

УДК 629.113

**КОСЕНКО Е.Е.**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент; **КОСЕНКО В.В.**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент;  
**ЧЕРПАКОВ А.В.**<sup>1,2</sup>, к.т.н., доцент; **МЕЩЕРЯКОВ В.М.**<sup>1</sup>, к.т.н., профессор;  
**ЕГОРОЧКИН А.О.**<sup>1,3</sup>, инженер

<sup>1</sup>Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup>СУ ЮжОргЭнергоГаз, г. Ростов-на-Дону, Россия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЯ В КЭ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

*Обоснована необходимость применения компьютерного моделирования для оценки напряженного состояния элементов с повреждениями в конструкции автомобиля. На основе моделирования в конечно-элементном комплексе Ansys построена упрощенная модель балочного элемента как части составной конструкции автомобильной рамы. Балочный элемент имеет двусторонние дефекты в виде трещин определенных размеров. При упрощенном моделировании отбрасывается не рассматриваемая конструкция рамы; в рассматриваемом, моделируемом балочном элементе производится жесткая фиксация перемещений в концевых точках. Проведен статический расчет прогиба трехмерной модели балочного элемента, в результате которого определено напряженное состояние рассматриваемого элемента при действующих нагрузках.*

**Ключевые слова:** Автотранспортная техника, рамная конструкция автомобиля, балочный элемент, повреждение, КЭ моделирование, напряженно-деформированное состояние

### Постановка проблемы

Автотранспортная техника (АТТ), как известно, составляет материальную основу экономики перевозок народнохозяйственных грузов и пассажиров. В настоящее время на укомплектование автотранспортных предприятий поступает современная, надежная, но в то же время более сложная и высокотехнологичная техника. Ее состояние и готовность находятся в прямой зависимости от организации процесса эксплуатации, как стадии жизненного цикла АТТ с момента принятия его автотранспортным предприятием или ремонтным органом. В соответствии с нормативно-технической документацией эта стадия жизненного цикла подразделяется на этапы эксплуатации: ввод в эксплуатацию, приведение в установленную степень готовности к применению по назначению, поддержание в постоянной исправности и готовности к применению, применение по назначению и снятие с эксплуатации.

### Анализ последних исследований и публикаций

Рамная конструкция как несущий скелет машины является ее важным несущим элементом. Нагрузки, возникающие от перемещения автомобиля, воспринимаются рамой при его движении и могут в зависимости от типа местности и скорости автомобиля в различной степени влиять на его напряженное состояние. Вследствие того, что рамная конструкция автомобиля предполагает крепление узлов и различных агрегатов, к ней могут предъявляться дополнительные требования [1]. Расчет рам на прочность является достаточно актуальной задачей при проектировании машин различного назначения. Актуальность исследований в области расчета машин состоит в том, что внешние нагрузки, действующие на конструкцию, переменны во времени и прилагаются с определенной частотой, зависящей от скорости движения, фактической нагрузки, состояния дороги и от многих других факторов. При этом во время эксплуатации возможны резонансные явления, которые могут привести к высоким по отношению к номиналу напряжениям. Пе-

ременный характер рассматриваемых нагрузок ведет к периодическому изменению напряжения, что, в свою очередь, способствует возникновению усталостных трещин, рост и развитие которых может вызвать усталостное разрушение. Для анализа этих факторов могут применяться различные методы [2]. При моделировании обычно динамические параметры учитываются лишь в виде дополнительных коэффициентов запаса прочности и ограничиваются лишь статическими расчетами на прочность при различных видах нагружения.

Направлением развития расчетных методов является совершенствование методики расчетов на прочность и жесткость рамных конструкций автомобиля, основанное на применении достаточно богатых в возможностях моделирования комплексов, примером которых является комплекс конечно-элементного моделирования Ansys [3].

Примеры исследований при моделировании стержневых конструкций с дефектами могут быть представлены в работах [4, 5, 6]. Моделирование может быть рассмотрено на различных уровнях: моделирование стержневых одномерных элементов, моделирование плоских элементов конструкций и трехмерное моделирование. Преимуществом последнего является детальный учет и составление элементов модели и различных несимметричных и дефектных элементов конструкции машины, а также более точное представление результатов расчета при моделировании.

