

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Политехнический»
Факультет «Автотранспортный»
Кафедра «Автомобили и автомобильный сервис»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ А.В. Липенков

«__» _____ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ А.Д. Рулевский

«__» _____ 2020 г.

Исследование влияния конструктивных параметров несущей системы прицепных
транспортных средств на их эксплуатационные характеристики

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
НИУ ЮУрГУ 23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
заведующий кафедрой

_____ А.Д. Рулевский

«__» _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-202

_____ И.В. Кошелев

«__» _____ 2020 г.

Нормоконтролер
доцент

_____ А.А. Дойкин

«__» _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Кошелев И.В. Исследование влияния конструктивных параметров несущей системы прицепных транспортных средств на их эксплуатационные характеристики – Челябинск: ЮУрГУ, АТ; 2020, 53 с., 50 ил., 8 табл., библиогр. список – 9 наим.

В выпускной квалификационной работе были исследованы влияния конструктивных параметров несущей системы прицепных транспортных средств, изменением толщины большинства листовых деталей.

В связи с появлением на рынке новых образцов прицепной техники возникает вопрос, повлияет ли изменение геометрических параметров некоторых основных деталей несущей системы на их эксплуатационные характеристики, а также на снижение стоимости прицепных транспортных средств.

Целью исследования было изучение влияния конструктивных параметров несущей системы прицепных транспортных средств на их эксплуатационные характеристики.

Задачей исследования стояла упрощение конструкции рамы.

В ходе исследования был произведён анализ рынка прицепных транспортных средств, а также произведен расчет модернизации рамы полуприцепа с применением тех же марок сталей, но в другом распределении по деталям. В итоге должны получить запасы прочности по основным ее деталям удовлетворяющие критериям.

					<i>23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кошелев И.В.</i>			<i>Исследование влияния конструктивных параметров несущей системы прицепных транспортных средств на их эксплуатационные характеристики</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Рцлевский А.Д.</i>					4	53
<i>Реценз.</i>		<i>Липенков А.В.</i>				<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Дойкин А.А.</i>				<i>Кафедра АиАС</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Рцлевский А.Д.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	7
1.1 Анализ производителей прицепных транспортных средств.....	11
1.2 Классификация прицепных транспортных средств	12
2 ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	21
2.1 Оси прицепного состава.....	23
2.2 Подвеска.....	25
3 ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОНЖЕРОНОВ РАМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	30
3.1 Критерии оценки результатов	31
3.2 Объект исследования.....	32
3.3 Силы, действующие на раму полуприцепа	36
3.4 Результаты расчетов	37
3.5 Проверочный расчет оптимизированной рамы	44
4 РАСЧЁТ ЭФФЕКТА ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОЁМКОСТИ ПОЛУПРИЦЕПА В ДЕНЕЖНОМ ВЫРАЖЕНИИ	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	52

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

Потребности нашей страны в перевозках грузов неуклонно возрастают, поэтому повышение эффективности работы автотранспорта, обеспечивающее в первую очередь увеличение производительности подвижного состава и снижение стоимости перевозок, – одна из главных экономических и социальных задач на современном этапе развития нашего общества.

Производительность подвижного состава автомобильного транспорта зависит, прежде всего, от его грузоподъемности: чем больше грузоподъемность, тем выше производительность. Применение одиночных автомобилей большой грузоподъемности ограничивается несущей способностью дорожного полотна. Поэтому применение именно автомобильных поездов является важнейшим средством повышения производительности труда на автомобильном транспорте. А также автопоезд в составе автомобиля-тягача и прицепа (полуприцепа) будет экономически значительно эффективнее одиночного автомобиля.

Таким образом, высокая производительность при меньших эксплуатационных затратах определили широкое распространение автопоездов на перевозках самых разнообразных грузов.

Вопросом о получении максимальной эффективности от техники задается, пожалуй, каждый ее владелец. И зачастую, сэкономив на покупке, к примеру, 5-тонного грузовика и приобретя 3,5-тонный, его используют с таким перегрузом.

Целью исследования является, изучить влияние конструктивных параметров несущей системы прицепных транспортных средств на их эксплуатационные характеристики для снижения массы и стоимости.

Объект исследования – конструкция рамы полуприцепа.

Предмет исследования – влияние геометрических параметров основных деталей несущей системы полуприцепа на его эксплуатационные характеристики.

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		6

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В настоящее время автотранспорт обеспечивает большую часть перевозки грузов. Для того, чтобы обеспечить перевозку габаритных и негабаритных грузов, владельцы автотранспорта приобретают и используют прицепы, полуприцепы и роспуски (рисунок 1.1).

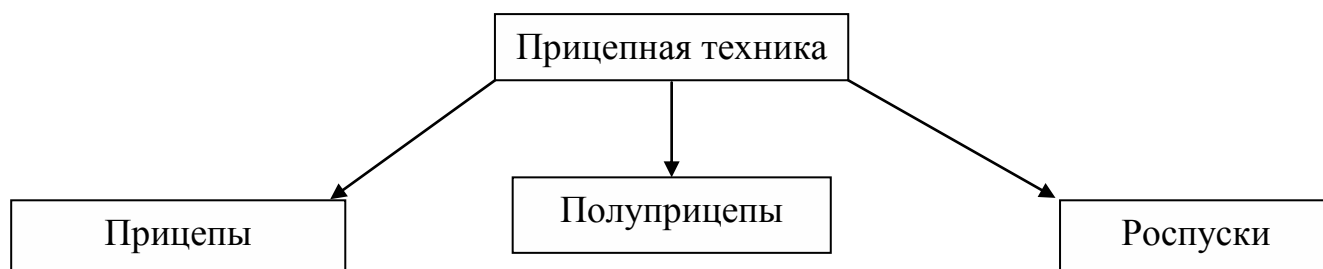


Рисунок 1.1 – Виды прицепной техники

Прицеп (рисунок 1.2) – это несамоходное транспортное средство, буксируемое автомобилем, тягачом или трактором и соединяемое с ними с помощью тягово-сцепного устройства. При этом вся вертикальная нагрузка от собственного веса прицепа и перевозимого им груза передается на дорожное покрытие через его оси.



Рисунок 1.2 – Прицепы разных типов

Полуприцеп (рисунок 1.3) – несамоходное транспортное средство, соединяемое с тягачом седельно-сцепным устройством, передающим тяговые и управляющие усилия и воспринимающим вертикальные усилия от части массы полуприцепа.



Рисунок 1.3 – Полуприцеп-тяжеловоз

Роспуск (рисунок 1.4) – прицеп, предназначенный для перевозки длинномерных грузов. Часто имеет дышло изменяющейся длины.



Рисунок 1.4 – Прицеп-роспуск

Таким образом, принципиальные различия между прицепами, полуприцепами и роспусками заключаются в характеристике сцепки их с тягачом и обусловлен-

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		8

ных этой характеристикой усилиях, возникающих между тягачом и прицепным звеном.

Для транспортировки крупногабаритных и для длинномерных грузов может использоваться автопоезд (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Седельный тягач + полуприцеп

Автомобильным поездом называется транспортное средство, состоящее из тягача (автомобиля) и одного или нескольких прицепных звеньев [1]. По типу прицепного звена автопоезда называют седельными (рисунок 1.5), то есть, седельный тягач + полуприцеп, а автопоезда с прицепами или роспусками – прицепными (рисунок 1.6). Прицепные автопоезда могут иметь один или два прицепа, соединенных с бортовым автомобилем-тягачом. В составе седельного автопоезда могут быть как два полуприцепа (при этом к первому полуприцепу цепляют подкатную тележку с седельным устройством), так и полуприцеп с прицепом.



Рисунок 1.6 – Прицепной автопоезд

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		9

Преимуществами седельных автопоездов по сравнению с прицепными являются меньшая длина при равной грузоподъемности, простота конструкции, меньший коэффициент металлоемкости, сокращение простоев при погрузке-выгрузке за счет использования двух или даже более полуприцепов, расширение возможности специализации автопоездов.

Однако у прицепного автопоезда номинальная грузоподъемность выше на 10–15 %, чем у седельного, так как автомобиль-тягач также загружается.

По назначению автопоезда делят на универсальные или общетранспортные (для различных грузов), специализированные (для определенных видов грузов) и специальные (на которых смонтировано оборудование).

Автопоезда, предназначенные для эксплуатации в различных дорожных условиях, можно подразделить на три группы: автопоезда для эксплуатации в обычных, трудных и особо трудных дорожных условиях.

Автопоезда, предназначенные для эксплуатации в обычных дорожных условиях, могут использоваться на асфальтовых, бетонных, булыжных, щебеночно-гравийных и других искусственных дорогах, обслуживаемых государственной дорожной службой. Устройство и характеристика таких дорог регламентированы специальными нормами и правилами.

Автомобильные поезда этой группы комплектуются из неполноприводных тягачей с колесной формулой 4×2 или 6×4 и прицепов (полуприцепов), рассчитанных на относительно небольшие динамические нагрузки при движении по ровным автомобильным дорогам. Благодаря этому такие показатели эффективности, как отношение массы прицепного звена к массе тягача (коэффициент прицепной нагрузки) и отношение грузоподъемности к массе автопоезда в снаряженном состоянии (удельная грузоподъемность), у этих автопоездов относительно велики. Производительность их, оцениваемая как произведение грузоподъемности на среднюю скорость движения, в указанных дорожных условиях эксплуатации также высока. Применение автопоездов в состав которых входят прицепы, полуприцепы и роспуски в экономическом плане является гораздо более эффективным, чем использование грузовых автомобилей. Эффективность повышается за счет экономии топлива, при этом происходит снижение стоимости перевозок.

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		10

1.1 Анализ производителей прицепных транспортных средств

С учетом того, что в России существует множество предприятий, специализирующихся на разработке и производстве прицепной техники различного назначения можно рассмотреть структуру рыночного распределения по типу выпускаемых прицепных транспортных средств, а также рассмотреть их классификацию.

Российские производители прицепной техники:

- Политранс;
- Нефаз;
- УРАЛ-СТ;
- Новосибирз;
- ЧМЗАП;
- ЧКПЗ;
- Спецприцеп;
- Тверьстроймаш.

Исследовать и рассматривать прицепную технику будем на примере Компании «Политранс», так как Компания «Политранс» - отечественный производитель тяжелой прицепной техники с 2000 года [2]. Компания выпускает широкую линейку прицепной техники:

- низкорамные полуприцепы грузоподъемностью до 100 тонн;
- полуприцепы с раздвижной платформой до 20 метров;
- высокорамные полуприцепы для работы в экстремальных условиях;
- бортовые и самосвальные полуприцепы;
- полуприцепы сортиментовозы.

При производстве используются сырье и комплектующие ведущих российских и мировых производителей. Производственные линии оснащены современным автоматизированным оборудованием европейского производства, на котором работают более 400 высококвалифицированных специалистов. Высокий уровень качества полуприцепов «Политранс» подтверждается сертификатами соответствия стандартам ISO 9000 и ГОСТ РВ. Сегодня бренд «Политранс» прочно ассоциируется с высокой надежностью и качеством выпускаемой техники. Полуприцепы «Политранс» эксплуатируют на всех значимых для страны проектах – на трубо-

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		11

проводах «Сила Сибири», «ВСТО», «Северный поток», на строительстве Крымского моста, Амурского ГПЗ, на месторождениях ХМАО и ЯНАО, на строительстве инфраструктуры Центральной России и Дальнего Востока, Якутии, Чукотки. Кроме этого, полуприцепы «Политранс» поставляются в страны СНГ и в дальнейшем зарубежье – Европу, Африку, Ближний Восток. Компания входит в число крупнейших российских производителей прицепной техники, является участником всех государственных программ поддержки и развития машиностроительной отрасли, отраслевых ассоциаций и объединений [3].

