

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный  
аграрный университет им. Н. И. Вавилова»**

**На правах рукописи**

**Ченцов Николай Алексеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГАЗОБАЛЛОННЫХ ТРАКТОРОВ ТЯГОВОГО КЛАССА 1,4  
(НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА МТЗ-82.1)**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель –  
доктор технических наук,**

**доцент**

**Володин В.В.**

**Саратов 2015**

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Применение газомоторного топлива в тракторных дизелях .....	8
1.2. Способы обеспечения сельскохозяйственной техники газомоторным топливом .....	14
<b>2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ НА ТРАКТОРЕ ТЯГОВОГО КЛАССА 1,4.....</b>	<b>31</b>
2.1. Общая характеристика трактора МТЗ-82.1.....	31
2.2. Определение расположения центров тяжести трактора .....	35
2.3. Определение расположения центров тяжести газобаллонного оборудования.....	42
2.4. Оценка предельных статических углов устойчивости трактора МТЗ-82.1.....	45
2.5. Оценка предельных динамических углов устойчивости трактора МТЗ-82.1 .....	55
2.6. Оценка влияния газобаллонного оборудования на тягово-сцепные характеристики трактора.....	61
2.7. Выводы по главе 2 .....	67
<b>3. МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>68</b>
3.1. Общая методика.....	68
3.2. Методика определения эффективности заправки газообразным топливом .....	70
3.3. Методика эксплуатационных испытаний.....	71
3.4. Методика экспериментальных исследований устойчивости трактора... ..	77

<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА ТРАКТОРА МТЗ-82.1 .....</b>	<b>82</b>
4.1. Особенности системы распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для трактора МТЗ-82.1.....	82
4.2. Результаты экспериментальных испытаний трактора МТЗ-82.1, оснащённого системой распределённой подачи газа по эжекционному принципу .....	96
4.3. Выводы по главе 4.....	100
<b>5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КАССЕТНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ .....</b>	<b>102</b>
5.1. Совершенствование схемы технологического процесса заправки путём использования съёмных кассетных модулей .....	102
5.2. Расчёт оптимального использования снабжения и заправки газомоторным топливом сельскохозяйственной техники.....	108
5.3. Результаты экспериментальных исследований заправки трактора МТЗ-82.1, оснащённого кассетным модулем .....	122
5.4. Выводы по главе 5.....	124
<b>6. ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ МТЗ-82.1, РАБОТАЮЩИХ ПО ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ЦИКЛУ.....</b>	<b>125</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>145</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>147</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>167</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Основной энергоноситель при производстве сельскохозяйственной продукции – дизельное топливо, применяемое для всех тракторных, комбайновых и большинства автомобильных двигателей.

На фоне роста цен на бензин и дизельное топливо использование природного газа позволит сократить расходы сельскохозяйственных предприятий.

Практика показала, что перевод техники на газомоторное топливо на 30 % снижает эксплуатационные затраты, а капитальные вложения в газобаллонное оборудование окупаются за 1-1,5 года. В настоящее время проектируются и уже вводятся в эксплуатацию новые газовые заправки для нужд агропромышленного комплекса. Однако такие заправки доступны не для всех предприятий по причине их удаленности. Для решения этой проблемы используются передвижные газовые заправщики, которые не всегда удобны для крестьянских (фермерских) хозяйств. Поэтому совершенствование систем газоснабжения и подачи газообразного топлива тракторов в сельском хозяйстве является сегодня актуальной задачей.

**Степень разработанности темы.** Для агропромышленного комплекса РФ перспективным способом перевода тракторов на работу на газообразном топливе является использование газодизельного цикла. Такие газовые системы разработаны в ОАО ВНИИГАЗ, ЗАО «Автосистема», ГНУ ВИМ, ОАО «ППП Дизельавтоматика» и в эксплуатации на сельскохозяйственных тракторах доказали экономическую целесообразность их внедрения.

В настоящее время основными причинами, сдерживающими перевод сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо, являются недостаточное количество автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и их удаленность от потребителя. Поэтому совершенствование доставки заправки техники газом, особенно для крестьянских (фермерских) хозяйств с небольшим количеством тракторов, требует дополнительных исследований.

Актуальность этого направления подтверждена Поручением Президента Российской Федерации от 18.10.2004 г. № Пр-1686 ГС «О стимулировании широ-

комасштабного перевода сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо»; Распоряжением Правительства РФ от 13.05.2013 г. № 767-р «О регулировании отношений в сфере использования газового моторного топлива, в том числе природного газа в качестве моторного топлива».

**Цель работы** – повышение эффективности эксплуатации тракторов тягового класса 1,4, оснащённых газобаллонным оборудованием, путём совершенствования технологического процесса заправки газом и использования системы распределённой подачи газа по эжекционному принципу.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ использования тракторов тягового класса 1,4 при работе на газомоторном топливе.
2. Теоретически обосновать оптимальное размещение газовых баллонов на тракторе.
3. Оценить экспериментально эффективность использования трактора, оснащённого системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу;
4. Усовершенствовать схему технологического процесса заправки путём разработки съёмного кассетного модуля для газовых баллонов;
5. Определить экономическую эффективность предлагаемых разработок.

**Объект исследования** – тракторы МТЗ-82.1, оснащённые газобаллонным оборудованием и работающие по газодизельному циклу.

**Научную новизну работы** представляют:

- аналитические выражения для выбора оптимального способа размещения газовых баллонов на тракторе МТЗ-82.1;
- теоретическое и экспериментальное обоснование экономической целесообразности перевода тракторов на работу на газомоторном топливе.

**Теоретическая и практическая значимость работы** включает в себя:

- теоретическое обоснование рационального размещения газовых баллонов на тракторах тягового класса 1,4, на основании которого разработан съёмный кас-

сетный модуль (патент на полезную модель № 150060). Его использование позволяет снизить затраты на заправку сжиженным природным газом;

– результаты экспериментальных исследований усовершенствованной технологической схемы заправки газовых баллонов с использованием съёмных кассетных модулей;

– топливно-экономические показатели работы трактора МТЗ-82.1 при использовании системы распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу.

**Методология и методы исследования.** Исследования выполнены с использованием положений теоретической механики и эксплуатации машинно-тракторного парка, позволяющих определить тягово-сцепные показатели трактора с газобаллонным оборудованием и разработать рекомендации по рациональному размещению газовых баллонов на тракторах тягового класса 1,4.

**Положения, выносимые на защиту:**

– аналитические выражения для определения предельных углов устойчивости для рационального размещения газовых баллонов на тракторе;

– усовершенствованная схема технологического процесса заправки газовых баллонов с использованием съёмных кассетных модулей с результатами её экспериментальных исследований;

– топливно-экономические показатели трактора при использовании системы распределённой подачи газа по эжекционному принципу.

**Степень достоверности и апробация результатов** обеспечены достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, подтверждаются экспериментальными исследованиями, выполненными в условиях эксплуатации трактора МТЗ-82.1, оснащённого газобаллонным оборудованием.

Основные научные положения, выводы и практические рекомендации доложены и одобрены:

– на конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной ра-

боты ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратов, 2014 г.);

– на постоянно действующем научно-техническом семинаре «Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания» (Саратов, 2014, 2015 гг.);

– на Международной научно-практической конференции «Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях», посвящённой 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. (Волгоград, 2015 г.).

## **1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1. Применение газомоторного топлива в тракторных дизелях**

В настоящее время имеется техническая возможность перевода на газомоторное топливо основных моделей тракторов и автомобилей, используемых в сельском хозяйстве.

Для сельского хозяйства наиболее простым и эффективным в использовании является способ перевода тракторных дизелей для работы на газообразном топливе по газодизельному циклу. При этом способе практически не меняется конструкция двигателя, сохраняется серийная топливная аппаратура, а главное – имеется возможность работать как на дизельном топливе, так и на его смеси с компримированным (КПГ) или сжиженным (СПГ) природным газом.

Разработана техническая документация на переоборудование для работы на газомоторном топливе по газодизельному циклу тракторов К-701, 700А, Т-150К, ДТ-75, МТЗ-80/82, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55. Опытные образцы газодизельных модификаций тракторов прошли приемочные испытания на Центральной, Кубанской и Поволжской МИС [25, 28, 32, 33, 46, 51, 62, 71, 91].

Газодизельные тракторы работают в Ставропольском крае, Саратовской, Рязанской, Владимирской областях (рисунок 1.1) [21, 22, 25, 32, 117, 119].

Газомоторное топливо является основным видом топлива при работе дизеля по газодизельному циклу и как следствие, улучшаются условия смазки трущейся пары «цилиндр – поршневые кольца», поскольку несгоревшее дизельное топливо смывает масло со стенок цилиндров. Уменьшается нагарообразование в камере сгорания головки блока цилиндров и на поршнях, поскольку сокращается количество углеродистых осадков. Заметно снижается суммарная токсичность отработавших газов. При правильно выбранном режиме работы на газовом топливе уровень создаваемого двигателем шума снижается на 3-8 дБ, да и сам двигатель начинает работать мягче [49, 54, 78].





Рисунок 1.1 – Сельскохозяйственные тракторы с газобаллонным оборудованием

Газ – высококачественное топливо с октановым числом около 105. Поэтому ни на одном режиме работы двигателя не возникает детонация. Применение газа заметно снижает по сравнению с бензином суммарную токсичность отработавших газов. Более чем втрое уменьшается количество токсичной окиси углерода  $CO$  (угарный газ), в 1,6 раза – содержание канцерогенных углеводородов  $CH$ , состоящих из частиц несгоревшего топлива. Концентрация окиси азота  $NO$  и двуокиси  $NO_2$ , образующихся в процессе горения смеси кислорода и азота (безвредный азот, попадая в камеру сгорания из атмосферы, превращается в ядовитое соединение – оксиды азота), при работе двигателя на газе снижается в 1,2–1,4 раза [11, 19, 21, 50, 61, 119, 140, 173].

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики дизельных и газодизельных моделей тракторов К-701 и МТЗ-82 [32, 121]

Показатели	Марка трактора			
	К-701		МТЗ-82	
	Базовый	Газобаллонный	Базовый	Газобаллонный
1	2	3	4	5
Номинальное тяговое усилие, кН (тс)	50 (5)	50 (5)	14 (1,4)	14 (1,4)
Номинальная мощность двигателя, кВт (л. с.)	198,5 (270)	198,5 (270)	55,1 (75)	55,1 (75)
Эксплуатационная масса трактора, т	13,5	–	3,62	–
– со стальными баллонами	–	14,7	–	–
– с металлопластиковыми баллонами	–	14,3	–	3,81
Диапазон скоростей, км/ч	2,6-33,8	2,6-33,8	1,94-34,3	1,94-34,3
Расход топлива при номинальной мощности в дизельном режиме, кг/ч	51,8	51,8	13,5	13,5
То же в газодизельном режиме, кг/ч	–	10	–	2,6
То же КПГ, м <sup>3</sup> /ч	–	50,4	–	13,2
Длительность работы на одной заправке топливом, часов:				
на транспортных работах				
– в дизельном режиме	26,0	29,2	16,7	23,0
– в газодизельном режиме	–	10,5	–	10,5
на пахоте				
– в дизельном режиме	15,0	22,0	10,0	13,6
– в газодизельном режиме	–	7,0	–	4,6

1	2	3	4	5
Количество газовых баллонов/ёмкость одного баллона, л	–	18/50	–	4/51
Разработчики газобаллонной модификации трактора и изготовители газобаллонной аппаратуры	ВНИИГАЗ, ВИМ НЛПУМГ, ППП Дизельавтоматика, НПФ «Сага»		ВНИИГАЗ, ВИМ НЛПУМГ, ППП Дизельавтоматика, НПФ «Сага», АО «Автосистема»	

Наряду с перечисленными достоинствами газобаллонного трактора следует отметить и ряд присущих ему недостатков, а именно: невозможность запуска двигателя в холодное время года на газу; снижение мощности двигателя на 7 %; увеличение металлоемкости автомобиля на 25-30 кг, баллоны занимают место [1, 2, 11, 18, 58, 81, 142, 173]. На давление газа в баллоне оказывает влияние температура окружающей среды, поэтому надо следить, чтобы он не перегревался. При полном заполнении баллона даже незначительное повышение температуры может привести к резкому увеличению давления [54, 142].

Результаты проведенной оценки показали, что увеличение массы трактора за счет установки баллонов для КПП не привело к повышению плотности почвы высокой влажности, что объясняется увеличением пятна контакта шин с почвой при росте нагрузки на них, а также эффектом дилатансии, который приводит к раздавливанию почвы и снижению ее твердости. При исследованиях на стерне с влажностью физической спелости почвы наблюдается незначительное ухудшение почвенных характеристик: увеличение твердости почвы на 7,8 %, сопротивления вспашке на 2,4 %, снижение коэффициента крошения пласта на 3,9 %. Данные незначительные негативные эффекты устраняются при комплектации трактора шинами большего размера (66×43,00R25) [58, 103, 119].

При установке баллонов над кабиной газодизельного трактора МТЗ-82 уменьшается в пределах допустимого угол поперечной статической устойчивости на 2° – до 33° – и затрудняется открытие люка на крыше для очистки воздушного

фильтра системы нормализации микроклимата. Также стоит отметить, что установка баллонов на крыше затрудняет их обслуживание [60].

При установке баллонов на сельскохозяйственных тракторах не увеличиваются габариты тракторов, за исключением габарита по высоте при монтаже баллонов на крыше кабин у тракторов МТЗ-80, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55 и ДТ-75. С целью обеспечения въезда газобаллонных тракторов в ворота животноводческих ферм в настоящее время совместно с Невинномысским линейно-производственным управлением магистральных газопроводов (ЛПУМГ) разработана конструкция установки баллонов на тракторе МТЗ-82 без увеличения габаритных размеров трактора по высоте.

Анализ литературных источников и опыт эксплуатации тракторов К-700А в Саратовской области, оснащённых газобаллонным оборудованием, позволяет выявить основные достоинства использования природного газа – метана – в тракторных двигателях [14, 21, 26, 30, 53, 59].

К достоинствам относятся:

- уменьшение затрат на топливо в 1,5-2 раза;
- улучшение экологических показателей  $\text{NO}_x$  до 20 %;  $\text{CH}_4$  – до 30 %;  $\text{CO}$  до 10 %;
- возможность работать как по дизельному, так и по газодизельному циклу.

Перечисленные преимущества использования природного газа по сравнению с дизельным топливом и значительные запасы природного газа в Российской Федерации [119, 122] позволяют переводить сельскохозяйственную технику для работы на газомоторном топливе, что позволяет повысить эффективность сельскохозяйственного производства.

Актуальность этого направления подтверждается поручениями Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации:

1. Комплексная программа по стимулированию широкомасштабного внедрения современных технологий перевода сельскохозяйственной техники на

газомоторное топливо (реализация поручения Президента Российской Федерации В. В. Путина от 18 октября 2004 года № Пр-1686 ГС).

2. Проект предложений «Минсельхоза России» «О стимулировании широкомасштабного перевода сельскохозяйственной техники в частности перехода на использование газомоторного топлива в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации от 19 августа 2011 года № ВЗ-П11-5884».

3. Распоряжение Правительства РФ от 13.05.2013 г. № 767 и утверждённого заместителем Председателя Правительства РФ А. В. Дворковичем от 14.11.2013 г. № 681 п/п 9 «Комплексный план мероприятий по расширенному использованию природного газа в качестве газомоторного топлива.

4. План комплексных мероприятий по переводу автомобильной, тракторной и сельскохозяйственной техники на природный газ на территории Саратовской области на 2011-2015 гг., утверждённый губернатором области.

Эксплуатация сельскохозяйственных тракторов, оснащённых газобаллонным оборудованием, вызвала ряд недостатков:

- 1) небольшое время работы на одной заправке;
- 2) длительность заправки газообразным топливом и недостаточное количество газозаправочного оборудования, особенно АГНКС (автомобильные газонаполнительные компрессорные станции);
- 3) необходимость использования дополнительных передвижных средств заправки;
- 4) создание дополнительной производственной базы, обеспечивающей безопасность эксплуатации;
- 5) увеличение массы трактора за счёт установки дополнительного газобаллонного оборудования.

Как видно из анализа имеющихся недостатков, сдерживающим фактором использования газомоторного топлива в сельском хозяйстве является газоснабжение тракторной техники.

## **1.2. Способы обеспечения сельскохозяйственной техники газомоторным топливом**

В настоящее время основными способами обеспечения автотракторной техники газовым топливом являются:

- заправка компримированным природным газом (КПГ) на АГНКС (автомобильные газонаполнительные компрессорные станции);
- наполнение передвижного автомобильного газового заправщика (ПАГЗ) на АГНКС и доставка его к месту работы тракторов;
- строительство миниАГНКС в сельской местности;
- сжижение газа на АГНКС и транспортирование его к потребителю.

АГНКС – это газовая автомобильная компрессорная станция, предназначенная для заправки легковых автомобилей, автобусов, сельскохозяйственной техники и других различных видов транспортных средств, двигатели которых переоборудованы для работы на газе. Она подсоединяется к газопроводу, после чего давление газа доводится до 200 атмосфер, что позволяет закачать газ в баллоны.

МиниАГНКС удобны тем, что подключаются практически к любым бытовым газовым сетям, малогабаритны и имеют относительно небольшой вес, но требуют достаточно большой пропускной способности существующих газовых сетей [8, 34, 77, 117, 134, 135]. Электричество, которое потребляет миникомпрессор, вполне обеспечивается обычной электрической сетью в 220 В. Таким образом, подключить и использовать метановый компрессор можно в самых обычных бытовых условиях. Это дает возможность установить компрессор газовый в небольших транспортных предприятиях, занимающихся перевозками, на сельскохозяйственных станциях техобслуживания.

Одним из решений заправки автомобилей природным компримированным газом в условиях недостаточной развитости сети АГНКС является установка собственных компактных газозаправочных устройств. Итальянская компания BRC FuelMaker производит ряд таких бытовых заправочных устройств, которые могут

устанавливаться везде, где есть доступ к бытовой газовой трубе и источнику электроэнергии (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Технические характеристики бытовых заправочных устройств

Заправочное устройство	Технические характеристики	
	FMQ-8,36	FMQ10
Габаритные размеры, мм	848×1228×813	848×1228×813
Масса, кг	263	263
Давление на выходе, бар	248	207
Потребляемое напряжение, В	220	220
Потребление электроэнергии, кВт·ч	3,6	4,8
Расход газа, м <sup>3</sup> /ч	10,3	13,6
Производимый шум, дБ	66	66

Уникальность этих газозаправочных устройств заключается в том, что все основные узлы – компрессор, вентилятор, газозаправочные агрегаты, электронный блок управления с программным обеспечением и т. п. – размещены в одном малогабаритном корпусе.

Компактное газозаправочное устройство применяется только для заправки автотранспорта, на котором используется компримированный природный газ. Газозаправочное устройство принимает природный газ, компримирует (сжимает) его до высокого давления (от 200 до 350 кгс/см<sup>2</sup>) и обеспечивает его подачу в газовые баллоны автомобиля.

Одним из способов расширения возможности применения газомоторного топлива это заправка удалённой от АГНКС техники передвижными автогазозаправщиками (ПАГЗ), предназначенными для транспортирования сжатого природного газа и заправки им автомобилей, использующих природный газ, как моторное топливо, бескомпрессорным способом на специально оборудованных площадках, а также для газификации населенных пунктов и отдельных предприятий.

Допускается применение ПАГЗ для перевозки инертных и неагрессивных газов. Конструкции и типоразмерный ряд ПАГЗ первоначально были разработаны опытно-конструкторским бюро Московского газоперерабатывающего завода, а экспериментальные образцы созданы совместно с опытным заводом Центрального научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ). Технические характеристики базовых автопоездов указанного типоразмерного ряда представлены в таблице 1.3. Партия ПАГЗ, выпущенная производственным объединением «Туламашгаззавод» в 1985-1986 гг., прошла испытания и опытную эксплуатацию при АГНКС № 1 в Москве.

ПАГЗ представляет собой специальное транспортное средство, в состав которого входят аккумуляторы газа, газозаправочные колонки с коммерческим учётом газа, система автоматического управления (САУ) заправкой автомобилей и дополнительное оборудование. ПАГЗ выполнен на базе комплекта технологического оборудования АГНКС.

ПАГЗы бывают двух видов – пассивного (рисунок 1.2) и активного (рисунок 1.3) типов. ПАГЗ пассивного типа позволяет перевозить большее количество газообразного топлива и имеет меньшую стоимость, как самого ПАГЗа, так и заправляемого топлива, чем ПАГЗ активного типа. Однако ПАГЗ активного типа имеет в своем составе компрессор, занимающий достаточно большое пространство в грузовом отсеке ПАГЗа, привод которого осуществляется от теплового двигателя, работающего, как правило, на том же газообразном топливе, что позволяет осуществлять заправку техники полным давлением 20 МПа, в то время, как заправка от ПАГЗ пассивного типа позволяет заполнить баллоны сельскохозяйственной техники до давления, зависящего от пропорционального соотношения объёма баллонов ПАГЗа и объёма баллонов заправляемой техники.

Серийное производство ПАГЗ начато в 1988 г. Сумским машиностроительным научно-производственным объединением совместно со Свесским насосным заводом (Украина). В настоящее время ПАГЗ выпускаются (по заказу) ООО «Сургутгазпром», ООО «Уралтрансгаз», ЗАО «Автосистема»,



ОАО «Казанское опытное конструкторское бюро «Союз» и другими предприятиями.

Таблица 1.3 – Технические характеристики ПАГЗ на базе автопоездов  
МАЗ и КамАЗ

Параметр	КамАЗ-5410 с п/п 9370-01	КамАЗ-54112 с п/п 9385	МАЗ-54323 с п/п МАЗ-9397	МАЗ-64227 с п/п МАЗ-9389*
Колёсная формула	6×4+2	6×4+2	4×2+2	6×4+3
Нагрузка на седельно-сцепное устройство, кН (кгс)	79,4 (8100)	107,8 (11100)	86,2 (8800)	144 (14700)
<b>Полная масса, кг:</b>				
полуприцепа	19100	26000	26800	38700**
автопоезда	26125	33325	34000	48000*
Масса перевозимого груза (газобаллонной установки и сжатого газа), кг	14500	20500	20100	32700
<b>Нагрузка на дорогу, кН (кгс)</b>				
через шины передних колёс	38,6 (4175)	43,0 (4395)	58,8 (6000)	58,8 (6000)
через шины колёс тележки	101,4 (10960)	136,5 (13930)	98,0 (10000)	176,5 (18000)
через шины колёс полуприцепа	101,8 (11000)	141,0 (15000)	176,4 (18000)	235,2 (24000)
<b>Габаритные размеры, мм:</b>				
тягача	6180×2500×2830	6180×2500×2830	5980×2500×3550	6570×2500×3550
полуприцепа	9400×2500×2040	10390×2500×2090	11455×2500×2145	12325×2500×2495
<b>Платформа полуприцепа, мм</b>				
внутренние размеры	9180×2320	10700×2320	11280×2420	12325×2500
погрузочная высота	1450	1480	1450	1415
Объём газобаллонной установки при использовании баллонов с относительной массой 2,1 кг/дм <sup>3</sup> (по ГОСТ 12247-80), м <sup>3</sup>	5,5	7,3	7,3	13,2

Примечание: п/п – полуприцеп; \* – тяжеловесный; \*\* – допустимая масса.



Рисунок 1.2 – Передвижной автогазозаправщик пассивного типа



Рисунок 1.3 – Активный передвижной автогазозаправщик мод. 1200К  
(с дожимным компрессором)

Приобретение и эксплуатация ПАГЗ могут осуществляться как АГНКС, так и автотранспортными (АТП) и иными предприятиями, в зависимости от степени заинтересованности в их использовании. Соответствующие затраты несут указанные субъекты хозяйственной деятельности. Поскольку эффект использования

ПАГЗ может проявляться у каждого из них, то может быть использован принцип компромиссного их распределения [8, 117, 134].

Целесообразность применения ПАГЗ с позиции экономических интересов предприятий требует анализа с целью выявления условий, обеспечивающих их эффективное использование.

Увеличение затрат на заправку прямо пропорционально расходам, связанным с приобретением и эксплуатацией ПАГЗ и обратно пропорционально количеству газа, заправляемого в газобаллонные автомобили за определенный период времени. Исходными данными для расчета являются конструктивные параметры и цена ПАГЗ, условия и организация их эксплуатации.

При известных параметрах КПП (давление, температура, состав) и технологической схеме заправки (количество секций ПАГЗ, коэффициент опорожнения) объём газа, заправляемого в автомобили за одну езду, определяется массой и габаритами газобаллонной установки ПАГЗ, которые, в свою очередь, ограничены грузоподъемностью (с учетом полной массы, распределения осевых нагрузок) и допустимыми габаритами базового шасси. Следовательно, с целью увеличения объёма, заправляемого в баллоны газа в качестве базовых для ПАГЗ транспортных средств (с учетом обслуживаемого парка и характеристик дорожной сети) следует использовать седельные тягачи с полуприцепами максимальной грузоподъемности, например, такие, как ПАГЗ 2500-25 на базе автопоезда в составе седельного тягача КАМАЗ-54118 и полуприцепа ЧМЗАП-99874 (ОАО «Казанское опытное конструкторское бюро «Союз»). Объём газа (состав по ГОСТ 27577-2000), приведенного к нормальным условиям, который может быть заправлен в газовые баллоны (давление 19,6 МПа) за одну езду ПАГЗ при коэффициенте опорожнения 0,58 (без дожимного компрессора) составит около 1600 м<sup>3</sup>. При использовании дожимного компрессора (или гидравлического насоса) коэффициент опорожнения ПАГЗ увеличивается до 0,85, а объём газа достигает 2350 м<sup>3</sup>.