В качестве частных задач при моделировании рассматриваются: разработка упрощенной модельной схемы элемента рамы с наличием двустороннего дефекта методом конечных элементов (МКЭ); на первом этапе исследуется напряженно-деформированное состояние (НДС) балочного элемента при статическом нагружении, деформация изгиба рамы от внешней нагрузки

### Цель статьи

Целями статьи являются исследование напряженного состояния балочного элемента рамной конструкции автомобиля с различными трещиноподобными повреждениями, локализованными в одном месте.

### Основной материал

При моделировании часть рамной конструкции в качестве упрощенной модели может быть представлена в виде балки, фиксированной на концах. Балочный элемент с повреждениями в виде трещин определенной ширины, согласно схеме, представлен на рис. 1. Балочный элемент имел габариты:  $L \cdot h \cdot a = 1,0 \cdot 0,050 \cdot 0,020$  (м<sup>3</sup>). Повреждение в виде трещин располагается в сечении  $L_d = 0,35$  м. Ширина трещиноподобного повреждения принималась равной  $b = 1$  мм, данное представление может быть основано на процессе коррозии на поверхностях трещины. Основная ось дефекта перпендикулярна основной оси балки. Верхняя трещина имела глубину  $h_1 = 0,05h$ , нижняя  $h_2 = 0,4h$ .

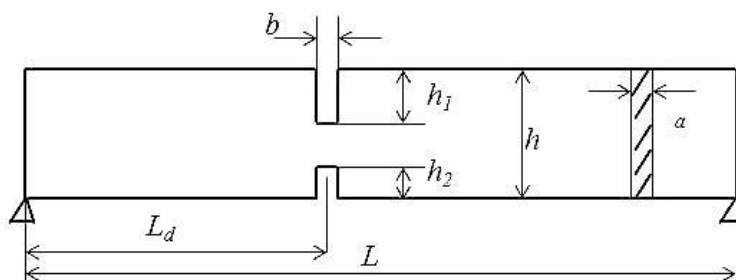


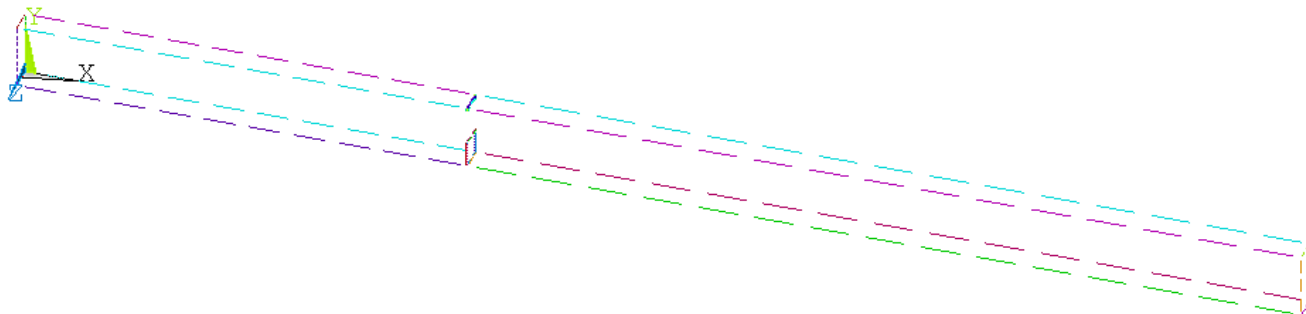
Рис. 1. Схема балочного элемента рамной конструкции автомобиля с расположением трещин

**Моделирование** проводилось в КЭ комплексе Ansys. Рассматривалась полнотелая модель (3-х мерная) на основе применения 3D элемента Solid92. Разбивка модели на узлы по длине производилась кратной 1/20 от длины стержня. По высоте и ширине стержня производилась разбивка на узлы, кратная 1/3 соответствующей грани. В месте моделирования повреждения конечно-элементная сетка сгущалась (рис. 2, б). В качестве прочностных параметров материала принимались свойства Ст3, и при моделировании задавались следующие свойства, эквивалентные натурной модели: модуль Юнга  $E = 2,1$  МПа; плотность  $\rho = 7700$  кг/м<sup>3</sup>.