1.2 Классификация прицепных транспортных средств

Одна из наиболее распространенных классификаций прицепов и полуприцепов – деление по виду перевозимого груза (начиная от тех, которые упакованы в коробки, ящики, мешки, емкости и заканчивая различного рода колесной и гусеничной техникой) [3]. Другой популярный вид классификации – по назначению. Так же прицепная техника может классифицироваться по количеству осей, габаритным размерам [4], типу подвески, вместимости и грузоподъемности, типу бортов и так далее. Общая классификация (рисунок 1.7, рисунок 1.8)



Рисунок 1.7 – Классификация прицепной техники по конструктивным параметрам

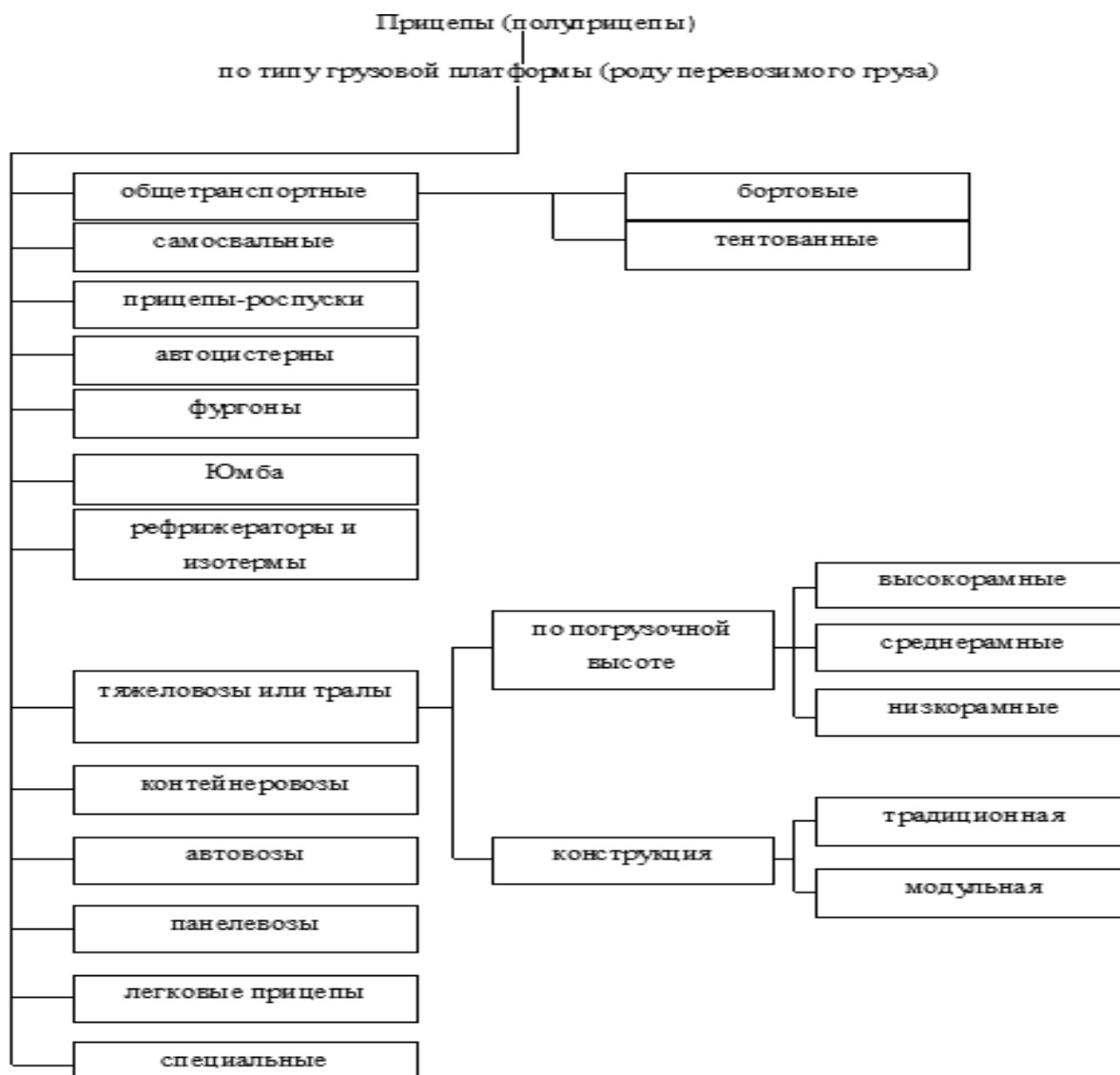


Рисунок 1.8 – Классификация прицепной техники по типу грузовой платформы

Рассмотрим подробнее классификацию прицепов и полуприцепов по нескольким параметрам.

- Количество осей определяет грузоподъемность прицепов: чем осей больше, тем больше масса перевозимого груза.
- Грузоподъемность. Различают прицепы малой грузоподъемности (до 25 тонн), средней (до 40 тонн), большой (110 тонн) и специализированные транспортные средства (более 110 тонн).
- Тип подвески. Прицепы могут иметь рессорную или пневматическую подвеску. Рессорная используется на транспортных средствах, эксплуатируемых в тяжелых условиях. Однако большинство водителей сходятся во мнении, что пневматическая подвеска лучше. Реже встречаются прицепы и полуприцепы с гидравлической подвеской, которая более типична для сверхтяжелых модулей.

- Наличие привода. Прицепы также могут быть как с активным приводом, так и без него. При активном приводе прицепы имеют ведущие колеса, к которым подводятся мощность и момент от двигателя автомобиля-тягача, а без активного привода – не имеют ведущих колес.

- По типу грузовой платформы (роду перевозимого груза). В зависимости от свойств груза, его размеров и веса, используются несколько видов прицепов. Тяжеловозы или тралы применяют для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Грузоподъемность может достигать несколько сотен тонн.

Это осуществляется за счет увеличения количества осей и по высоте погрузочной площадки различают высокорамные, и низкорамные тралы.

Низкорамный полуприцеп или прицеп (рисунок 1.9) – с открытой заниженной грузовой платформой, специально сконструирован для перевозки габаритных и негабаритных грузов, с учётом соответствия габаритной высоты грузов правилам перевозок. Тяжеловесные тралы универсальны и могут использоваться для решения самых разных транспортных задач. Все модели прицепной техники адаптированы под отечественные климатические условия и особенности российских дорог. Конструктивная особенность низкорамных полуприцепов – пониженная погрузочная высота от 600 до 1000 мм, что существенно облегчает загрузку тяжелой спецтехники и крупногабаритных грузов массой до 100 тонн на платформу. Кроме того, такой низкий полуприцеп легко проходит под путепроводами, мостами, эстакадами.



Рисунок 1.9 – Низкорамный полуприцеп-тяжеловоз

Высокорамные полуприцепы тяжеловозы (рисунок 1.10) – характеризуются

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		14

большой грузоподъемностью, повышенной высотой погрузочной площадки и клиренсом, увеличенным запасом прочности и высокой проходимостью. Такое сочетание технических характеристик высокорамных полуприцепов делает их оптимальным вариантом для эксплуатации в экстремальных климатических условиях на дорогах 3-4 категорий. Эта прицепная техника выдерживает значительные перепады температур, может использоваться при высокой влажности и в условиях агрессивной окружающей среды. Поэтому наиболее востребованы высокорамные полуприцепы для грузоперевозок в промышленной сфере – на предприятиях нефтегазовой, атомной и химической промышленности, добывающей отрасли и т.д.



Рисунок 1.10 – Высокорамный полуприцеп-тяжеловоз

Бортовой полуприцеп (рисунок 1.11) – наиболее востребованный вид спецтехники, предназначенный для транспортировки различных грузов, неприхотливых к погодным условиям и качеству дорожного покрытия. Эта прицепная техника надежна в эксплуатации и универсальна. Бортовые полуприцепы отличаются повышенной проходимостью даже в условиях российского бездорожья. Бортовые полуприцепы изготавливаются в 2, 3 и 4-х осном варианте и имеют грузоподъемность до 50 тонн. Кроме этого, разработаны бортовые полуприцепы с раздвижной платформой до 21,5 метра и грузоподъемностью 40-50 тонн.

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		15



Рисунок 1.11 – Бортовой полуприцеп

Прицепы (рисунок 1.12) – использование прицепов оправдано, когда требуется перевезти груз небольших размеров и массы. Для этих целей «Политранс» разработал линейку низкорамных, высокорамных прицепов, а также прицепов тандемов. Такие прицепы цепляются к грузовому автомобилю, оснащённому фаркопом. Также возможен вариант безззорной сцепки. Прицепы, как и полуприцепы оснащаются различными видами трапов, пневматической или рессорной подвеской.

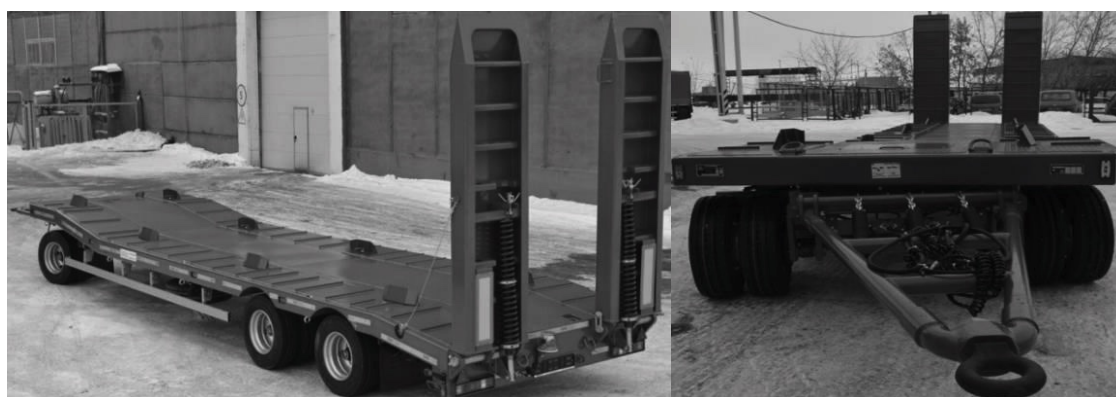


Рисунок 1.12 – Прицеп

Полуприцепы лесовозы (рисунок 1.13) Основное назначение полуприцепа - сортиментовоза – транспортировка круглой, колотой или пиленой древесины в условиях бездорожья и по дорогам общего назначения. Это и очерчивает сферу применения данной прицепной техники – обычно она используется в составе автопоездов на лесозаготовительных площадках и для перевозки пиломатериалов со склада до места продажи. В некоторых случаях на полуприцепах - сортиментовозах возможна транспортировка других длинномерных и нестандартных грузов.

Компания «Политранс» предлагает лесовозные полуприцепы и прицепы грузоподъемностью до 45 тонн и объемом от 40 до 60 м³. Все модели разработаны нашим конструкторским отделом с учетом использования с различными тягачами. Техника прошла обязательную сертификацию и соответствует установленным стандартам безопасности.



Рисунок 1.13 – Полуприцеп – сортиментовоз

При вывозке леса с мест заготовок транспортные условия не всегда позволяют использовать полуприцепы. В таком случае оправдано применение лесовозных прицепов длиной до 10 000 мм (рисунок 1.14) – они более маневренные, чем полуприцепы, легче и позволяют вывозить значительный объем древесины.



Рисунок 1.14 – Прицеп – сортиментовоз

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		17

Самосвальный полуприцеп (рисунок 1.15) – предназначен для транспортировки сыпучих грузов – песка, щебня и гравия различных фракций. Поэтому наиболее востребована эта прицепная техника в строительстве, в горнодобывающей отрасли при разработке карьеров и на промышленных предприятиях.



Рисунок 1.15 – Полуприцеп самосвал

Юмба (Jumbo) (рисунок 1.16) – прицепы повышенной вместимости. Большой внутренний объем достигается за счет уменьшенного диаметра колес и специальной конструкции пола в форме буквы «Г».



Рисунок 1.16 – Тентованный полуприцеп Jumbo

Рефрижераторы (рисунок 1.17) – используются для перевозки грузов, требующих поддержания определенного температурного режима: овощей, фруктов, замороженных полуфабрикатов, рыбы, мяса, медикаментов, растений и так далее.

					<i>23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		18

Рефрижераторы – прицепы, обшитые утеплителем и имеющие в своей конструкции холодильную установку, рабочая температура может устанавливаться в диапазоне от -25 до +25.



Рисунок 1.17 –Рефрижератор

Автовозы (рисунок 1.18) – Как правило, это максимально универсальное транспортное средство, предназначенное для перевозки легковых, грузовых автомобилей, микроавтобусов, прицепов, легких колесных тракторов [5].

Разделены автовозы на две группы – для грузовых и легковых автомашин, причем для перевозки грузовиков преобладают полуприцепы, а для перевозки легковых – прицепы.



Рисунок 1.18 – Автовоз

Панелевозы (рисунок 1.19) – предназначены для перевозки панелей длиной до 12 м, крупногабаритных железобетонных изделий (плит перекрытия, колонн, ригелей, балок) и других конструкция на строительной площадке. Панелевозы бывают четырех типов: хребтовые, с наклонной рамой, кассетные и платформенные.

					<i>23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		19

За исключением последних большинство из них низкорамные. Перевозимые материалы закрепляются при помощи лебедок и канатов с прижимами. Есть и дополнительное крепление панелей страховочными цепями за монтажные петли. Для облегчения маневрирования на некоторых моделях задняя двухосная тележка полуприцепа делается управляемой.

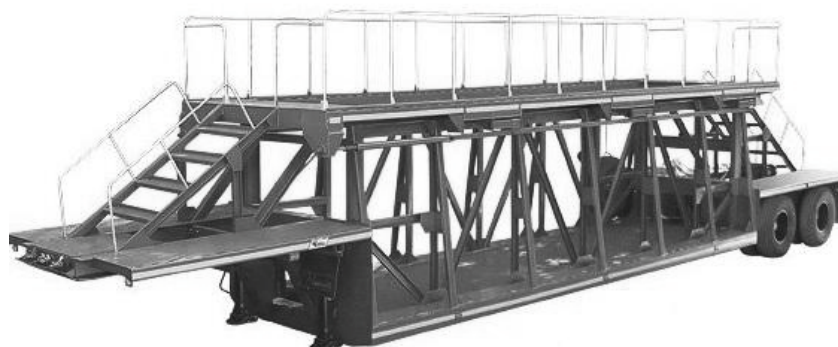


Рисунок 1.19 – Полуприцеп-панелевоз

Контейнеровозы (рисунок 1.20). Их основное назначение – перевозка контейнеров, но могут также использоваться для перевозки крупной техники. Контейнеровозы имеют жесткую усиленную раму и устройство для крепления контейнеров. Рама также может быть раздвижной, что позволяет изменять ее длину.

Они могут иметь ровную или ступенчатую грузовую платформу. При ступенчатой платформе снижается центр тяжести груженого прицепа-контейнеровоза и повышается его устойчивость.



Рисунок 1.20 – Полуприцеп-контейнеровоз

2 ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Разберем основные несущие системы прицепных транспортных средств.

Несущей системой называется рама или кузов транспортного средства, служащие для установки и крепления основных агрегатов и узлов.

На полуприцепах и прицепах применяют рамную несущую систему.