Производительность ПАГЗ и затраты на доставку газа потребителю напрямую зависят от числа полуприцепов, используемых с одним ПАГЗ. На рисунке 1.4

показаны зависимости затрат на доставку газа при различном числе полуприцепов, используемых с одним ПАГЗ.

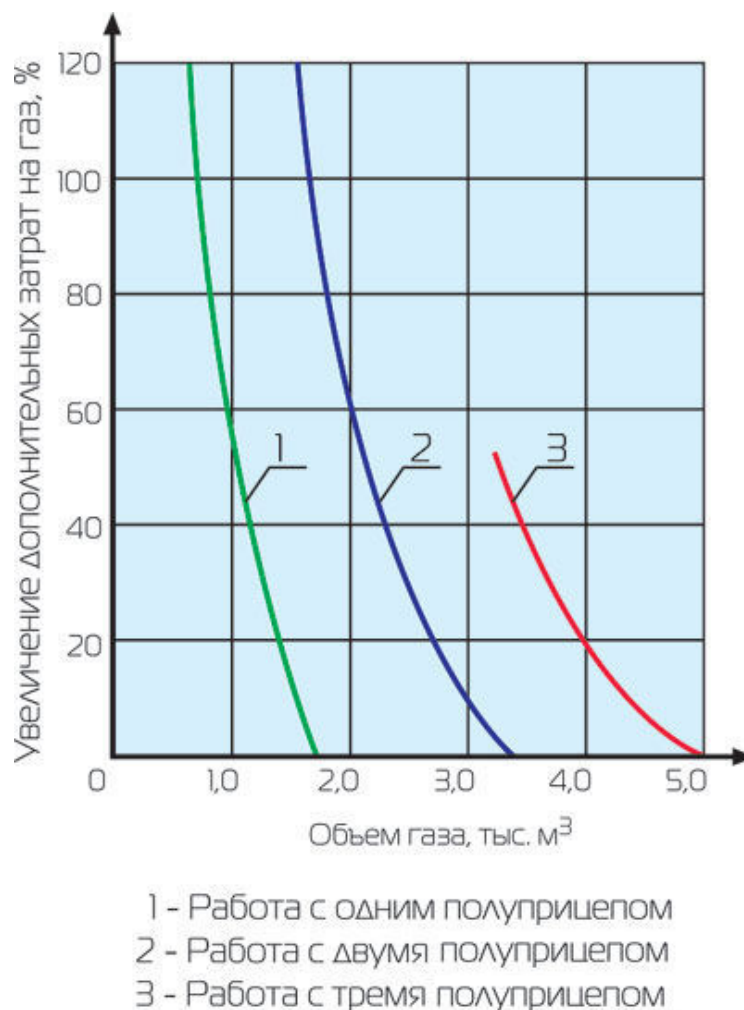


Рисунок 1.4 – Варианты организации работы ПАГЗ при разном количестве полуприцепов

Передвижные газозаправщики, предлагаемые для обеспечения сельскохозяйственной мобильной техники КПГ, могут быть разделены на три типа:

1. Передвижные автомобильные газозаправщики (ПАГЗ), где газобаллонные установки (ГБУ) устанавливаются на кузовах автомобилей или же на автомобильных прицепах (полуприцепах), а тягачом является автомобиль.

2. Передвижные тракторные газозаправщики (ПТГЗ), где ГБУ устанавливаются на тракторном прицепе (полуприцепе), а тягачом является трактор.

3. Передвижные комбинированные газозаправщики (ПКГЗ), где ГБУ устанавливаются на автомобильном прицепе (полуприцепе), а тягачом является трактор.

В случае, когда на ПКГЗ ГБУ установлены на автомобильном полуприцепе, для его транспортирования используется подкатная тележка, служащая соединительным звеном между трактором и автомобильным полуприцепом.

Все вышеперечисленные типы передвижных газозаправщиков имеют свои преимущества и недостатки.

Преимущество ПАГЗ по сравнению с ПТГЗ и ПКГЗ – относительно высокая среднетехническая скорость, недостаток – слабая проходимость по грунтовым дорогам при выпадении осадков.

Преимущество ПКГЗ по сравнению с ПТГЗ – возможность при его комплексном использовании с ПАГЗ обходиться без перекачки в него газа от ПАГЗ. Этот процесс проводится следующим образом: заправленный на автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) ПАГЗ доставляет газовое топливо до дорог, не позволяющих его эксплуатацию, где прицеп (полуприцеп) с ГБУ отцепляется от автомобильного тягача и прицепляется к тракторному тягачу. При этом можно выделить четыре основные схемы заправки газомоторным топливом, которые представлены на рисунке 1.5, а анализ их достоинств и недостатков представлен в таблице 1.4.

Заправка сельскохозяйственной техники по схеме «а» производится непосредственно АГНКС, куда техника перегоняется непосредственно с места работы.

По схеме «б» заправка автотракторной техники производится от заправленных на АГНКС передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ). ПАГЗы используются при условии, что дорога на всём участке пути имеет твёрдое дорожное покрытие. Заправка автотракторной техники в этом случае производится на оборудованных площадках, куда она и перегоняется с места работы.

В соответствии со схемой «в» заправка сельскохозяйственных машин происходит от баллонных модулей (БМ) которые в свою очередь заправляются от ПАГЗ, доставляющего компримированный природный газ от АГНКС.

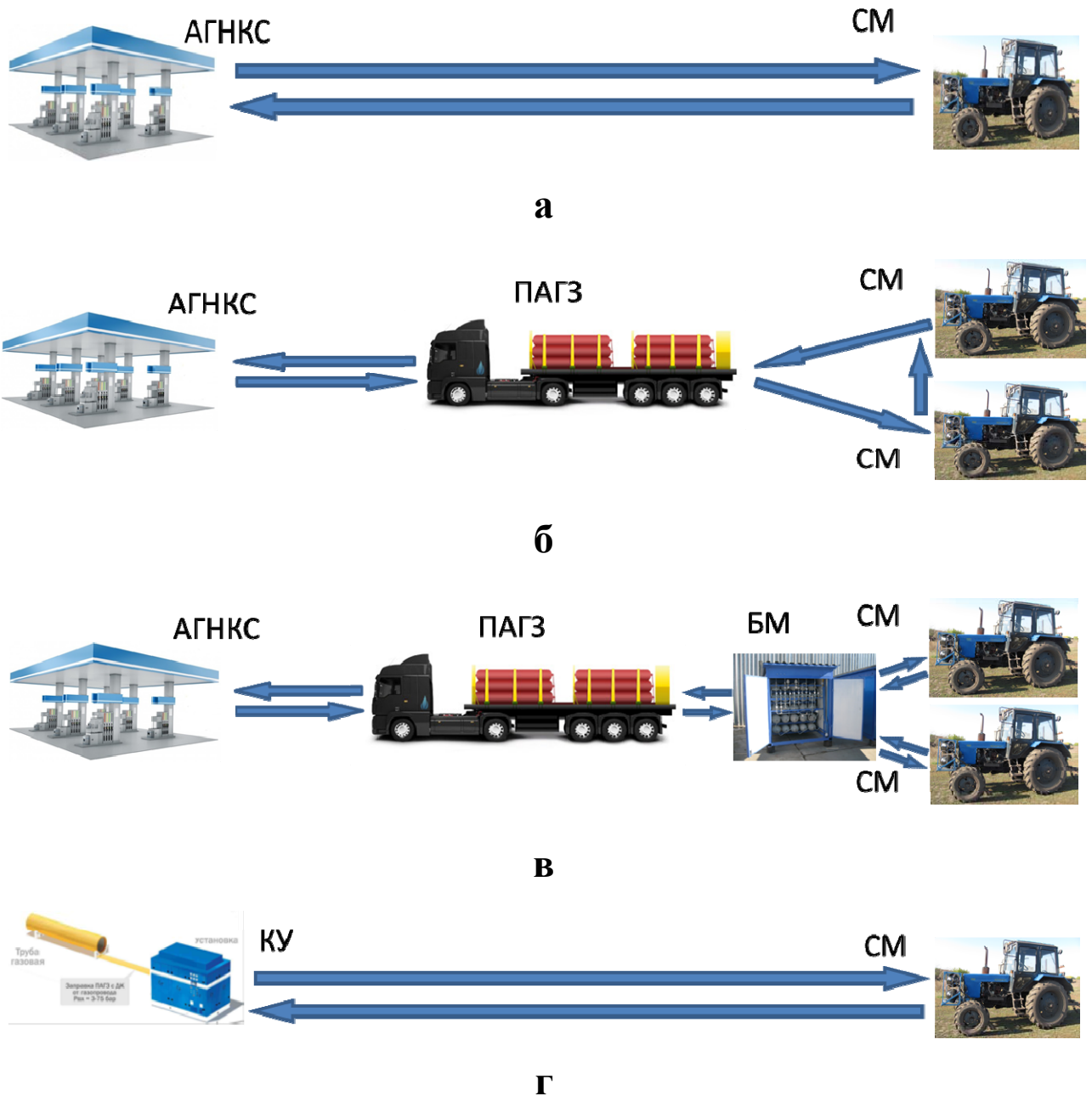


Рисунок 1.5 – Основные схемы заправки сельскохозяйственной техники компримированным природным газом

Заправка автотракторной техники по схеме «Г» производится от компрессорной установки (КУ), которая подключена к системе центрального газоснабжения.

Таблица 1.4 – Анализ схем заправки сельскохозяйственной техники  
компримированным природным газом

Наименование и краткое описание схемы	Достоинства	Недостатки
Схема «а». Заправка сельскохозяйственных машин (СМ) по этой схеме производится непосредственно на автомобильных газовых наполнительных компрессорных станциях (АГНКС), куда СМ перегоняются с места работы	Высокая производительность и пропускная способность	Удалённость от основных мест эксплуатации сельскохозяйственной техники
Схема «б». По этой схеме заправка СМ производится от заправленных на АГНКС передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ). ПАГЗы используются при условии, что дорога на всем участке пути имеет дорожное покрытие. Заправка СМ в этом случае производится на оборудованных площадках куда они, и перегоняются с места работы	Близость к основным местам эксплуатации сельскохозяйственной техники	Низкая производительность и пропускная способность, неполная заправка (в случае с использованием пассивного ПАГЗ), дополнительные затраты на заправку
Схема «в». Заправка сельскохозяйственных машин происходит от баллонных модулей (БМ) которые в свою очередь заправляются от ПАГЗа, подвозящего компримированный природный газ от АГНКС	Высокая производительность и пропускная способность	Удалённость от основных мест эксплуатации с.-х. техники
Схема «г». Заправка СМ по данной схеме может производиться от компрессорной установки (КУ), которая подключена к системе центрального газоснабжения	Близость к основным местам эксплуатации сельскохозяйственной техники	Низкая производительность и пропускная способность

Особенность работы сельскохозяйственной автотракторной техники состоит в том, что заправка тракторов газомоторным топливом должна производиться

непосредственно в поле. По мере окончания запаса топлива тракторы заправляются от передвижных заправщиков на краю поля.

При этом следует учитывать то обстоятельство, что потребление топлива имеет два пика, которые наблюдаются в весенний и осенний периоды работы. В эти периоды нагрузка на трактор возрастает в несколько раз, то есть потребность в топливе зависит от сезонности.

При увеличении количества сельскохозяйственной техники растёт потребность в топливе в пиковый период, что обуславливает неравномерную загрузку топливозаправочного оборудования. Выходом из этого положения является приобретение миниАГНКС, при условии, что у сельскохозяйственного предприятия имеется 15-20 тракторов.

Основные показатели потребления топлива и смазочных материалов сельскохозяйственной техникой представлены в нормативно-справочных материалах по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве [100]. Эти нормативы сформулированы Министерством сельского хозяйства РФ. Однако в них отсутствуют рекомендации по планированию и доставке газомоторного топлива.

Объём, частоту и периодичность доставки топлива можно определить по номограмме (рисунок 1.6) [4].

Таким образом, небольшим крестьянским (фермерским) хозяйствам экономически нецелесообразно приобретать ПАГЗ, стоимость которого превышает 10 млн. руб., и переоборудовать тракторы для работы на газомоторном топливе. К недостаткам ПАГЗ также следует отнести:

- длительность заправки на АГНКС до 6 ч;
- в баллонах для хранения сжатого природного газа передвижного газозаправщика с бескомпрессорным отбором газа остаётся неиспользованным до 50 % объёма его заправки [117];
- при небольшом количестве газобаллонных тракторов заправочное оборудование (ПАГЗ) используются лишь на 5-7 % от своих конструкторских возможностей.



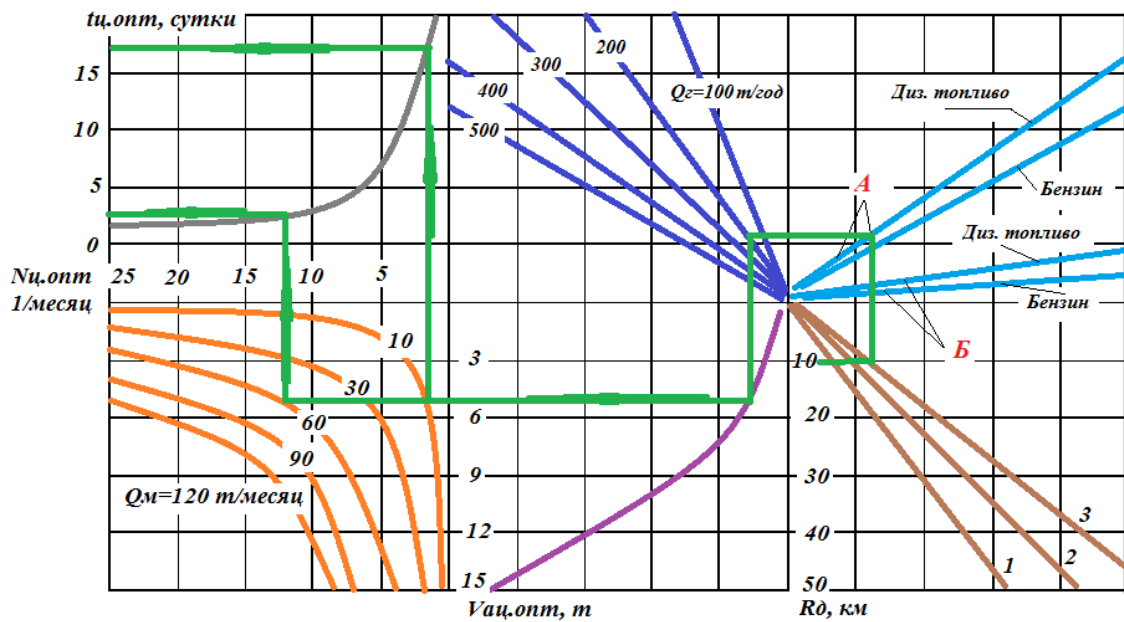


Рисунок 1.6 – Номограмма для определения оптимальных объёма, частоты и периодичности доставки нефтепродукта на нефтесклад; 1 – улучшенная дорога; 2 – с твердым покрытием; 3 – грунтовая; А – модель с постоянным объёмом доставки; Б – модель с переменным объёмом доставки

Известно множество разработок по использованию ПАГЗ. Так, ЗАО «Компомаш-ТЭК» совместно с ООО «Метания» провели анализ возможности использования ПАГЗ с рабочим давлением в сосудах 20...25 МПа для различных типов с учётом опытной эксплуатации их в хозяйствах Ставропольского, Краснодарского краёв, Рязанской, Саратовской, Владимирской областей.

Анализ показал, что тракторы марок К-701, К-700А, Т-150К, ДТ-75, МТЗ-80/82, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55, в основном составляющие тракторный парк сельхозпредприятий, на одной заправке компримированным природным газом давлением 20 МПа могут работать в газодизельном режиме на пахоте 4,5-7 ч. Этого недостаточно для работы в поле на одной заправке полный световой день.

Для увеличения времени работы тракторов на одной заправке компримированным природным газом до 11-13 ч ЗАО «Компомаш-ТЭК» предлагает использовать передвижные газозаправщики с рабочим давлением газа в блоке сосудов 32 МПа с последующей заправкой баллонов тракторов также давлением 32 МПа.

Для освоения предлагаемой технологии ЗАО «Компомаш-ТЭК» совместно с соисполнителями разработало и освоило производство ПАГЗ на рабочее давление 32 МПа. Первые два образца ПАГЗ бескомпрессорного типа ПАГЗ 2500/32-4 и ПАГЗ 2700/32-4 с объёмом перевозимого газа 2500 нм<sup>3</sup> (со стальными сосудами) и 2700 нм<sup>3</sup> (с металлокомпозитными баллонами) прошли приёмочные испытания и находятся в опытной эксплуатации в Московском регионе.

Для заправки ПАГЗ природным газом давлением 32 МПа ООО «МЕТАНИЯ» разработало дожимающий нагнетатель, ДН 900 Э-ГП 200/320 производительностью 900 нм<sup>3</sup>/ч при входном давлении 20 МПа. Дожимающий нагнетатель устанавливается на АГНКС, где и происходит заправка ПАГЗ компримированным природным газом сначала от аккумуляторов давления до 20 МПа, а затем с помощью дожимающего нагнетателя – до 32 МПа. Время заправки ПАГЗ 2500/32-4 – не более 50 мин.

Таким образом, использование в сельском хозяйстве всех вышеуказанных типов передвижных газозаправщиков при наличии АГНКС, а также гаражного газозаправщика позволяет решить проблему обеспечения машинно-тракторного парка хозяйства КПП независимо от дорожных и климатических условий, однако себестоимость применения газомоторного топлива при этом несколько увеличивается.

Для обеспечения перевода техники для работы на газообразном топливе в крестьянских (фермерских) хозяйствах в первую очередь для тракторов тягового класса 1,4 необходимы новые разработки.

Характерным отличием между тракторами, работающими на дизельном топливе и на природном газе в газодизельном режиме, является, в первую очередь, наличие баллонов с компримированным природным газом (метаном), хранящимся под давлением около 20 МПа, которые крепятся, как правило, на крыше трактора [1, 2, 21, 67, 119]. Температура, при которой работает газобаллонное оборудование, может колебаться от –40 до +45 °С.

Среди других особенностей модификаций тракторов с газодизельной аппаратурой можно отметить увеличение общей массы трактора на 130-150 кг (добавляется

масса газобаллонного оборудования), увеличение габаритных размеров трактора по высоте приблизительно на 0,5 м.

При установке газовых баллонов изменяется положение центра тяжести трактора (как правило, центр тяжести трактора повышается). Это может негативно сказаться на устойчивости трактора и привести к его опрокидыванию в процессе эксплуатации. Поэтому при установке на трактор дополнительного оборудования в виде газовых баллонов необходимо провести исследования по оценке предельных углов устойчивости трактора. Для тракторов тяговых классов 2 и 5 такие исследования проводили в СГАУ им. Н. И. Вавилова [1, 2, 58, 67, 81]. Но для тракторов тягового класса 1,4 таких исследований проведено недостаточно.

Другим недостатком при использовании газобаллонных тракторов является значительная длительность заправки природным газом, что сокращает производительность труда в целом. Попытки сократить время на заправку и увеличить время работы трактора на одной заправке предпринимали многие исследователи.

Так, Всероссийский научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий для сокращения времени заправки предлагает для заправки автомобилей сжатым природным газом внедрение нового регулятора давления газа с баллоном импульсного газа, дроссельной шайбой, вторым и третьим трехходовыми шаровыми кранами и их связями с остальными элементами устройства (рисунок 1.7) [110]. Сокращение времени заправки автомобилей сжатым природным газом достигается тем, что при подкритическом истечении газа в газобаллонную установку проходные сечения устройства для заправки сжатым природным газом не меняются и остаются такими же, как и при надкритическом истечении газа.

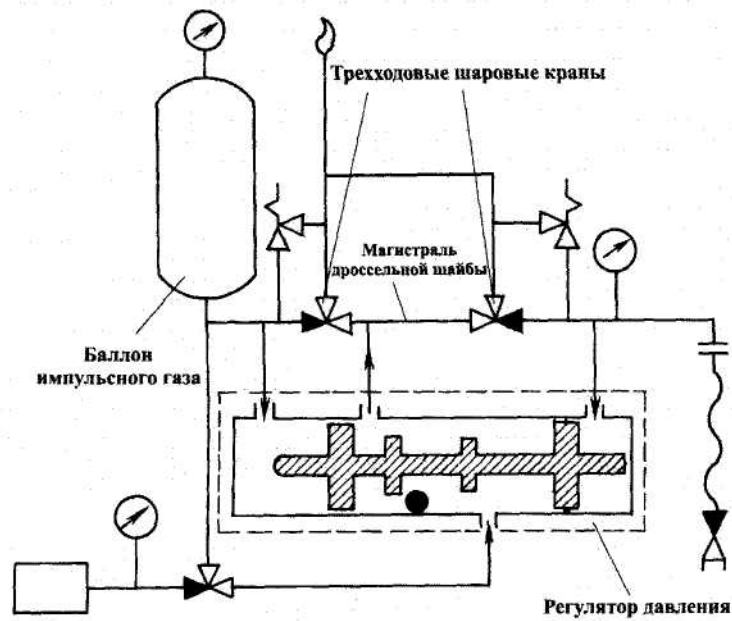


Рисунок 1.7 – Схема устройства для заправки с баллоном импульсного газа разработки ВНИИГАЗ

ООО «Сургутгазпром» для упрощения организации заправки транспортных средств сжатым природным газом и увеличения радиуса действия транспортных средств, работающих на газе, а также в целях повышения эффективности использования передвижного газозаправщика с бескомпрессорным отбором сжатого природного газа разработал способ заправки. Он включает в себя прибытие передвижного газозаправщика с заправочной колонкой на место сбора транспортных средств, работающих на сжатом природном газе, и заправку транспортных средств сжатым природным газом через заправочную колонку с использованием дожимного компрессора, который смонтирован на оборудованной колесной ходовой частью и выдвигаемыми поворотными опорами индивидуальной раме, на которой также смонтированы ресивер, дополнительная заправочная колонка и двигатель внутреннего сгорания, работающий на сжатом природном газе и являющийся приводом дожимного компрессора, имеющего, по меньшей мере, два входных и два выходных коллектора с узлами подключения передвижных газозаправщиков с бескомпрессорным отбором сжатого природного газа (рисунок 1.8) [111].

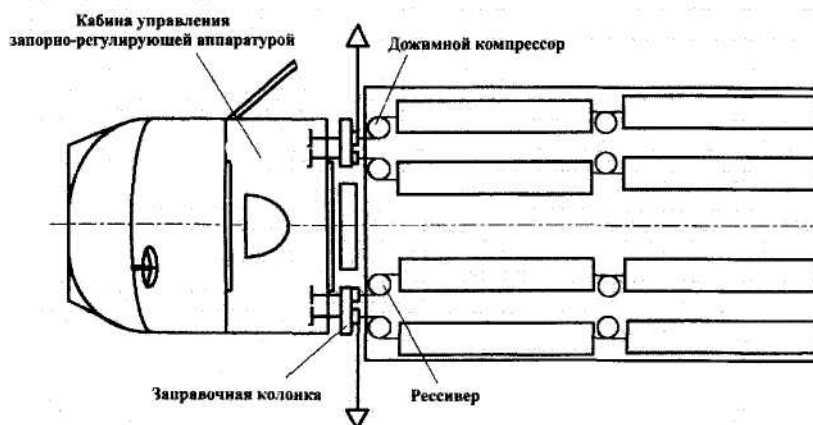


Рисунок 1.8 – Схема заправочной газовой колонки разработки  
ООО «Сургутгазпром»

А.В. Наумейко [112] для устранения низкой эффективности передвижных газозаправщиков, связанной с тем, что опорожнение баллонов при заправке потребителей происходит до 50 % от первоначального объёма, предлагают способ заправки сжатым природным газом, включающий в себя опорожнение предварительно заполненных сжатым природным газом баллонов высокого давления в 40 МПа, сгруппированных в первую, вторую и третью секции с рабочим давлением 20, 25 и 40 МПа соответственно. При этом природный газ подают в цилиндры первой ступени компрессора, сжимают, охлаждают в холодильнике первой ступени; сжатый, охлажденный природный газ подают во вторую и последующие ступени компрессора, охлаждают в холодильниках и охлажденный и сжатый до давления 40 МПа природный газ подают в металлические баллоны высокого давления, после чего их можно опорожнять до тех пор, пока давление в баллонах не упадёт до минимальной величины, необходимой для заправки природным газом ёмкостей потребителей, после опорожнения баллонов всех секций до минимально возможного давления включают компрессор и начинают перекачку природного газа в металлические баллоны высокого давления. На рисунке 1.9 представлен газозаправщик, работающий по данному принципу.

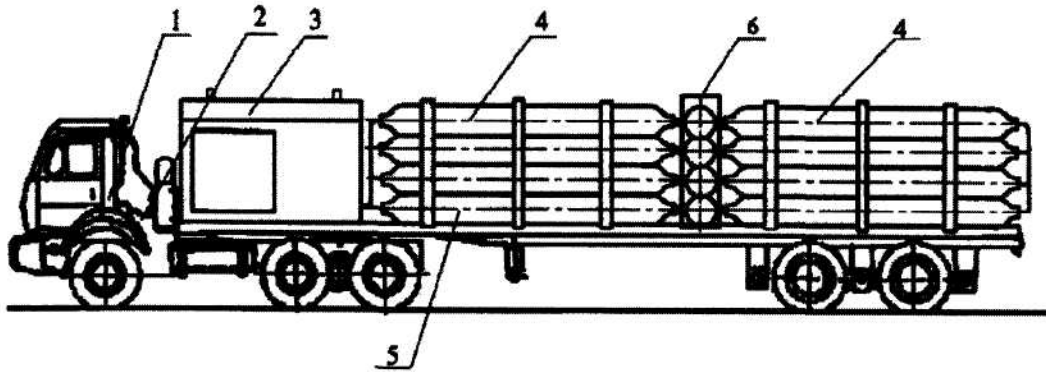


Рисунок 1.9 – Газозаправщик, работающий по принципу ступенчатой заправки

### 1.3. Выводы по главе 1

1. Проведённый анализ показал, что перевод техники на газомоторное топливо на 30 % снижает эксплуатационные затраты, а капитальные вложения в газобаллонное оборудование окупаются за 1-1,5 года.

