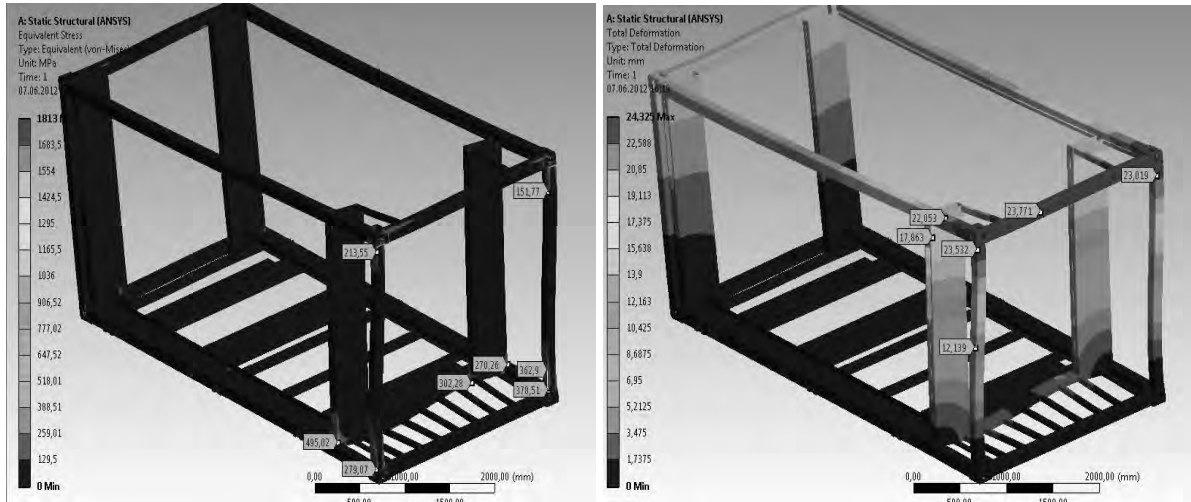


Рис. 5. НДС контейнера при поперечном перекосе при нагрузке 150 кН

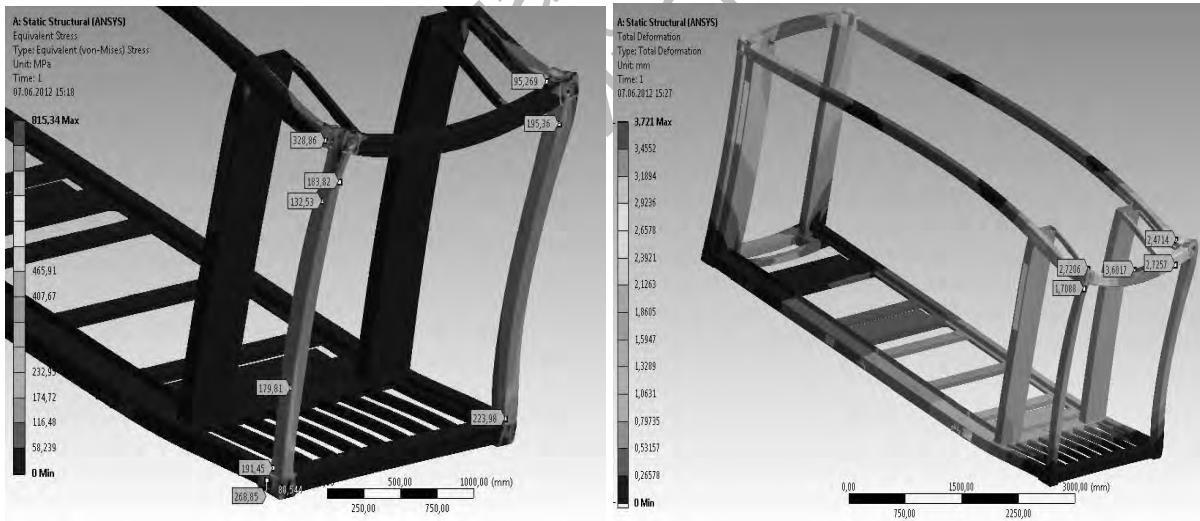


Рис. 6. НДС контейнера при нагрузке 1615 кН при 4-уровневом штабелировании

Как видно из рис. 7, максимальные напряжения при данном режиме нагружения возникают в зоне продольных поперечин пола контейнера. Максимальное значение напряжения составило 50...60 МПа. Результаты исследо-

ваний свидетельствуют, что кузов-контейнер обладает достаточным запасом прочности ( $K_T = 3...4$ ) при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

Результаты моделирования на штабелировании 1650 кН при установке

укосин на вертикальные стойки и дополнительной поперечины, представленные на рис. 8, показывают, что установка укосин только перераспределяет

напряжения и практически не сказывается на их снижении (136...180 МПа). Максимальная деформация достигает 2,3 мм на вертикальной поперечине.