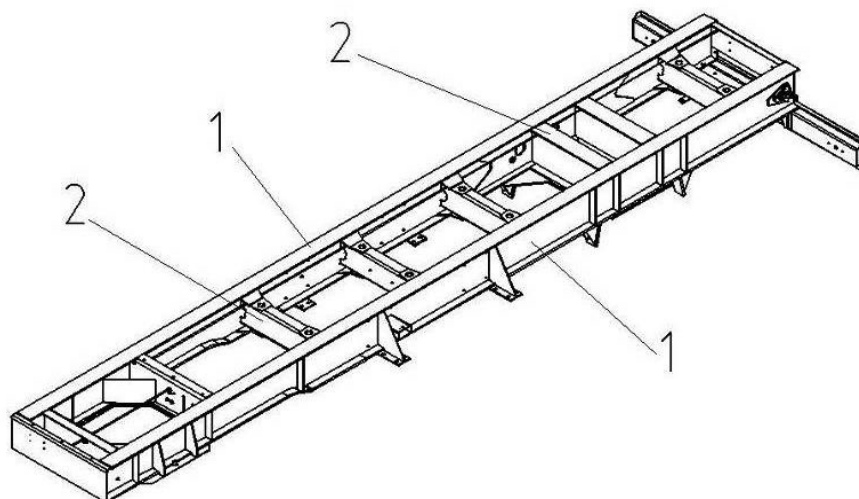


Рисунок 2.1 – Рама прицепа:

1 – основной лонжерон; 2 – поперечины рамы.

Поперечины рамы (рисунок 2.1) прицепов и полуприцепов состоит из двух параллельно расположенных лонжеронов (несущих балок) обычно двутаврового сечения, соединенных между собой поперечинами. На прицепах и полуприцепах с грузовыми площадками дополнительно устанавливают боковые лонжероны (рисунок 2.2), которые соединяются с основными лонжеронами поперечинами, а сверху раму закрывают обычно металлическим настилом. Рама всех прицепов и полуприцепов выполняется сварной из металла повышенной прочности и способна выдерживать перегрузку в 1,5 раза при движении на коротких плечах прямолинейных дорог. Рама может быть ровной (рисунок 2.1) или ступенчатой (рисунок 2.2), чтобы понизить погрузочную высоту.

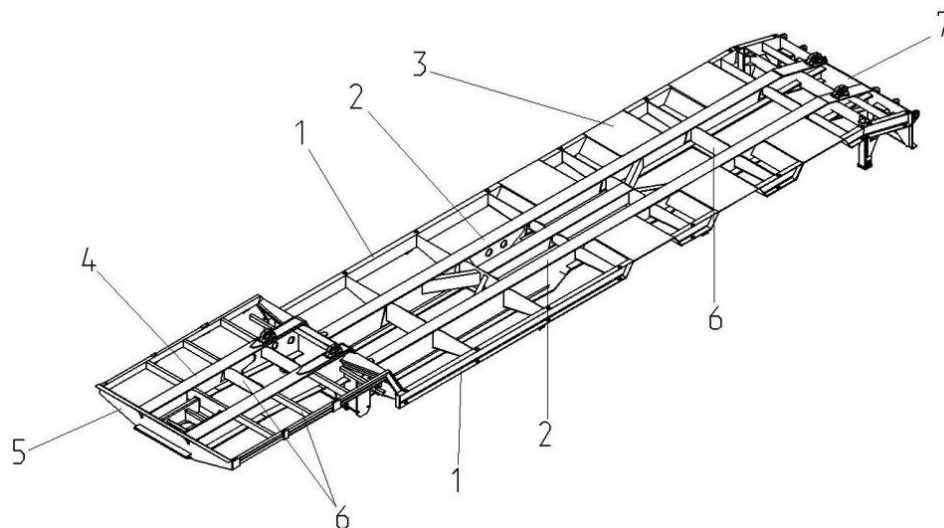


Рисунок 2.2 – Рама полуприцепа:

1 – наружный лонжерон; 2 – основной лонжерон; 3 – обечайка колес; 4 – передняя часть (гусак); 5 – передняя поперечина рамы; 6 – поперечины рамы; 7 – задняя поперечина рамы.

Прицепы и полуприцепы могут быть высокорамными, с пониженной погрузочной высотой и низкорамные.

Прицепы и полуприцепы с рамой, расположенной над колесами называются высокорамными (рисунок 2.3).

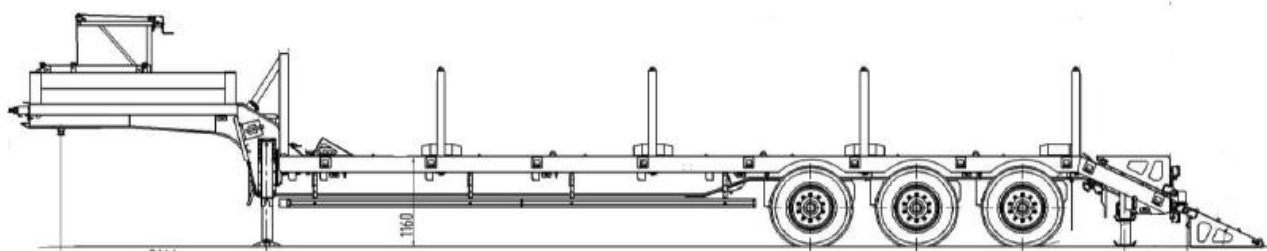


Рисунок 2.3 – Высокорамный полуприцеп

Прицепы и полуприцепы с рамой, расположенной над колесами, но оборудованные низкопрофильными шинами и имеющие погрузочную высоту менее 1 метра называются с пониженной погрузочной высотой (рисунок 2.4).

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		22

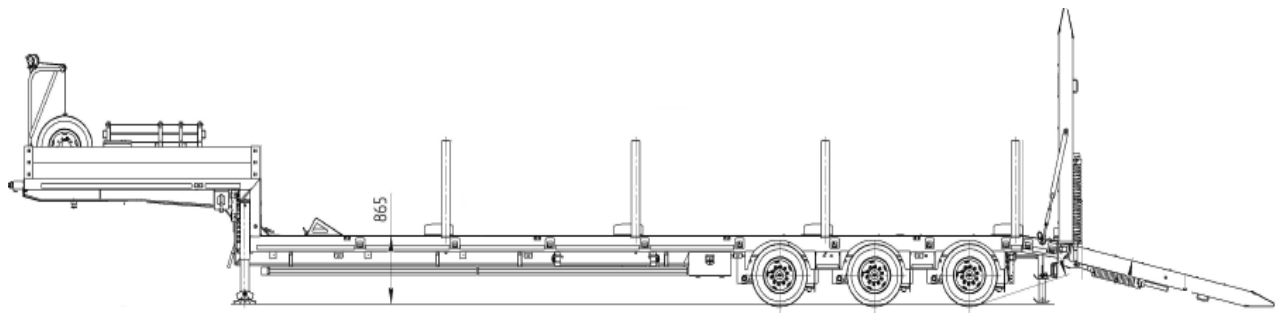


Рисунок 2.4 – Полуприцеп с пониженной погрузочной высотой

Прицепы и полуприцепы с рамой, грузонесущая часть которой (та часть, на которой располагается перевозимый груз), опущена между передними и задними колесами, называются низкорамными (рисунок 2.5). Основным преимуществом этих прицепов является малая погрузочная высота [7], т.е. на таких прицепах можно перевозить большие по высоте грузы, которые не вписываются в разрешенные габариты при перевозке на высокорамных прицепах (разрешенная габаритная высота прицепов и полуприцепов с грузом не более 4 метров).



Рисунок 2.5 – Низкорамный полуприцеп с ломаной рамой

2.1 Оси прицепного состава

Важнейшей деталью оси прицепного звена является балка. В настоящее время широко распространены балки осей, имеющие сечения:

- трубчатое с приваренными цапфами (рис. 2.6, I, III);
- трубчатое с приваренными встык коваными цапфами (рис. 2.6, II);
- трубчатое с обжатыми концами (рис. 2.6, IV);
- квадратное или прямоугольное сплошное (рис. 2.6, V);
- квадратное или прямоугольное полое (рис. 2.6, VI, VII);
- двутавровое (рис. 2.6, VIII);
- овальное полое (рис. 2.6, IX).

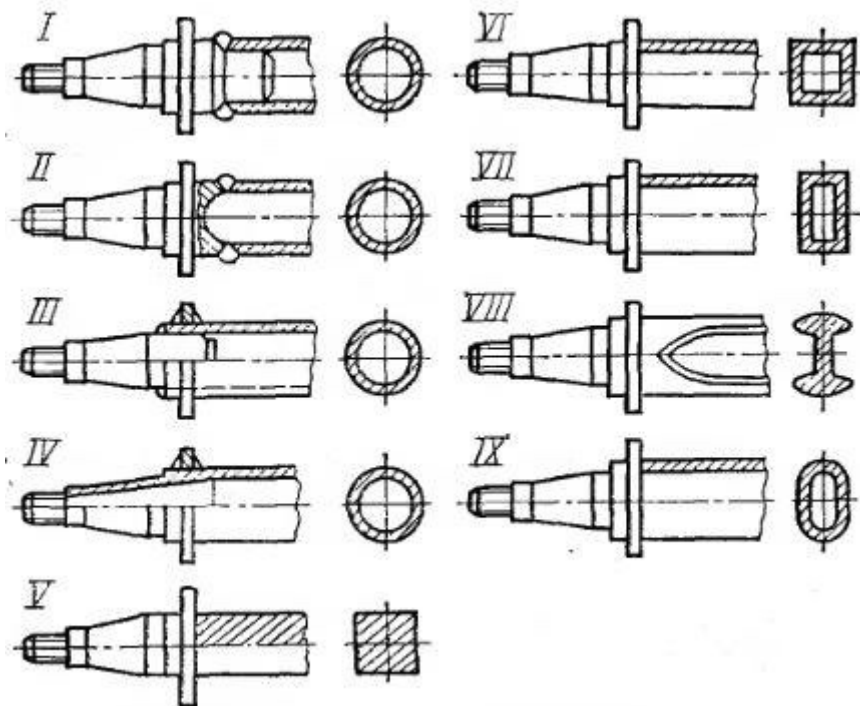


Рисунок 2.6 – Сечения балок осей прицепного состава

При небольшом объеме выпуска балки изготавливают со сплошным квадратным или прямоугольным сечением. Преимуществом их является отсутствие приварки цапф к средней части балки.

Наибольшее распространение получили балки с трубчатым сечением и запрессованной цапфой или с обжатыми концами, обрабатываемыми под цапфы. Как правило, такие балки осей прицепных звеньев состоят из следующих деталей: средней части балки (трубы), двух цапф, двух фланцев для крепления опорных дисков тормозов и двух рессорных площадок. Цапфы запрессовывают и обваривают по контуру. Конструкции таких балок не являются оптимальными, так как при их изготовлении объем механической обработки значителен, а для осуществления прессовых посадок требуется специальное дорогостоящее оборудование. При этом места сварки являются зонами концентрации напряжений.

Балки с трубчатым сечением изготавливаются из легированного стального листа, которые сворачивают в трубу определенного диаметра и сваривают встык, после этого концы трубы нагревают, высаживают и обжимают.

Выпускаются также балки осей из цельнотянутых труб. Они отличаются большими жесткостью и сопротивлением изгибу. В расточенные концы цельно-

						23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата			24

тянутых труб запрессовывают откованные стальные цапфы. После запрессовки трубы и цапфы сваривают.

Существенным недостатком балок прицепных звеньев автопоезда I...VI типов является то, что их сечения обладают одинаковыми моментами сопротивления изгибу в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что на балки в горизонтальной плоскости действуют изгибающие моменты примерно в 2 раза меньшие, чем в вертикальной. Таким образом, у балок I...VI типов есть излишний запас прочности при изгибе в горизонтальной плоскости и, следовательно, избыточная масса.

Поэтому наиболее рациональными с этой точки зрения являются балки VII...IX типов, момент сопротивления изгибу которых в горизонтальной плоскости меньше, чем в вертикальной.

ГОСТ 14650-69 предусматривает типоразмерный ряд осей в зависимости от осевой нагрузки.

2.2 Подвеска

Подвеска осуществляет упругую связь рамы или кузова с осями и колесами, смягчает воспринимаемые ими удары и толчки при езде по неровностям дороги. Упругие свойства подвески достигаются применением упругого элемента подвески, в результате чего сила удара, передаваемого на кузов уменьшается, и плавность хода автомобиля становится лучше. По характеру взаимодействия колес и рамы при движении подвески делят на зависимые и независимые (рисунок 2.7).

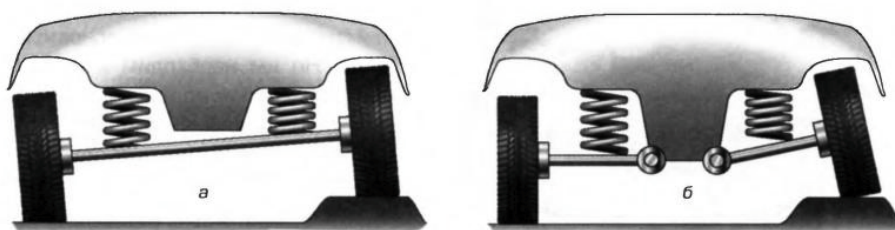


Рисунок 2.7 – Типы подвесок:

а – зависимая; б – независимая.

Зависимая подвеска имеет жесткую связь между левым и правым колесом, в результате чего перемещение одного из них в поперечной плоскости передается другому и вызывает наклон рамы.

Независимая подвеска характеризуется отсутствием жесткой связи между колесами одной оси. Каждое колесо подвешено к раме независимо от другого колеса. В результате при наезде одним колесом на неровности дороги колебания его не передаются другому колесу, уменьшается наклон кузова и повышается в целом устойчивость прицепа или полуприцепа при движении. На прицепах и полуприцепах в основном применяется зависимая подвеска.

На прицепах и полуприцепах применяются подвески с металлическим (обычно выполнен в виде рессоры), резиновым, пневматическим и гидравлическим упругим элементами. Разнообразны также подвески с комбинированными упругими элементами.

Рессорная подвеска применяется в основном на высококорамных полуприцепах. В отличие от легковых автомобилей, на грузовиках и прицепах рессоры (рисунок 2.8) расположены над мостом.