2. В литературных источниках имеется техническая документация и рекомендации по использованию газомоторного топлива для тракторов К-700А и К-701. Для колесных тракторов тягового класса 1,4 таких исследований проведено недостаточно. Поэтому целью данной работы является повышение эффективности использования тракторов тягового класса 1,4, оснащённых газобаллонным оборудованием, путём совершенствования технологии заправки газом и использования системы распределённой подачи газа по эжекционному принципу.

3. В настоящее время основными причинами, сдерживающими перевод сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо, являются недостаточное количество АГНКС и их удалённость от потребителя.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ НА ТРАКТОРЕ ТЯГОВОГО КЛАССА 1,4**

В процессе выполнения различных сельскохозяйственных работ трактор должен работать без опрокидывания на уклонах различной величины. Данное свойство трактора регламентируется значениями предельных статических углов продольного и поперечного уклонов, на которых трактор имеет возможность стоять в заторможенном состоянии. Наряду с этим эти углы являются определяющими параметрами для оценки продольной и поперечной устойчивости трактора. По [39] регламентируется значение угла поперечной статической устойчивости для тракторов тяговых классов 0,9 и более, который должен быть не менее  $35^\circ$ .

Установка дополнительного оборудования в виде газовых баллонов и другого оборудования для работы по газодизельному циклу может значительно изменить значение вышеуказанного угла, что, в свою очередь, может нарушить работоспособность трактора в целом и привести к его опрокидыванию. Поэтому для обоснования возможности работы трактора в различных условиях необходимо знание вышеуказанных углов.

В свою очередь для определения теоретических значений статических углов устойчивости необходимо знать расположение центров тяжести трактора.

### **2.1. Общая характеристика трактора МТЗ-82.1**

Тракторы «Беларусь» МТЗ-80/82 и их модификации предназначены для выполнения различных сельскохозяйственных работ с навесными, полунавесными и прицепными машинами и орудиями [87].

Кроме того, они могут быть использованы для выполнения трудоемких работ в агрегате с бульдозерами, экскаваторами, погрузчиками, ямокопателями, а также на специальных транспортных работах и для привода различных стационарных сельскохозяйственных машин.

Они являются универсальными сельскохозяйственными тракторами класса 1,4 тс (14 кН).

Тракторы имеют полурамную конструкцию. Их остов состоит из полурамы, корпусов муфты сцепления, коробки передач и заднего моста. Дизель спереди эластично закреплен на переднем бруске, а сзади жестко соединен с корпусом муфты сцепления.

Силовая передача трактора имеет муфту сцепления с тормозком, понижающий редуктор и коробку передач, задний мост с автоматической блокировкой дифференциала и задний ВОМ с двухскоростным независимым и синхронным приводами.

Тракторы с двумя ведущими осями оснащены передним ведущим мостом и механизмами привода – раздаточной коробкой, промежуточным и передним карданными валами, промежуточной опорой с предохранительной муфтой. Рулевое управление тракторов состоит из гидроусилителя рулевого управления и рулевой трапеции. Привод переднего ведущего моста осуществляется от коробки перемены передач для обеспечения синхронности оборотов передних и задних колёс на всех передачах. Передний мост шарнирно соединен с передним брусом для обеспечения качания моста в поперечной плоскости. Предусмотрено бесступенчатое изменение колеи передних и задних колёс с помощью винтовых механизмов. Для увеличения сцепных качеств и улучшения управляемости на передний брус трактора могут быть установлены дополнительные грузы. Имеется возможность установки до 10 дополнительных грузов массой 20 кг каждый [87].

Шины тракторов могут иметь различные размерности. Выбор шин того или иного размера зависит от условий эксплуатации и характера выполняемых сельскохозяйственных операций. Размеры и применяемость передних и задних шин различных размеров представлена в таблице 2.1 [87].

На практике наиболее часто встречается сочетание шин: передних – 11,2-20, задних – 15,5R38.

Колея трактора может изменяться от 1350 до 1850 мм (1500-1900 мм для МТЗ-82; МТЗ-82Л) по направляющим колёсам и от 1400 до 2100 мм по ведущим колёсам.



Таблица 2.1 – Варианты сочетания передних и задних шин трактора МТЗ-82.1 [87]

Задние шины	Передние шины				
	8,3-20	11,2-20 (11,2R20)	13,6-20	360/70R20	16,0-20
18,4R30	+	+	–	–	–
18,4R34	–	+	–	–	–
15,5R38	+	+	–	–	–
16,9R38	–	–	+	+	–
9,5-42	+	+	–	–	–
11,2R42	+	+	–	–	–

Примечание: «+» – сочетаются; «–» – не сочетаются.

Основные размеры шин, используемых на тракторе МТЗ-82.1, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Геометрические параметры колёс трактора МТЗ-82.1 [87]

Модель шины	Наименование параметра					
	конструкция шины*	наружный диаметр, мм	ширина профиля, мм	статический радиус, мм	максимальная нагрузка, кг	давление в шине, кПа
8,3-20	Д	945	211	446	850	250
11,2-20	Д	985	284	460	1400	280
13,6-20	Д	1060	345	480	1400	160
16,0-20	Д	1095	405	505	1750	170
18,4R30	R	1545	467	708	2800	180
18,4R34	R	1645	467	750	2800	160
15,5R38	R	1570	394	730	2120	160
16,9R38	R	1675	429	770	2575	160
9,5-42	Д	1512	241	725	1250	210

Примечание: \*Д – диагональная; R – радиальная.

Колея передних колёс тракторов МТЗ-80 и МТЗ-80Л регулируется с интервалами 100 мм при симметричном и 50 мм при несимметричном расположении колёс.

Колея передних колёс тракторов МТЗ-82, МТЗ-82Л регулируется бесступенчато винтовым механизмом, расположенным на рукавах переднего моста в трех интервалах: 1350-1500 мм, 1500-1600 мм, 1600-1800 мм.

Для установки колёс на ширину колеи 1500-1600 вместо 1350-1500 мм (или наоборот) необходимо отвернуть гайки крепления обода колеса к диску и повернуть колесо так, чтобы кронштейны обода прошли через прорези в диски. В зависимости от требуемой ширины колеи устанавливается соответствующее взаимное расположение обода колеса относительно диска.

Для получения колеи 1600-1800 мм необходимо снять колеса с дисков и поменять их местами. При этом необходимо, чтобы направление вращения шины оставалось прежним (по стрелке, указанной на боковине).

При изменении колеи перестановкой обода на диске и колёс с одного борта на другой соответственно также изменяют положение крыльев посредством смены их креплений, для чего в кронштейнах и опорах крыльев имеются дополнительные отверстия.

Колея задних колёс может быть установлена в соответствии с таблицей 2.3 [87].

Таблица 2.3 – Установка колеи задних колёс трактора МТЗ-82.1 и их модификаций (для шин 15,5R38)

Колея задних колёс, мм	1350*	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2100
Расстояние от торца полуоси до торца ступицы заднего колеса, мм	бесступенчато				бесступенчато с перестановкой колёс			
	125	100	50	0	164	114	64	14

Примечание: \* для шин 9,5-42 и 11,2R42.

В соответствии с таблицей 2.3 [87] при агрегатировании трактора с большинством сельскохозяйственных орудий рекомендуется значение колеи передних и задних колёс 1450 мм.

Эксплуатационная масса трактора с навесным оборудованием составляет 4000 кг. Основные размеры трактора представлены на рисунке 2.1.

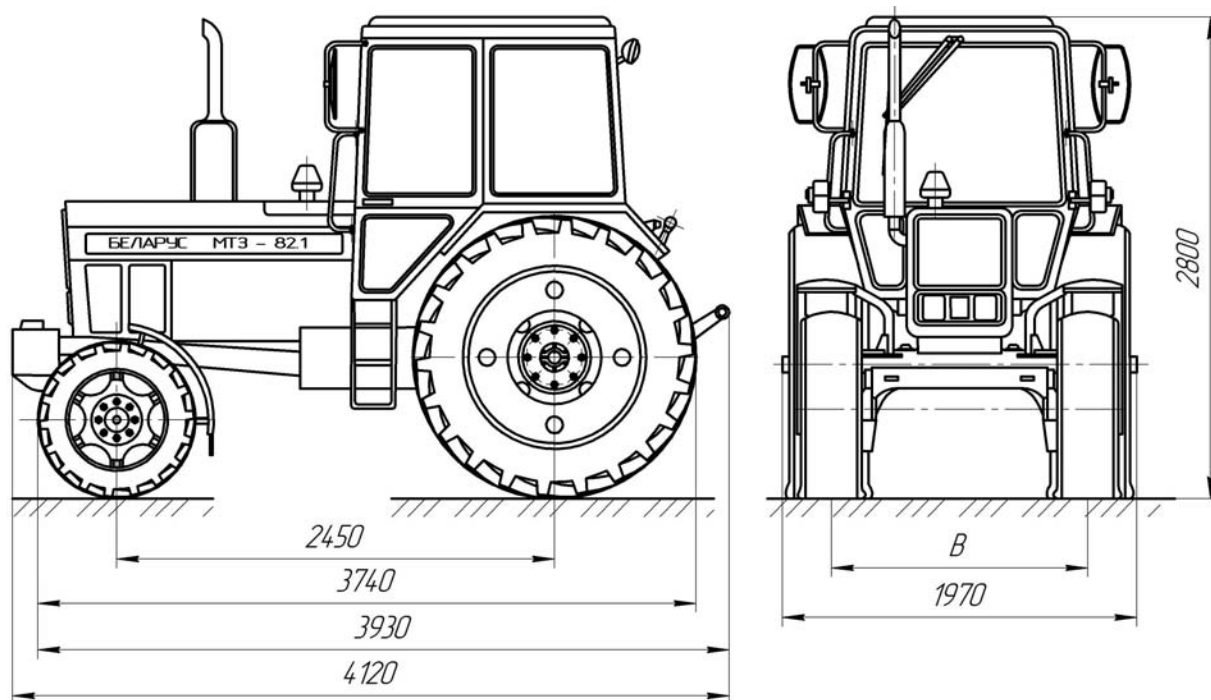


Рисунок 2.1 – Основные размеры трактора МТЗ-82.1:  $B$  – колея трактора

## 2.2. Определение расположения центров тяжести трактора

Для определения статических углов устойчивости трактора необходимо знать координаты его центра тяжести. Методика определения координат центров тяжести сельскохозяйственных тракторов регламентирована ГОСТ 30750-2001 [41].

Данный способ определения расположения центра тяжести трактора заключается в следующем. Тракторы, представляемые на испытания, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7057-2001 [42]. В соответствии с [41] центр тяжести определяют методом измерения реакции опор при установке трактора в трёх по-

ложениях: горизонтальном, наклонном при поднятой передней (моторной) части, наклонном при поднятой кормовой (задней) части. При этом площадка, на которой установлено весовое устройство (платформенные весы), должна иметь твердое основание.

Для определения горизонтальной продольной координаты измеряют реакцию  $F_2$ , обусловленную массой трактора  $m$  на переднем мосту, и базу трактора  $d$  (рисунок 2.2).

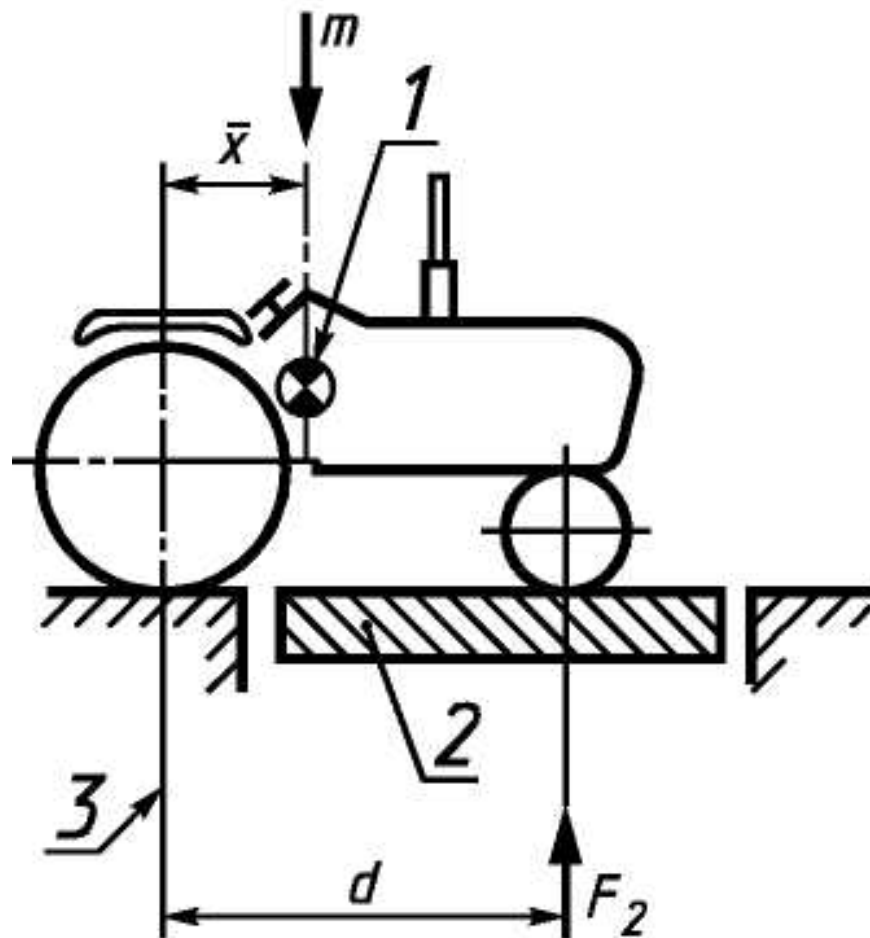


Рисунок 2.2 – Схема к определению продольной горизонтальной координаты центра тяжести трактора: 1 – центр тяжести трактора; 2 – платформенные весы; 3 – линия отсчета по вертикали

Горизонтальную продольную координату  $\bar{x}$  центра тяжести определяют по формуле (2.1) [41]:

$$\bar{x} = \frac{dF_2}{m}, \quad (2.1)$$

где  $d$  – база трактора, мм;  $F_2$  – реакция на передней оси от массы трактора, кг;  $m$  – масса трактора, кг.

Для определения вертикальной координаты  $\bar{h}$  (рисунок 2.3) трактор подвешивают под углом  $20-25^\circ$  к горизонтали со стороны прицепного устройства.

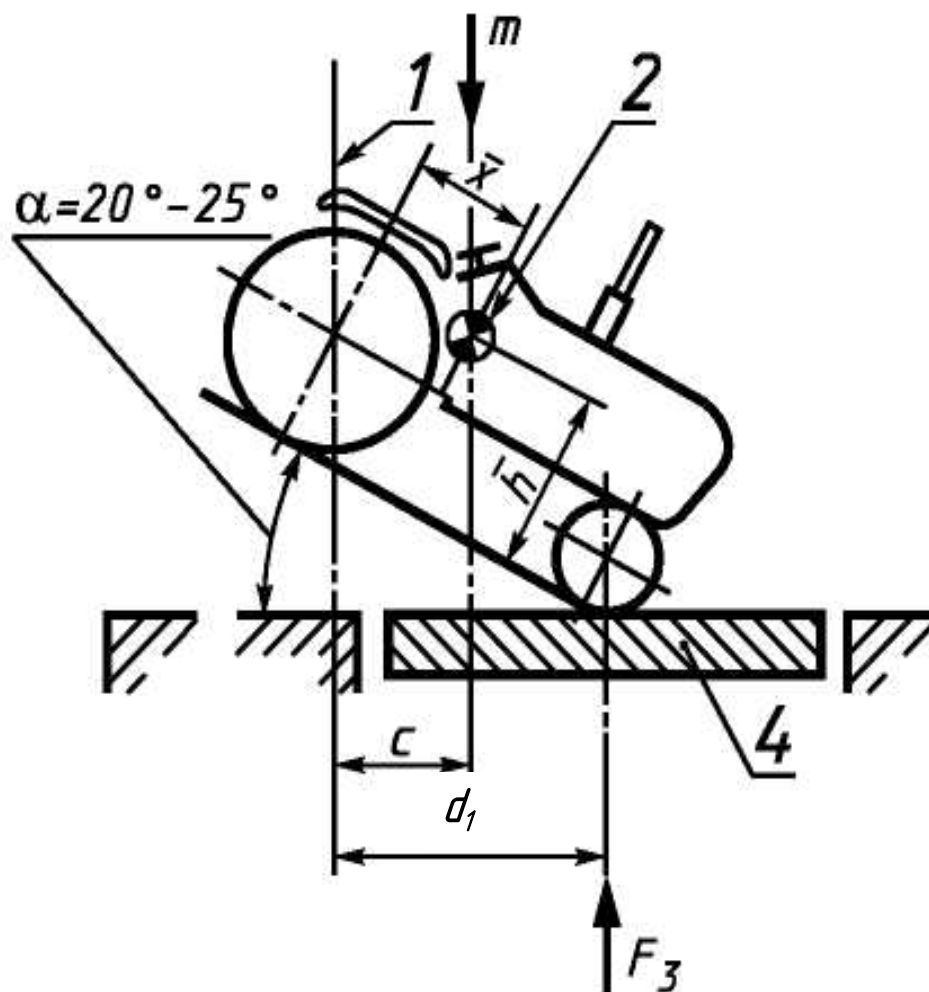


Рисунок 2.3 – Схема к определению вертикальной координаты положения центра тяжести трактора

Измеряют реакцию  $F_3$  в месте контакта колеса с платформой весов, после чего измеряют расстояние  $d_1$  от места контакта с платформой до линии подвешивания, после чего определяют расстояние  $c$  от центра тяжести до линии подвешивания по формуле [41]:

$$c = \frac{d_1 F_3}{m}, \quad (2.2)$$

где  $d_1$  – расстояние по горизонтали от места контакта колеса до линии подвешивания, мм;  $F_3$  – опорная реакция на месте контакта переднего колеса с опорной поверхностью, кг.

После этого испытания повторяют, подвешивая трактор с обеих сторон; при этом сохранение угла подвеса трактора необязательно.

Координату  $\bar{h}$  определяют в точке пересечения линии, параллельной линии оси подвеса на расстоянии  $c$  от неё, и перпендикуляра, проведенного на расстоянии  $\bar{x}$  к линии, параллельной координате  $\bar{x}$  и проходящей через крайние точки базы трактора.

Если результаты испытаний не совпадают, координаты  $\bar{h}$  усредняют.

Для определения поперечной координаты  $\bar{y}$  (рисунок 2.4) определяют нагрузки  $F_4$  и  $F_5$ , создаваемые колёсами с левой и правой сторон, после чего вычисляют расстояние  $b$ , положения центра тяжести с использованием ширины колеи  $d_t$ , [41]:

$$b = \frac{d_t F_5}{m}, \quad (2.3)$$

где  $d_t$  – ширина колеи трактора, мм;  $F_5$  – нагрузка, создаваемая колёсами правого борта трактора, кг.

Поперечную координату центра тяжести  $y$  рассчитывают по формуле [41]:

$$y = \frac{d_t}{2} - b, \quad (2.4)$$

где  $d_t$  – расстояние от центра тяжести до продольной плоскости, проходящей через движитель трактора, установленный на испытательной площадке, мм.

Таким образом получают координаты расположения центра тяжести трактора. Положение центра тяжести указывают в миллиметрах от каждой из трех базовых плоскостей.

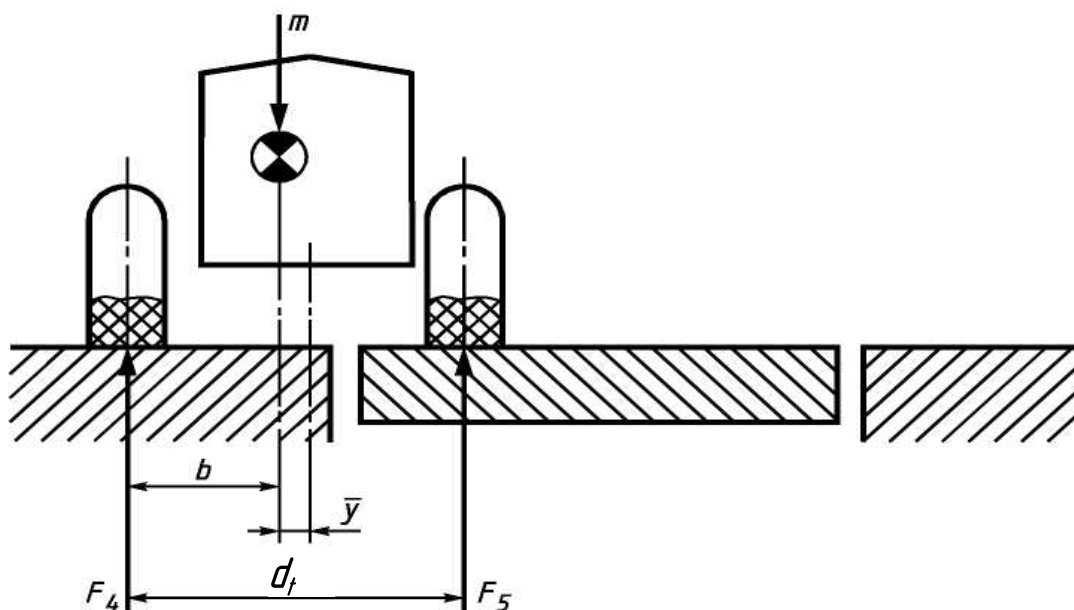


Рисунок 2.4 – Схема к определению поперечной координаты центра тяжести трактора

Данная методика вполне может быть использована при определении положения центра тяжести трактора. Однако вследствие её большой трудоёмкости целесообразно вертикальную координату центра тяжести определить аналитически.

Первоначально по формуле (2.1) необходимо определить горизонтальную координату  $\bar{x}$  (см. рисунок 2.2) расположения центра тяжести трактора. Для этого при помощи подкладных автомобильных весов «Мера ВТП-10» (в дальнейшем – автомобильных весов) следует определить часть веса  $F_2$  трактора, приходящуюся на переднюю ось трактора. Согласно проведенным замерам данный параметр составил  $F_2 = 13710$  Н (1398 кг).

Координата  $\bar{x}$  по формуле (2.1):

$$\bar{x} = \frac{2450 \cdot 1398}{4000} = 856 \text{ мм.}$$

Для определения вертикальной координаты необходимо определить реакцию, действующую на заднюю ось трактора, стоящего под углом 20-25°. Для этого задние колёса трактора устанавливались на специальную платформу, высота которой  $H$  (рисунок 2.5) вместе с весами составляла 765 мм. Угол наклона трактора  $\alpha$  при этом составлял 25°.

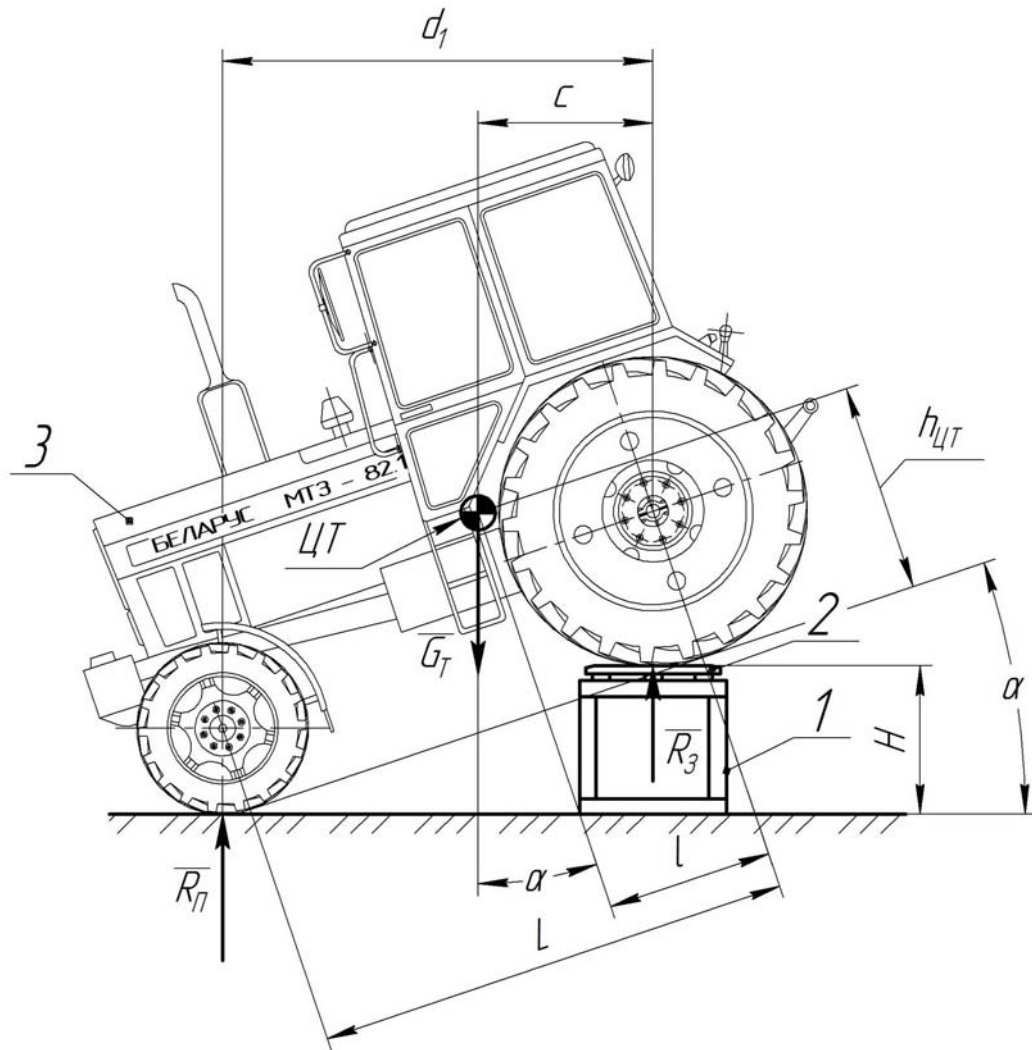


Рисунок 2.5 – Схема к определению расположения центра тяжести трактора МТЗ-82.1: 1 – платформа; 2 – автомобильные переносные весы; 3 – трактор МТЗ-82.1; ЦТ – центр тяжести трактора

Выражение для определения вертикальной координаты центра тяжести трактора  $h_{ц.т}$  (см. рисунок 2.5) имеет следующий вид:

$$h_{ц.т} = \left( \frac{c}{\cos \alpha} - \bar{x} \right), \quad (2.5)$$

где  $c$  – расстояние в горизонтальной плоскости между задней осью и центром тяжести трактора, мм.