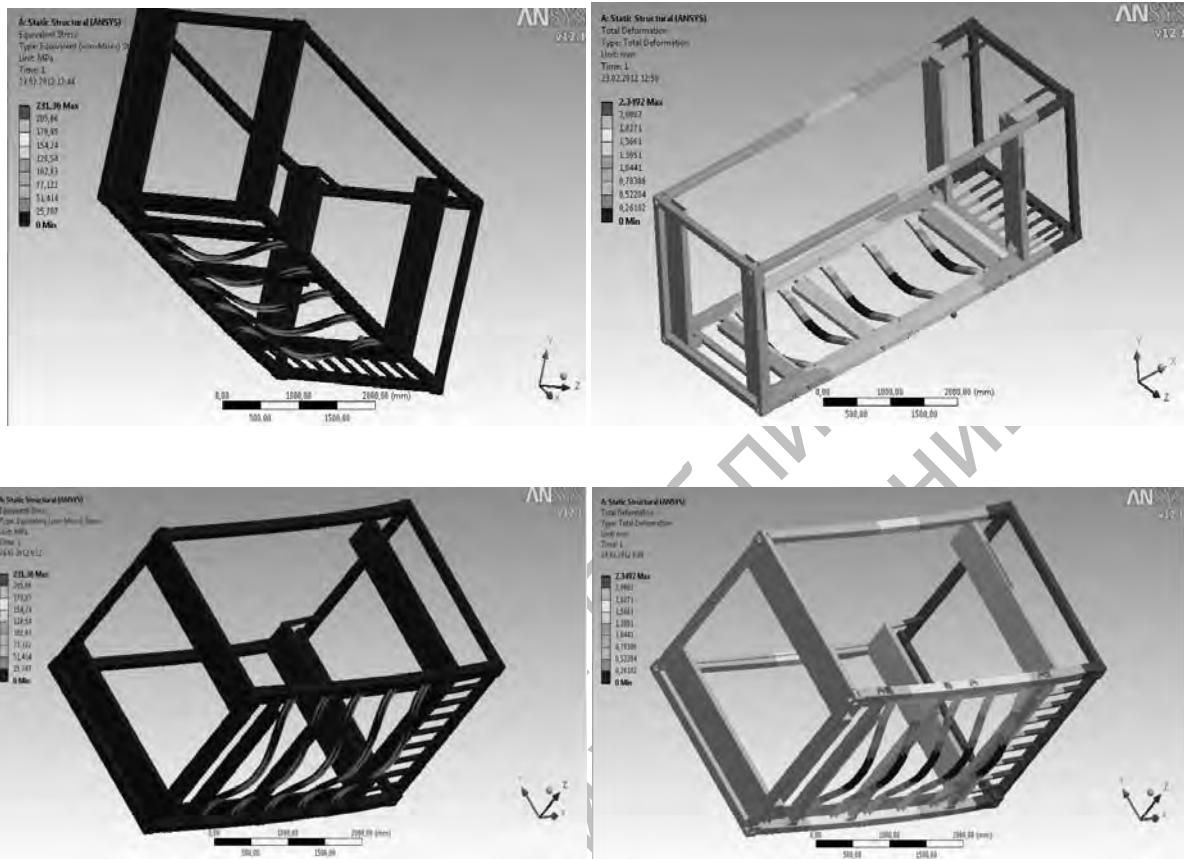


Рис. 7. НДС контейнера при подъеме за верхние фитинги при нагрузке, соответствующей массе контейнера 16,4 т с учетом коэффициента динамичности 1,8