Рессоры принимают на себя нагрузку по всем направлениям — вертикальному, боковому, продольному, поэтому являются и демпфирующим, и несущим узлом. Других элементов в такой подвеске нет.

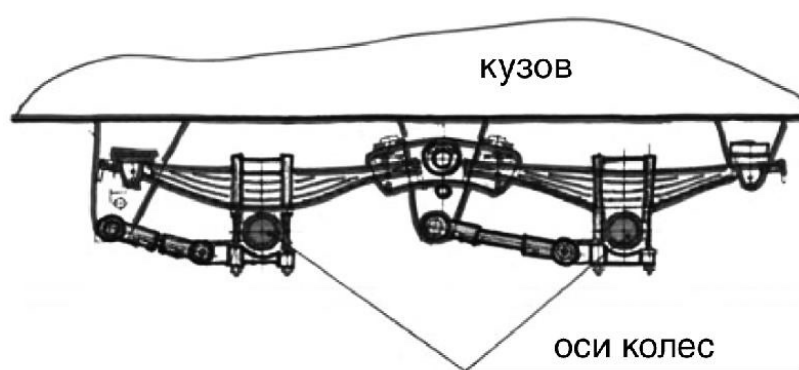


Рисунок 2.8 – Схема двухосной тележки полуприцепа с рессорно-балансирной подвеской

Часть прицепного состава имеет зависимую подвеску на продольных полуэллиптических рессорах (рисунок 2.9), используемую в основном на двухосных прицепах и одноосных полуприцепах.

Преимущество рессорной подвески — ее простота, дешевизна, надежность, устойчивость к тяжелым условиям работы — перегрузу, плохим дорогам. Недостатки — жесткость, что для многих грузов может быть критично, более сложное и дорогое по сравнению с пневмоподвеской обслуживание.

Повышение боковой устойчивости прицепного состава (в частности, фургонов) достигается за счет увеличения угловой жесткости подвески, расстояния между рессорами, установки стабилизаторов и амортизаторов.

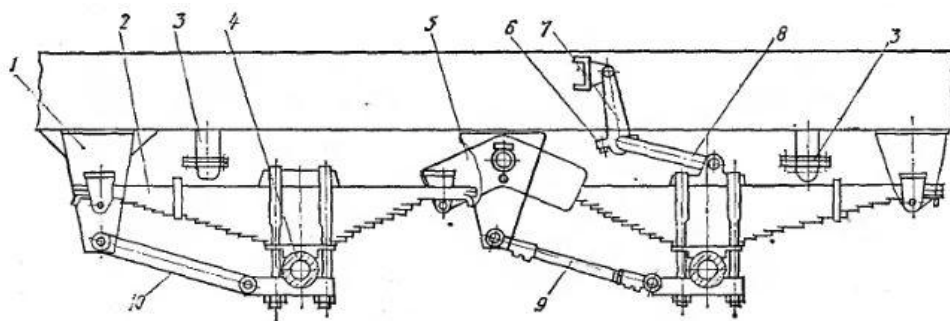


Рисунок 2.9 – Подвеска полуприцепа:

- 1 – кронштейн; 2 – рессора; 3 – резиновый буфер; 4 – передняя ось полуприцепа;
 5 – балансир; 6 – крышка; 7 – рычаг; 8 – стабилизатор; 9 – регулируемая штанга;
 10 – нерегулируемая штанга.

Пневматическая подвеска (рисунок 2.10) используется на низкорамных тралах и полуприцепах с пониженной рабочей платформой. Такой тип подвески обладает рядом преимуществ по сравнению с остальными типами. Эти преимущества состоят в следующем:

- возможности автоматического регулирования жесткости и динамического хода подвески в соответствии с условиями нагружения;
- снижении центра тяжести разгруженного автопоезда и повышении его устойчивости;
- снижении массы подвижного состава на 10-15 %;
- повышении долговечности подвески и подвижного состава;

- дешевизне расходных материалов;
- лучшей ремонтпригодности.

В такой подвеске (рисунок 2.11) рама полуприцепа соединяется с мостом пневмоподушкой – резиновым упругим элементом, в котором компрессором поддерживается высокое давление. Подушки обеспечивают только демпфирование, но не жесткую связь осей с кузовом, поэтому в подвеску входят также так называемые полурессоры — фактически реактивные тяги, воспринимающие тяговые и тормозные усилия. Раскачку на неровностях гасят установленные диагонально амортизаторы — масляные, либо газомасляные.



Рисунок 2.10 – Пневматическая подвеска

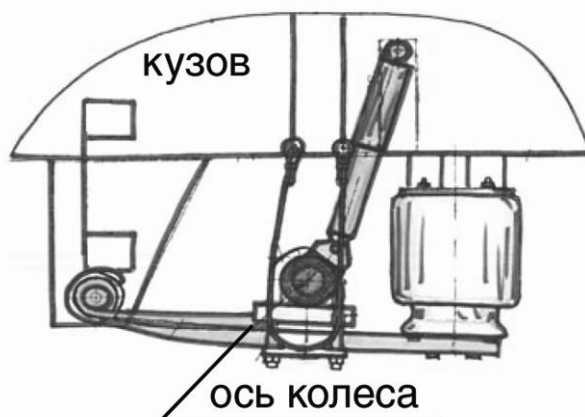


Рисунок 2.11 – Схема пневмоподвески одной из осей трехосной тележки полуприцепа

Исследованиями и опытом эксплуатации автомобилей и прицепных звеньев, оборудованных пневматической подвеской, установлено, что размещать пневматические элементы целесообразно не над осью, а спереди или сзади нее. При этом значительно снижается амплитуда колебания кузова, а также и действующие на него ускорения.

В некоторых случаях упругие элементы пневматической подвески используют для подъема или опускания кузова прицепа с целью облегчения погрузочно-разгрузочных работ или оси с целью экономии топлива на не груженом прицепе и сохранении шины на колесах приподнятой оси.

В конструкции пневмоподвески предусмотрен страховочный трос — в случае разрыва пневмоподушки (такое может случиться на плохих дорогах и перегруженных полуприцепах) он удерживает ось от чрезмерного смещения.

Гидравлическая подвеска применяется главным образом на сверхтяжелых полуприцепах-тяжеловозах.

Преимущества данной подвески заключаются в следующем:

- снижении нагрузки на седельно-сцепное устройство тягача;
- регулировании погрузочной высоты при загрузке и перевозке техники;
- наилучшей плавности хода;
- Недостатки: дороговизна

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		29

3 ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОНЖЕРОНОВ РАМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЦЕПНЫХ ТРАНСПОРТ-НЫХ СРЕДСТВ

Разберем возможно ли с помощью геометрических параметров лонжеронных рам повлиять на характеристики прицепных транспортных средств и на их стоимость. При этом производится уточненный расчет рамы полуприцепа и определяются, распределение эквивалентных напряжений, запасов прочности по основным деталям рамы, а также максимальные перемещения рамы, согласно схеме нагружения (рисунок 3.1).

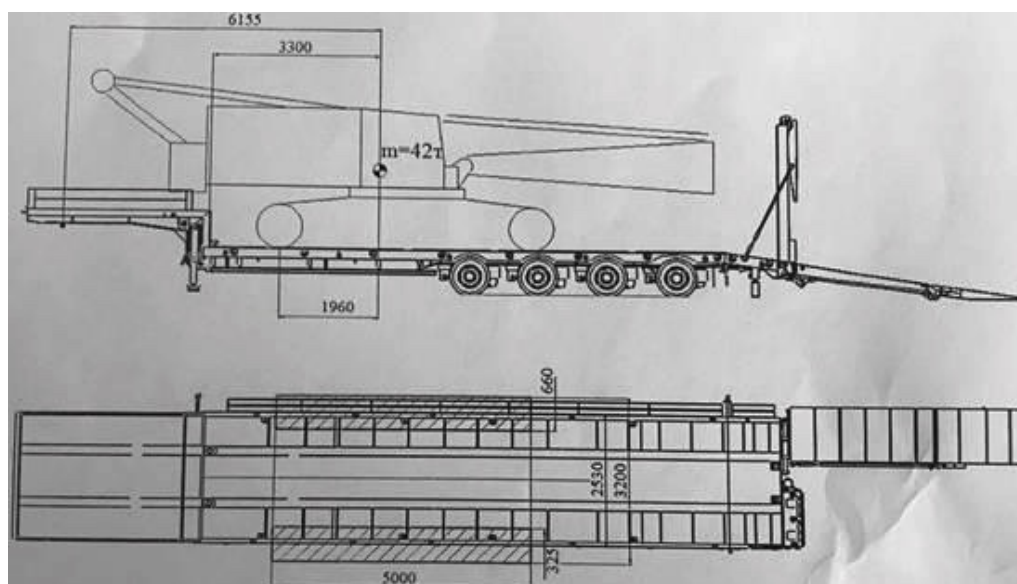


Рисунок 3.1 – Схема нагружения

Суть оптимизации данной конструкции заключается в снижении массы рамы полуприцепа 94184-30-1Е, причем распределение марок сталей по основным деталям рамы задано (рисунок 3.2). Модернизированную раму обозначим N94184-30-1Е, меняя в ней геометрию некоторых основных деталей, используя те же марки сталей, но, возможно, в другом распределении по деталям, должны получить запасы прочности по основным её деталям удовлетворяющие критериям, описанным ниже.

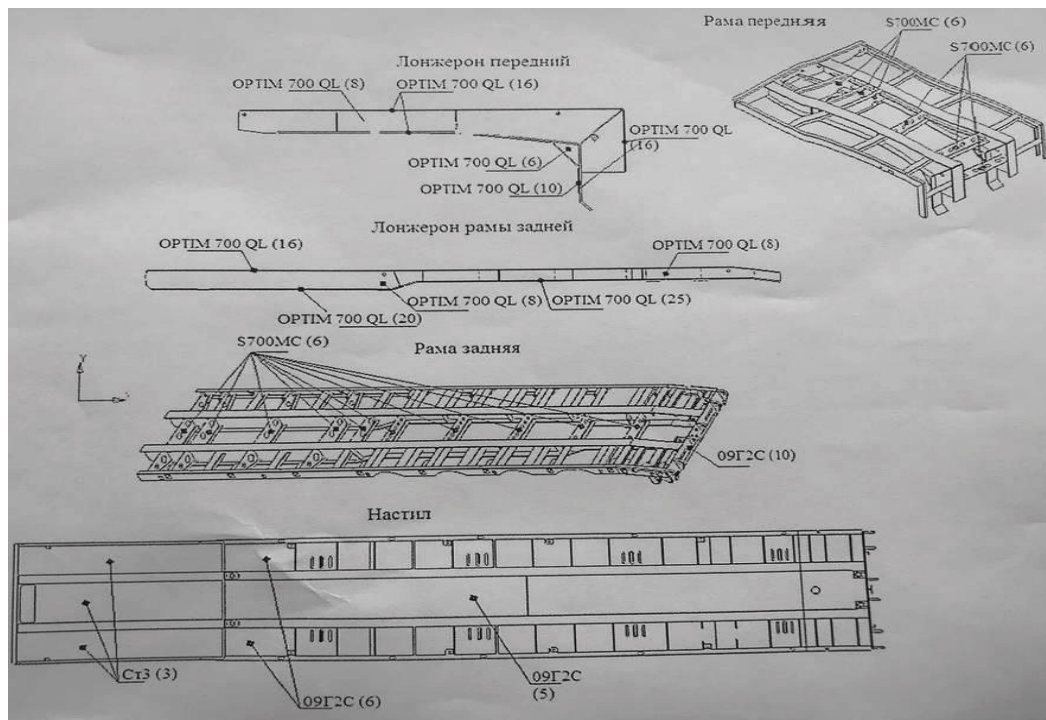


Рисунок 3.2 – Распределение марок сталей по деталям рамы
полуприцепа 94184-30-1Е

3.1 Критерии оценки результатов

В машиностроении традиционно работоспособность конструкций оценивается по предельным напряженным состояниям. Предельным состоянием материала будем считать такое напряженное состояние, которое соответствует либо началу его разрушения, либо началу необратимой деформации в нем. Вводится численная характеристика работоспособности запас прочности, который для исследуемых вариантов рамы полуприцепа вычисляется по формулам:

$$n_T = \frac{\sigma_T}{K_d \sigma_{\Sigma}} \quad (3.1)$$

В случае если для работоспособности конструкции в целом критично формоизменение данного узла (сюда можно отнести кронштейны подвески, лонжероны над подвеской, щеки оси трапа, гнездо шкворня и сам шкворень, то есть узлы, при необратимой деформации которых нарушится кинематика подъема трапа, подвески или сцепки):

$$n_B = \frac{\sigma_B}{K_d \sigma_3} \quad (3.2).$$

где σ_3 – эквивалентные напряжения в статике.

В случае если формоизменение узла не приводит к нарушению работоспособности конструкции в целом, но конструкция перестает нормально функционировать, если данный узел разрушится (сюда можно отнести боковой лонжерон, листы настила, поперечины).

Прочностные характеристики применяемых сталей приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Прочностные характеристики

Сортамент	Марка стали	σ_B, min	σ_T	σ_{-1} при изгибе
лист 3	Ст3пс	370	245	0,43 σ_B
лист 4	09Г2С	490	345	235
лист 5	09Г2С	490	345	235
лист 6	09Г2С	490	345	235
лист 6	S700MS	750	700	0,43 σ_B
лист 8	09Г2С	490	345	235
лист 8	OPTIM 700QL	750	700	0,43 σ_B
лист 10	09Г2С	490	345	235
лист 10	S700MS	750	700	0,43 σ_B
лист 12	S700MS	750	700	0,43 σ_B
лист 12	09Г2С	470	325	235
лист 16	09Г2С	470	325	235
лист 16	S700MS	750	700	0,43 σ_B
лист 20	09Г2С	470	325	235
лист 20	S700MS	750	700	0,43 σ_B
лист 25	OPTIM 700QL	750	700	0,43 σ_B
лист 30	09Г2С	430	295	235
лист 40	09Г2С	450	265	235

3.2 Объект исследования

Исследовалась конструкторская модель рамы полуприцепа 94184-30-1Е массой 5710 кг эта модель обладает рядом особенностей не существенных для расчета и значительно затрудняющих его, поэтому конструкторскую модель пришлось упростить, удалив пять деталей №1, деталь №2 (рисунок 3.3), таким образом превратив её в расчетную модель массой 5593 кг.

