

УДК 629.3.01

РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕГО КАРКАСА КАБИНЫ ТРАКТОРА ВТ-200

Д. А. Загарин, к. т. н., доц. / А. В. Журавлёв, к. т. н. / С. М. Рахаев / А. С. Крамер
ФГУП «НАМИ»

ВВЕДЕНИЕ

Новая верхняя надстройка перспективных гусеничных тракторов ОАО «Тракторная компания «ВгТЗ»» разрабатывалась по модульному принципу с применением унифицированной для всего семейства машин новой кабины каркасно-панельной конструкции и модулей капота и заднего оперения [1–7]. На рис. 1 показана компьютерная модель внешнего вида перспективного гусеничного трактора ВТ-200. Каркас кабины новой верхней надстройки (рис. 2а и б) сформирован из стальных труб четырёхугольного профиля различных размеров сечения и толщины стенки, к которым приварены элементы боковин, верха и пола из листового стального проката.

ЦЕЛЬ НАУЧНОЙ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В процессе разработки новых технических решений применялись известные подходы [8–10], во многом обусловленные требованиями безопасности, отражёнными в соответствующих нормативных документах. Были проведены расчётные исследования, разработана конструкция и изготовлены опытные образцы кабин для дальнейших исследований. На этапе расчётных исследований были проведены виртуальные испытания и определялись напряжённо-деформированные состояния модели конструкции каркаса кабины при заданных режимах нагружения. Целью данного исследования являлось определение соответствия трактора ВТ-200 ГОСТ Р ИСО 5700–2008 «Тракторы сельскохозяйствен-



Рисунок 1. Трактор ВТ-200

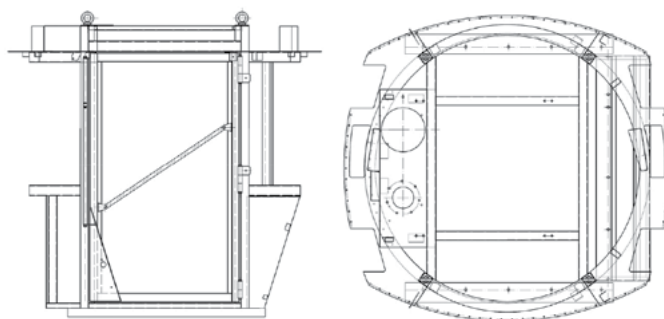


Рисунок 2. Несущий каркас кабины трактора ВТ-200: а — вид сбоку; б — вид сверху

Таблица 1. Свойства используемого материала каркаса кабины ВТ-200

Наименование детали	Марка материала	Модуль нормальной упругости (при 20 °С), МПа	Плотность (при 20 °С), кг/м ³	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
Остов кабины. Труба 60х60х2	Сталь 20	2,13х10 ⁵	7 859	225	380–372	25
Каркас двери. Труба 50х50х 2	Сталь 20	2,13х10 ⁵	7 859	225	380–372	25
Другие элементы кабины. Труба 25х50х2	Сталь 20	2,13х10 ⁵	7 859	225	380–372	25
Задний щит кабины. Лист 2	Сталь 20	2,13х10 ⁵	7 859	225	380–372	25

Таблица 2. Основные данные для нагружения

Наименование	Значение
Масса трактора, кг	8 000
Усилие при боковом нагружении, Н	53 555
Усилие при испытании на сжатие, Н	156 880

ные и лесохозяйственные колёсные. Устройства защиты при опрокидывании. Метод статических испытаний и условия приёмки» [11].

Исходными данными расчёта являются геометрические размеры (в виде трёхмерной поверхностной модели), нагрузки, действующие на каркас кабины по ГОСТ Р ИСО 5700–2008, а также марка и свойства материала (с учётом технологии изготовления), из которого выполнена конструкция. По результатам расчёта данные параметры могут быть скорректированы. Трёхмерная модель создаётся в виде файла в формате *.prt либо одним из универсальных форматов (*.stp, *.iges и т. д.). Для расчёта принято значение полной массы трактора ВТ-200, равное 8 000 кг. Свойства материала, из которого будут изготовлены элементы каркаса кабины, указаны в табл. 1.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5700–2008 при расчёте каркаса необходимо рассмотреть два наиболее тяжёлых режима статического нагружения — испытание горизонтальным нагружением (приложение горизонтальной силы сбоку) и испытание на сжатие (приложение вертикальной нагрузки). Так как ГОСТ Р ИСО 5700–2008 определяет горизонтальную нагрузку через энергию, поглощённую устройством защиты при опрокидывании (ROPS — roll-over protective structure), в данном расчёте принято допущение: боковое нагружение взято из ГОСТ Р ИСО 3471–2009 «Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании» [12].