Нагрузка в виде силы F располагалась по центру балочного элемента и принималась равной

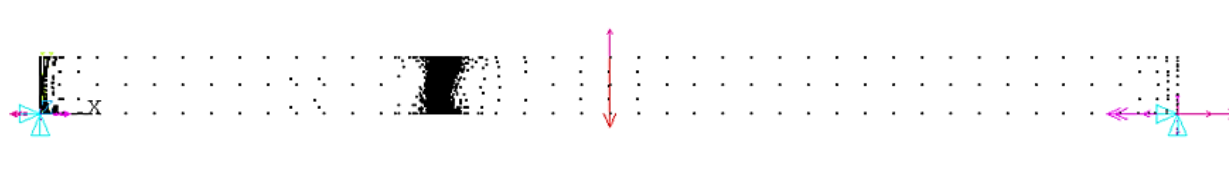
$$F = 300 \text{ Н}$$

Моделирование состояло из следующих этапов: описание элементов, описание свойств материала, расстановка опорных точек балочного элемента, прорисовка базовых линий описываемого объекта исследований, разбиение линий на фиксированные участки, построение объемных элементов. Разбиение линий балочного элемента представлено на рис. 2. Узловое разбиение представлено на рис. 3. Финишная КЭ сетка соединенных элементов представлена на рис. 4. На рисунке также представлены граничные закрепления в опорных точках модели и нагрузка в виде силы и опорных реакций.

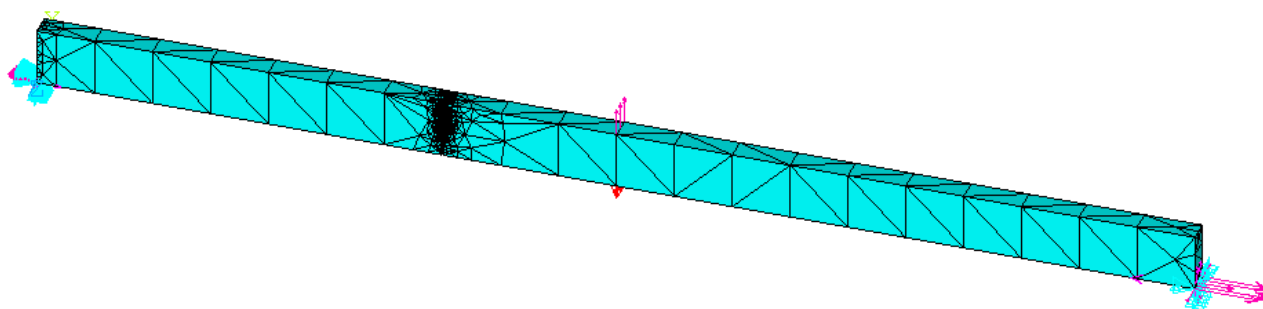


**Рис. 2. Полинейное разбиение балочного элемента в КЭ комплексе Ansys**

КЭ разбиение зоны вокруг дефектов показано на рис. 3. Разбиение выполнялось в виде сгущения элементов в околодефектной зоне.



**Рис. 3. Узловое разбиение балочного элемента в КЭ комплексе Ansys**



**Рис.4. КЭ модель стержня с дефектами в КЭ комплексе Ansys**

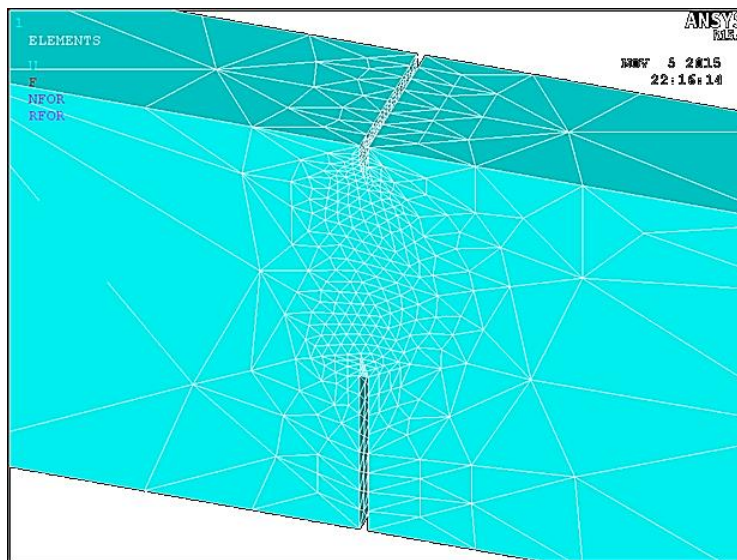


Рис. 5. КЭ модель разбиения в области расположения дефектов в виде двусторонней трещины