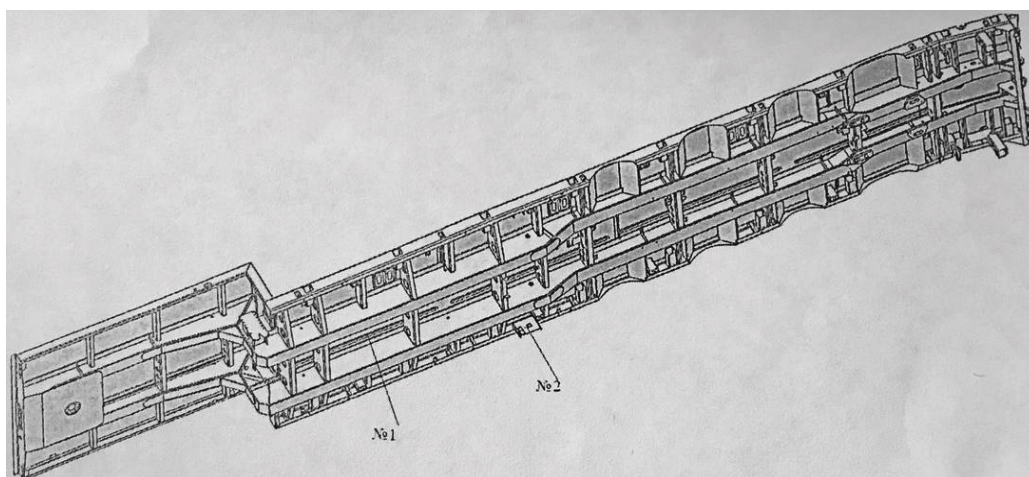


Рисунок 3.3 – Конструкторская модель рамы 94184-30-1Е

В дальнейшем исследовались две расчетные модели: рама 94184-30-1Е и рама N94184-30-1Е, которая отличается от предыдущей, в основном, толщиной листовых деталей (рисунок 3.4, рисунок 3.5).

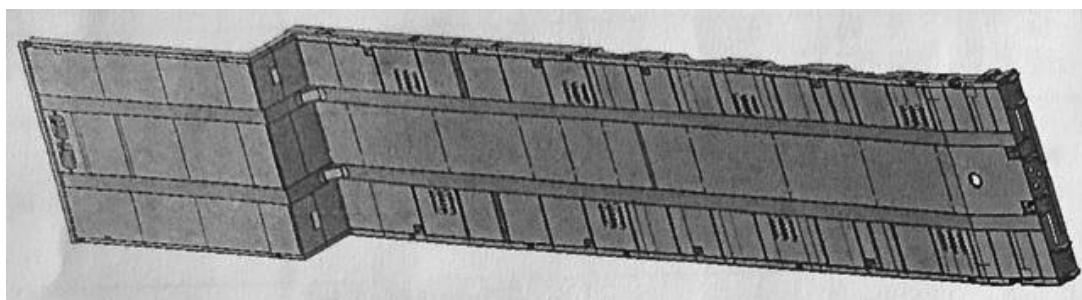


Рисунок 3.4 – Рама N94184-30-1Е (вид сверху)

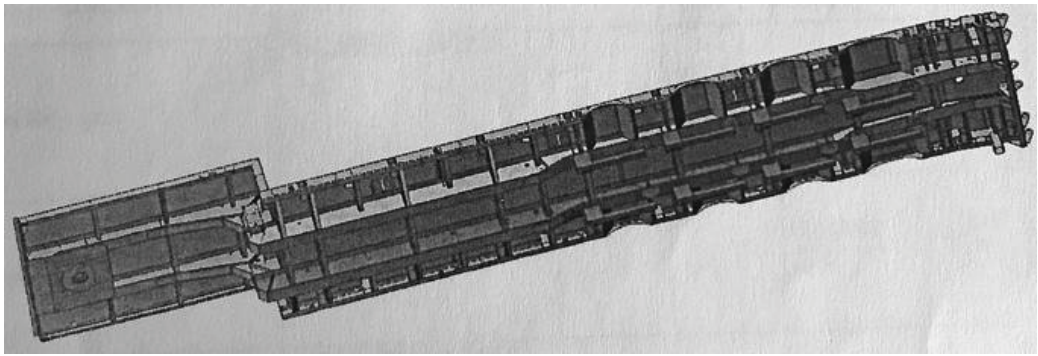


Рисунок 3.5 – Рама N94184-30-1E (вид снизу)

Замена представленных на рисунках деталей направлена на снижение материалоемкости путем либо замены материала, либо изменения толщины материала. При этом, указанные замены проведены с осуществлением предварительных расчётов и обеспечением целесообразного запаса прочности. В виду того, что по предварительным расчётам в детали – лонжерон наружный 184.30-2801054-001 (сталь 09Г2С) эквивалентные напряжения превышают предел временной прочности и составляют около 540МПа, для дальнейших оптимизационных расчетов за материал лонжерона взята сталь S700MC.

В таблице 3.2 приведен перечень деталей, геометрия которых в плане сохранена, но изменена толщина листов или марка используемого материала.

Таблица 3.2 – Сводка деталей измененной толщины.

№	Наименование	Кол-во	б,мм *	Марка стали*	М,кг*	ΔМ,кг
1	пластина шкворня	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{101}{101}$	0
2	настил задний	1	$\frac{5}{4}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{354}{283}$	71
3	настил задний боковой	2	$\frac{6}{5}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{598}{498}$	100
4	пластина	8	$\frac{10}{8}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{39}{31,2}$	7,8
5	поперечина рамы задняя	1	$\frac{10}{8}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{81}{65}$	16
6	поперечина №3 рамы	3	$\frac{6}{4}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{35}{28}$	7

7	поперечина №2 рамы	3	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{38,6}{32,1}$	6,5
8	усилитель пластины шкворня	2	$\frac{6}{5}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{16,3}{13,4}$	2,9
9	поперечина рамы наружная	8	$\frac{4}{3}$	$\frac{09Г2С}{Ст3 пС}$	$\frac{31,3}{23,5}$	7,8
10	поперечина №1 рамы	1	$\frac{6}{5}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{32,7}{27,3}$	5,4
11	настил вертикальный боковой	2	$\frac{5}{4}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{34}{28}$	6
12	настил вертикальный	1	$\frac{5}{4}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{24}{20}$	4
13	поперечина рамы №3	4	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{69}{57,6}$	11,4
14	поперечина рамы №4	6	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{81,4}{68}$	13,4
15	поперечины наружные задние	22	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{161}{134}$	27
16	поперечина рамы №1 наружная	8	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{81}{67,4}$	13,6
17	поперечина рамы №2 наружная	6	$\frac{6}{5}$	$\frac{S700MC}{09Г2С}$	$\frac{51}{42,5}$	8,5
18	обечайка	8	$\frac{6}{5}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{74,4}{62}$	12,4
19	обечайка задняя	8	$\frac{6}{5}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{74,4}{62}$	12,4
20	щека крепления трапа	4	$\frac{40}{20}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{34,4}{17,2}$	17,2
21	щека крепления трапа	2	$\frac{40}{20}$	$\frac{09Г2С}{09Г2С}$	$\frac{10,8}{5,4}$	5,4
22	полка лонжерона верхняя	2	$\frac{16}{12}$	$\frac{optim700}{S700MC}$	$\frac{791,6}{593,5}$	198,1
23	полка лонжерона нижняя	2	$\frac{20}{16}$	$\frac{optim700}{optim700}$	$\frac{265}{212}$	53
24	полка лонжерона нижняя	2	$\frac{25}{25}$	$\frac{optim700}{optim700}$	$\frac{422}{422}$	0
25	полка лонжерона нижняя	2	$\frac{25}{20}$	$\frac{optim700}{optim700}$	$\frac{209}{167}$	42

26	стенка лонжерона задняя	2	$\frac{8}{8}$	$\frac{optim700}{optim700}$	$\frac{187}{187}$	0
27	стенка лонжерона передняя	2	$\frac{8}{8}$	$\frac{optim700}{optim700}$	$\frac{139}{139}$	0
28	лонжерон наружный	2	$\frac{6}{6}$	$\frac{S700MC}{S700MC}$	$\frac{292}{292}$	0

* - в числителе данные по раме 94184-30-1E, в знаменателе по раме N94184-30-1E

В предложенной оптимизированной конструкции рамы суммарное снижение металлоемкости составило 649 кг.

3.3 Силы, действующие на раму полуприцепа

Для оценки действующих сил рассматривается процесс транспортировании жесткого неделимого груза со скоростью $V=45$ км/ч по горизонтальной булыжной мощеной дороге. Согласно ОСТ 37.001.291 - 84, допускаемое вертикальное виброускорение будет равно 3 м/с², следовательно, коэффициент динамики $K_d = 1 \pm 0,306$, (знак «+» ускорение направлено вниз, знак «-» ускорение направлено вверх). На раму действуют следующие силы (рисунок 3.6):

Активные силы - вес груза ($G_{\text{груз}}$) и вес снаряженного полуприцепа ($G_{\text{прицеп}}$), а также сила инерции пропорциональная коэффициенту динамики K_d .

Ввиду того, что при движении система является однопараметрической (параметр вертикальное ускорение, от которого зависят как перемещения узлов модели, так и напряжения в элементах) мы имеем право расчет НДС производить в условиях статического нагружения (без учета коэффициента динамики K_d). Коэффициент динамики учитывается при вычислении коэффициентов запаса прочности.

Таким образом, силы определяются следующей формулой:

$$G_{\text{груз}} = gM_{\text{груз}}, G_{\text{прицеп}} = gM_{\text{прицеп}}, \quad (3.3)$$

где $M_{\text{груз}}$ масса груза;

										Лист
										36
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ					

$M_{\text{прицеп}} = 12 \text{ т}$ масса снаряженного полуприцепа;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ускорение свободного падения.

Реактивные силы - силы реакции подвески полуприцепа (R_1, R_2, R_3, R_4) и седла тягача ($R_{\text{ссу}}$). Условием балансировки осей является: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$.

Тяговое усилие тягача (R_t), приложенное к гнезду шкворня и направленное вдоль продольной оси рамы определяется формулой:

$$R_t = \phi \cdot \lim R_{\text{ссу}}, \quad (3.4)$$

где $\phi = 0,6$ - коэффициент сцепления колес тягача с дорогой;

$\lim R_{\text{ссу}} = 18000 \text{ кгс}$ - предельная нагрузка на седло тягача.

$$0,6 \cdot 18000 \cdot 9,81 = 105948 \text{ (Н)}. \quad (3.4)$$

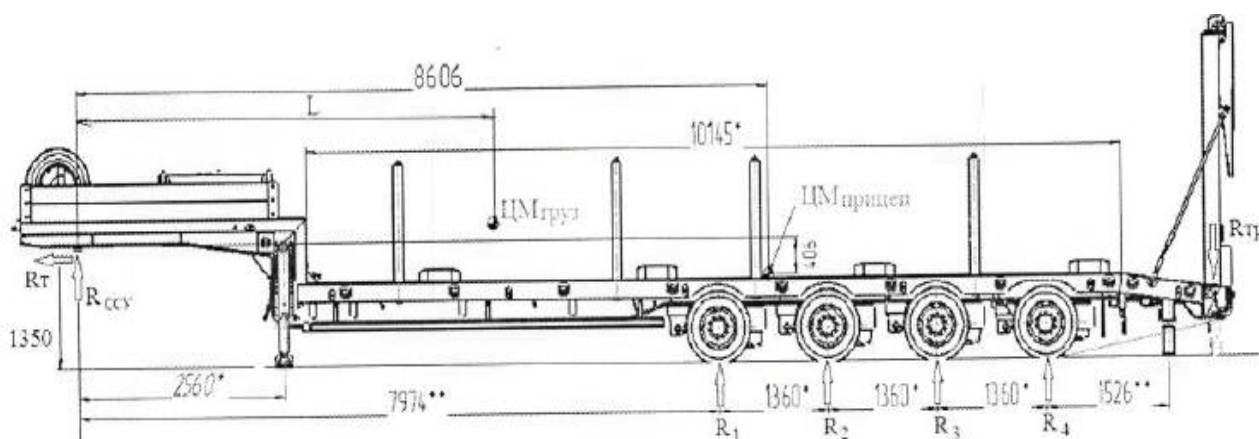


Рисунок 3.6 – Схема сил, действующих на раму полуприцепа 94184-03-1Е

При сходе груза (колесно-гусеничной техники) с трапа на платформу меняется характер сил, действующих на раму, в первую очередь на детали: «щека крепления трапа», «поперечина рамы задняя».

Основные допущения, принятые при расчете рамы:

а) груз и рама полуприцепа имеют продольную плоскость симметрии, также симметричны относительно этой плоскости массовые силы (тяжести инерции);

б) груз, установленный на полуприцепе, считается абсолютно жестким, неделимым, передающий нагрузку на раму через «пятно контакта», которое, имеет за-

										Лист
										37
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ					

прещенные степени свободы: перемещения вдоль координатных осей. Контуры пятна контакта груза с рамой приведены в соответствующих расчетных схемах.