Рассмотрим равновесие трактора в наклонном положении. Уравнение равновесия будет выглядеть следующим образом:

$$G_T(d_1 - c) - R_3 d_1 = 0, \quad (2.6)$$

где  $G_T$  – вес трактора, Н;



$$G_T = m \cdot g, \quad (2.7)$$

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

$$G_T = 4000 \cdot 9,81 = 39240 \text{ Н};$$

$R_3$  – реакция на задние колёса трактора со стороны платформы, Н;  $d_1$  – расстояние в горизонтальной плоскости между осями трактора, стоящего на платформе, мм.

Расстояние  $d_1$  определится из выражения

$$d_1 = L \cos \alpha, \quad (2.8)$$

где  $L$  – колёсная база трактора, мм;  $L = 2450 \text{ мм}$  (см. рисунок 2.1).

Из выражения (2.6) с учетом (2.8) имеем:

$$c = \frac{(G_T - R_3)L \cos \alpha}{G_T}. \quad (2.9)$$

С учетом (2.9) выражение (2.5) принимает следующий вид:

$$h_{\text{цт}} = \left( \frac{(G_T - R_3) \cdot L}{G_T} - \bar{x} \right) \cdot \text{ctg} \alpha. \quad (2.10)$$

Реакцию на задние колёса  $R_3$  определяли при помощи автомобильных весов 2 (см. рисунок 2.5), устанавливаемых на платформе 1. При этом значение реакции определяли с трехкратной повторяемостью, после чего было взято среднеарифметическое значение реакции  $R_3 = 17886 \text{ Н}$  (1823 кг).

Вертикальная координата центра тяжести по формуле (2.10):

$$h_{\text{цт}} = \left( \frac{(39240 - 17886) \cdot 2450}{39240} - 856 \right) \cdot \text{ctg} 25^\circ = 1024 \text{ мм}.$$

Горизонтальную поперечную координату центра тяжести  $\bar{y}$  определяли по формуле (2.4). Для этого при помощи автомобильных весов определяли реакцию  $F_4$ , действующую на правое колесо трактора, среднее значение которой составило 19797 Н (2018 кг). После этого по формуле (2.3) определяли расстояние  $b$  (см. рисунок 2.4):

$$b = \frac{1450 \cdot 2018}{4000} = 732 \text{ мм}.$$

Смещение центра тяжести относительно продольной плоскости трактора  $\bar{y}$  по формуле (2.4):

$$y = \frac{1450}{2} - 732 = 7 \text{ мм.}$$

Таким образом, центр тяжести трактора МТЗ-82.1 имеет следующие координаты:

– горизонтальная продольная координата (относительно задней оси трактора)  $\bar{x} = 856$  мм;

– горизонтальная поперечная координата центра тяжести (относительно продольной плоскости симметрии трактора согласно рисунку 2.4)  $\bar{y} = 7$  мм;

– вертикальная координата центра тяжести  $h_{ц.т} = 1024$  мм.

### **2.3. Определение расположения центров тяжести газобаллонного оборудования**

Для переоборудования трактора МТЗ-82.1 для работы по газодизельному циклу были использованы металлокомпозитные баллоны БА 67.20.401/840 производства ООО НПФ «Реал-Шторм» объемом 67 л. Длина баллона – 840 мм, диаметр баллона – 401 мм. Масса пустого баллона составляет 49,5 кг, масса баллона, заправленного газом, – 66,3 кг.

Для крепления баллонов на тракторе использовалась специальная съёмная кассета, представляющая собой сборную металлическую конструкцию из труб квадратного сечения с ложементами для крепления баллонов. Масса кассеты для установки баллонов – 30,1 кг. В каждой кассете использовали по два баллона. Масса кассеты в сборе с баллонами, полностью заправленными газом, равна 162,6 кг.

Для закрепления сменной кассеты в передней части трактора использовалась специальная рама, изготовленная из уголков 45×45×5 ГОСТ 8509-93, оснащённая специальным устройством для быстрого закрепления на ней кассеты. Масса рамы составляла 16,8 кг.

Для определения положения центра тяжести газобаллонного оборудования, включающего кассету и баллоны, использовалась методика, изложенная в [138].

Согласно данной методике координаты центра тяжести сборочной единицы, состоящей из нескольких составных элементов, определяются из условия равенства моментов их сил тяжести относительно центра тяжести всего агрегата. Схема расчёта координат центров тяжести сборочной единицы, состоящей из отдельных составляющих элементов, представлена на рисунке 2.6.

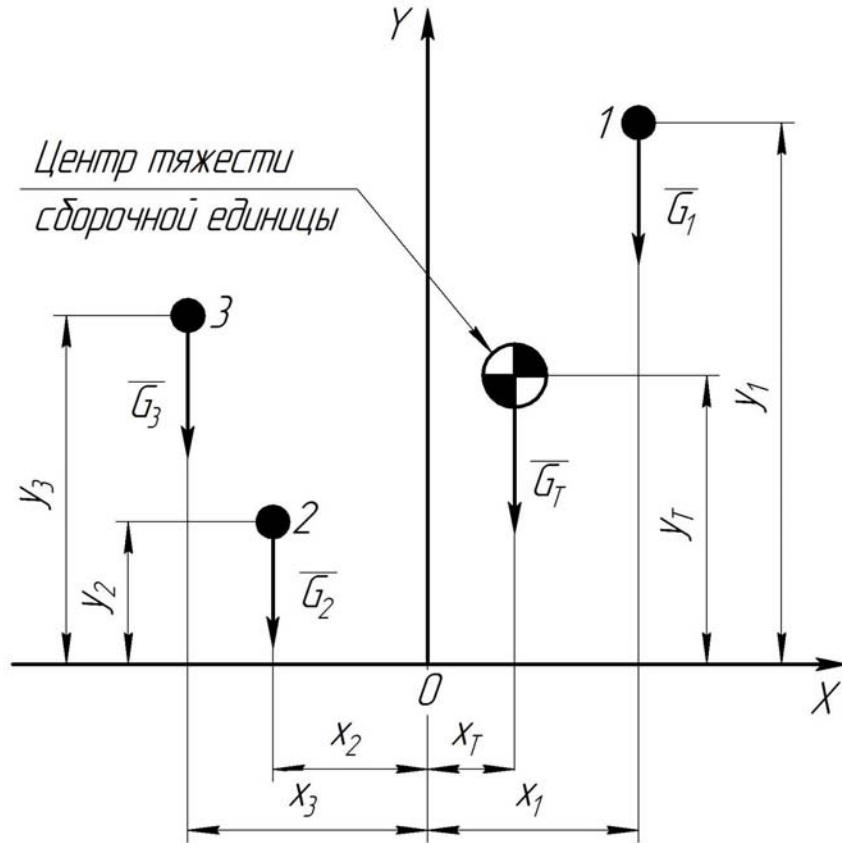


Рисунок 2.6 – Схема расчёта координат центров тяжести сборочной единицы

При этом выражение для определения соответствующей координаты центра тяжести кассеты  $x_T$ , мм, в целом запишется следующим образом:

$$x_T = \frac{\sum (G_i x_i)}{\sum G_i}, \quad (2.11)$$

где  $G_i$  – вес  $i$ -го элемента, входящего в состав агрегата, Н;  $x_i$  – координата центра тяжести  $i$ -го элемента по оси  $X$ , мм.

Значение второй координаты  $y_T$  центра тяжести сборочной единицы определяются аналогично с учётом того, что необходимо рассмотреть равновесие сборочной единицы, повернутой на  $90^\circ$  в любую сторону. Расчет ведётся по формуле:

$$y_T = \frac{\sum(G_i y_i)}{\sum G_i}, \quad (2.12)$$

где  $y_i$  – координата центра тяжести  $i$ -го элемента по оси  $Y$ , мм.

Аналогично определяли значение координаты центра тяжести сборочной единицы по третьей оси  $Z$  (координата  $z_T$ ) по формуле:

$$z_T = \frac{\sum(G_i z_i)}{\sum G_i}. \quad (2.13)$$

В процессе определения расположения центра тяжести кассета и рама разбивались на более простые элементы. В данном случае массой газопроводов и газовой топливной аппаратуры можно пренебречь ввиду их пренебрежимо малой массы по сравнению с остальными элементами. Результаты определения координат центра тяжести сменной кассеты и рамы представлены на рисунках 2.7 и 2.8 соответственно.

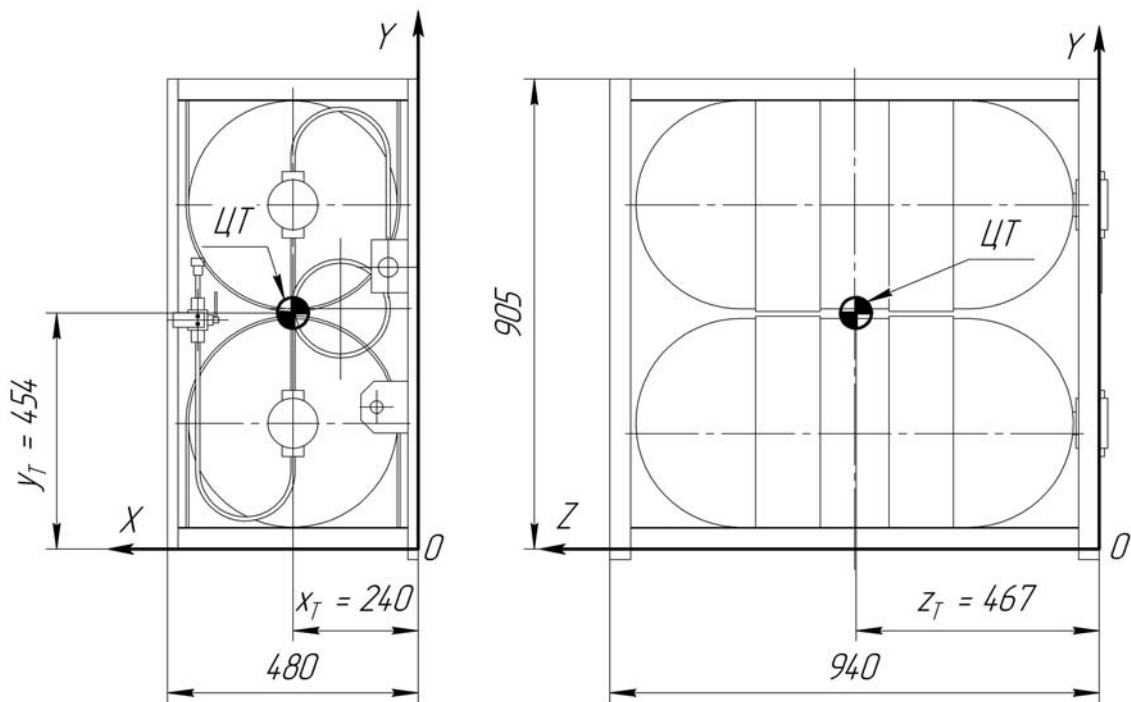


Рисунок 2.7 – Координаты центра тяжести сменной кассеты

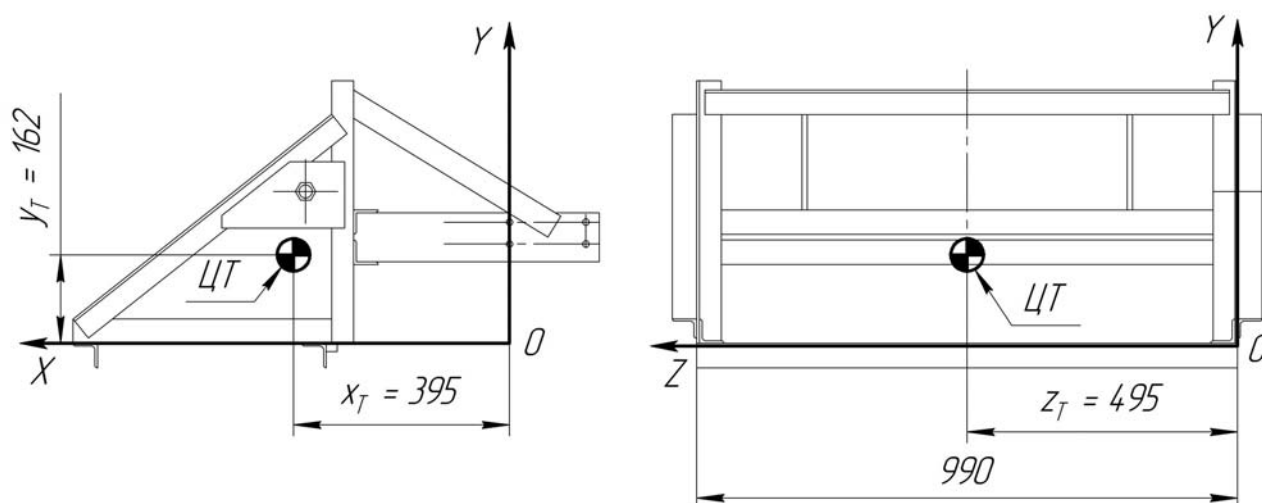


Рисунок 2.8 – Координаты центра тяжести рамы

Таким образом, были определены координаты центров тяжести трактора и газобаллонного оборудования, необходимые для проведения дальнейшего расчета предельных статических углов устойчивости трактора.

#### 2.4. Оценка предельных статических углов устойчивости трактора МТЗ-82.1

Как было сказано выше, в процессе работы трактор не должен опрокидываться. Установка дополнительных газовых баллонов может значительно повлиять на устойчивость трактора в целом вследствие повышения расположения центра тяжести. Поэтому при установке на тракторе газобаллонного оборудования, имеющего значительную массу и габаритные размеры, остро встаёт вопрос его оптимального расположения на тракторе. В некоторых случаях установленное газобаллонное оборудование может привести к нарушению устойчивости трактора и его опрокидыванию.

Опрокидывание – это вращательное движение трактора относительно некоторой оси, которая называется осью опрокидывания. При этом опрокидывающий момент превышает момент сил, которые стремятся вернуть трактор в исходное положение [48]:

$$M_{\text{опр}} \geq M_{\text{стаб}}, \quad (2.14)$$

где  $M_{\text{опр}}$  – опрокидывающий момент, Н·м;  $M_{\text{стаб}}$  – момент от сил, стремящихся вернуть трактор в исходное положение, Н·м.

Под осью опрокидывания понимается прямая, относительно которой возможен поворот трактора в вертикальной плоскости [48].

Различают продольную и поперечную устойчивость трактора. Продольная устойчивость против опрокидывания вперед или назад – это свойство трактора сопротивляться опрокидывающему движению вокруг поперечной оси опрокидывания [48]. При этом, прежде чем произойдет опрокидывание трактора, происходит перераспределение опорных реакций между осями трактора до того момента, когда одна из них станет равной нулю. При этом суммарный вектор сил тяжести компонентов трактора проходит через ось возможного опрокидывания.

Наибольший угол подъема, при котором заторможенный трактор может стоять, не опрокидываясь, называется предельным статическим углом подъема  $\alpha_{\text{limпод}}$ . Аналогично: наибольший угол уклона, при котором заторможенный трактор может стоять, не опрокидываясь, называется предельным статическим углом уклона  $\alpha_{\text{limук}}$ , и наибольший угол поперечного уклона, при котором заторможенный трактор может стоять, не опрокидываясь, называется поперечного уклона  $\beta_{\text{limук}}$ .

Газовые баллоны, предназначенные для хранения необходимого запаса газа при переоборудовании тракторов для работы по газодизельному циклу, на тракторах тяговых классов 0,9–2,0 в большинстве случаев могут быть установлены на крыше кабины трактора. Такая компоновка приводит к значительному повышению центра тяжести трактора (вследствие высокого расположения баллонов), что, в свою очередь, приводит к преждевременному опрокидыванию трактора.

Нами предлагается оснастить трактор сменной кассетой с двумя газовыми баллонами, которая устанавливается в передней части трактора перед радиатором при помощи специальной рамы, закреплённой на раме трактора посредством 8 штатных резьбовых отверстий. Такая компоновка в меньшей степени увеличивает центр тяжести трактора в целом. Баллоны при этом практически не нарушают обзорность с места водителя и способствуют дополнительному нагружению перед-

ней ведущей оси трактора, что в свою очередь способствует уменьшению буксования передних ведущих колёс. Поэтому в данном случае целесообразно провести сравнительную оценку различного расположения баллонов на тракторе.

Для этого сначала рассмотрим равновесие трактора МТЗ-82.1, оснащенного газобаллонным оборудованием, установленным на подъёме (рисунок 2.9).

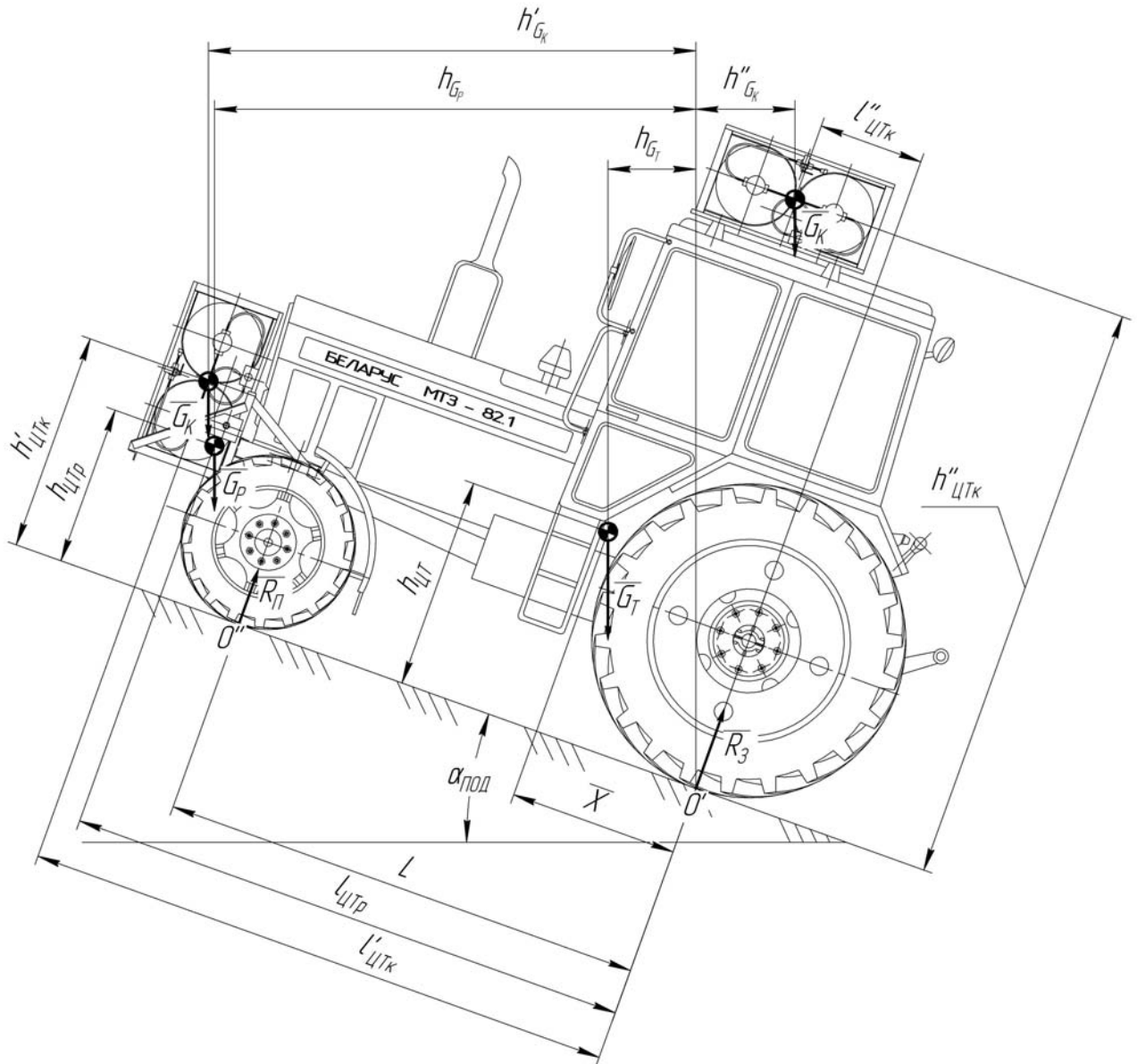


Рисунок 2.9 – Схема к определению предельного статического угла подъёма трактора МТЗ-82.1 при различной компоновке газобаллонного оборудования

В общем случае на трактор действуют силы тяжести  $\overline{G}_T$  (сила тяжести непосредственно трактора),  $\overline{G}_K$  (сила тяжести съёмной кассеты) и, в случае уста-

новки съёмной кассеты в передней части трактора,  $\overline{G}_p$  (сила тяжести рамы, на которой устанавливается съёмная кассета).

При изменении угла подъёма или наклона вследствие изменения геометрического положения центров тяжести различных элементов рассматриваемой системы сил знаки создаваемых ими моментов относительно осей опрокидывания могут изменять направление своего действия. Поэтому для унификации получаемых выражений для определения предельных статических углов опрокидывания будем рассматривать положение трактора при бесконечно малых значениях соответствующих углов.

Рассмотрим равновесие трактора, стоящего на подъёме, относительно предполагаемой оси опрокидывания  $O'$ .

При расположении баллонов в передней части трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} - R_{II} L = 0, \quad (2.15)$$

где  $h_{G_T}$  – плечо приложения силы тяжести трактора  $\overline{G}_T$ , мм;

$$h_{G_T} = \bar{x} \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ц.т}} \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.16)$$

$\bar{x} = 1620$  мм;  $h_{\text{ц.т}} = 1239$  мм (раздел 2.1.1);

$h'_{G_K}$  – плечо приложения силы тяжести кассеты  $\overline{G}_K$  при её установке в передней части трактора, мм;

$$h'_{G_K} = l'_{\text{ц.тк}} \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h'_{\text{ц.тк}} \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.17)$$

где  $l'_{\text{ц.тк}}$  – горизонтальная координата центра тяжести кассеты, установленной в передней части трактора, мм; согласно замерам, проведенным непосредственно на тракторе, и данным, представленным на рисунках 2.8 и 2.9,  $l'_{\text{ц.тк}} = 3015$  мм;  $h'_{\text{ц.тк}}$  – вертикальная координата центра тяжести кассеты, установленной в передней части трактора, мм; согласно замерам  $h'_{\text{ц.тк}} = 1157$  мм;  $h_{G_P}$  – плечо приложения силы тяжести рамы  $\overline{G}_p$ , на которой устанавливается сменная кассета, мм;

$$h_{G_P} = l_{\text{ц.тп}} \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ц.тп}} \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.18)$$



где  $l_{ц.Тр}$  – горизонтальная координата центра тяжести рамы, мм; согласно проведённым замерам  $l_{ц.Тр} = 2876$  мм;  $h_{ц.Тр}$  – вертикальная координата центра тяжести рамы, мм; согласно замерам  $h_{ц.Тр} = 860$  мм;  $L$  – колёсная база трактора, м;  $L = 2450$  мм (рисунок 2.1).

При расположении баллонов на крыше трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad G_T h_{G_T} + G_K h_{G_K}'' - R_{II} L = 0, \quad (2.19)$$

где  $h_{G_K}''$  – плечо приложения силы тяжести кассеты  $\bar{G}_K$  при её установке на крыше трактора, мм;

$$h_{G_K}'' = l_{ц.Тк}'' \cos \alpha_{ПОД} - h_{ц.Тк}'' \sin \alpha_{ПОД}, \quad (2.20)$$

$l_{ц.Тк}''$  – горизонтальная координата центра тяжести кассеты, установленной на крыше трактора, мм; согласно замерам  $l_{ц.Тк}'' = 534$  мм;  $h_{ц.Тк}''$  – вертикальная координата центра тяжести кассеты, установленной на крыше трактора, мм;  $h_{ц.Тк}'' = 3074$  мм.