### Результаты КЭ расчета

Проведен статический расчет прогиба трехмерной модели балочного элемента, а также напряженного состояния в поврежденной зоне. На рис. 6 представлены график распределения напряженного состояния по Мизесу в балочном элементе и распределение прогиба в вертикальном направлении (ось OY).

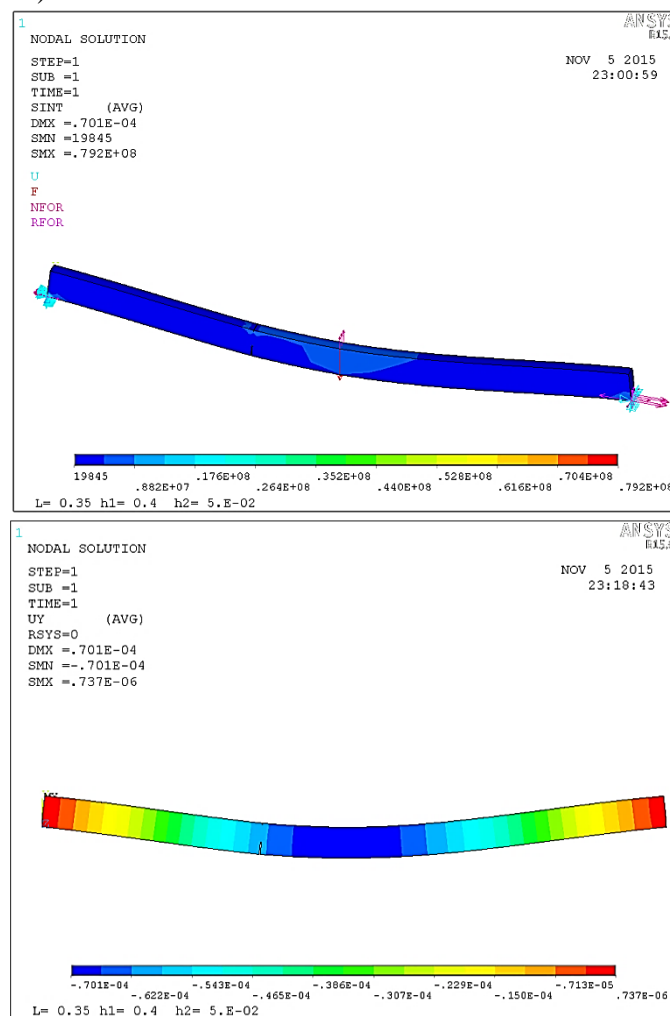


Рис. 6. Распределение напряженного состояния по длине балки и ее прогиб (по оси OY)

Анализ показывает, что напряжения в месте расположения дефекта достигают 0,264 МПа. В месте расположения максимального прогиба 0,08 МПа. Прогиб балочного элемента в месте нагружения силой составил:  $0,701 \cdot 10^{-4}$  м.