Напряжено-деформированное состояние рам исследовалось в моделях 94184-30-1E и N94184-30-1E с помощью программного комплекса ANSYS Workbench-16.2, который автоматически разбивал каждую модель на 438298 конечных элементов, содержащих 1206963 узлов. В ходе решения определялись и визуализировались перемещения узлов и эквивалентные напряжения в конечных элементах.

3.4 Результаты расчетов

Расчёт проведен для наиболее нагруженной рамы полуприцепа по схеме нагружения №3, согласно расчетной схемы (рисунок 3.7).

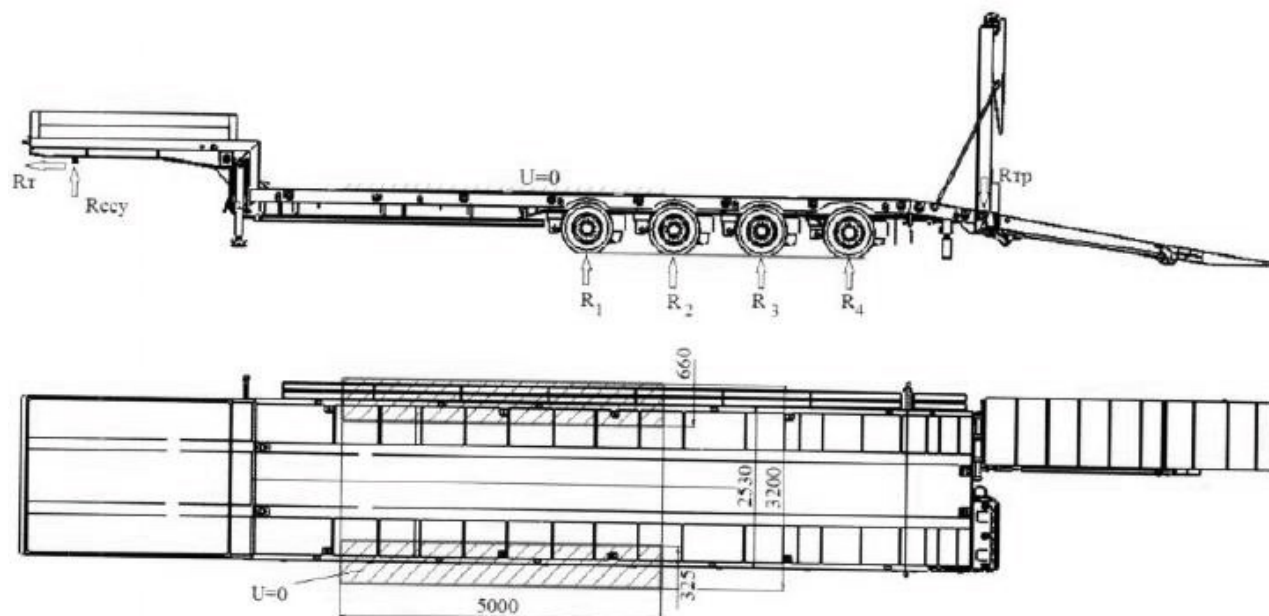


Рисунок 3.7 – Расчетная схема №3

Согласно расчётной схеме, под комплексом действующих нагрузок:

$$R_{csy} = 169119(\text{H}), R_1 = 94054,6(\text{H}), R_t = 105948(\text{H}), R_{tr} = 15598(\text{H}).$$

Определяются эквивалентные напряжения в конечных элементах, также взаимные вертикальные перемещения узлов модели рамы относительно пятна контакта $U=0$ (синяя штрихованная область на рисунок 3.7) зона сопряжения груза с рамой полуприцепа.

											Лист
											38
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ						

Результаты расчёта в виде полей напряжений базовой конструкции рамы полуприцепа 94184-30-1Е по схеме №3 представлены на рисунках 3.83.11.

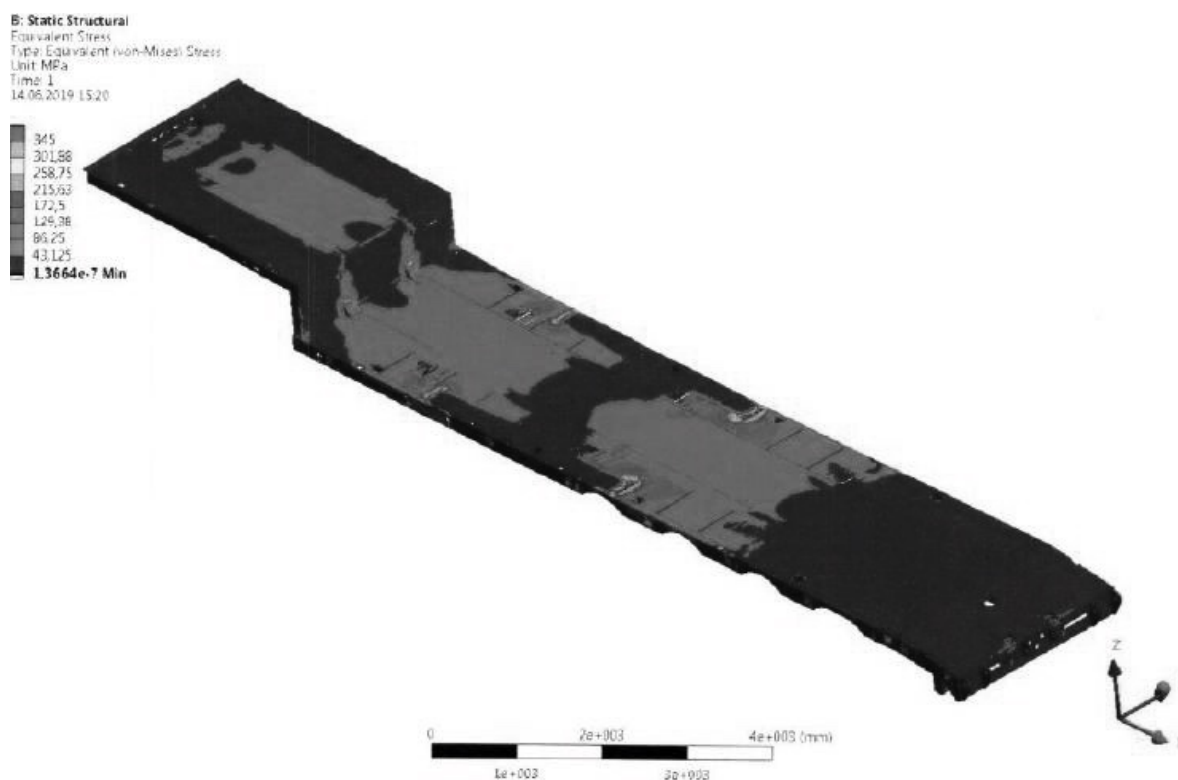


Рисунок 3.8 – Напряжения в раме 94184-30-1Е вид сверху (схема №3)

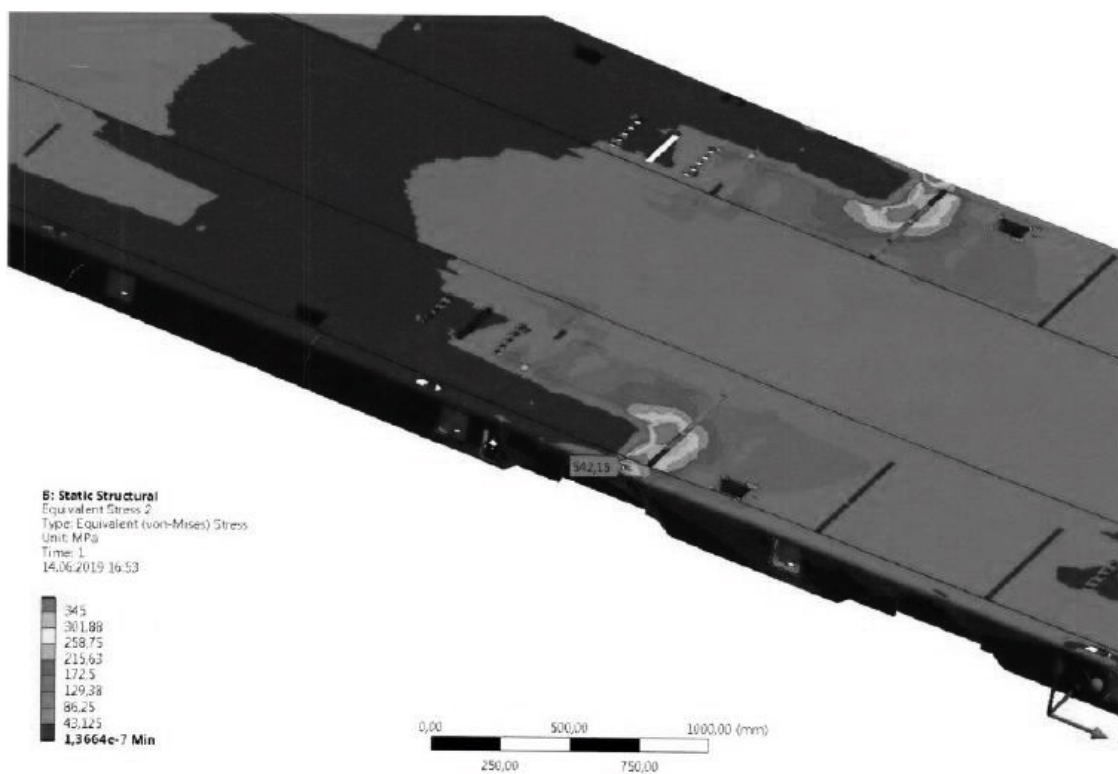


Рисунок 3.9 – Максимальные напряжения (542,15МПа) в раме 94184-30-1Е, вид сверху, фрагмент (схема №3)



Рисунок 3.10 – Напряжения в раме 94184-30-1E вид снизу (схема №3)

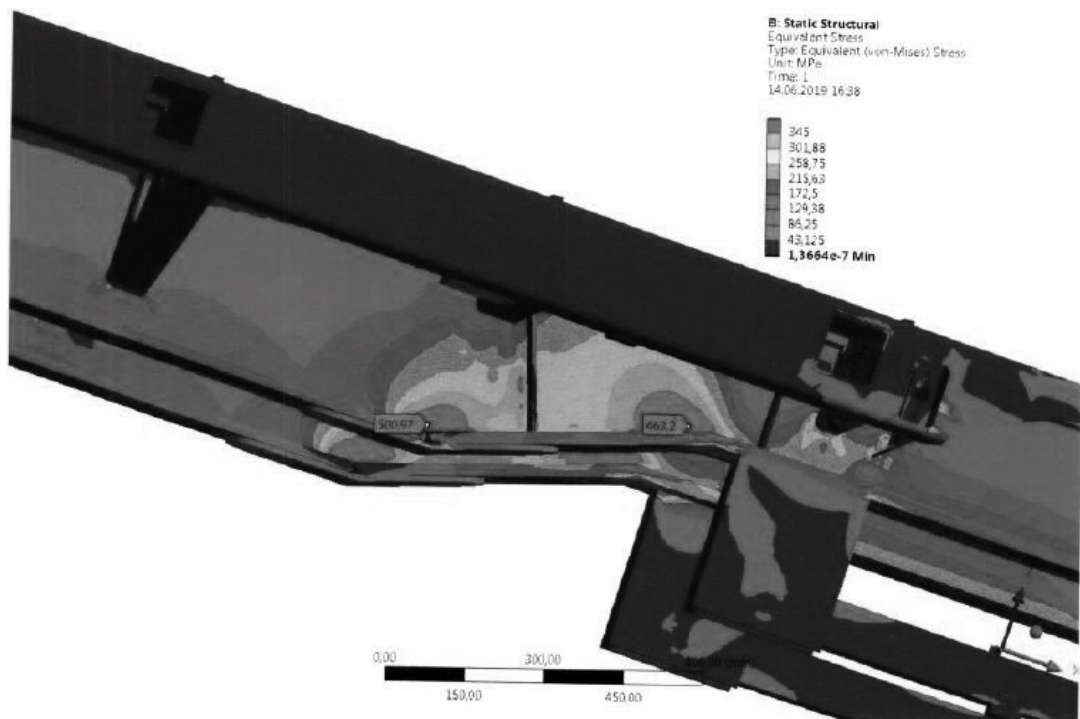


Рисунок 3.11 – Максимальные напряжения (500,97МПа) в раме 94184-30-1E, вид снизу, фрагмент (схема №3)

Результаты расчёта показателей эквивалентных напряжений, запасов прочности с учетом коэффициента динамики и критерия оценки для элементов конст-

рукции базовой рамы 94184-30-1Е и оптимизированной по массе рамы полуприцепа N94184-30-1Е представлены в таблице 3.3(схема нагружения №3).