Согласно ГОСТ Р ИСО 3471–2009, усилие при боковом нагружении (F , Н) вычисляется по формуле

$$F = 70\,000 \cdot (m / 10\,000)^{1,2},$$

где m — масса трактора. При этом значение нагрузки (F , Н) при испытании на сжатие высчитывается по формуле $F = 19,61 m$. Исходные данные нагружения на каркас кабины ВТ-200 указаны в табл. 2.

Общий вид трёхмерной 3D-модели каркаса кабины ВТ-200 и схемы приложения нагрузок представлены на рис. 3–5. Необходимо отметить, что местом крепления во время приложения нагрузок принята вся нижняя обвязка. Согласно п. 5.1.2.1 ГОСТ Р ИСО 5700–2008, при испытании горизонтальным нагружением усилие должно быть равномерно распределено вдоль бруса длиной 250–700 мм с шагом изменения длины 50 мм.

Согласно п. 5.2 ГОСТ Р ИСО 5700–2008, при испытании на сжатие усилие должно подаваться от приспособления, которое включает в себя нагружающую балку ши-

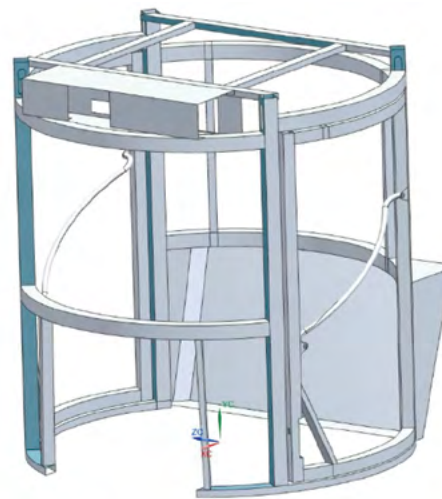


Рисунок 3. Общий вид расчётной модели

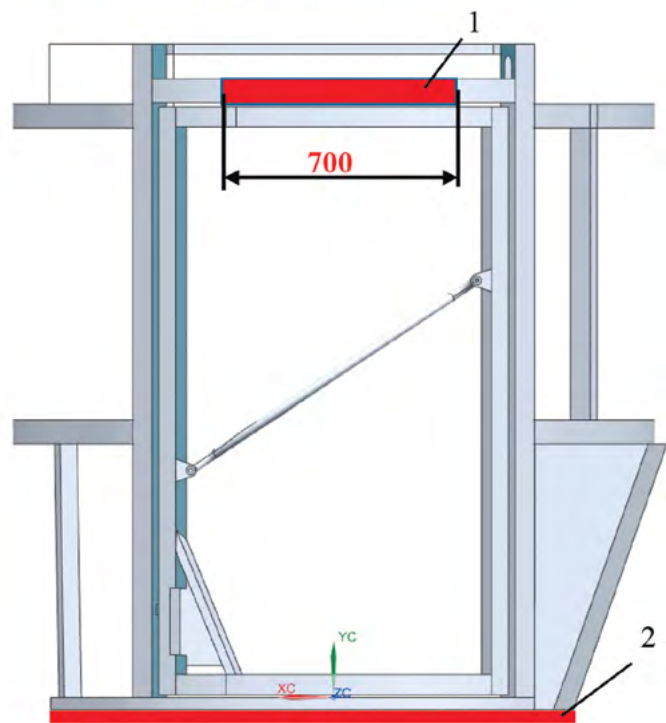


Рисунок 4. Место крепления и нагружения (вид слева):

1 — площадь приложения при боковом нагружении (левая верхняя часть дверного проёма каркаса); 2 — место крепления каркаса (нижняя силовая обвязка)