В момент опрокидывания трактора реакция со стороны опорной поверхности на переднюю ось  $\bar{R}_{II}$  равна нулю. Соответствующий этому моменту угол подъёма  $\alpha_{ПОД}$  равен предельному статическому углу подъёма  $\alpha_{limПОД}$ . С учётом этого выражения для определения предельного статического угла подъёма с учётом (2.16)-(2.18), (2.20) запишутся в следующем виде:

– при установке баллонов в передней части трактора:

$$\alpha'_{limПОД} = \arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{ц.Тк} + G_P h_{ц.Тр}}{G_T h_{ц.Т} + G_K h'_{ц.Тк} + G_P h_{ц.Тр}}; \quad (2.21)$$

– при установке баллонов на крыше трактора:

$$\alpha''_{limПОД} = \arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{ц.Тк}}{G_T h_{ц.Т} + G_K h''_{ц.Тк}}. \quad (2.22)$$

Для определения предельных статических углов уклонов  $\alpha_{ук}$  трактора при различных вариантах расположения газовых баллонов рассмотрим равновесие трактора, стоящего на уклоне (рисунок 2.10).

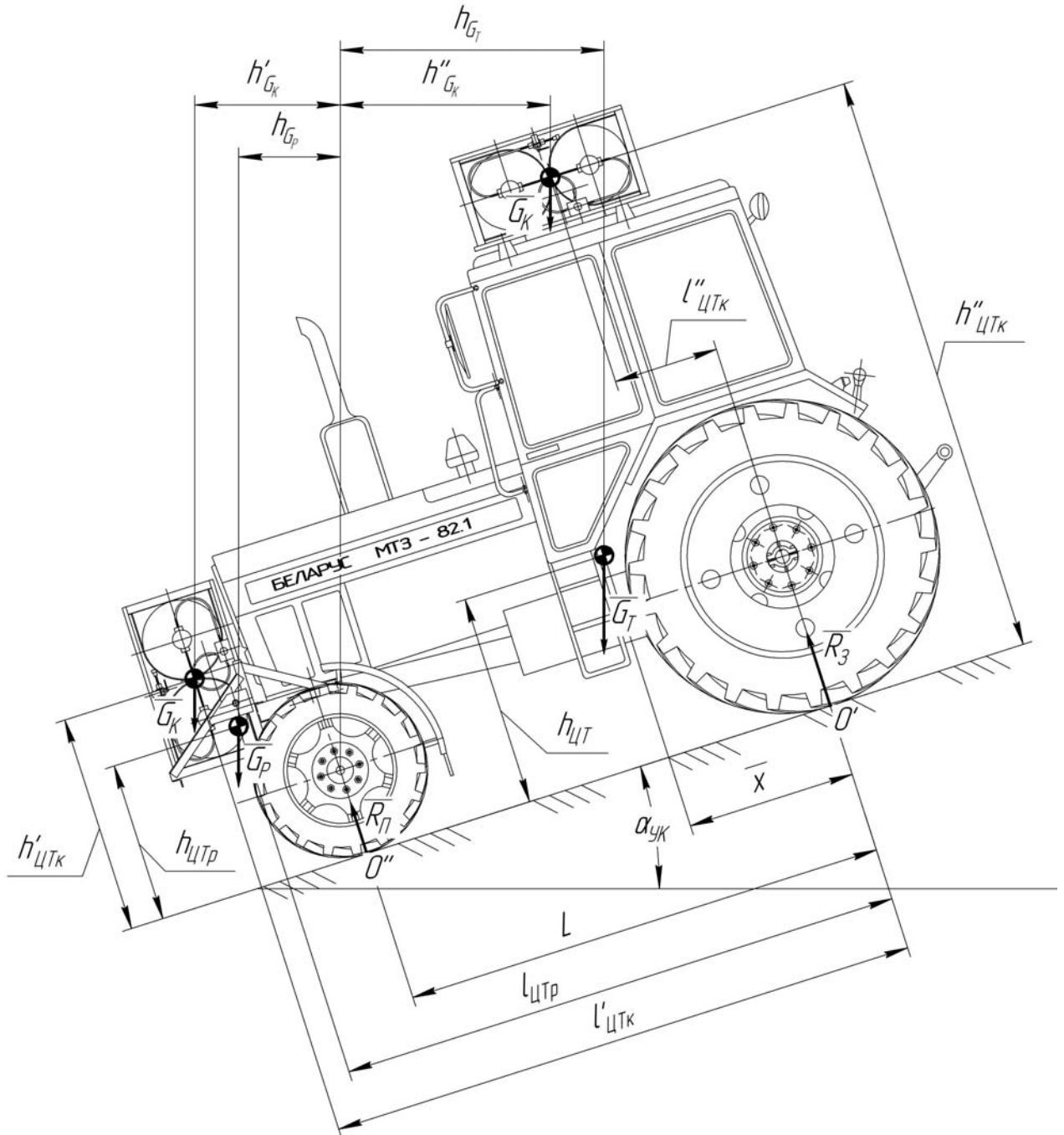


Рисунок 2.10 – Схема к определению предельного статического угла уклона трактора МТЗ-82.1 при различной компоновке газобаллонного оборудования

Уравнение равновесия относительно предполагаемой оси опрокидывания  $O''$  при расположении баллонов в передней части трактора будет иметь следующий вид:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} + R_3 L = 0. \quad (2.23)$$

Выражение для определения плеча приложения силы тяжести трактора  $h_{G_T}$  выглядит следующим образом:

$$h_{G_T} = (L - \bar{x}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h_{Ц.Т} \sin \alpha_{ук}. \quad (2.24)$$

Плечо приложения силы тяжести кассеты  $h_{G_K}$  в уравнении (2.23) определится из выражения:

$$h'_{G_K} = (l'_{Ц.Тк} - L) \cdot \cos \alpha_{ук} + h'_{Ц.Тк} \cdot \sin \alpha_{ук}. \quad (2.25)$$

Плечо приложения силы тяжести рамы определится как

$$h_{G_P} = (l_{Ц.Тр} - L) \cdot \cos \alpha_{ук} + h_{Ц.Тр} \sin \alpha_{ук}. \quad (2.26)$$

Уравнение равновесия трактора, стоящего на уклоне, у которого газовые баллоны расположены на крыше, имеет следующий вид:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T h_{G_T} - G_K h''_{G_K} + R_3 L = 0. \quad (2.27)$$

В случае расположения газовых баллонов на крыше трактора плечо приложения их силы тяжести  $h''_{G_K}$  определится из выражения:

$$h''_{G_K} = (L - l''_{Ц.Тк}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h''_{Ц.Тк} \sin \alpha_{ук}. \quad (2.28)$$

В момент опрокидывания трактора на уклоне реакция со стороны опорной поверхности на заднюю ось  $\bar{R}_3$  равна нулю. При этом угол уклона  $\alpha_{ук}$  равен предельному статическому углу уклона  $\alpha_{limук}$ . Анализируя уравнения равновесия (2.23) и (2.27) с учётом (2.24-2.26), (2.28) получаем выражения для определения предельных статических углов уклона трактора, оснащенного газобаллонным оборудованием:

– при установке баллонов в передней части трактора:

$$\alpha'_{limук} = \arctg \frac{(G_T + G_K + G_P) \cdot L - G_T \bar{x} - G_K l'_{Ц.Тк} - G_P l_{Ц.Тр}}{G_T h_{Ц.Т} + G_K h'_{Ц.Тк} + G_P l_{Ц.Тр}}; \quad (2.29)$$

– при установке баллонов на крыше трактора:

$$\alpha''_{\text{limYK}} = \arctg \frac{(G_T + G_K) \cdot L - G_T \bar{x} - G_K l''_{\text{ЦТК}}}{G_T h_{\text{ЦТ}} + G_K h''_{\text{ЦТК}}} \quad (2.30)$$

Для определения предельного статического угла уклона трактора  $\beta_{\text{limYK}}$  необходимо рассмотреть равновесие трактора, стоящего на поперечном уклоне (рисунок 2.11).

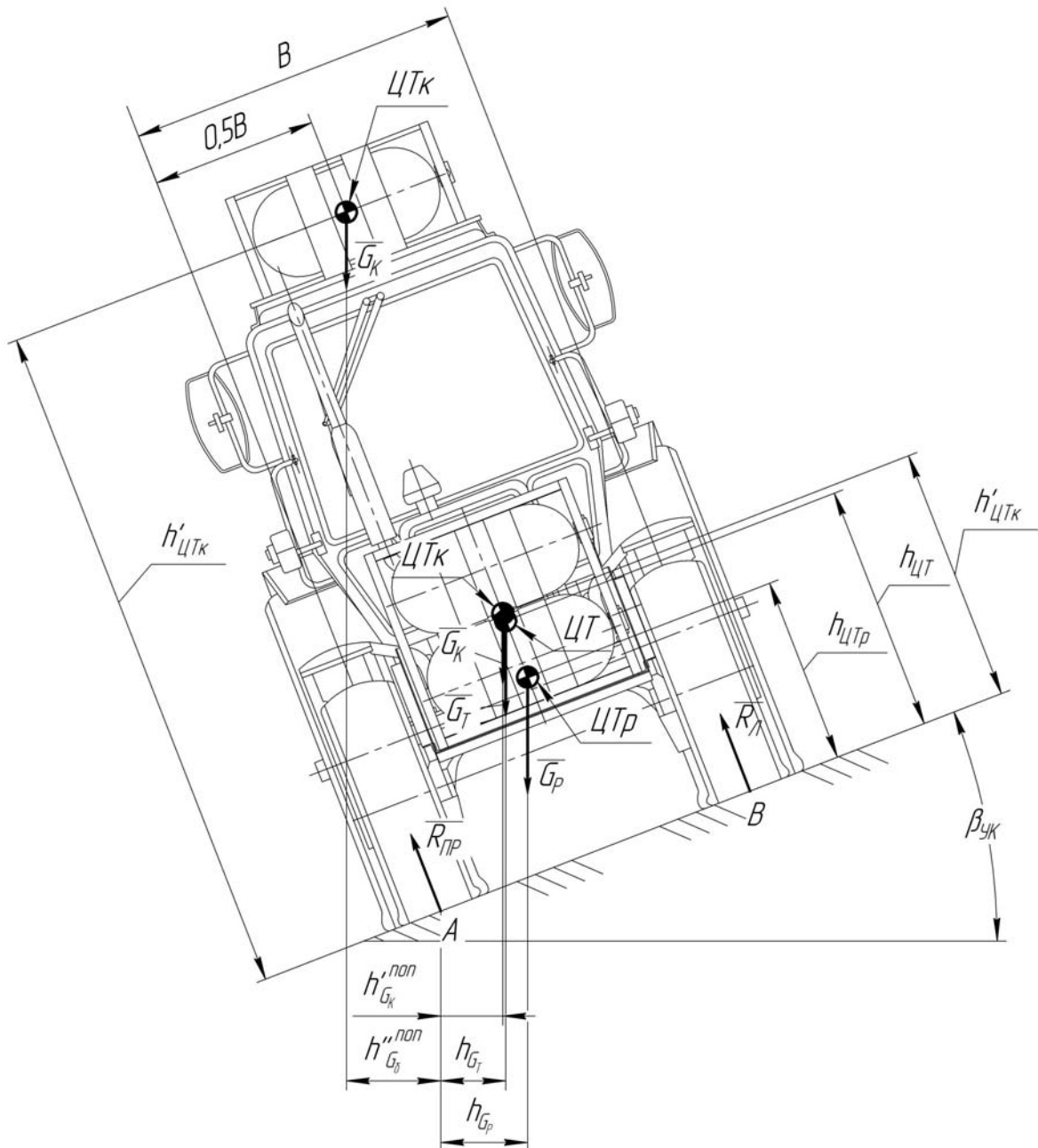


Рисунок 2.11 – Схема к определению предельного поперечного статического угла уклона трактора МТЗ-82.1 при различной компоновке газобаллонного оборудования

Составим уравнение моментов всех сил, действующих на трактор, относительно оси опрокидывания  $A$ . При этом, как и в случае предельных продольных углов опрокидывания, трактор будем рассматривать при бесконечно малом угле поперечного уклона. Уравнение равновесия трактора на поперечном уклоне при расположении кассеты в передней его части имеет следующий вид:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_{\text{Л}}B - G_{\text{Т}}h_{G_{\text{Т}}}^{\text{поп}} - G_{\text{К}}h'_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}} - G_{\text{Р}}h_{G_{\text{Р}}}^{\text{поп}} = 0, \quad (2.31)$$

где  $R_{\text{Л}}$  – реакция со стороны опорной поверхности, приходящаяся на левые колеса, Н;  $h_{G_{\text{Т}}}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести трактора  $\bar{G}_{\text{Т}}$  на поперечном уклоне, мм;  $h'_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести кассеты  $\bar{G}_{\text{К}}$  на поперечном уклоне при расположении кассеты в передней части трактора, мм;  $h_{G_{\text{Р}}}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести кассеты  $\bar{G}_{\text{К}}$  на поперечном уклоне при различных вариантах их установки (в передней части трактора или на крыше), мм.

Плечи приложения соответствующих сил определяются из выражений:

$$h_{G_{\text{Т}}}^{\text{поп}} = 0,5B \cos \beta_{\text{ук}} - h_{\text{Ц,Т}} \sin \beta_{\text{ук}}, \quad (2.32)$$

где  $B$  – колея трактора, мм;  $B = 2700$  мм.

$$h'_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}} = 0,5B \cos \beta_{\text{ук}} - h'_{\text{Ц,Тк}} \sin \beta_{\text{ук}}, \quad (2.33)$$

$$h_{G_{\text{Р}}}^{\text{поп}} = 0,5B \cos \beta_{\text{ук}} - h_{\text{Ц,Тр}} \sin \beta_{\text{ук}}. \quad (2.34)$$

Уравнение равновесия трактора на поперечном уклоне при расположении кассеты на крыше трактора:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_{\text{Л}}B - G_{\text{Т}}h_{G_{\text{Т}}}^{\text{поп}} - G_{\text{К}}h''_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}} = 0, \quad (2.35)$$

где  $h''_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести кассеты  $\bar{G}_{\text{К}}$  на поперечном уклоне при расположении кассеты на крыше трактора, мм.

Плечо приложения силы тяжести кассеты  $h''_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}}$  определяют по следующей формуле:

$$h''_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}} = 0,5B \cos \beta_{\text{ук}} - h''_{\text{Ц,Тк}} \sin \beta_{\text{ук}}. \quad (2.36)$$

В момент начала опрокидывания реакция со стороны опорной поверхности, на которой установлен трактор,  $R_{\text{Л}}$  равна нулю. Причем в этот момент значение угла  $\beta_{\text{УК}}$  будет соответствовать предельному значению угла поперечной устойчивости  $\beta_{\text{limУК}}$ . С учетом (2.32)-(2.34), (2.36) получаем выражения для определения предельного статического поперечного угла уклона трактора:

– при расположении газовых баллонов в передней части трактора:

$$\beta_{\text{limУК}} = \text{arctg} \frac{0,5B(G_{\text{T}} + G_{\text{К}} + G_{\text{P}})}{G_{\text{T}}h_{\text{Ц.Т}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц.Тк}} + G_{\text{P}}h_{\text{Ц.Тр}}}; \quad (2.37)$$

– при расположении газовых баллонов в задней части трактора:

$$\beta_{\text{limУК}} = \text{arctg} \frac{0,5B(G_{\text{T}} + G_{\text{К}})}{G_{\text{T}}h_{\text{Ц.Т}} + G_{\text{К}}h''_{\text{Ц.Тк}}}. \quad (2.38)$$

Полученные таким образом выражения (2.21), (2.22), (2.29), (2.30), (2.37) и (2.38) позволяют определить предельные статические углы устойчивости трактора при различном расположении газобаллонного оборудования. Также при помощи этих выражений можно определить предельные статические углы устойчивости трактора без газобаллонного оборудования, если принять массу съёмной кассеты  $G_{\text{К}}$  и рамы для их установки  $G_{\text{P}}$  равной нулю. Результаты расчёта предельных статических углов устойчивости трактора МТЗ-82.1 представлены на рисунке 2.12.

Из диаграммы, представленной на рисунке 2.12, видно, что на продольном подъёме установка съёмной кассеты в передней части трактора увеличивает предельный статический угол подъёма  $\alpha_{\text{limПОД}}$  с  $39,9^\circ$  (базовый трактор) до  $42,7^\circ$ . При установке же газовых баллонов на крыше трактора предельный статический угол подъёма уменьшается до  $37,4^\circ$  по сравнению с базовым трактором.

Установка газобаллонного оборудования на продольном уклоне в любом случае приводит к уменьшению, по сравнению с базовым трактором ( $\alpha_{\text{limУК}} = 57,3^\circ$ ), предельных статических углов продольного уклона: до  $55,6^\circ$  при установке съёмной кассеты на крыше трактора и до  $53,8^\circ$  при установке съёмной кассеты на крыше трактора.

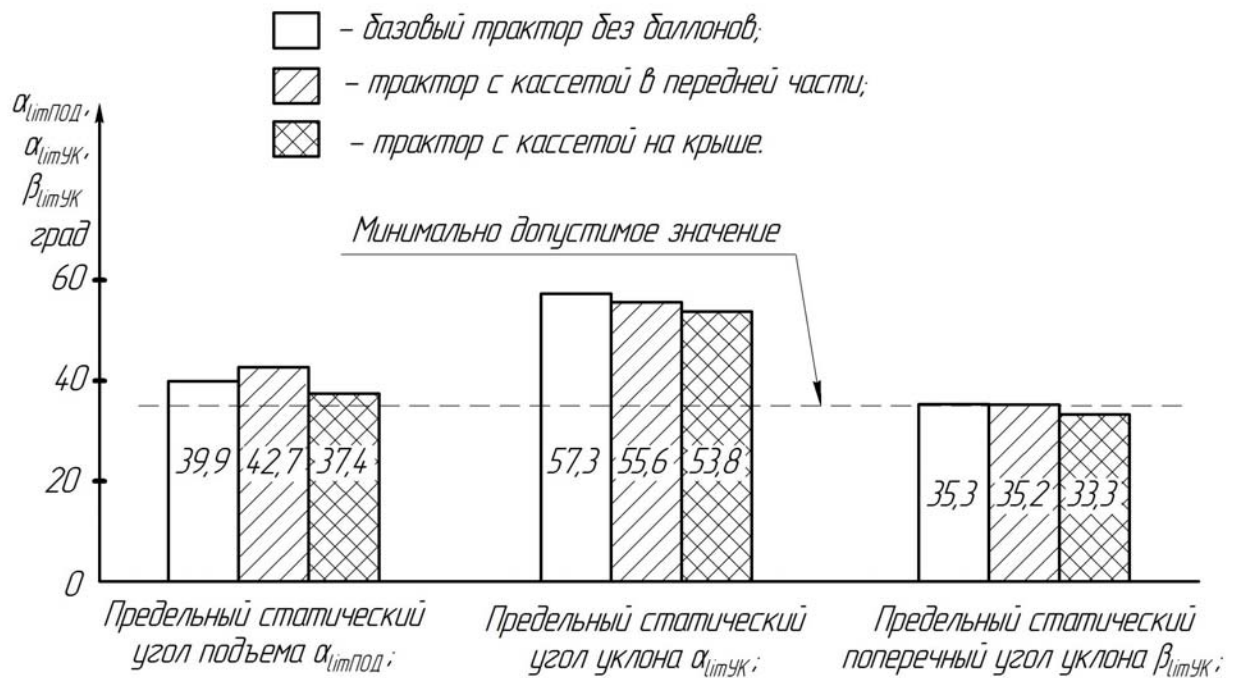


Рисунок 2.12 – Пределные статические углы устойчивости трактора МТЗ-82.1 при различной компоновке газобаллонного оборудования

На поперечном уклоне при установке съёмной кассеты в передней части трактора продольный статический угол поперечного уклона  $\beta_{\text{limук}}$  практически не меняется по сравнению с базовым трактором (углы равны соответственно 35,3 и 35,2°). При установке же съёмной кассеты на крыше трактора пределный статический угол поперечного уклона снижается до 33,3°, что не соответствует требованиям ГОСТ 12.2.019-2005 [39], в соответствии с которым данный показатель не должен быть менее 35°.

## 2.5. Оценка предельных динамических углов устойчивости трактора МТЗ-82.1

Несмотря на то, что нормативными документами [38, 39] для тракторов регламентированы предельные статические углы устойчивости трактора, на практике наибольший интерес представляют углы устойчивости трактора при его движении (динамические углы устойчивости). В случае движения трактора в соответствии с принципом Даламбера его можно рассматривать как находящийся в

неподвижном положении или двигающегося прямолинейно и равномерно, если кроме внешних сил, действующих на трактор (как правило, это силы тяжести трактора и установленного на нём оборудования) в соответствующие точки приложить также силы инерции. Тогда данную систему сил можно считать уравновешенной, и к ней применимы все приёмы решения статических уравнений равновесия.

В соответствии со вторым законом Ньютона сила инерции  $F_{Иi}$ , Н, действующая на тело, может быть определена из выражения

$$F_{Иi} = m_i a_i, \quad (2.39)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента рассматриваемой системы сил, кг;  $a_i$  – ускорение  $i$ -го элемента рассматриваемой системы сил, м/с<sup>2</sup>.

В случае прямолинейного движения трактора ускорение может быть определено из выражения

$$a_i = \frac{v_0 - v}{t}, \quad (2.40)$$

где  $v_0$  – начальная скорость движения трактора (при торможении) или конечная скорость движения трактора (при разгоне), м/с;  $v$  – конечная скорость движения трактора (при торможении) или начальная скорость движения трактора (при разгоне), м/с;  $t$  – время, за которое произошло данное изменение скорости, с.

Стандартами безопасности [39] устанавливается минимальное значение тормозного пути трактора  $S_0$ , м, при холодных тормозах, определяемое из выражения

$$S_0 \leq 0,15v_{\text{нач}} + \frac{v_{\text{нач}}^2}{116}, \quad (2.41)$$

где  $v_{\text{нач}}$  – скорость в момент начала торможения, км/ч.

$$S_{0\text{min}} = 0,15 \cdot 33,4 + \frac{33,4^2}{116} = 14,6 \text{ м.}$$



Максимальное ускорение при торможении может быть определено по формуле

$$a_{\max} = \frac{v_{\text{нач}}^2}{2S_{0\min}}, \quad (2.42)$$

$$a_{\max} = \frac{33,4^2}{2 \cdot 14,6} = 38,2 \text{ м/с}^2.$$

Для определения максимального ускорения при разгоне трактора были произведены замеры времени, необходимого для разгона неподвижного трактора до скорости 20 км/ч. В соответствии с полученными данными время разгона до указанной скорости составило 8 с. Тогда максимальное ускорение при разгоне по формуле (2.40)

$$a_{\max} = \frac{20 - 0}{8} = 2,5 \text{ м/с}^2.$$

Таким образом, необходимо оценить устойчивость трактора при значениях ускорений: при разгоне – от 0 до 2,5 м/с, при торможении – от 0 до 40 м/с<sup>2</sup>.

При движении трактора по криволинейной траектории (в повороте) полное ускорение  $\overline{a}$  трактора складывается из двух составляющих (рисунок 2.13) – нормального (центростремительного) ускорения  $\overline{a}_n$  и тангенциального ускорения  $\overline{a}_\tau$ :

$$\overline{a} = \overline{a}_n + \overline{a}_\tau, \quad (2.43)$$

Нормальное ускорение при криволинейном движении может быть определено из выражения

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (2.44)$$

где  $v$  – скорость движения в повороте, м/с;  $R$  – радиус поворота, м.

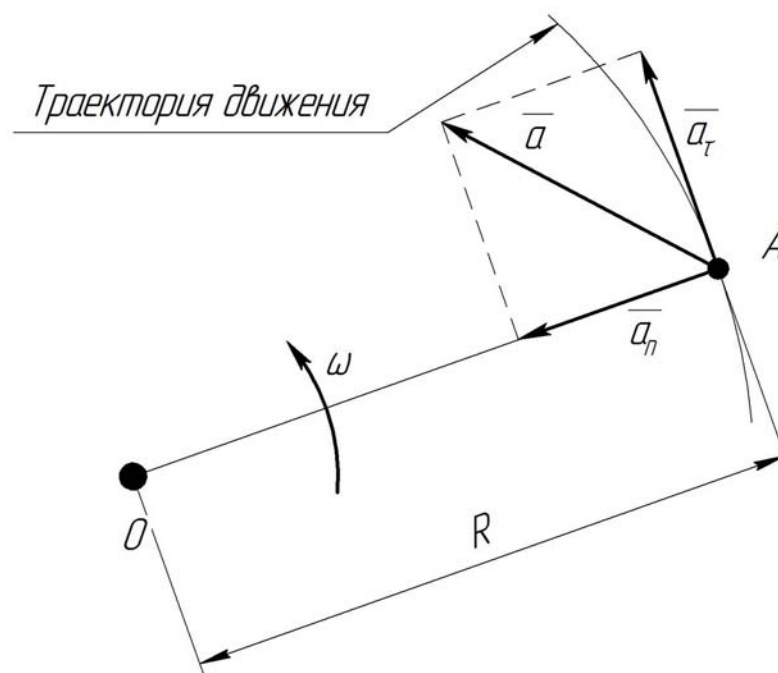


Рисунок 2.13 – Схема к определению полного ускорения при криволинейном движении

С учётом принципа Даламбера уравнения равновесия трактора запишутся в следующем виде:

– на подъёме при расположении баллонов в передней части трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} - R_{II} L - \sum (m_i a_i h_{Ц, Ti}) = 0; \quad (2.45)$$

– на подъёме при расположении баллонов на крыше трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad G_T h_{G_T} + G_K h''_{G_K} - R_{II} L - \sum (m_i a_i h_{Ц, Ti}) = 0; \quad (2.46)$$

– на продольном уклоне при расположении баллонов в передней части трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T \cdot h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} + R_3 \cdot L + \sum (m_i a_i h_{Ц, Ti}) = 0; \quad (2.47)$$

– на продольном уклоне при расположении баллонов на крыше трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T h_{G_T} + G_K h''_{G_K} + R_3 L + \sum (m_i a_i h_{Ц, Ti}) = 0; \quad (2.48)$$

– на поперечном уклоне при расположении кассеты в передней части трактора:

$$\sum M_A(F_i) = 0; \quad R_{II} B - G_T h_{G_T}^{\text{ноп}} - G_K h'_{G_K}^{\text{ноп}} - G_P \cdot h_{G_P}^{\text{ноп}} + \sum \left( \frac{v^2}{R} \cdot a_i h_{Ц, Ti} \right) = 0; \quad (2.49)$$

– на поперечном уклоне при расположении кассеты на крыше трактора:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_{\text{Л}}B - G_{\text{T}}h_{G_{\text{T}}}^{\text{поп}} - G_{\text{К}}h_{G_{\text{К}}}^{\text{поп}} + \sum \left( \frac{v^2}{R} \cdot a_i h_{\text{Ц},Ti} \right) = 0, \quad (2.50)$$

где  $h_{\text{Ц},Ti}$  – вертикальная координата центра тяжести соответствующего компонента рассматриваемой системы, мм.