Таблица 3.3 – Сводка максимальных эквивалентных напряжений и запасов прочности по элементам рамы

№	Наименование	Max σ_z , МПа статическое **	Запас прочности с учетом Кд **	Критерий
1	пластина шкворня	$\frac{126}{128}$	$\frac{2,09}{2,06}$	n_T
2	настил задний	$\frac{174}{193}$	$\frac{2,15}{1,94}$	n_B
3	настил задний боковой	$\frac{307}{375}$	$\frac{1,22}{1,00}$	n_B
4	пластина	$\frac{315}{330}$	$\frac{1,19}{1,13}$	n_B
5	поперечина рамы задняя	$\frac{90}{112}$	$\frac{2,93}{2,35}$	n_T
6	поперечина № 3 рамы	$\frac{50}{67}$	$\frac{11,48}{4,31}$	n_B
7	поперечина № 2 рамы	$\frac{160}{197}$	$\frac{3,58}{1,90}$	n_B
8	усилитель пластины шкворня	$\frac{81}{87}$	$\frac{3,26}{3,03}$	n_T
9	поперечина рамы наружная	$\frac{376}{438}$	$\frac{0,99}{0,85}$	Концентрация
10	поперечина № 1 рамы	$\frac{178}{329}$	$\frac{2,10}{1,14}$	n_B
11	настил вертикальный боковой	$\frac{93}{103}$	$\frac{4,03}{3,64}$	n_B
12	настил вертикальный	$\frac{24}{30}$	$\frac{15,64}{12,50}$	n_B
13	поперечны № 3 рамы	$\frac{106}{122}$	$\frac{5,41}{3,07}$	n_B
14	поперечины № 4 рамы	$\frac{162}{270}$	$\frac{3,15}{1,38}$	n_B
15	поперечины рамы № 1 наружная	$\frac{246}{260}$	$\frac{2,33}{1,44}$	n_B
16	поперечины рамы № 2 наружная	$\frac{228}{330}$	$\frac{2,51}{1,13}$	n_B
17	обечайка	$\frac{48}{51}$	$\frac{7,81}{7,35}$	n_B

18	обечайка задняя	$\frac{68}{67}$	$\frac{5,51}{2,33}$	n_B
19	щека крепления трапа	$\frac{160}{233}$	$\frac{1,65}{1,39}$	n_T
20	щека крепления трапа	$\frac{160}{233}$	$\frac{1,65}{1,39}$	n_T
21	полка лонжерона верхняя	$\frac{177}{207}$	$\frac{3,02}{2,58}$	n_T
22	полка лонжерона нижняя	$\frac{279}{293}$	$\frac{1,92}{1,82}$	n_T
23	полка лонжерона нижняя	$\frac{530}{530}$	$\frac{1,01}{1,01}$	n_T
24	полка лонжерона нижняя	$\frac{78}{104}$	$\frac{6,87}{5,15}$	n_T
25	стенка лонжерона задняя	$\frac{500}{525}$	$\frac{1,07}{1,02}$	n_T
26	стенка лонжерона передняя	$\frac{216}{264}$	$\frac{2,48}{2,03}$	n_T
27	лонжерон наружный	$\frac{541}{551}$	$\frac{1,06}{1,04}$	n_B

* *Примечание. Концентрация напряжения обусловлена вырезом в поперечине под угол полки лонжерона гусака (рис. 3.12). В реальной раме вырез будет заварен.*

** *в числителе данные по раме 94184-30-1E, в знаменателе по раме N94184-30-1E.*

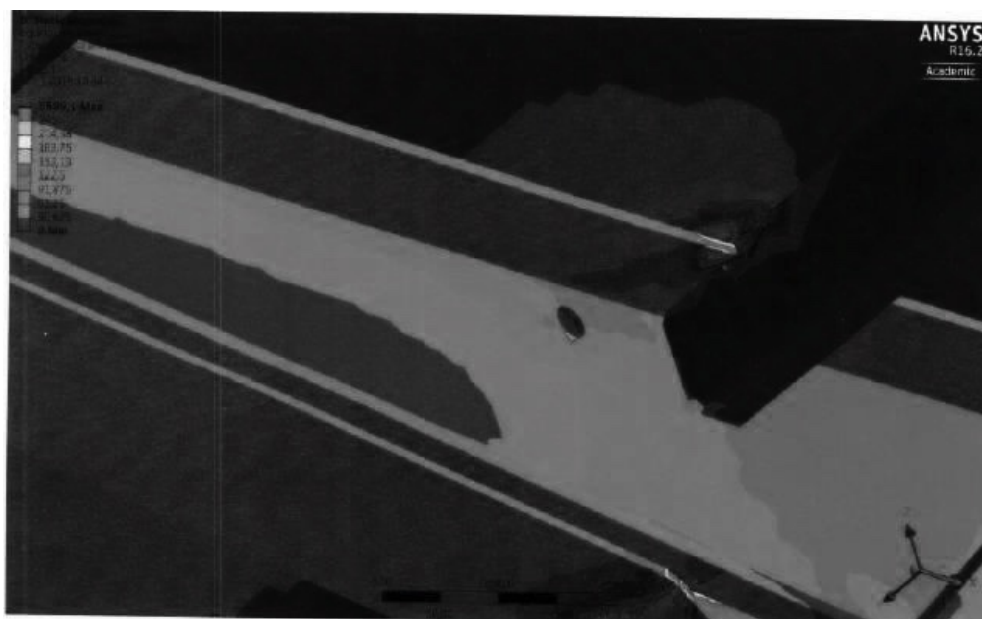


Рисунок 3.12 – Концентрация напряжения в поперечине рамы наружной

Вертикальное перемещение узлов модели рамы относительно пятна контакта с грузом. Прогиб рамы относительно шкворня (рисунок 3.13).

Таблица 3.4 – Вертикальные перемещения U (мм) точек рамы.

На нижней полке основного лонжерона, над	94184-30-1E	N94184-30-1E
пневмоподушкой 1-й колесной оси	9	17
пневмоподушкой 2-й колесной оси	27	41
пневмоподушкой 3-й колесной оси	48	69
пневмоподушкой 4-й колесной оси	70	98
гнездо шкворня	64	70

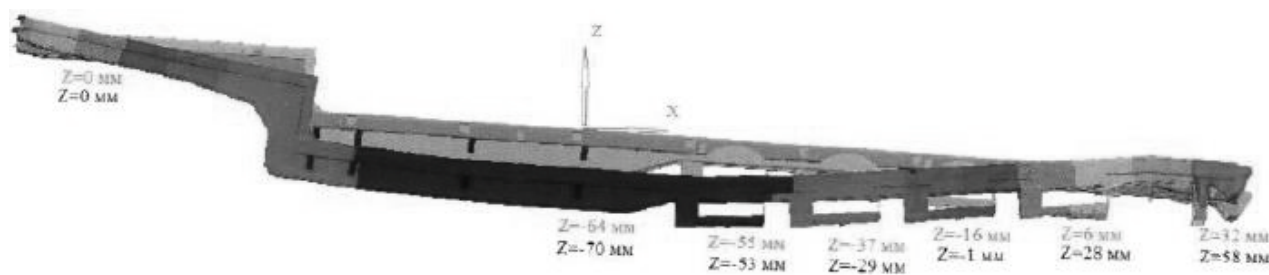


Рисунок 3.13 – Прогиб рамы (схема №3)

Максимальные перемещения в лонжероне рамы оцениваются величиной рабочего хода подвески. Максимальный прогиб рамы, над последней пневмоподушкой, меньше ее динамического рабочего хода - 110 мм.

Для оценки несущей способности рамы полуприцепа при заезде техники рассмотрен дополнительный расчётный случай, согласно схемы нагружения (рисунок 3.14).

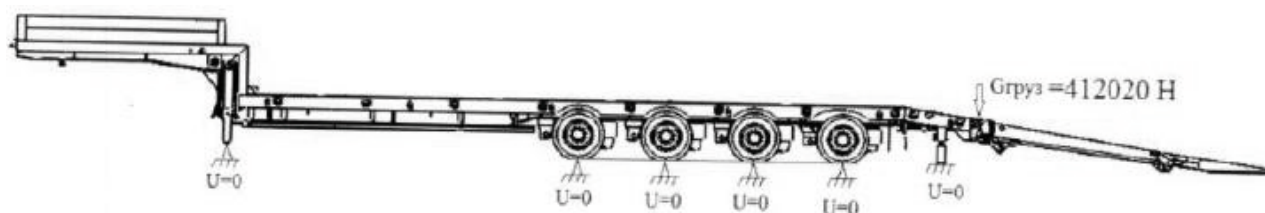


Рисунок 3.14 – Расчетная схема №3(заезд техники)



Рисунок 3.15 – Максимальное напряжение (418,67 МПа) в раме 94184-30-1Е
Расчетная схема №3 (заезд техники)

3.5 Проверочный расчет оптимизированной рамы

Проведен проверочный расчёт рама N94184-30-1Е на силовое воздействие при перевозке других грузов (схема №1 и схема №2), отличающихся характером и расположением пятна контакта груза с рамой.

Результаты проверочных расчётов оптимизированной рамы полуприцепа (рисунок 3.16, рисунок 3.17) и (таблица 3.5, таблица 3.6).

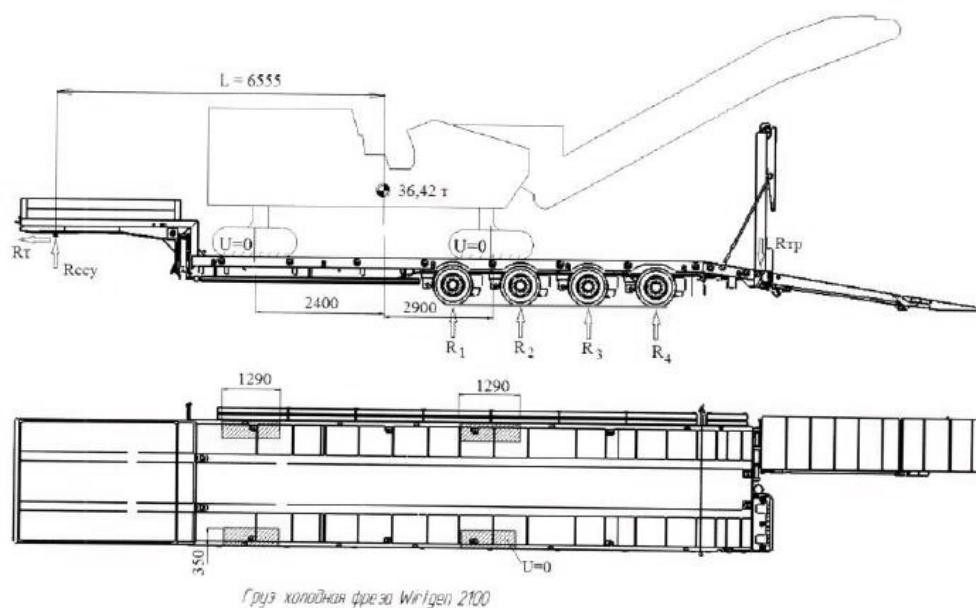


Рисунок 3.15 – Расчетная схема №1

									Лист
									44
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ				

Согласно расчётной схеме №1 на раму действует комплекс нагрузок: $R_{\text{ссу}} = 133754$ (Н), $R_1 = 89211$ (Н), $R_T = 105948$ (Н), $R_{\text{ТР}} = 15598$ (Н). Вертикальные перемещения узлов модели на пятне контакта $U = 0$ (синяя штрихованная область).

Результаты расчёта показателей эквивалентных напряжений, запасов прочности с учетом коэффициента динамики и критерия оценки для элементов конструкции оптимизированной по массе рамы полуприцепа №4184-30-1Е для схемы нагружения №1 представлены в таблице 3.5 (схема нагружения №1, проверочный расчёт).

Таблица 3.5 – Сводка эквивалентных напряжений и запасов прочности по деталям рамы полуприцепа N94184-30-1Е

№	Наименование	Max $\sigma_{\text{э}}$, МПа статическое	Запас прочности с учетом Кд	Критерий
1	Пластина шкворня	74	3,65	n_{Γ}
2	Настил задний	100	3,75	$n_{\text{в}}$
3	Настил задний боковой	341	1,10	$n_{\text{в}}$
4	Пластина	284	1,32	$n_{\text{в}}$
5	Поперечина рамы задняя	96	2,75	n_{Γ}
6	Поперечина № 3 рамы	47	7,98	$n_{\text{в}}$
7	Поперечина № 2 рамы	162	2,31	$n_{\text{в}}$
8	Усилитель пластины шкворня	83	3,18	n_{Γ}
9	Поперечина рамы наружная	267	1,40	Концентр. $n_{\text{в}}$
10	Поперечина № 1 рамы	200	1,87	$n_{\text{в}}$
11	Настил вертикальный боковой	102	3,67	$n_{\text{в}}$
12	Настил вертикальный	30	12,50	$n_{\text{в}}$
13	Поперечны № 3 рамы	84	4,46	$n_{\text{в}}$
14	Поперечины № 4 рамы	306	1,22	$n_{\text{в}}$
15	Поперечины рамы № 1 наружная	211	1,77	$n_{\text{в}}$
16	Поперечины рамы № 2 наружная	353	1,06	$n_{\text{в}}$
17	Обечайка	81	4,63	$n_{\text{в}}$

18	Обечайка задняя	117	3,20	n_B
19	Щека крепления трапа	150	1,65	n_T
20	Щека крепления трапа	201	1,23	n_T
21	Полка лонжерона верхняя	172	3,11	n_T
22	Полка лонжерона нижняя	145	3,69	n_T
23	Полка лонжерона нижняя	183	2,92	n_T
24	Полка лонжерона нижняя	44	12,18	n_T
25	Стенка лонжерона задняя	450	1,19	n_T
26	Стенка лонжерона передняя	141	3,80	n_T
27	Лонжерон наружный	415	1,29	n_B

Прогиб рамы полуприцепа относительно шкворня (рисунок 3.17).