риной 250 мм. При приложении нагрузки было принято допущение заменить нагружающую плиту равномерно приложенной силой на верхние концы стоек расчётной модели (рис. 6 и 7).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Построение конечно-элементной модели и расчёт выполнялись на базе поверхностной 3D-модели, созданной по известным методам [13–18]. Для построения каче-

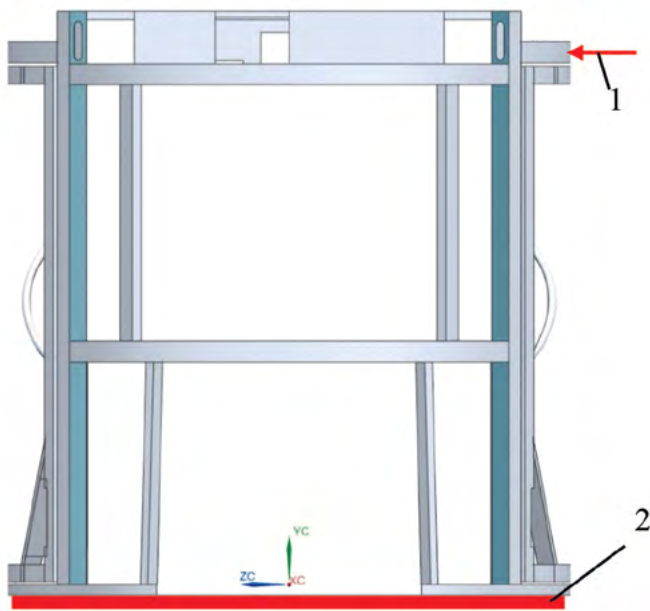


Рисунок 5. Место крепления и нагружения (вид спереди):
1 — направление приложения усилия при боковом нагружении; 2 — место крепления каркаса (нижняя силовая обвязка)

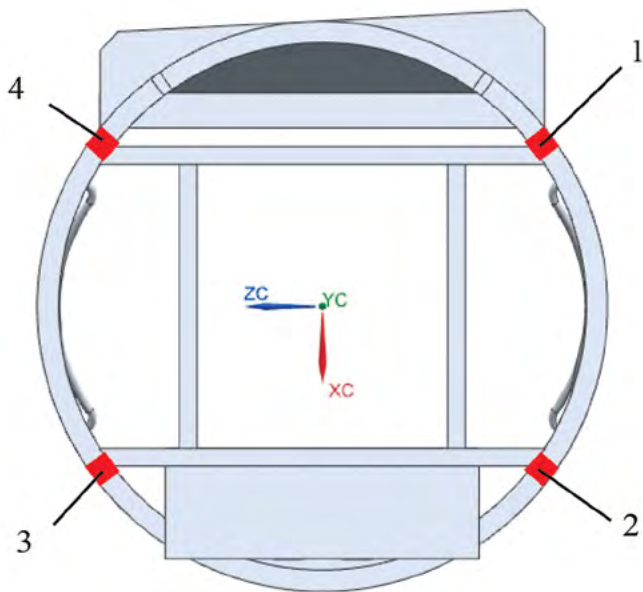


Рисунок 6. Места приложения нагрузки при сжатии (вид сверху):
1, 2, 3, 4 — места приложения вертикальной нагрузки (верхние концы стоек)

стенной конечно-элементной сетки в исходную модель был внесён ряд изменений: из модели было произведено удаление ряда мелких объектов (элементов обшивки и т. д.), жёсткость которых не оказывает существенного влияния на прочность всей модели. Расчётная модель (сетка конечных элементов) состоит из оболочечных

конечных элементов I порядка CQUAD4. Дверные замки и петли дверей кабины BT-200 моделировались при помощи жёстких элементов RBE2. Ось X глобальной системы координат совмещена с направлением движения трактора, ось Y — вверх, ось Z образует правую тройку векторов. Вид расчётной модели с приложенными нагрузками и граничными условиями при боковом усилии представлен на рис. 8, при сжатии — на рис. 9.