После преобразования указанных выражений получаем соответствующие выражения для определения предельных динамических углов устойчивости трактора:

– на подъёме при расположении баллонов в передней части трактора:

$$\alpha_{\text{ПОД}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{(G_{\text{T}}\bar{X} + G_{\text{К}}l'_{\text{Ц},\text{TК}} + G_{\text{П}}l_{\text{Ц},\text{Тр}})^2 - \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}{(G_{\text{T}}h_{\text{Ц},\text{T}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц},\text{TК}} + G_{\text{П}} \cdot h_{\text{Ц},\text{Тр}})^2 + \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}}; \quad (2.51)$$

– на подъёме при расположении баллонов на крыше трактора:

$$\alpha_{\text{ПОД}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{(G_{\text{T}}\bar{X} + G_{\text{К}}l'_{\text{Ц},\text{TК}})^2 - \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}{(G_{\text{T}}h_{\text{Ц},\text{T}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц},\text{TК}})^2 + \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}}; \quad (2.52)$$

– на продольном уклоне при расположении баллонов в передней части трактора:

$$\alpha_{\text{УК}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{([G_{\text{T}} + G_{\text{К}} + G_{\text{П}}] \cdot L - G_{\text{T}}\bar{X} - G_{\text{К}}l'_{\text{Ц},\text{TК}} - G_{\text{П}}l_{\text{Ц},\text{Тр}})^2 - \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}{(G_{\text{T}}h_{\text{Ц},\text{T}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц},\text{TК}} + G_{\text{П}}h_{\text{Ц},\text{Тр}})^2 + \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}}; \quad (2.53)$$

– на продольном уклоне при расположении баллонов на крыше трактора:

$$\alpha_{\text{УК}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{([G_{\text{T}} + G_{\text{К}}] \cdot L - G_{\text{T}}\bar{X} - G_{\text{К}}l'_{\text{Ц},\text{TК}})^2 - \sum (m_i a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}{(G_{\text{T}}h_{\text{Ц},\text{T}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц},\text{TК}})^2 + \sum (m_i \cdot a_i h_{\text{Ц},Ti})^2}}; \quad (2.54)$$

– на поперечном уклоне при расположении кассеты в передней части трактора:

$$\beta_{\text{УК}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{0,25B^2(G_{\text{T}} + G_{\text{К}} + G_{\text{П}})^2 - \sum \left( m_i \frac{v^2}{R} h_{\text{Ц},Ti} \right)^2}{(G_{\text{T}}h_{\text{Ц},\text{T}} + G_{\text{К}}h'_{\text{Ц},\text{TК}} + G_{\text{П}}h_{\text{Ц},\text{Тр}})^2 + \sum \left( m_i \frac{v^2}{R} \cdot h_{\text{Ц},Ti} \right)^2}}; \quad (2.55)$$

– на поперечном уклоне при расположении кассеты на крыше трактора:

$$\beta_{\text{УК}}^{\text{дин}} = \arctg \sqrt{\frac{0,25B^2(G_T + G_K)^2 - \sum \left( m_i \frac{v^2}{R} \cdot h_{\text{Ц,Тi}} \right)^2}{(G_T h_{\text{Ц,Т}} + G_K \cdot h'_{\text{Ц,Тк}})^2 + \sum \left( m_i \frac{v^2}{R} \cdot h_{\text{Ц,Тi}} \right)^2}}. \quad (2.56)$$

Результаты определения предельных динамических углов по формулам (2.51)-(2.56) представлены на рисунках 2.14-2.16.

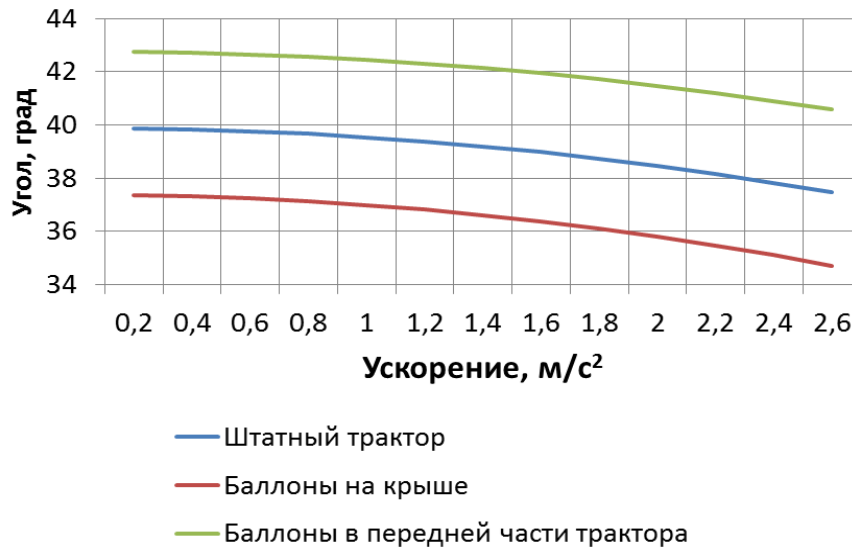


Рисунок 2.14 – Предельные динамические углы устойчивости трактора на подъёме

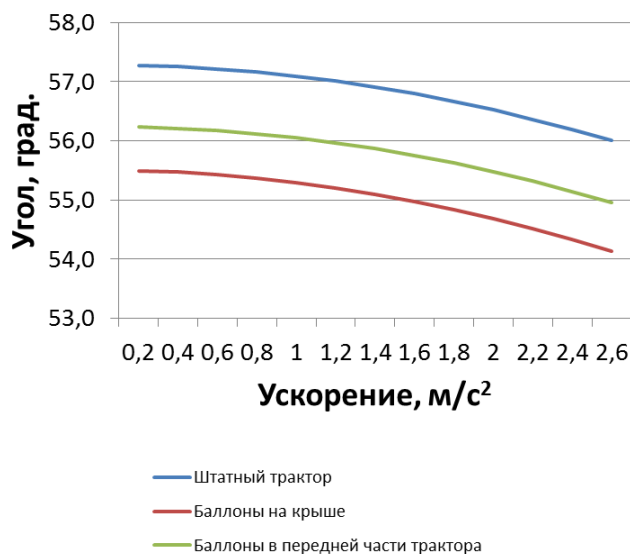
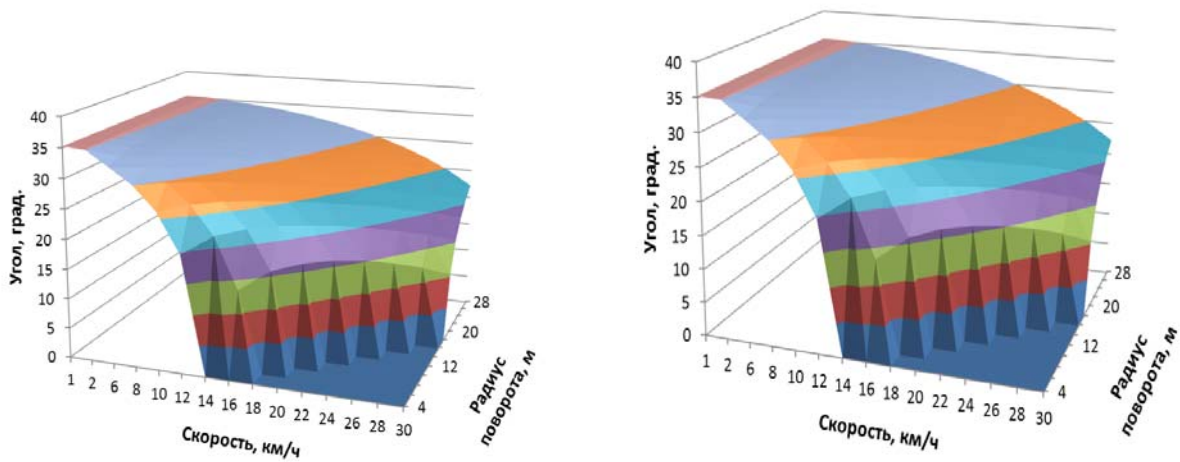
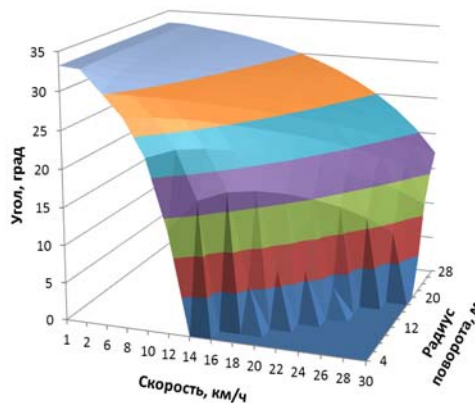


Рисунок 2.15 – Предельные динамические углы устойчивости трактора на продольном уклоне



базовый трактор

в передней части трактора



на крыше трактора

Рисунок 2.16 – Предельные динамические углы устойчивости трактора на поперечном уклоне

Таким образом, при переводе трактора МТЗ-82.1 на газодизельный цикл баллоны целесообразнее устанавливать в передней части трактора, так как это практически не ухудшает устойчивость трактора.

## 2.6. Оценка влияния газобаллонного оборудования на тягово-сцепные характеристики трактора

В процессе эксплуатации трактора мощность двигателя расходуется на преодоление потерь в узлах трансмиссии трактора, на преодоление внутренних со-

противлений в колёсном движителе, на деформирование грунта и т. д. При этом значительная часть мощности расходуется на буксование ведущих колёс трактора [6, 48, 125].

Движение трактора по грунту сопровождается деформацией почвы. В результате деформации почвы в плоскости, нормальной к поверхности пути, образуется колея. Работа, затрачиваемая на образование колеи, а также на смятие грунта при входе почвозацепов в грунт и выходе их из него. Это учитывается потерями на передвижение трактора. Одновременно с деформацией почвы по нормали происходит деформация почвы в плоскости, параллельной пути трактора, в результате взаимодействия почвозацепов с грунтом. При этом почвозацепы, погруженные в грунт, под действием ведущего момента деформируют (спрессовывают) пласты почвы до тех пор, пока возрастающая реакция почвы не уравновесит касательную силу тяги. Данные горизонтальные деформации почвы происходят в направлении, противоположном движению трактора, поэтому в результате их действия снижается скорость движения трактора – происходит буксование.

С увеличением касательной силы тяги увеличивается горизонтальная деформация почвы и соответственно буксование трактора. Скорость движения трактора, которая получилась бы при качении ведущего колеса (или гусеницы) по поверхности грунта без буксования, называется теоретической скоростью.

Действительная скорость движения трактора вследствие буксования несколько меньше теоретической. В общем случае буксование  $\delta$  определяется из выражения [6]:

$$\delta = \frac{v_T - v_D}{v_T}, \quad (2.57)$$

где  $v_T$  – теоретическая скорость движения трактора, м/с;  $v_D$  – действительная скорость движения трактора, м/с.

Буксование, как правило, приводит к повышению расхода топлива. Установка газобаллонного оборудования, имеющего значительную массу, может положительно влиять на тягово-сцепные характеристики трактора вследствие того, что этим обеспечивается дополнительное нагружение ведущих колёс трактора.

Поэтому в данной работе целесообразно оценить степень влияния газобаллонного оборудования и места его установки на тягово-сцепные показатели трактора.

При выполнении различного вида работ колёсные тракторы работают в режиме, при котором коэффициент буксования  $\delta$  составляет 10...30 %. При этом также высока вероятность работы трактора с  $\delta > 30$  % [31]. Буксование трактора в этом случае может быть определено по эмпирической формуле [31]:

$$\delta = aP_j + bP_j^c, \quad (2.58)$$

где  $a, b, c$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от типа трактора; для колёсных тракторов  $a = 0,13$ ;  $b = 0,013$ ;  $c = 8$  [31];  $P_j$  – относительная сила тяги трактора, Н/Н.

Относительная сила тяги  $P_j$  может быть определена из выражения [31]:

$$P_j = \frac{P_{\text{кр}j}}{P_{\text{кф}j}}, \quad (2.59)$$

где  $P_{\text{кр}j}$  – доля силы тяги на крюке, приходящаяся на соответствующую ось трактора, Н;  $P_{\text{кф}j}$  – наибольшая допустимая по сцеплению с почвой сила тяги, приходящаяся на соответствующую ось трактора, Н.

Исходя из того, что сила тяги, которая реализуется каждым отдельным двигателем трактора, находится в прямой зависимости от реакции со стороны почвы на него [6, 31], можно сделать вывод, что крюковая сила, создаваемая трактором в целом и реализуемая при выполнении конкретной сельскохозяйственной операции складывается из сил, создаваемых каждым ведущим мостом в отдельности. При этом сила тяги, создаваемая каждым ведущим мостом, находится в прямой зависимости от нагрузки, приходящейся на переднюю или заднюю ось. Тогда выражение для определения доли силы тяги на крюке, приходящейся на соответствующую ось трактора  $P_{\text{кр}j}$ , Н, имеет следующий вид:

$$P_{\text{кр}j} = \frac{Y_j}{G_T} \cdot P_{\text{кр}}, \quad (2.60)$$

где  $Y_j$  – доля силы тяжести трактора, приходящаяся на соответствующую ось трактора, Н.

Силы тяжести трактора, приходящиеся на соответствующую ось трактора, равны реакциям, действующим на ось трактора со стороны почвы. Таким образом можно записать:

$$Y_{j\Pi} = R_{\Pi}, \quad Y_{j3} = R_3, \quad (2.61)$$

где  $Y_{\Pi}$ ,  $Y_3$  – доли силы тяжести трактора, приходящаяся соответственно на переднюю и заднюю оси трактора, Н;  $R_{\Pi}$ ,  $R_3$  – реакции со стороны почвы, действующие на переднюю и заднюю оси трактора, Н.

Реакции на каждую ось со стороны почвы можно определить, рассмотрев уравнения равновесия трактора, находящегося на горизонтальной площадке (рисунки 2.17).

Уравнения равновесия трактора при различной компоновке газобаллонного оборудования имеют следующий вид:

– для штатного трактора (без газобаллонного оборудования):

$$G_T \bar{x} - R_{\Pi} L = 0; \quad (2.62)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) = 0; \quad (2.63)$$

– для трактора со съёмной кассетой, расположенной в передней его части:

$$G_T \bar{x} + G_K l'_{\Pi, \text{Тк}} + G_P l_{\Pi, \text{Тр}} - R_{\Pi} L = 0; \quad (2.64)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) + G_K (l'_{\Pi, \text{Тк}} - L) + G_P (l_{\Pi, \text{Тр}} - L) = 0; \quad (2.65)$$

– для трактора со съёмной кассетой, расположенной на крыше:

$$G_T \bar{x} + G_K l''_{\Pi, \text{Тк}} - R_{\Pi} L = 0; \quad (2.66)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) - G_K (L - l''_{\Pi, \text{Тк}}) = 0. \quad (2.67)$$



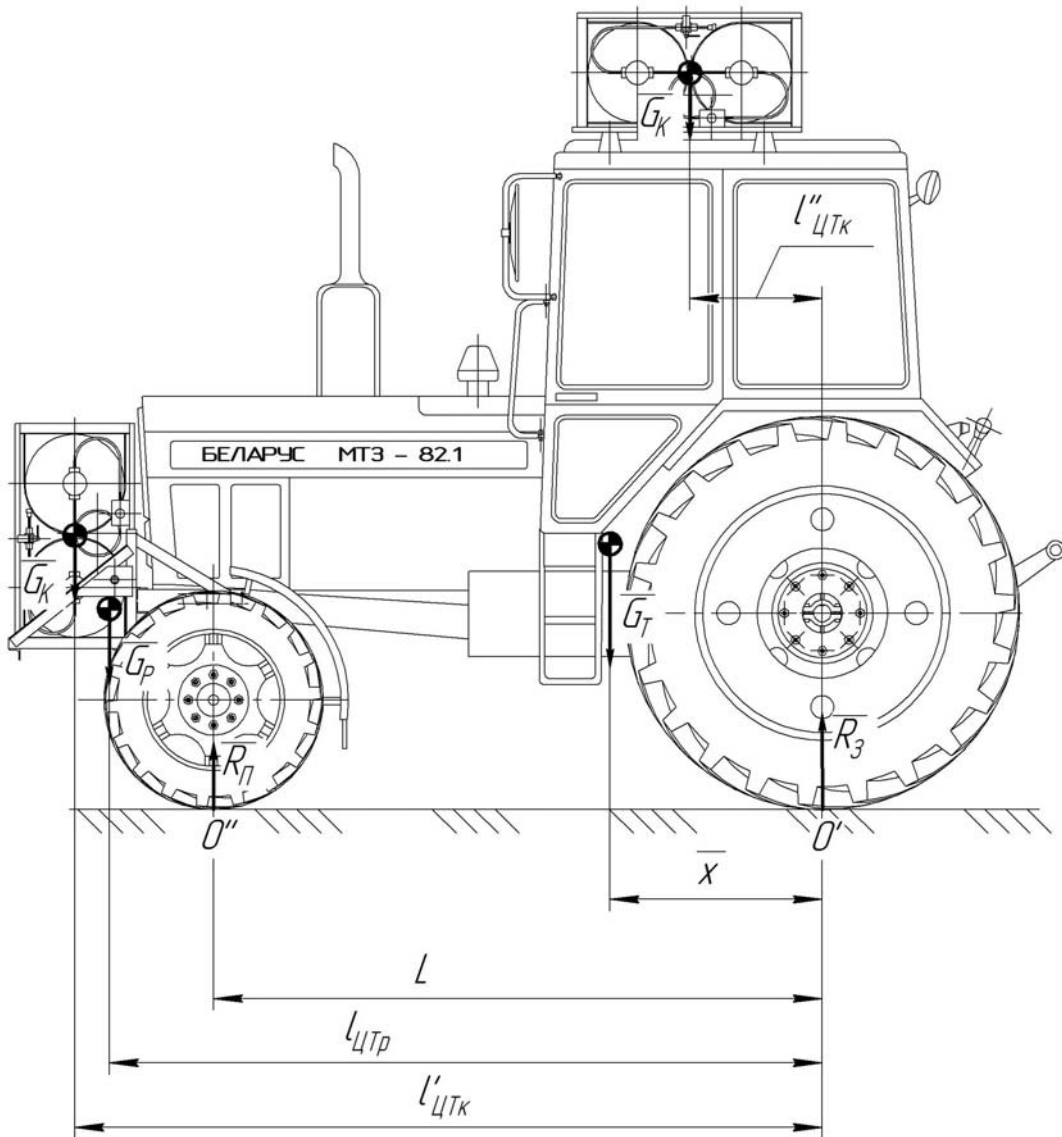


Рисунок 2.17 – Схема к определению реакций со стороны почвы на оси трактора

Из представленных уравнений равновесия получаем выражения для определения соответствующих реакций:

– для штатного трактора:

$$R_{II} = \frac{G_T \bar{x}}{L}; \quad (2.68)$$

$$R_3 = \frac{G_T (L - \bar{x})}{L}; \quad (2.69)$$

– для трактора со съёмной кассетой, расположенной в передней его части:

$$R_{\Pi} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{\text{Ц.Тк}} + G_P l_{\text{Ц.Тр}}}{L}; \quad (2.70)$$

$$R_3 = (G_T + G_K + G_P) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{\text{Ц.Тк}} + G_P l_{\text{Ц.Тр}}}{L}; \quad (2.71)$$

– для трактора со съёмной кассетой, расположенной на крыше:

$$R_{\Pi} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{\text{Ц.Тк}}}{L}; \quad (2.72)$$

$$R_3 = (G_T + G_K) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{\text{Ц.Тк}}}{L}. \quad (2.73)$$

Наибольшая допустимая по сцеплению с почвой сила тяги  $P_{\text{К}qj}$ , Н, приходящаяся на каждую ось трактора, определяется из выражения

$$P_{\text{К}qj} = Y_j \varphi, \quad (2.74)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления движителей с почвой; значение данного коэффициента для свежевспаханного поля – 0,4; для слежавшейся пахоты – 0,5; для сухой укатанной дороги на чернозёме и влажной стерни – 0,6 (таблица 26 [6]).

Таким образом можно определить буксование ведущих колёс трактора при различных вариантах расположения газобаллонного оборудования. Результаты определения буксования ведущих колёс представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Буксование ведущих колёс трактора МТЗ-82.1 при различной компоновке газобаллонного оборудования, %

Расположение баллонов	Крюковое усилие, кН						
	2	4	6	8	10	12	14
Штатный трактор	1,33	2,65	3,98	5,30	6,63	7,98	9,36
В передней части трактора	1,27	2,54	3,80	5,07	6,35	7,63	8,94
На крыше трактора	1,27	2,55	3,82	5,09	6,37	7,66	8,98

Как видно из таблицы 2.3, при установке газобаллонного оборудования буксование трактора снижается. Наименьшее буксование (8,94 %) наблюдается при установке съёмной кассеты в передней части трактора. Наибольшее буксование наблюдается у штатного трактора без газобаллонного оборудования – 9,36 %.

## **2.7. Выводы по главе 2**

1. Установлено, что для трактора МТЗ-82.1 газовые баллоны наиболее целесообразно расположить в передней его части, так как в данном случае все углы статической устойчивости трактора соответствуют ГОСТ 12.2.019-2005.

2. Установка газобаллонного оборудования на крыше трактора нежелательна, так как в этом случае предельный статический угол поперечного уклона не соответствует требованиям нормативных документов.

3. При установке съёмной кассеты в передней части трактора все предельные статические углы устойчивости изменяются незначительно, а на продольном подъёме угол даже увеличивается, что позволяет расширить возможности трактора при работе на пересечённой местности.

4. Установка газобаллонного оборудования позволяет снизить буксование трактора на 0,4 %. При этом наименьшее буксование наблюдается при установке съёмной кассеты в передней части трактора.

### 3. МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1. Общая методика

Для достижения поставленной цели в работе использовались методики теоретических, экспериментальных и эксплуатационных исследований.

Объектом исследования являлся трактор МТЗ-82.1 (Беларусь) с колёсной формулой 4×4 – колесный, универсально-пропашной, тягового класса 1,4. Трактор МТЗ-82.1 предназначен для проведения сельскохозяйственных и транспортных работ с применением различных навесных и прицепных агрегатов. Навесная гидравлическая система трактора МТЗ-82.1 – универсальная, отдельно-агрегатная, с силовым и позиционным регулированием глубины обработки, с механической фиксацией навесного устройства в транспортном положении.

На тракторе установлен четырехтактный дизельный двигатель Д-243 жидкостного охлаждения с непосредственным впрыском топлива, запуском от электростартера. Трактор оборудован автоматической блокировкой дифференциала заднего моста, двухскоростным ВОМ, дополнительным редуктором КП, ходоуменьшителем и пневматическими приводами тормозов прицепов.

Экспериментальный трактор был оснащён газобаллонным оборудованием с системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу совместной разработки СГАУ им. Н. И. Вавилова и ООО «ППП Дизельавтоматика» [98].

В Саратовской области в сельском хозяйстве эксплуатируется 12137 тракторов семейства МТЗ-80/82.

На первом этапе в ходе проведения литературного обзора установлены основные преимущества работы тракторов на газомоторном топливе и выявлены основные недостатки, связанные с заправкой их компримированным природным газом.

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования на втором этапе проведены теоретические исследования, которые позволяют обосновать ра-

циональное размещение газовых баллонов на тракторе и на основе экономических расчётов обосновать оптимальное количество тракторов для работы на газомоторном топливе.

Третий этап был посвящён разработке, изготовлению и испытаниям съёмного кассетного модуля для хранения и транспортировки газообразного топлива при работе трактора МТЗ-82.1 по газодизельному циклу.

На четвёртом этапе проводились экспериментальные и эксплуатационные испытания съёмного кассетного модуля и системы распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу.

На пятом этапе был проведён расчёт технико-экономической эффективности предлагаемых разработок.

Исследование проводилось в соответствии с программой и методикой, представленной на рисунке 3.1.