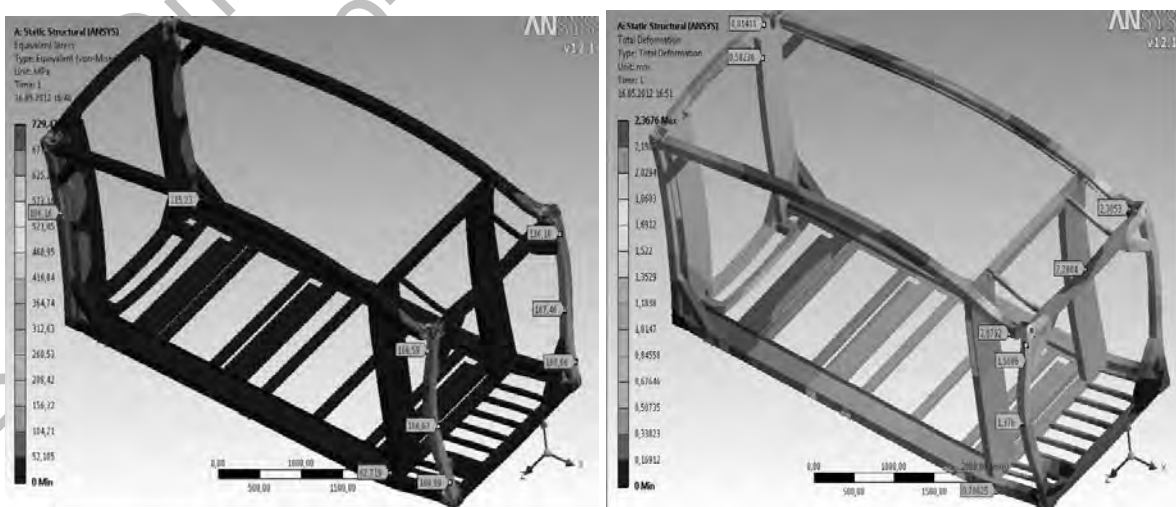


Рис. 8. Результаты моделирования на штабелировании 1650 кН при установке укосин

Результаты моделирования при поперечном перекосе 75 кН при установке укосин на вертикальные стойки и дополнительной поперечины, приведенные на рис. 9, показывают, что установка укосин значительно снижает на-

пряжения до 112...167 МПа и является эффективной мерой борьбы с ними. Максимальная деформация достигает 9,7 мм на вертикальной поперечине, что значительно меньше, чем без нее (24 мм).

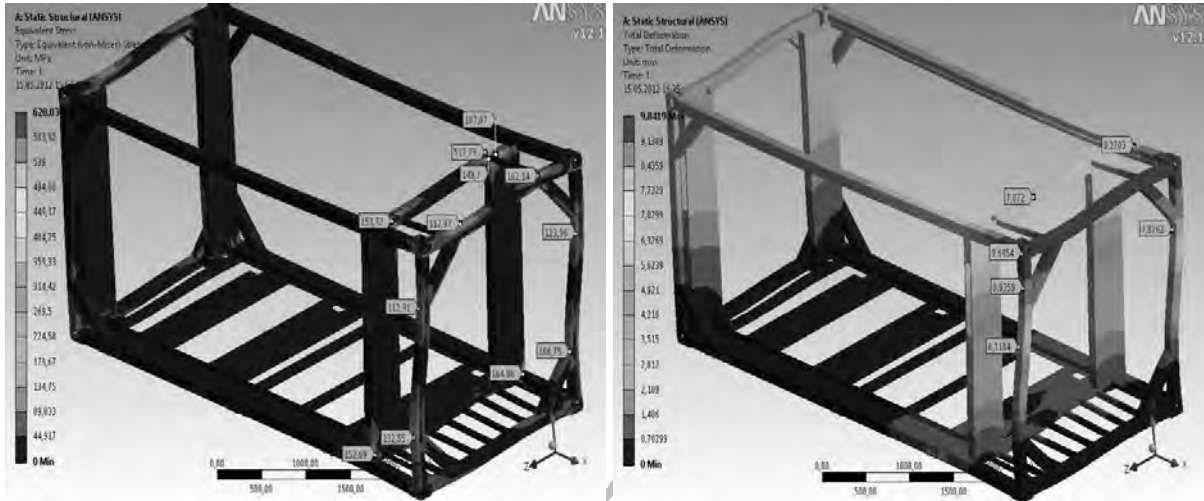


Рис. 9. Результаты моделирования при поперечном перекосе 75 кН при установке укосин на вертикальные стойки и дополнительной поперечины

Для проверки корректности расчетов были проведены экспериментальные испытания контейнера на поперечный перекося при небольших нагрузках. Результаты испытаний показали, что величина деформации верхнего фитинга при нагрузке 8000 Н составляет 2,4...2,6 мм и близка к расчетному значению 2,63 мм, полученному в пакете ANSYS 12.1, т. е. имеет место 10...12 % расхождение. Это свидетельствует о корректности созданной расчетной модели и полученных расчетных данных.