Сварка моделировалась при помощи Glue-контакта. Расчёт проводился в нелинейной постановке, что позволило получить максимально достоверные значения деформации. Распределение эквивалентных напряжений в модели показано на рис. 10 и 11, а деформация — на рис. 12 и 13. Так как обязательным условием испытания по ГОСТ Р ИСО 5700–2008 является сохранение жизненного пространства после приложения нагрузки, в данном расчёте большее значение имеет остаточная деформация каркаса кабины. В свою очередь, напряжения, возникающие в процессе испытания, дают информацию о наиболее нагруженных узлах каркаса, что в последующем позволит оптимизировать конструкцию в целом. Окончательные выводы о работоспособности конструкции могут быть сделаны по результатам натурных испытаний.

Цветами красного спектра обозначены места превышения предела текучести при растяжении (области возникновения пластических деформаций).

При боковом нагружении максимальное значение перемещения (красная зона) равняется 168 мм. В свою

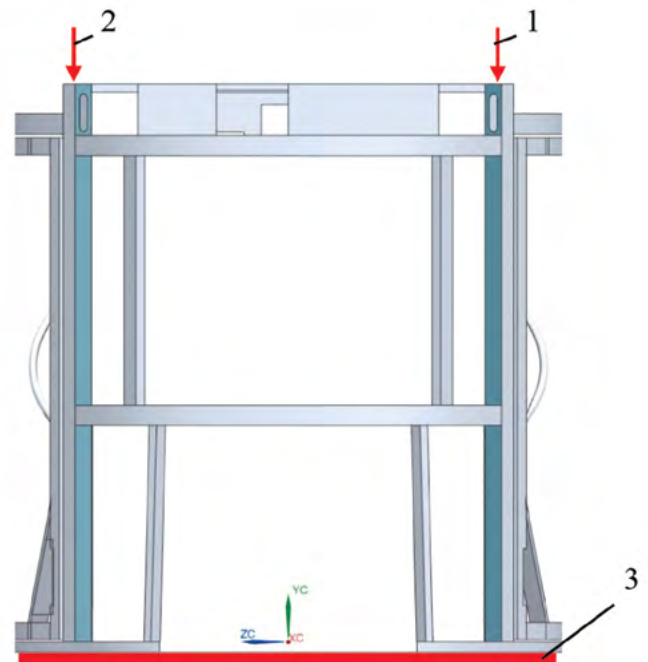


Рисунок 7. Место крепления и нагружения при сжатии (вид спереди):
1, 2 — направление приложения усилия при вертикальном нагружении;
3 — место крепления каркаса (нижняя силовая обвязка)

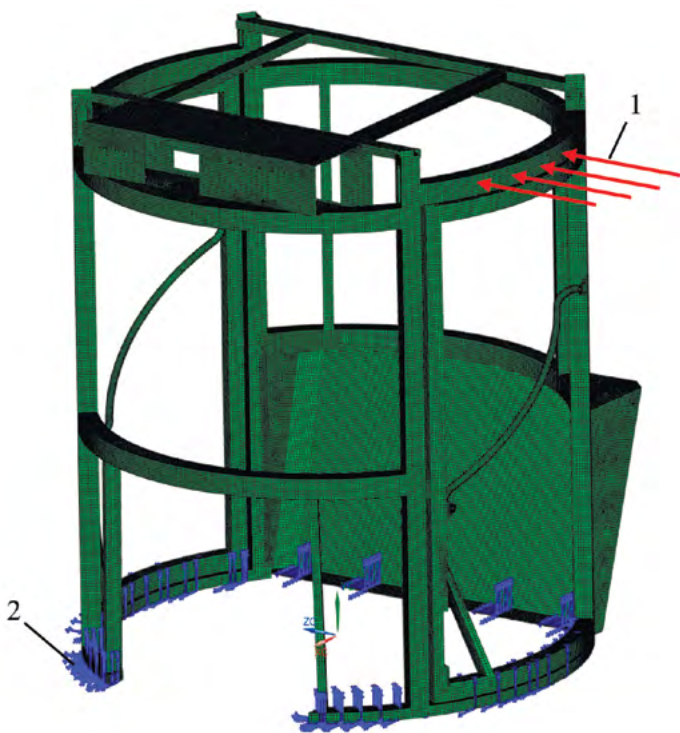


Рисунок 8. Общий вид конечно-элементной модели с граничными условиями и приложенными нагрузками при горизонтальном нагружении (усилие сбоку): 1 — боковая нагрузка $F = 53\,555\text{ Н}$; 2 — заделка нижних поверхностей труб основания