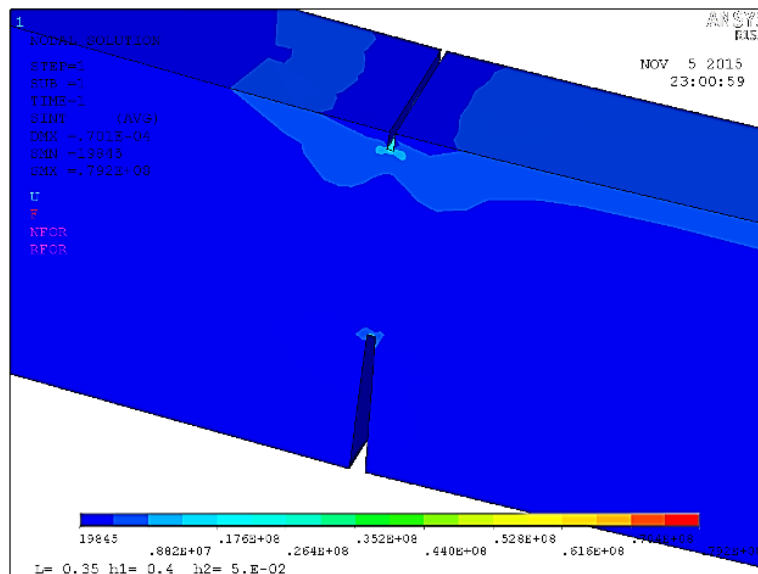


Рис. 7. Напряженное состояние в месте расположения повреждения

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

В результате проведенных расчетов исследовано напряженное состояние балочного элемента рамной конструкции автомобиля с различными повреждениями в виде надрезов, локализованных в одном месте с использованием КЭ комплекса Ansys.

Проведен статический расчет прогиба трехмерной модели балочного элемента, а также напряженного состояния в поврежденной зоне, в результате которого определено напряженное состояние рассматриваемого элемента при действующих нагрузках. Анализ напряженного состояния при расчете показывает, что напряжение в месте повреждения в 3.3 раза больше напряжения, возникшего в месте наибольшего прогиба и приложения нагрузки. Результаты проведенных расчетов наглядно представлены на графике распределения напряженного состояния по Мизесу в балочном элементе.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение численных модельных экспериментов и построение упрощенных схем расчетов элементов автомобиля.

*Данная работа выполнена при частичном финансировании Южного федерального университета (проект № 213.01.-2014 / 03ВГ), а также внутренних проектов Ростовского государственного строительного университета.*

### Список литературы

1. Проскуряков В.Б. Динамика и прочность рам и корпусов транспортных машин. – Л.: Машиностроение, 1972. – 232 с.
2. Шермухамедов А.А., Усманов И.И., Салимджанов Р.Т., Тогаев А.А. Методы расчета и испытания автотракторных прицепов отечественного производства. – Т., 2012. – 132 с.
3. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – Москва: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.: ил.
4. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 272.

5. Черпаков А.В., Каюмов Р.А., Косенко Е.Е., Мухамедова И.З. Моделирование балки с дефектами конечно-элементным методом // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 10. С. 182-184.

6. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Колебания балочных систем при переходных режимах движения одиночного автомобиля // Строительная механика и конструкции. 2013. Т. 1. № 6. С. 85-92.

**Косенко Є.Є., Косенко В.В., Черпаков О.В., Мещеряков В.М., Єгорочкін О.О. Моделювання напруженого стану елементу рамної конструкції автомобіля в КЕ комплексі Ansys**

***Анотація.** Обґрунтовано необхідність застосування комп'ютерного моделювання для оцінки напруженого стану елементів з ушкодженнями в конструкції автомобіля. На основі моделювання в кінцево-елементному комплексі Ansys побудована спрощена модель балочного елемента як складової частини конструкції автомобільної рами. Балковий елемент має двосторонні дефекти у вигляді тріщин певних розмірів. При спрощеному моделюванні відкидається конструкція рами, що не розглядається; в розглянутому балочному елементі, що моделюється, проводиться жорстка фіксація переміщень в кінцевих точках. Проведено статичний розрахунок прогину тривимірної моделі балочного елемента, в результаті якого визначено напружений стан розглянутого елемента при діючих навантаженнях.*

***Ключові слова:** автотранспортна техніка, рамна конструкція автомобіля, балковий елемент, пошкодження, КЕ моделювання, напружено-деформований стан*

**Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V., Meshcheryakov V.M., Egorochkin A.O. Modeling of stress state of a frame structure of the vehicle in a complex FE Ansys**

***Abstract.** The necessity of the use of computer modeling to estimate the stress state elements with injuries in car design. On the basis of modeling in finite-element complex Ansys constructed a simplified model of the beam element as an integral part of the design of the automobile frame. The beam element has bilateral defects such as cracks certain size. In a simplified simulation discarded not considered frame design, in this, the simulated beam elements made rigid fixation of movement at the endpoints. An static calculation bending three-dimensional beam element models in which defined the state of stress of the element at operating loads.*

***Keywords:** service vehicles, vehicle frame structure, beam element, damage, finite element modeling, the stress-strain state*

*Стаття надійшла до редакції 22.10.2014 р.*