### Заключение

1. Рассмотрено применение пакетов 3-мерного проектирования высокого уровня (ProE) и инженерного анализа ANSYS для расчета напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера специального назначения,

обеспечивающее хорошую сходимость с экспериментом (10...12 %). Выполнены всесторонние исследования кузова-контейнера на прочность в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51876-2008.

2. Проведенные с помощью пакета ANSYS исследования показали, что существующая конструкция каркаса кузова-контейнера ООО «Мидивисана» из стали Ст 3 Кп ( $\sigma_T > 180...200$  МПа) обеспечивает 2-уровневое штабелирование (535 кН) и обладает более высокими показателями, чем контейнеры Weatherhaven (430 кН), А.Д.Д. Производство (300 кН).

3. Установка укосин позволяет снизить напряжения в 2 раза при поперечном перекосе, но практически не влияет на НДС при штабелировании.

4. При использовании более высокопрочных сталей (например, 09Г2СА  $\sigma_T > 350...400$  МПа) для фитингов, стоек

и установке угосин возможно достижение 4-уровневого штабелирования (1650 кН) на существующей конструкции и увеличение допустимых усилий при продольном и поперечных перекосах.

5. В целом, использование пакета ANSYS позволяет еще на стадии проектирования провести всесторонние исследования прочностных свойств контейнера, а также значительно сокращает время разработки и доводки конструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51876-2008 (ИСО 1496-1-96). Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 01.01.2009, ИУС РФ № 11-2008. – М. : Стандартинформ, 2008. – 67 с.
2. ISO 1С military container-sanitary shelter [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://uniteamindia.com/design-services/design-services.html>. – Дата доступа : 31.05.2012.
3. Электронная презентация фирмы Bharat Electronics NAVI MUMBAI Capability, Infrastructure and Experience in Manufacture of Military Shelters [Электронный ресурс]. – 2011. – Дата доступа : 10.02.2011 (Материал с выставки MUMBAI, 2011).
4. 3D Design [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа : <http://bp21.org.by/ru/art/a041031.html>. – Дата доступа : 02.02.2006.
5. Сварка для анализа в про-механика [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://fsapr2000.ru/index.php?s=8e6f9d945ba22b6df48d2f80a684f37a&showtopic=50645>. – Дата доступа : 09.03.2012.

*Статья сдана в редакцию 4 октября 2012 года*

**Дмитрий Викторович Мишута**, аспирант, Объединенный институт машиностроения (ОИМ) НАН Беларуси. Тел.: +375-0296-76-44-76. E-mail: [mdv764476@mail.ru](mailto:mdv764476@mail.ru).

**Владимир Борисович Альгин**, д-р техн. наук, проф., зам. директора, ОИМ НАН Беларуси. Тел.: +375-296-02-62-21. E-mail: [algin5@rambler.ru](mailto:algin5@rambler.ru).

**Владимир Георгиевич Михайлов**, канд. техн. наук, ведущий инженер, ООО «Мидивисана». Тел.: +375-291-90-00-81. E-mail: [sapr7@mail.ru](mailto:sapr7@mail.ru).

**Dmitry Viktorovich Mishuta**, PhD student of the Joint Institute of Mechanical Engineering (OIM) of the National Academy of Sciences of Belarus. Tel.: +375-0296-76-44-76. E-mail: [mdv764476@mail.ru](mailto:mdv764476@mail.ru).

**Vladimir Borisovich Algin**, DSc (Engineering), Prof., Deputy Director of the OIM of the NAS of Belarus. Tel.: + 375 – 296-02-62-21. E-mail: [algin5@rambler.ru](mailto:algin5@rambler.ru).

**Vladimir Georgiyevich Mikhailov**, PhD (Engineering), lead engineer of ООО «Midivisana». Tel.: + 375-291-90-00-81. E-mail: [sapr7@mail.ru](mailto:sapr7@mail.ru).