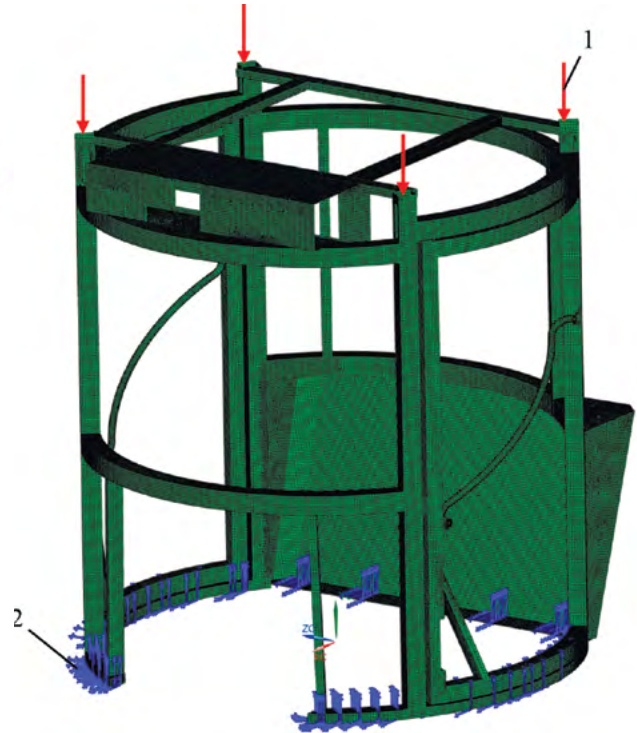


Рисунок 9. Общий вид конечно-элементной модели с граничными условиями и приложенными нагрузками при вертикальном нагружении (усилие на верхнюю часть стоек): 1 — сила приложения вертикальной нагрузки $F = 156\,880\text{ Н}$; 2 — заделка основания

Деформация : Перемещение - По узлам Величина

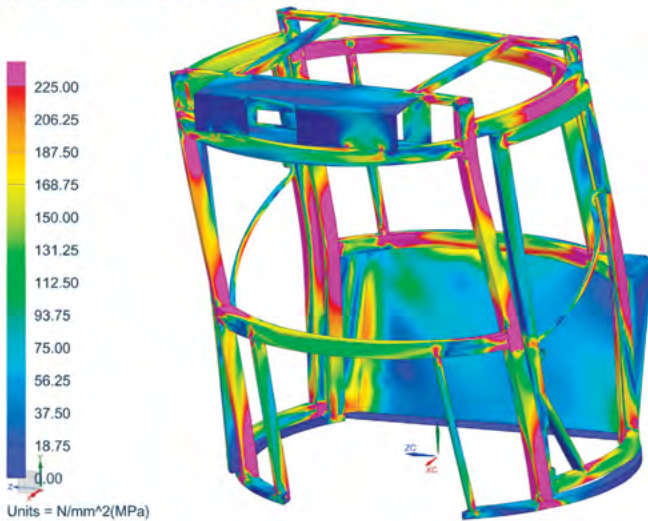


Рисунок 10. Вид распределения напряжений в модели. Боковое нагружение

Деформация : Перемещение - По узлам Величина

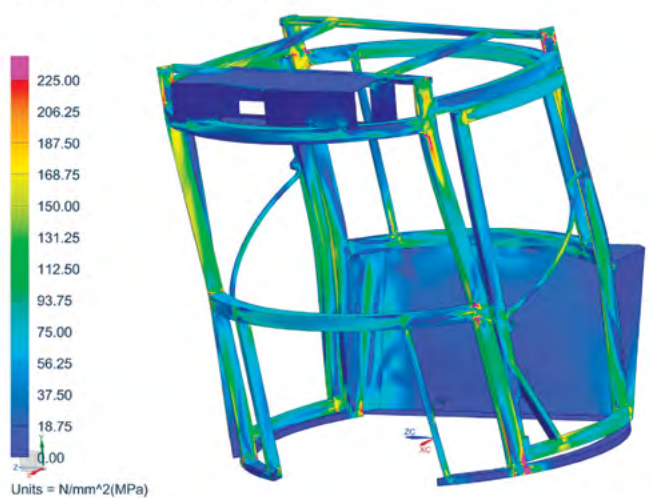


Рисунок 11. Вид распределения напряжений в модели. Вертикальное нагружение

Перемещение - По узлам, Величина
 Мин. : 0.00, Макс. : 167.87, Единицы = мм
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