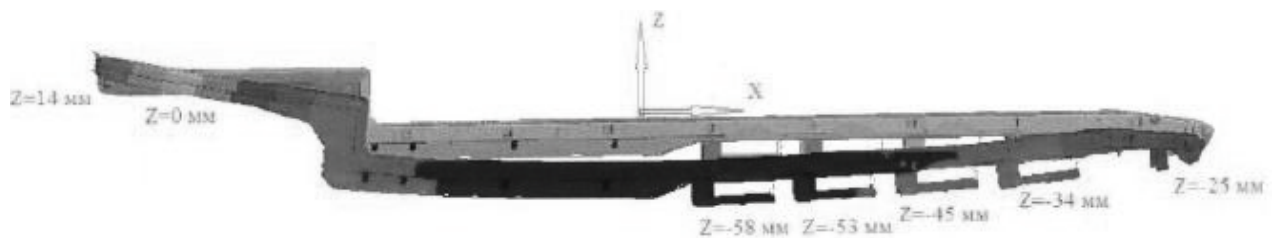
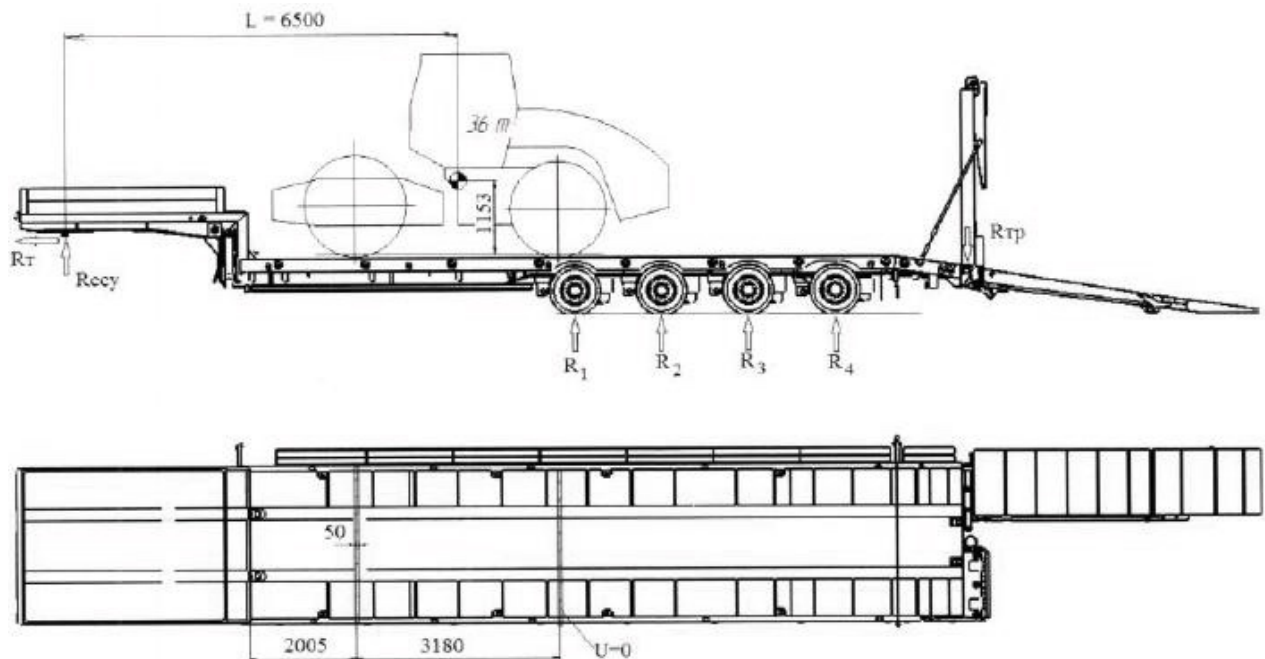


Рисунок 3.17 – Прогиб рамы N94184-30-1E (схема нагружения №1)



Груз каток грунтовой Ватаг ВВ-236

Рисунок 3.18 – Расчетная схема №2

Согласно расчётной схеме №2 на раму действует комплекс нагрузок: $R_{ссу} = 134270$ (Н), $R_1 = 88052$ (Н), $R_T = 105948$ (Н), $R_{TP} = 15598$ (Н). Вертикальные перемещения узлов модели на пятне контакта $U = 0$ (синяя штрихованная область).

Результаты расчёта показателей эквивалентных напряжений, запасов прочности с учетом коэффициента динамики и критерия оценки для элементов конструкции оптимизированной по массе рамы полуприцепа N94184-30-1E для схемы нагружения №2 представлены в таблица 3.6. (схема нагружения №2, проверочный расчёт)

Таблица 3.6 – Сводка эквивалентных напряжений и запасов прочности по деталям рамы полуприцепа N94184-30-1E

№	Наименование	Max σ_{Σ} , МПа статическое	Запас прочности с учетом Кд	Критерий
1	пластина шкворня	63	4,19	n_T
2	настил задний	320	1,17	n_B
3	настил задний боковой	330	1,13	n_B
4	пластина	308	1,21	n_B
5	поперечина рамы задняя	98	2,69	n_T
6	поперечина № 3 рамы	40	9,37	n_B
7	поперечина № 2 рамы	178	2,10	n_B
8	усилитель пластины шкворня	78	3,38	n_T
9	поперечина рамы наружная	285	1,31	Конце. n_B
10	поперечина № 1 рамы	179	2,09	n_B
11	настил вертикальный боковой	89	4,21	n_B
12	настил вертикальный	25	15,00	n_B
13	поперечны № 3 рамы	160	2,34	n_B
14	поперечины № 4 рамы	86	4,36	n_B

Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата
-----	------	---------	-------	------

23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ

Лист

47

15	поперечины рамы № 1 наружная	75	5,00	n _в
16	поперечины рамы № 2 наружная	145	2,58	n _в
17	обечайка	30	12,50	n _в
18	обечайка задняя	133	2,82	n _в
19	щека крепления трапа	150	1,65	n _т
20	щека крепления трапа	210	1,18	n _т
21	полка лонжерона верхняя	445	1,20	n _т
22	полка лонжерона нижняя	213	2,51	n _т
23	полка лонжерона нижняя	490	1,09	n _т
24	полка лонжерона нижняя	50	10,71	n _т
25	стенка лонжерона задняя	390	1,37	n _т
26	стенка лонжерона передняя	270	1,98	n _т
27	лонжерон наружный	300	1,91	n _в

Прогиб рамы полуприцепа относительно шкворня (рисунок 3.19)

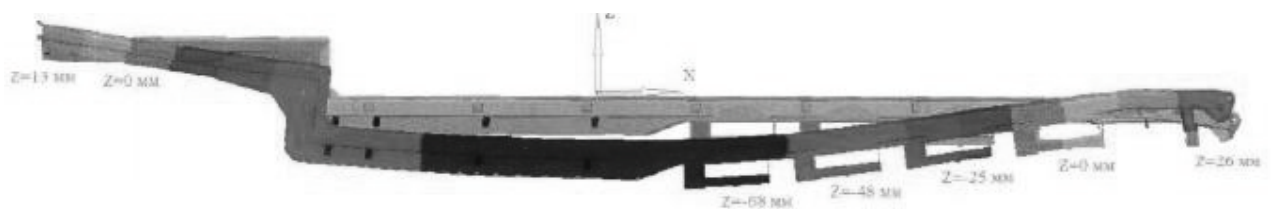


Рисунок 3.19 – Прогиб рамы N94184-30-1E (схема нагружения №2)

4 РАСЧЁТ ЭФФЕКТА ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОЁМКОСТИ ПОЛУПРИЦЕПА В ДЕНЕЖНОМ ВЫРАЖЕНИИ

В ходе произведенного исследования были получены основные результаты влияния конструктивных параметров рамы прицепного транспортного средства, а именно на примере четырехосного полуприцепа на его эксплуатационные характеристики, а также оценка экономического эффекта снижения материалоемкости.

Результаты анализа экономического эффекта от снижения материалоемкости при оптимизации рамы 94184-30-1Е представлены в таблице 4.1 и таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Сравнительная таблица сортамента и массы применяемых стальных листов в силовых деталях базовой и оптимизированной конструкции.

№	Сортамент	Марка стали	Масса применяемого сортамента, кг	
			Рама 94184-30-1Е (исходная)	Рама N94184-30-1Е (оптимизир.)
1	лист 3	Ст3пс	163,8	187,3
2	лист 4	09Г2С	31,3	359,0
3	лист 5	09Г2С	412,0	1064,3
4	лист 6	09Г2С	795,8	0
5	лист 6	S700MS	809,0	292,0
6	лист 8	09Г2С	0	96,2
7	лист 8	ОПТИМ 700 QL	500,4	500,4
8	лист 10	09Г2С	221,0	101,0
9	лист 12	S700MS	0	593,5
10	лист 16	ОПТИМ 700 QL	968,3	388,7
11	лист 20	09Г2С	0	22,6
12	лист 20	ОПТИМ 700 QL	265,0	167,0
13	лист 25	ОПТИМ 700 QL	631,0	422,0
14	лист 40	09Г2С	45,2	0
ИТОГО			4842,8	4194,0

Таблица 4.2 – Сравнение сортамента, массы и стоимости применяемых стальных листов в силовых деталях базовой и оптимизированной конструкции.

№	Сортмент	Марка стали	Цена руб./кг	Цена руб./кг (подтвержденная документально)	Масса, кг		Стоимость материалов, кг	
					Рама 94184-30-1E масса, кг (исх.)	Рама N94184-30-1E масса, кг (оптимиз.)	Рама 94184-30-1E масса, кг (исх.)	Рама N94184-30-1E масса, кг (оптимиз.)
1	Лист 3	СтЗпс	38,13	37,42	163,8	187,3	6128,7	7008,0
2	Лист 4	09Г2С	35,87	39,08	31,3	359,0	1223,3	14030,8
3	Лист 5	09Г2С	35,87	40,00	412,0	1064,3	16480,0	42572,0
4	Лист 6	09Г2С	35,92	39,08	795,8	0,0	31102,3	0,0
5	Лист 6	S700MS	66,86	70,07	809,0	292,0	56683,4	20459,3
6	Лист 8	09Г2С	35,92	40,33	0,0	96,2	0,0	3879,6
7	Лист 8	ОПТИМ 700 QL	66,86	-	500,4	500,4	33456,7	33459,4
8	Лист 10	09Г2С	35,92	39,33	221,0	101,0	8692,6	3972,6
9	Лист 12	S700MS	66,86	-	0,0	593,5	0,0	39681,4
10	Лист 16	ОПТИМ 700 QL	80,58	83,13	968,3	388,7	80489,9	32307,4
11	Лист 20	09Г2С	36,67	41,54	0,0	22,6	0,0	938,7
12	Лист 20	ОПТИМ 700 QL	80,58	83,13	265,0	167,0	22028,1	13881,9
13	Лист 25	ОПТИМ 700 QL	82,68	83,13	631,0	422,0	52451,9	35078,8
14	Лист 40	09Г2С	37,02	39,67	45,2	0,0	1792,9	0,0
ИТОГО					4842,8	4194,0	310529,9	247269,8

$\Delta = 63\ 260,1$ рублей

Результат оценки экономического эффекта от снижения объема материалов, используемых для изготовления одной единицы изделия (рамы полуприцепа 94184-30-1E) в денежном выражении составил 63 260,1 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения исследований по выявлению влияния геометрических параметров основных деталей несущей системы полуприцепа на его эксплуатационные характеристики, удалось выяснить, что для заданных условий, а именно, расчетной схемы №3, отражающей процесс транспортирования жесткого неделимого груза массой 42 т со скоростью $V=45$ км/ч по горизонтальной булыжной мощеной дороге с учетом вертикального коэффициента динамики $K_d = 1,306$, удалось снизить массу рамы полуприцепа 94184-30-1Е на 649 кг.

Кроме того, в следующих деталях:

- поперечина №3 рамы;
- поперечина №2 рамы;
- поперечина №3 рамы;
- поперечина №4 рамы;
- поперечина рамы №1 наружная;
- поперечина рамы №2 наружная;
- полка лонжерона верхняя.

Дорогую сталь S700MC общей массой 517 кг предложено заменить на более дешёвую сталь 09Г2С общей массой 408 кг с сохранением прочностных свойств деталей.

Оптимизация несущей системы полуприцепа достигнута за счет уменьшения толщины большинства листовых деталей и более рационального распределения марок высокопрочных сталей, с сохранением при этом прочностных свойств рамы.

Запас прочности деталей до формоизменения $n_T > 1$ сохранен для следующих узлов:

- крепления осей трапа;
- крепления шкворневого гнезда;
- крепления кронштейнов подвески,
- лонжерона основного.

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		51

Запас прочности деталей до разрушения $n_e > 1$ сохранен для следующих уз-

ЛОВ:

- настила;
- поперечин;
- наружного лонжерона.

Работоспособность оптимизированного варианта рамы дополнительно подтверждена проверочными расчетами с использованием расчетных схем №1 и №2.

Экономический эффект от снижения материалоемкости рамы полуприцепа 94184-30-1Е составил 63 260,1 рублей.

					23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		52

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев Д. В., Грифф М. И. Автопоезда Электронные библиотеки: Учебное пособие для водителей. М. Транспорт, 1990 – 213 с.
2. 20 лет – это только начало! [Электронный ресурс]. – 2020 – URL: <http://os1.ru/article/24962-v-etom-godu-kompaniya-politrans-otmechaet-20-letniy-yubiley-20-let-eto-tolko-nachalo> (дата обращения 01.04.2020).
3. Стратегия развития предприятия [Электронный ресурс]. – 2009 – URL: https://www.stud24.ru/organization-economy/strategiya-razvitiya-predpriyatiya/78726-247166-page3_.html (дата обращения 13.10.2011).
4. Друженков А. В. Новгородский гос. Университет им. Я.Мудрого (23.01.2017).
5. Термины и определения, касающиеся грузовых автомобилей [Электронный ресурс]. – 2013 – URL: <https://userdocs.ru/informatika/19935/index.html> (дата обращения 14.04.2013).
6. Типология прицепов [Электронный ресурс]. – 2020 – URL: <https://www.moigruz.ru/info/trailers/> (дата обращения 14.04.2020).
7. Обасуй, Оса-Франсис Эфе Формообразование автомобилей сверхвысокой грузоподъемности 1994.
8. Гордюшкин И.В., Войнов А.А. Конструкция автомобиля высокой проходимости– 2019 – С. 59-61.
9. С.Д.Пономарев. Расчеты на прочность в машиностроении, т.1 – 1956.

					<i>23.04.02.2020.024.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		53