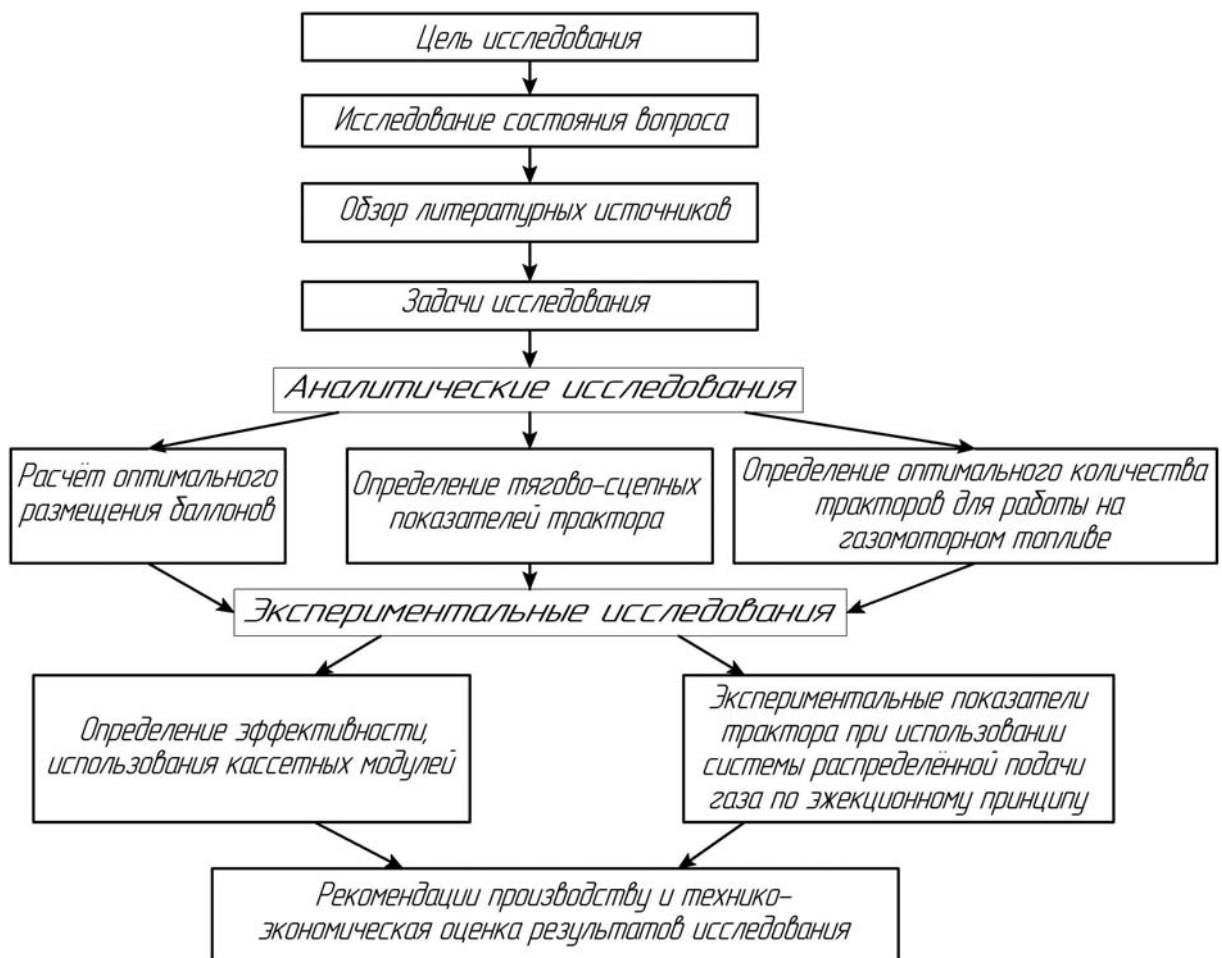


Рисунок 3.1 – Методика и программа исследований

Производственные эксплуатационные исследования проводили в Петровском районе Саратовской области на полях СПК им. Чапаева в соответствии с ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» и ГОСТ 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки».

Исследования проводили при выполнении основных сельскохозяйственных работ с использованием почвообрабатывающего орудия ОПО-4,25, а также при выполнении транспортных работ в агрегате с прицепом 2ПТС-4,5.

### **3.2. Методика определения эффективности заправки газообразным топливом**

В Саратовской области действует 6 АГНКС: в Александрово-Гайском, Балашовском, Екатериновском, Петровском районах и 2 в г. Саратове. Также на очереди ввод в эксплуатацию АГНКС в Лысогорском и Красноармейском районах.

Из перечисленных АГНКС для проведения исследования выбираем станцию в г. Петровске. По картам ГУГЛ до места проведения исследований (опытное поле СПК им. Чапаева) 20 км, из них 17,7 км до машинного двора по асфальтированной дороге.

Для проведения исследований необходимо сравнить все этапы заправки, такие как время работы трактора на одной заправке, время на рассоединение трактора с сельскохозяйственным орудием, переезд трактора (ПАГЗа) к месту заправки, время подготовки КМ к заправке, подготовительное время к заправке, время заправки, заключительное время к заправке, переезд трактора к месту работы, время на соединение трактора с сельскохозяйственным орудием, при использовании распространенных методов заправки – самозаправка от АГНКС и заправка от ПАГЗ с разработанным методом заправки на основе кассетных модулей.

Для проведения исследований процесса заправки с использованием ПАГЗа, был выбран активный ПАГЗ модели 1200К (контейнерный), технические характеристики и внешний вид представлены в таблице 3.1 и на рисунке 1.3 соответственно.

Таблица 3.1 – Технические характеристики ПАГЗ 1200К

Параметр	Значение
Транспортное средство	Контейнер
Рабочая среда	Сжатый природный газ (метан) ГОСТ 27577
Объем перевозимого газа, м <sup>3</sup>	1200
Максимальное давление заправки баллонов ПАГЗ, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	24,5 (250)
Число независимых постов заправки	2
Коэффициент опорожнения баллонов ПАГЗ	0,95
Количество автотранспортных средств, заправляемых до давления 200 кгс/см <sup>2</sup> (средний объем заправки 55м <sup>3</sup> )	20
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	19,6 (200)
Габаритные размеры, мм	6100×2500×2650
Температура эксплуатации, °С	–45...+45
Срок службы, лет	15
Система заправки	Автоматическая, с системой учёта газа
Тип баллонов	Металлокомпозитные
Объём одного баллона, л	185

### 3.3. Методика эксплуатационных испытаний

В процессе эксплуатационных испытаний в качестве нагрузки было использовано сельскохозяйственное орудие ОПО-4,25. Данное сельскохозяйственное орудие позволяет в ходе обработки почвы обеспечить работу двигателя трактора в номинальном режиме работы.

Орудие почвообрабатывающее ОПО-4,25 предназначено для основной и предпосевной обработки почвы без оборота пласта на глубину от 4 до 16 см с твердостью почвы до 4,5 МПа. За один проход ОПО-4,25 выполняет рыхление почвы, обеспечивает стопроцентное подрезание корней сорных растений, муль-

чирование верхнего слоя почвы стерневыми и растительными остатками, дополнительное крошение комков зубowymi дисками, выравнивание поверхности почвы. Агрегат не только способен готовить почву под посев зерновых, но с применением сменных рабочих органов (щелерезов) проводить основную обработку почвы в осенний период на глубину 30 см и более. Щелерезы устанавливаются на культиваторы через одну стойку на расстоянии друг от друга 50 см.

При таком способе обработки вся осенняя и весенняя влага накапливается в метровом слое почвы. Помимо рыхления почвы щелерезы разуплотняют плужную подошву и улучшают структуру почвы. В задней части рамы культиватора на независимой подвеске закреплены зубовые диски в два ряда. Эти механизмы обеспечивают крошение комков и мульчирование поверхности почвы растительными остатками на глубину 1,5-2 см. Достоинством этих орудий является очень простая и удобная регулировка глубины обработки почвы.

Орудие ОПО-4,25 можно использовать на занятых парах, при предпосевной подготовке почвы под яровые, подготовке почвы под пропашные культуры с глубиной обработки до 16 см без оборота пласта, а также при уходе за парами с мульчированием поверхности почвы растительными остатками. При агрегатировании ОПО-4,25 с тракторами тягового класса 3 т сменная производительность составляет от 27 до 30 га. Расход дизельного топлива – 8-10 л/га. На рисунке 3.2 представлен общий вид орудия ОПО-4,25.



Рисунок 3.2 – Орудие почвообрабатывающее ОПО-4,25



В таблице 3.2 представлены основные технические характеристики почвообрабатывающего орудия ОПО-4,25.

Таблица 3.2 – Основные технические характеристики почвообрабатывающего орудия ОПО-4,25

Параметр	Значение
Производительность, га/ч	Не менее 3,8-4,2
Ширина захвата, м	4,25
Способ агрегатирования	Полуприцепной
Количество сошников, шт.	17
Скорость, км/ч (не более)	
– рабочая	14
– транспортная	18
Масса изделия со сменными частями, кг	1957
Габаритные размеры, мм (не более)	5220×4300×1200

В процессе проведения экспериментальных исследований измеряли и регистрировали следующие параметры:

- 1) давление газа в одном баллоне, МПа;
- 2) длина загона  $l$ , м;
- 3) глубина возделывания, см;
- 4) расход дизельного топлива, кг/ч;
- 5) время прохождения загона  $t$ , с;
- 6) расход газообразного топлива, м<sup>3</sup>/ч.

Кроме перечисленных параметров, в журнале наблюдений регистрировали состав транспортного агрегата, характеристику почвы, давление воздуха в шинах, температуру воды и масла двигателя, количество корпусов плуга, атмосферное давление и температуру окружающего воздуха, длину загона и время движения агрегата вдоль загона, массу трактора и агрегата.

Давление в каждом баллоне составляло 200 кг/см<sup>2</sup>.

Испытания проводили на поле, представляющем собой пашню для возделывания зерновых культур и принадлежащем СПК им. Чапаева Петровского района Саратовской области.

Наиболее распространенный тип почв в данных хозяйствах – суглинки. Суглинистые почвы в сухом виде – это более крупный по частицам и жесткий на ощупь порошок. Во влажном состоянии такая почва скатывается в толстый шнур, который при попытке соединить его в кольцо разламывается на отдельные кусочки. Чем больше количество глины, тем эластичнее получается шнур.

Черноземы южные сформировались в подзоне злаковых степей. Продолжительность безморозного периода – 150-158 дней, сумма положительных температур выше 10 °С – 2600-2700 °С, годовая норма осадков – 375-390 мм, в том числе за период с температурой воздуха выше 10 °С – 180-200 мм.

К общим физическим свойствам почв относятся плотность почвы, плотность твердой фазы и пористость [103].

На величину плотности влияют минералогический и механический состав почв, содержание в них органического вещества, структурность. Существенное влияние на плотность почвы оказывает способ её обработки. Наиболее рыхлой почва бывает в течение короткого периода после обработки, а затем начинается её уплотнение. После истечения некоторого срока почва достигает определенной плотности, которая затем мало изменяется.

Плотность твердой фазы черноземов в верхних горизонтах невысокая (2,4-2,5 г/см<sup>3</sup>). В подгумусовых горизонтах и в породе её величина возрастает до 2,55-2,56 г/см<sup>3</sup>.

В соответствии с [42] данные испытания должны соответствовать нижеперечисленным требованиям:

- 1) топливо, смазочные материалы и специальные жидкости, используемые при испытаниях, должны соответствовать инструкции по эксплуатации трактора и иметь паспорта и сертификаты;

- 2) средства измерения, применяемые при испытаниях, должны соответствовать ГОСТ 8.513-2000;

3) допускаемые значения погрешностей средств измерений, применяемых при испытаниях, указаны в таблице 3.3;

4) предоставленный на испытания трактор должен быть укомплектован запасными частями, инструментом и принадлежностями в соответствии с техническими условиями для него. При этом трактор снабжают комплектом дополнительного оборудования, обеспечивающего возможность проверки его функций в соответствии с программой испытаний. Правила приемки испытания по ГОСТ 28305-2000;

5) испытания проводят при нормальных значениях факторов внешней среды по ГОСТ 15150-2001;

В соответствии с [42] допускается применение ускоренной программы испытаний при наработке равной 800 мото-ч и с использованием загрузочных устройств, имитирующих реальные процессы нагружения. При этом объём имитационной части испытаний должен быть не более 50 % от общего регламентирующего объёма испытаний.

В соответствии с [42] при проведении измерений во время испытаний допустимые пределы погрешностей не должны превышать значений представленных в таблице 3.4.

Следует учитывать, что прямолинейность движения трактора МТЗ-82.1 по сравнению с трактором МТЗ-80 на посеве и междурядных обработках повышается за счёт тяговых усилий передних направляющих колес и самоблокирующегося дифференциала переднего моста.

Сошники сеялки и рабочие органы культиватора должны быть выставлены так, чтобы вертикальная плоскость симметрии машины совпадала с продольной осью трактора. Раскосы механизма навески устанавливают на одинаковую длину и подсоединяют к продольным тягам через пазы-прорези нижних вилок раскосов для обеспечения копирования рабочими органами машины рельефа поля. Чтобы предотвратить смещения сеялки и культиватора в поперечной плоскости и повреждения растений при междурядной обработке, продольные тяги блокируют максимально возможным укорочением длины блокировочных цепей механизма

навески. При этом регулировочные болты, ограничивающие подъем навесного устройства, должны быть ввернуты в свои кронштейны до отказа, чтобы при подъеме сеялки или культиватора в транспортное положение головки болтов не упирались в корпус заднего моста, что может привести к разрыву блокировочных цепей.

Таблица 3.3 – Допустимые пределы погрешностей о время испытаний  
(по ГОСТ 7057-2001)

Параметр*	Значение, не более
Масса трактора и его элементов $m$ , кг	$0,005m$
Общая наработка и наработка за смену $\tau$ , мото-ч	1,0
Объем работы, выполненный трактором за смену $W$ , кН·км	$0,05W$
Масса (объем) топлива, израсходованного за смену $m_{Т.см}$ ( $V_{Т.см}$ ), кг, м <sup>3</sup> , л	$0,03V_{Т.см}$
Наработка до отказа, мото-ч	1,0
Продолжительность устранения отказа $\tau_{отк}$ , ч	$0,01\tau_{отк}$
Оперативное время занятости каждого исполнителя при устранении отказа, ч	0,03
Продолжительность присоединения сельскохозяйственной машины к трактору по данным хронометража, с	1,0
Длина участка (маршрута), ширина участка (захвата агрегата) $S(B)$ , м	$0,01S(B)$
Глубина обработки $h$ , см	$0,05h$
Масса топлива, израсходованного пооперационно и за одну езду на транспортных работах $m_{Т1}$ , кг	$0,01m_{Т1}$
Масса топлива, израсходованного за контрольную смену $m_{Т.см}$ , кг	$0,02m_{Т.см}$
Оперативное время занятости при устранении каждого отказа $T_{оп}$ , чел.-ч	$0,03T_{оп}$

\* Из стандарта взяты только те параметры и их значения, которые используются в данной работе.

На междурядной обработке культиватор должен идти по следу колеса сеялки. При этом трактор нужно вести так, чтобы рабочие органы крайних секций культиватора шли по стыковым междурядьям, обрабатывая половину их ширины.

На посеве и междурядной обработке рекомендуется снимать крылья передних колес, чтобы лучше следить за прямолинейностью движения направляющих колес и их перемещением в междурядьях. На последних культивациях высокостебельных пропашных культур (кукурузы, подсолнечника, картофеля) для предупреждения повреждения обрабатываемых растений снимают нижнюю ступеньку подножки кабины трактора.

### **3.4. Методика экспериментальных исследований устойчивости трактора**

Газобаллонное оборудование, устанавливаемое на трактор для обеспечения его работы по газодизельному циклу, имеет значительные массу и габаритные размеры. Будучи установленным на трактор, такое оборудование может привести к нарушению требований безопасности ГОСТ 12.2.019-2005 [39], а именно к нарушению устойчивости трактора. При этом регламентируемые предельные углы опрокидывания могут не соответствовать установленным значениям [39].

Для оценки предельных статических углов устойчивости в ходе исследований проводили испытания трактора, оснащённого газобаллонным оборудованием для работы по газодизельному циклу, в ходе которых определяли предельные углы продольной и поперечной устойчивости. В основу этих исследований была положена методика, описанная в [1, 38, 43].

Для оценки углов продольной и поперечной устойчивости использовалась металлическая платформа 6×3 м, оснащенная проушинами по углам. Проушины предназначены для обеспечения возможности наклона платформы в продольном или поперечном направлениях при помощи кранового подвеса грузоподъемностью не менее 6 т; высота подъема – не менее 7 м.

В соответствии с требованиями [38] перед проведением испытаний поверхность платформы была высушена и очищена от грязи. Скорость ветра во время проведения испытаний не превышала 5 м/с.

Трактор, представленный на испытания, был полностью заправлен горюче-смазочными материалами, охлаждающей жидкостью. Заливные горловины баков

и аккумуляторов герметизировались для предотвращения утечки жидкости при наклоне.

В ходе эксперимента на сиденье трактора помещался груз массой  $75 \pm 5$  кг для имитации сидящего на нём водителя.

При испытании на тракторе были включены стояночный тормоз и низшая передача. Тяга выключения переднего моста находилась в положении «Передний ведущий мост включен».

Давление в передних шинах колёс составляло  $2,8 \pm 0,1$  кПа, задних  $1,6 \pm 0,1$  кПа. Сами колёса при этом были очищены от грязи.

Для предотвращения скольжения (поперечного сдвига) колёс при поперечном наклоне трактора на платформе были закреплены 4 боковые опоры высотой  $h_0 = 150$  мм каждая, устанавливаемые по наружным торцам шин колёс в точках контакта их с платформой.

Для предотвращения скольжения трактора в продольном направлении напротив каждого из колёс устанавливали противооткатные упоры высотой  $h_{\text{ПРУ}} = 400$  мм, жестко закрепленные на платформе болтами с гайками.

Для исключения опрокидывания трактора при положениях платформы, когда угол продольной или поперечной устойчивости превысит соответствующее предельное значение, использовались гибкие страховочные элементы (цепи), одним концом закрепляемые на платформе, а другим – на тракторе. Всего применено восемь страховочных элементов – по два с каждой стороны трактора, а также по два спереди и сзади трактора.

С целью предотвращения переворота платформы вместе с трактором вследствие действия инерционных масс трактора, возникающих во время опрокидывания, предусмотрены страховочные стропы, закрепляемые с одной стороны за кронштейн платформы, а с другой стороны – за опору, жестко закрепленную на площадке для испытаний (в качестве опоры использовался стоящий в заторможенном состоянии трактор К-701).

Значение угла наклона платформы определялось при помощи отвеса и деревянного щита 400×400 мм, на котором делали отметки горизонтального положения, а также соответствующего предельного угла наклона платформы.

Перед началом испытаний трактор, подготовленный в соответствии с указанными выше требованиями, устанавливали на платформе таким образом, чтобы продольная ось и направление движения колёс были параллельны оси поперечного наклона платформы с отклонением не более 1,5°. После этого под колёса устанавливали противооткатные упоры и жестко фиксировали их на платформе. По торцам колёс устанавливали боковые опоры и также жестко закрепляли их на платформе.

Момент опрокидывания трактора определяли по отрыву соответствующих колёс трактора от платформы: при определении предельного угла подъёма произойдёт отрыв передних колёс, предельного угла уклона – отрыв задних колёс, предельного поперечного угла наклона – отрыв колёс, противоположных стороне, в которую происходит наклон трактора.

Для определения предельного статического угла подъёма трактора на щите 7 (рисунок 3.3) по отвесу отмечали горизонтальное положение платформы. После этого крановым подвесом 5 со стороны передней части трактора платформу 1 плавно поднимали, постепенно ослабляли страховочный строп платформы 6, наблюдая при этом за колёсами трактора. В момент отрыва передних колёс от платформы на щите с отвесом снова отмечали угловое положение платформы. Значение угла наклона платформы в момент отрыва передних колёс трактора от платформы будет являться предельным статическим углом подъёма трактора  $\alpha_{\text{limПод}}$ . Эксперимент проводили 3 раза. За оценочный показатель принимали минимальный из учтенных углов наклона платформы относительно горизонтальной плоскости, при котором происходит отрыв передних колёс от платформы.

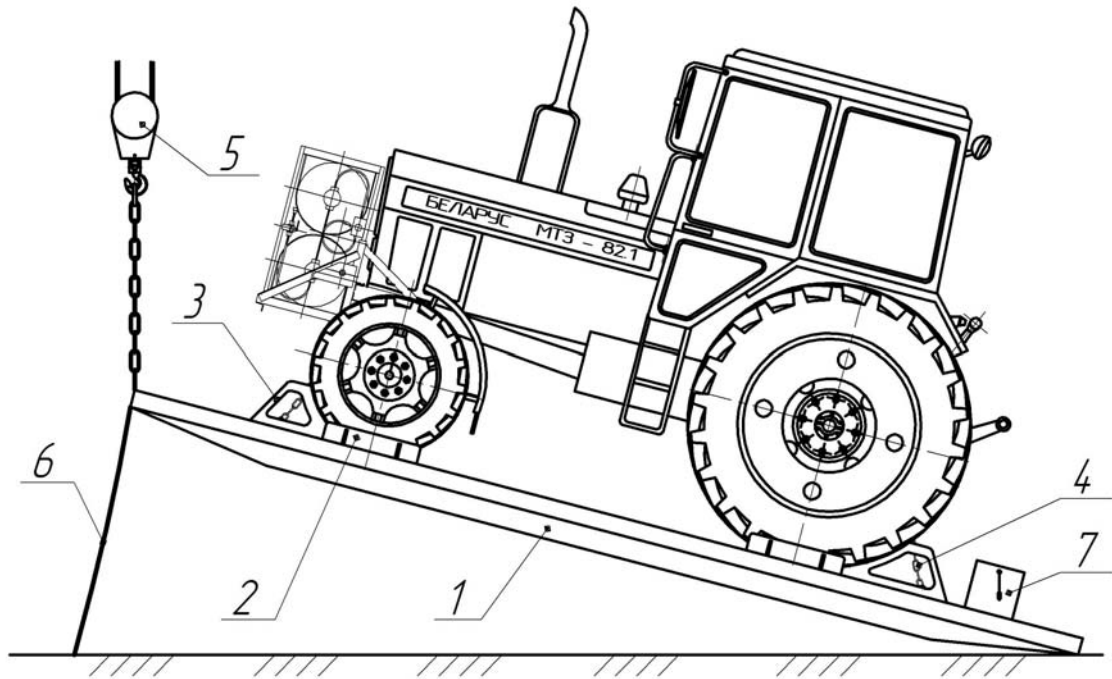


Рисунок 3.3 – Определение предельного статического угла подъёма трактора МТЗ-82.1 с газобаллонным оборудованием: 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом

Аналогично определяли значение предельного статического угла опрокидывания трактора на уклоне  $\alpha_{\text{limУК}}$ . Отличие заключается в том, что подъём платформы осуществлялся со стороны задней части трактора. При этом подъём платформы осуществлялся до того момента, пока не произойдет отрыв задних колёс трактора от платформы (рисунок 3.4).

Для определения предельного статического угла поперечной устойчивости  $\beta_{\text{limУК}}$  платформу поднимали с правой и с левой сторон трактора. Подъём осуществляли до тех пор, пока не происходил отрыв обоих колёс (переднего и заднего) от платформы (рисунок 3.5).

Так же, как и в случае определения углов продольной устойчивости, испытания проводили трёхкратно, а за оценочный показатель принимали минимальный угол наклона платформы.



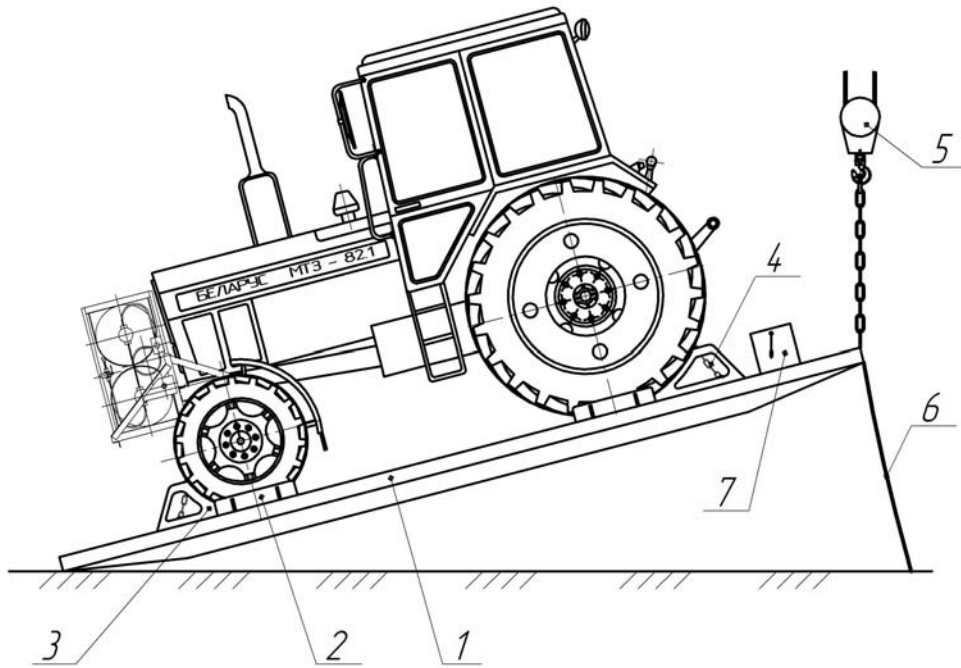


Рисунок 3.4 – Определение предельного статического угла уклона трактора МТЗ-82.1 с газобаллонным оборудованием: 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом

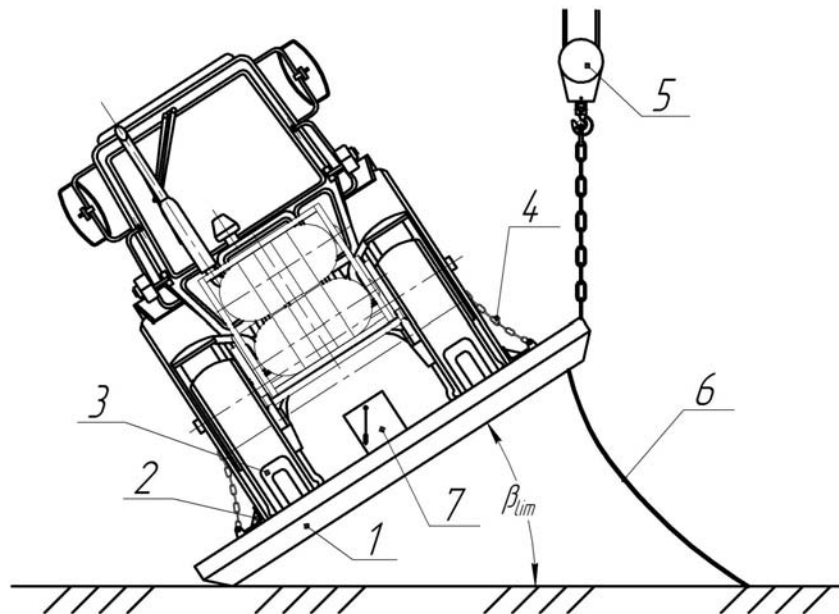


Рисунок 3.5 – Определение предельного статического угла поперечного уклона трактора МТЗ-82.1 с газобаллонным оборудованием: 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом

## **4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА ТРАКТОРА МТЗ-82.1**

### **4.1. Особенности системы распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для трактора МТЗ-82.1**

При полной и близких к ней нагрузках в газодизеле обеспечивается столь же эффективный процесс, как и в дизеле. Однако при уменьшении нагрузки с увеличением коэффициента избытка воздуха эффективность процесса резко снижается, так как значительно уменьшается полнота сгорания.