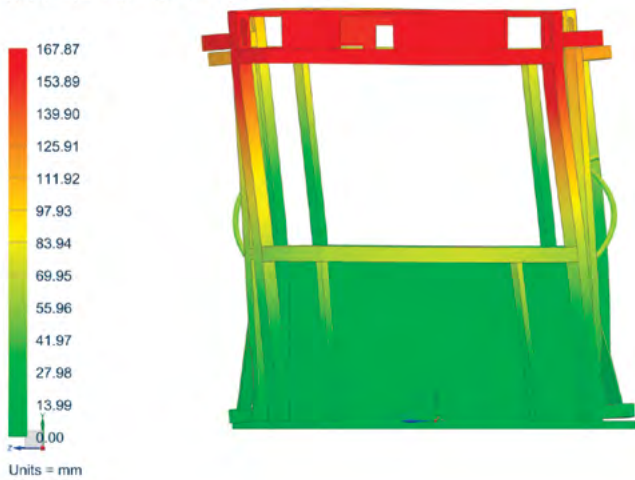


Рисунок 12. Перемещения элементов расчётной модели. Боковое нагружение (вид спереди)

Перемещение - По узлам, Величина
 Мин. : 0.00, Макс. : 130.04, Единицы = мм

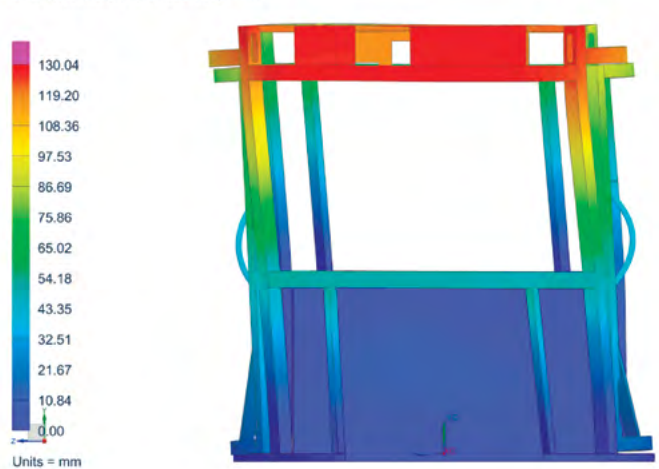


Рисунок 13. Перемещения элементов расчётной модели. Вертикальное нагружение (вид спереди)

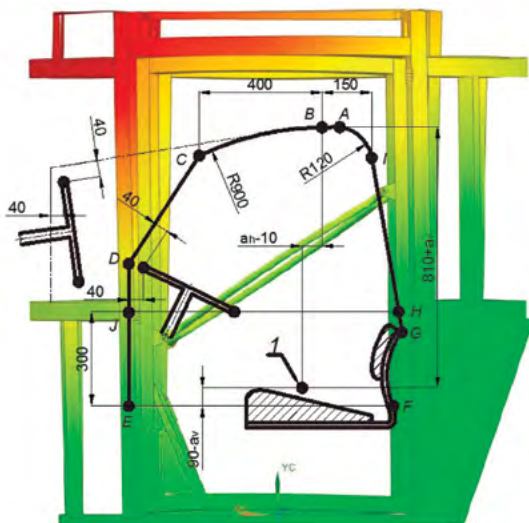


Рисунок 14. Определение объёма ограничения деформации (вид слева): 1 — контрольная точка сиденья (SIP)

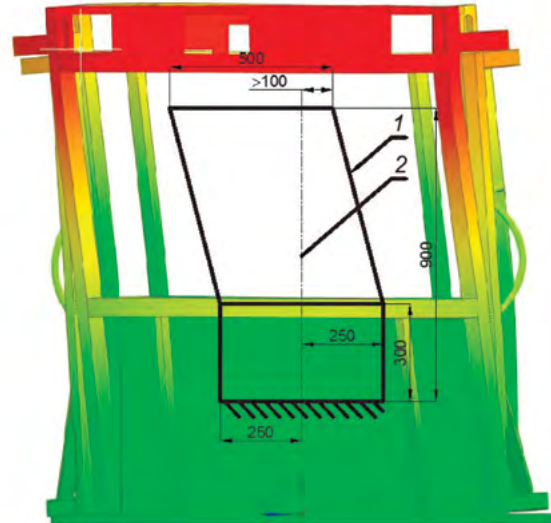


Рисунок 15. Определение объёма ограничения деформации (вид спереди): 1 — сила; 2 — расчётная плоскость

очередь, максимальное перемещение при вертикальном нагружении составило 130 мм.

Объём ограничения деформации определяется в соответствии с п. 9 ГОСТ Р ИСО 5700–2008 (рис. 14 и 15).

Согласно условиям приёмки по ГОСТ Р ИСО 5700–2008 (п. 11), после испытаний должно быть установлено соответствие требованиям п. 11.2–11.5. По условиям п. 11.2 ни одна деталь не должна проникать в объём ограничения деформации (чёрные контуры, показанные на рис. 14 и 15), а также ни одна деталь не должна наносить удара по сиденью во время испытаний. Объём ограничения деформации не должен находиться вне пределов расчётной модели.

ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов расчётных исследований можно заключить, что силовой несущий каркас кабины перспективного трактора ВТ-200 обеспечивает сохранение жизненного пространства оператора и удовлетворяет требованиям ГОСТ Р ИСО 5700–2008.

В дальнейшем были проведены комплексные исследования [19–21], построен опытный образец трактора, который демонстрировался на 6-й Российской агропромышленной выставке «Золотая осень — 2005» и был отмечен дипломом и золотой медалью [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трактор: пат. 61291 на промышленный образец, Рос. Федерация: МКПО8 12-09 / В. Н. Беляев, С. Н. Галкин, В. П. Бычков, И. А. Долгов, О. В. Ульянов, Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, В. М. Ильин, В. В. Шипов; заявитель и патентообладатель — открытое акционерное общество «Тракторная компания «ВгТЗ»». — № 2005502439/22; заявл. 24.08.2005; опубл. 16.01.2007. — 3 с.
2. Трактор сельскохозяйственный: пат. 63352 на промышленный образец, Рос. Федерация: МКПО8 12-09 / В. Н. Беляев, С. Н. Галкин, В. П. Бычков, И. А. Долгов, О. В. Ульянов, Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, В. М. Ильин, В. В. Шипов; заявитель и патентообладатель — открытое акционерное общество «Тракторная компания «ВгТЗ»». — № 2005503569/22; заявл. 06.12.2005; опубл. 16.07.2007. — 4 с.
3. Сельскохозяйственный трактор: пат. 2317910 на изобретение, Рос. Федерация: МПК В62D 49/00 (2006.01), В60R 49/00 (2006.01) / В. Н. Беляев, С. Н. Галкин, В. П. Бычков, И. А. Долгов, О. В. Ульянов, Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, В. М. Ильин, В. В. Шипов; заявитель и патентообладатель — открытое акционерное общество «Тракторная компания «ВгТЗ»». — № 2005137792/11; заявл. 06.12.2005; опубл. 27.02.2008. Бюл. № 6. — 13 с.
4. Гусеничный трактор: пат. 50969 на полезную модель, Рос. Федерация: МПК В62D 49/00 (2006.01), В62D 55/00 (2006.01), В62D 33/06 (2006.01) / В. Н. Беляев, С. Н. Галкин, В. П. Бычков, И. А. Долгов, О. В. Ульянов, Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, В. М. Ильин, В. В. Шипов; заявитель и патентообладатель — открытое акционерное общество «Тракторная компания «ВгТЗ»». — № 2005126677/22; заявл. 24.08.2005; опубл. 27.01.2006. Бюл. № 3. — 2 с.
5. Кабина трактора: пат. 2304064 на изобретение, Рос. Федерация: МПК В62D 33/06 (2006.01) / В. Н. Беляев, С. Н. Галкин, В. П. Бычков, И. А. Долгов, О. В. Ульянов, Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, В. М. Ильин, В. В. Шипов; заявитель и патентообладатель — открытое акционерное общество «Тракторная компания «ВгТЗ»». — № 2005126675/11; заявл. 24.08.2005; опубл. 10.08.2007. Бюл. № 22. — 14 с.
6. Верхняя надстройка каркасно-панельной конструкции для гусеничных тракторов / Т. Д. Дзюценидзе, А. К. Пономарёв, О. В. Ульянов и др. // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. — № 10. — С. 11–13.
7. Результаты испытаний гусеничного трактора ВТ-155Д с новой верхней надстройкой / Т. Д. Дзюценидзе, О. В. Ульянов, М. А. Козловская, В. М. Ильин // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. — № 12. — С. 7–9.
8. Михайлов В. А. Кабина трактора: учебное пособие / В. А. Михайлов, Н. Н. Шарипова. — М.: МГТУ «МАМИ», 2001. — 24 с.
9. Орлов Л. Н. Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов: монография. — Нижний Новгород: НГТУ, 2005. — 230 с.
10. Русанов О. А. Расчётный анализ напряжённого состояния и оценка прочности несущих систем тракторов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. — М.: МГИУ. — 2009. — 32 с.
11. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные колёсные. Устройства защиты при опрокидывании. Метод статических испытаний и условия приёмки: ГОСТ Р ИСО 5700–2008. — М.: Стандартинформ, 2009.
12. Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании: ГОСТ Р ИСО 3471–2009. — М.: Стандартинформ, 2011.
13. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. — М.: Мир, 1975. — 541 с.
14. Илинч И. М. Расчёт, проектирование и испытание кабин тракторов / И. М. Илинч, В. В. Никонов, Б. И. Кальченко. — М.: Агропромиздат, 1989. — 213 с.
15. Мячников В. И. Расчёты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: справочник / В. И. Мячников, В. П. Мальцев, В. П. Майборода. — М.: Машиностроение, 1989. — 520 с.
16. Журавлёв А. В. Исследование несущих систем кабин каркасно-панельной конструкции для транспортных средств сельскохозяйственного назначения // Международный научный журнал. — 2010. — № 3. — С. 59–62.
17. Журавлёв А. В. Разработка математической модели несущей системы кабины с использованием современных систем инженерного анализа // Международный научный журнал. — 2012. — № 1. — С. 89–91.
18. Расчёт несущих элементов каркасно-панельной конструкции кабин автомобилей и тракторов в программной среде ANSYS: учебное пособие / Т. Д. Дзюценидзе, А. В. Журавлёв, М. А. Козловская, В. В. Берберя. — М.: Metallurgizdat, 2012. — 108 с.
19. Журавлёв А. В. Результаты экспериментальных исследований несущего каркаса кабины опытного образца малогабаритного транспортного средства / А. В. Журавлёв, М. А. Козловская // Международный технико-экономический журнал. — 2011. — № 2. — С. 128–133.
20. Dzotsenidze T. D. Use of profiled tubes to create three-dimensional frame-and-panel systems for tractors and automobiles / T. D. Dzotsenidze, D. A. Zagarin, M. A. Kozlovskaya // Metallurgist. — 2014. — Vol. 58, № 7–8. — P. 717–723.
21. Методы расчёта и создание несущих систем каркасного типа кабин и кузовов автомобилей и тракторов: учебное пособие / Д. А. Загарин, А. С. Шкель, М. А. Козловская и др. — М.: ООО «ТРП», 2016. — 178 с.
22. Продукция ОАО «Агромашхолдинг» удостоена главных медалей выставки «Золотая осень — 2005» // Информационный агротехнический центр. — 2005. — 19 октября [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vpole.ru/press/?id=348> (дата обращения: 02.06.2016).
23. Гончаров П. С. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ / П. С. Гончаров, И. А. Артамонов, Т. Ф. Халитов. — М.: ДМК Пресс, 2012. — 504 с.