Поэтому при малых нагрузках на газодизеле необходимо осуществлять не только качественное, но и количественное регулирование горючей смеси.

Кроме того, на характер газодизельного процесса существенное влияние оказывает величина запальной дозы дизельного топлива.

Для эффективной работы двигателей по газодизельному циклу необходимо создать такую систему управления, которая бы регулировала подачу газа, дизельного топлива и оптимизировала их соотношение в соответствии со скоростным и нагрузочным режимом работы двигателя [11, 12, 21, 22, 26, 28, 58, 98].

В настоящее время работы по переводу сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо находятся в состоянии научного поиска и разработки опытных образцов, требующих конструкторской доработки и натурных испытаний. Поэтому для переоборудования дизельного трактора МТЗ-82.1 (двигатель Д-243) в газодизельный режим он оборудуется дополнительной топливной системой; в данном случае это система распределённой подачи газообразного топлива трактора, схема которой представлена на рисунке 4.1.

Система размещается на двигателе *1* (см. рисунок 4.1), оснащённом стандартным топливным насосом высокого давления (ТНВД) *2*, который способен подавать дизельное топливо через штатные трубопроводы в двигатель *1* посредством форсунок *3*. На привод топливного насоса высокого давления *2* устанавливается диск с магнитной меткой, а напротив него на кронштейне, закреплённом на

блоке цилиндров двигателя – датчик фазовой отметки 4, контролирующей угол начала подачи газообразного топлива. В топливный насос высокого давления 2 включено электронное регулирующее устройство управления циклами 5 (взамен штатного регулятора). Кроме того, на топливном насосе расположен датчик положения 6 топливной рейки, позволяющий по положению рейки топливного насоса определять количество впрыскиваемого дизельного топлива при работе двигателя по дизельному или газодизельному циклу.

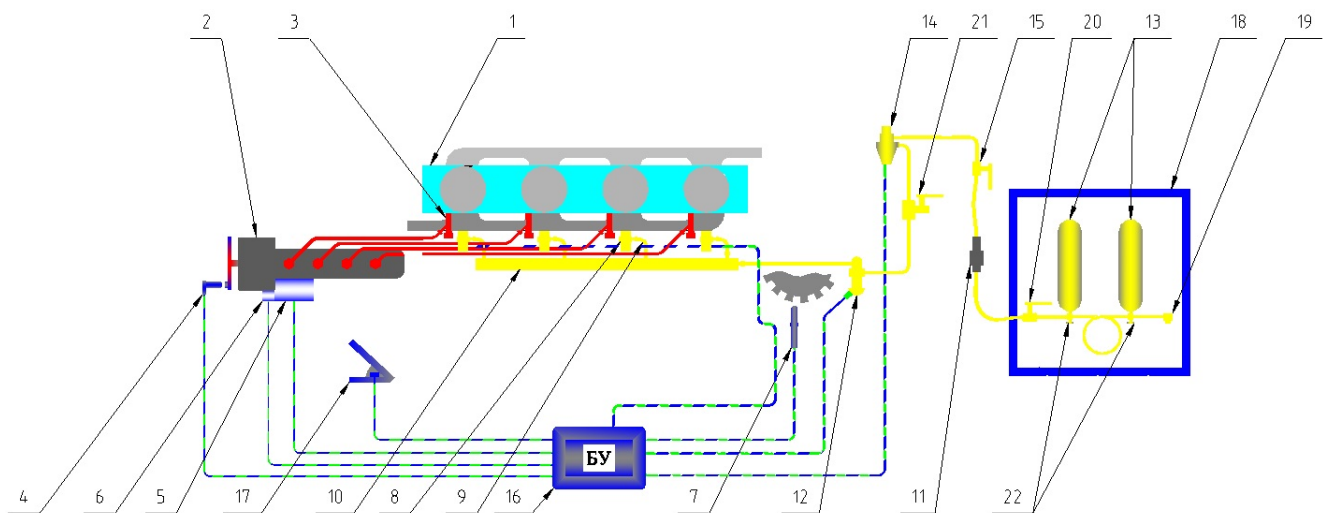


Рисунок 4.1 – Система распределенной подачи газообразного топлива двигателя Д-243: 1 – двигатель; 2 – топливный насос высокого давления (ТНВД); 3 – дизельные форсунки; 4 – датчик фазовой отметки; 5 – электронно-регулирующее устройство; 6 – датчик положения топливной рейки; 7 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 8 – устройства эжекционной подачи газообразного топлива в двигатель; 9 – газовые рукава; 10 – газовый коллектор; 11 – рукав высокого давления с быстроразъемным соединением; 12 – датчик давления газа; 13 – газовые баллоны; 14 – газовый редуктор высокого давления; 15 – кран шаровой, запирающий систему; 16 – электронный блок управления; 17 – педальный задатчик; 18 – рама кассетного модуля; 19 – заправочное устройство; 20 – кран шаровой, запирающий кассетный модуль; 21 – узел сброса давления; 22 – баллонные вентили

Двигатель 1 оснащен датчиком частоты вращения коленчатого вала 7, расположенным на кожухе маховика. Для подачи газообразного топлива на двигатель смонтирована система, состоящая из устройств эжекционной подачи газооб-

разного топлива в двигатель, выполненных в виде электромагнитных газовых клапанов, соединенных с эжекционными смесителями 8, в которые поступает газообразное топливо из газового коллектора 10 при помощи рукавов 9.

На газовом коллекторе 10 размещён датчик давления газа 12. Природный газ из газовых баллонов 13 поступает в газовый коллектор 10 посредством запорных кранов шаровых 15 и 20, а также рукава высокого давления с быстроразъёмным соединением 11, при этом давление газа понижается до рабочего в газовом редукторе 14. Для осуществления возможности обслуживания и заправки системы она оборудована заправочным устройством 19. Для контроля за подачей газообразного и дизельного топлива система оборудована электронным блоком управления 16, который позволяет обрабатывать сигналы, получаемые с датчиков положения топливной рейки 6, частоты вращения коленчатого вала 7 и давления газа 12 и формировать сигналы для устройства управления циклами 5 и устройств эжекционной подачи газообразного топлива в двигатель 8. Информацию о требуемом режиме работы двигателя система получает от педального электронного задатчика 17.

Особенностью подачи газообразного топлива в дизель Д-243 является то, что он имеет 1 канал подачи воздуха на два цилиндра. В связи с этим был разработан газовый смеситель в виде проставки (рисунок 4.2), который располагается между впускным коллектором блока цилиндров дизеля и корпусом крышки блока цилиндров. К корпусу проставки присоединены 2 электромагнитных газовых клапана, по каналам от которых газ имеет возможность поступать непосредственно под тарелки впускных клапанов через трубки эжекционных смесителей.

После разработки схемы системы распределенной подачи газообразного топлива двигателя Д-243, необходимо произвести подбор компонентов для реализации данного проекта.

Баллоны имеют высокие прочностные характеристики, хороший коэффициент весового совершенства (0,6-0,75), немагнитны, термоустойчивы, выполнены из материалов, устойчивых к агрессивным средам и морской среде.

Габаритные размеры баллона: диаметр – 401 мм, длина – 840 мм, масса – 49,5 кг.

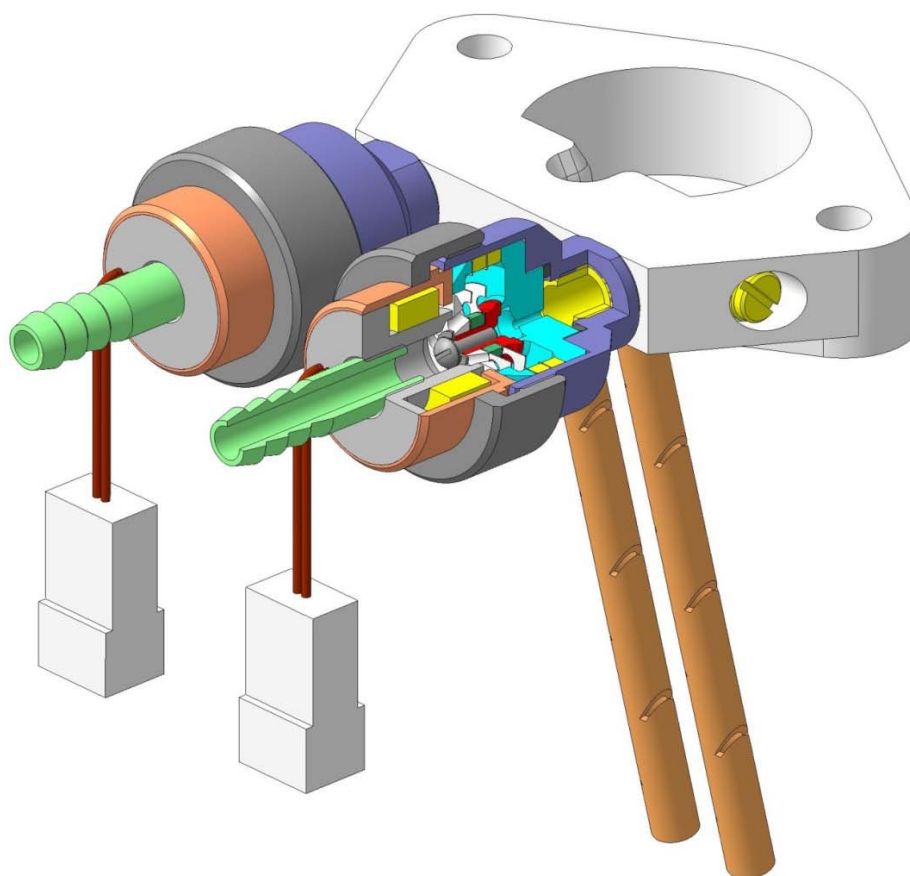


Рисунок 4.2 – Электронные газовые клапаны и газовый смеситель двигателя Д-243 с системой распределённой подачи газа по эжекционному принципу

Отработка и формализация технологических процессов для производства данного типа баллонов проведены в условиях сертифицированной по международному стандарту ISO 9001:2000 системы менеджмента качества особого оборонного предприятия АО «Воткинский Завод».



Рисунок 4.3 – Баллоны «Реал-Шторм»

Каждый баллон имеет расходный вентиль (рисунок 4.4) для обеспечения возможности обслуживания газовой аппаратуры при заправленных баллонах. Трубопровод высокого давления выполнен на основе трубы  $\text{Ø}6$  мм импортного производства. В качестве метанового расходного вентиля выбрана модель TOMASETTO VMAT6702. Все вентили баллонов Tomasetto выполнены в соответствии стандартам ISO15500 и с регулированием Enargas Наг 415 и Наг 417.



Рисунок 4.4 – Расходный метановый вентиль TOMASETTO VMAT6702

Вентили оснащены следующими устройствами безопасности: предохранительное устройство, ручной кран, клапан избыточного потока. Технические характеристики вентиля TOMASETTO VMAT6702 представлены в таблице 4.1. Данные, представленные в таблице 4.1, также соответствуют заправочному устройству TOMASETTO VMAT5412.A (рисунок 4.5). Как уже было описано выше, данные устройства соединены трубой  $\text{Ø}6$  мм посредством гайки стандартного соединения  $\text{M}12 \times 1$  и врезного кольца.



Рисунок 4.5 – Заправочное устройство TOMASETTO VMAT5412.A

К раме кассеты при помощи кронштейна крепится заправочное устройство. В качестве заправочного устройства был выбран клапан TOMASETTO VMAT5412.A «Тип русский», который был разработан для рынков Восточной Европы. При наполнении баллонов газом через заправочное устройство, из него вынимается заглушка и вводится заправочная игла, на резьбовую часть которой через переходник прикреплен заправочный шланг. Газ через сверления в игле попадает в заправочное устройство и далее через заправочный вентиль в баллоны. Уплотнение стыковочного узла осуществляется резиновыми кольцами, установленными на заправочной игле. При заправке игла должна входить в заправочное устройство до упора.

От баллонов компримированный природный газ через систему трубопроводов высокого давления газ подается к редуктору высокого давления, который расположен в подкапотном пространстве трактора. В систему трубопроводов входит рукав высокого давления (РВД), оснащенный быстроразъёмным соединением (БРС) и шаровые поворотные краны высокого давления (рисунок 4.6). БРС необходимо для быстрого отсоединения трубопроводов кассетного модуля от системы трубопроводов высокого давления трактора. Газопровод высокого давления проходит с левой стороны рамы трактора рядом с трубопроводами, идущими к масляному радиатору гидросистемы трактора.



Таблица 4.1 – Технические характеристики вентиля TOMASETTO VMAT6702

Параметр	Значение
Материал	Горячекатаная латунь
Масса, кг	0,65
Габаритные размеры, мм	105×60×70
Максимальное давление на входе, МПа	26
Испытательное давление, МПа	27,5 (с разрывной мембраной) 33 (без всплеска диска)
Гидравлическое давление коллапса, МПа	более 100
Рабочая температура, °С	–40...+85
PRD температура активации, °С	108 <sup>+6</sup>
PRD минимальное сечение, мм <sup>2</sup>	28,3
PRD цилиндр опорожнения время, с	76 (45 л при 22 МПа, 13 °С)
PRD время активации, с	10 (с прямой наводкой)
Взрыв диск минимальное сечение, мм <sup>2</sup>	33,2
Давление разрыва открытия диска, МПа	41 <sup>+10%</sup> ; 30 <sup>+10%</sup>
Ручной клапан минимальное сечение, мм <sup>2</sup>	12,6
Ручной клапан затяжки, Н·м	3±0,5 (36 Мпа)
Угол открытия клапана / закрытие угол, град	180 <sub>-30</sub>
ΔP для активации превышение расхода клапана, МПа	0,65



Рисунок 4.6 – Рукав высокого давления с быстроразъёмным соединением



В качестве редуктора высокого давления был выбран редуктор TOMASETTO AT-12 метан до 250 л.с. (производство Италия, Tomasetto Achille), рисунок 4.7. Основная задача устройства – понижение давления метана для стабильной работы газовых форсунок и системы газобаллонного оборудования в целом. Гарантирует стабильные показатели выходного давления газа. Редуктор TOMASETTO AT-12 отличается долгим сроком использования, широким диапазоном применения и относительно невысокой стоимостью. Применяют при установке ГБО 4-го поколения. Рабочая среда – метан.



Рисунок 4.7 – Редуктор высокого давления TOMASETTO AT-12

Газовый редуктор TOMASETTO AT-12 имеет пропускную способность 35 кг/ч, остальные параметры представлены в таблице 4.2. Вход газа в редуктор осуществляется через стальную трубку 6 мм. Резьба на входе M12×1. На входе расположен сменный войлочный фильтрующий элемент. Выход газа из редуктора происходит через рукав диаметром 14 мм. Для обогрева редуктора предусмотрены 2 латунных штуцера диаметром 10 мм, которые подсоединяются к шлангам системы охлаждения дизеля. Также на корпусе расположен вакуумный штуцер под шланг диаметром 5 мм. Редуктор имеет прочный алюминиевый корпус, выдерживающий давление до 26 МПа. Оснащен катушкой 12 В мощностью 17 Вт. Катушка открывает и закрывает подачу газа. Без подачи напряжения катушка за-

крыта и не пропускает метан. При подаче напряжения клапан открывается. Управление происходит из кабины трактора при помощи переключателя.

Таблица 4.2 – Технические характеристики редуктора TOMASETTO AT-12

Параметр	RMAT3800	RMAT3820
Материал	Алюминиевый литой корпус	
Масса, кг	1,5	1,6
Габаритные размеры, мм	120×145×155	
Максимальное давление на входе, МПа	26	
Давление на выходе, кПа	Регулируется в диапазоне от 100 до 250	
Напряжение питания электромагнитного клапана, В	12	
Род тока электромагнитного клапана	Постоянный	
Мощность, потребляемая катушкой электромагнитного клапана, Вт	17	15
Катушка связи	2 фастон или AMP Superseal	AMP Минтимером
Впускной патрубок	Ø6 мм; M12×1	
Выпускной патрубок	Фиксированные установки Ø14 мм	
Максимальная мощность двигателя, л.с. (кВт)	250 (185)	400 (300)

Редуктор TOMASETTO RMAT 3800 имеет двухступенчатую конструкцию. Прошел сертификацию: R110 и ISO15500. Имеет широкий диапазон применения – до 250 л. с. (185 кВт). Диапазон рабочей температуры –10...+40 °С. При более высоких или низких температурах, редуктор может не выдавать стабильные характеристики работы. Хорошо работает практически со всеми известными инжекторными системами и газовыми форсунками. В продаже имеется множество комплектующих для данного редуктора: ремонтные комплекты, сердечники, катушки, манометры, гайки, бочонки и т. д.

На корпусе редуктора расположен штуцер для присоединения манометра. Поддерживаются манометры с индикацией (передают сигнал об остатке газа в кабину трактора) и без индикации. Также возможно использование для контроля давления в баллонах электронного датчика давления фирмы DIGITRONIC (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Электронный датчик давления DIGITRONIC

Данный датчик является датчиком абсолютного давления, измеряет его перед редуктором и передает эту информацию в виде частотного сигнала электронному блоку управления. Электронный датчик давления DIGITRONIC имеет прочный цельнометаллический корпус. Резьбовое крепление G1/4, позволяет использовать его вместе с редуктором и исключает утечки газа. Простое и надежное подключение через встроенный разъем. В комплект входят две алюминиевых шайбы для уплотнения и разъем для подключения к датчику. Рабочее давление 0-260 bar. Входящее напряжение – 5 В, выходящее – от 4 до 1 В. Также данный датчик снабжен цифровым индикатором, который позволяет в реальном времени отслеживать трактористу давление природного газа в системе трубопроводов высокого давления трактора. Абсолютное давление представляет собой сумму атмосферного давления и давления во впускном коллекторе.

Электронный блок (рисунок 4.9) устанавливают в кабине трактора с правой стороны у лобового стекла. Он представляет собой вычислительное устройство,

выполненное на многослойной печатной плате с электрорадиоэлементами поверхностного монтажа. Питание блока осуществляется от бортовой системы трактора напряжением 12 В. Электронным блоком осуществляется обработка сигналов с датчиков, формирование алгоритмов управления рейкой топливного насоса и дозирование расхода газа и дизельного топлива. Благодаря возможностям электронного блока управления можно устанавливать эту систему на различных типах дизельных двигателей. При определении времени впрыска газа используется принцип: количество дозируемых в газодизельном режиме топлив должно быть энергетически эквивалентно потребности в дизельном режиме одновременно при том же тепловом режиме двигателя, который фиксируется по показателю датчика частоты вращения коленчатого вала дизеля. Сам датчик частоты вращения коленчатого вала дизеля располагается на кожухе маховика дизеля и формирует сигнал на основании определения количества зубьев маховика дизеля.

Переключатель режима работы представляет собой блок, размещенный справа от панели водителя, с расположенными на боковой переключателями режимов работы дизеля трактора.



Рисунок 4.9 – Электронный блок управления с модулем «Блютуз»  
и переключателями режимов работы

Команды блоку управления подаются от двух датчиков, педального и резисторного. Резисторный датчик установлен на крышке блока управления, рядом располагается переключатель режимов – получение команд от резисторного или от педального датчика. Педальный датчик (рисунок 4.10) представляет собой электронную педаль газа, располагается взамен штатной педали газа и соединен с блоком управления кабелем посредством разъёма.

На электронной педали газа, заимствованной из комплекта тягачей типа МАЗ, находится два угловых датчика положения, для обеспечения большей надёжности системы они работают в паре. В случае отказа одного из датчиков блок управления рассчитывает нагрузку по показаниям второго датчика, но с учётом того, что эти показания могут быть неверными.



Рисунок 4.10 – Электронная педаль газа МАЗ

Датчик фазовой отметки (рисунок 4.11) предназначен для определения положения поршня первого цилиндра в верхней мертвой точке такта сжатия. Он расположен на торцевой крышке топливного насоса высокого давления (ТНВД), над меткой, изготовленной в виде отлива в области установки датчика фазовой отметки. Разъём подключения датчика фазовой отметки был заменен на стандартный штепсельный разъём с удлинителем для обеспечения возможности подключения к электронному блоку управления. Блок управления формирует сигнал для управления рейкой ТНВД при работе по дизельному циклу и при установлении



запальной дозы при работе по газодизельному циклу электронному регулируемому устройству (ЭРУС), показанному на рисунке 4.11.

Для перехода в режим работы дизеля по газодизельному циклу необходимо, чтобы в блок управления был подан сигнал о наличии давления газа в газовом коллекторе, на котором расположен датчик (рисунок 4.12). Природный газ из газового коллектора подается к электромагнитным газовым форсункам, предназначенным для дозирования газа, подаваемого в цилиндр, в зависимости от управляющего сигнала блока управления.

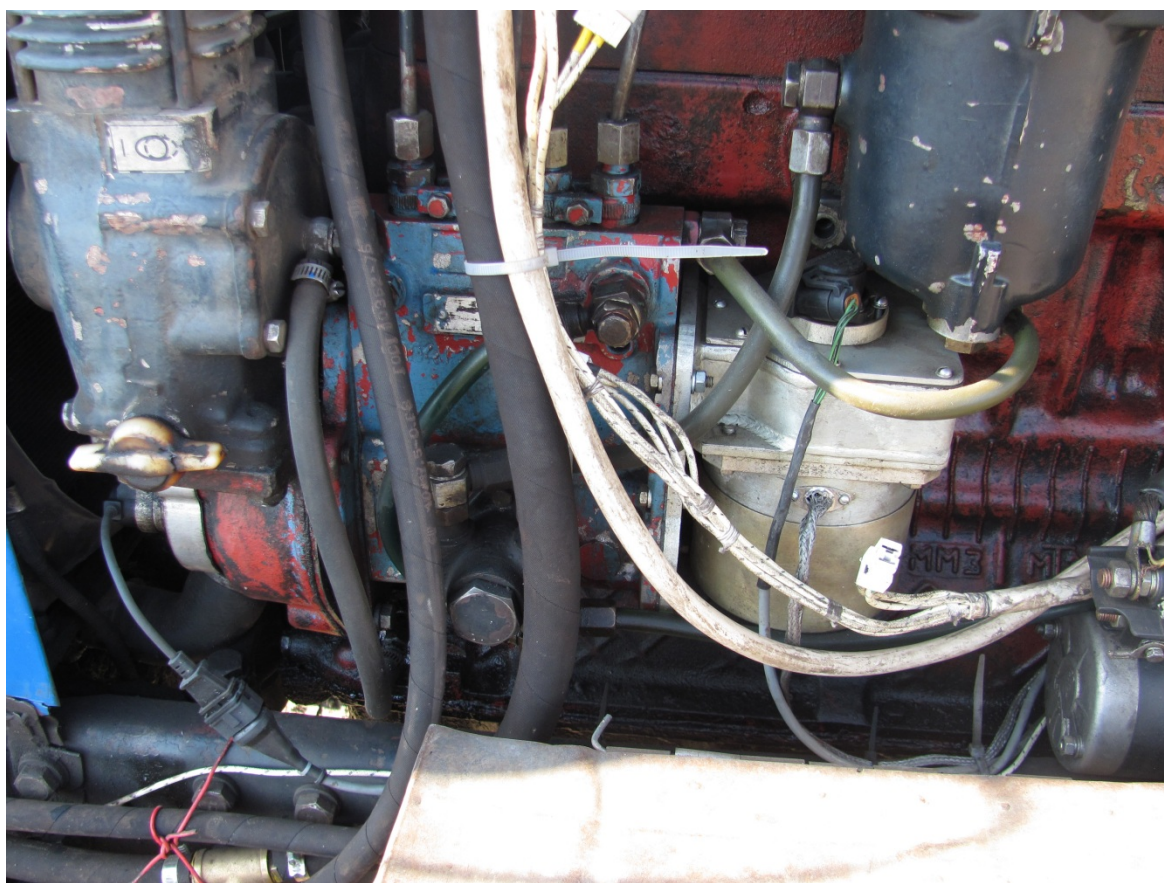


Рисунок 4.11 – Электронное регулирующее устройство и датчик фазовой отметки на топливном насосе высокого давления (ТНВД) дизеля Д-243

Электронный блок управления позволяет передавать данные на компьютер посредством беспроводной связи типа «Блютуз» (см. рисунок 4.9). Запись параметров работы дизеля, как по дизельному циклу, так и по газодизельному осуществляется программным комплексом «Тракторинжент».

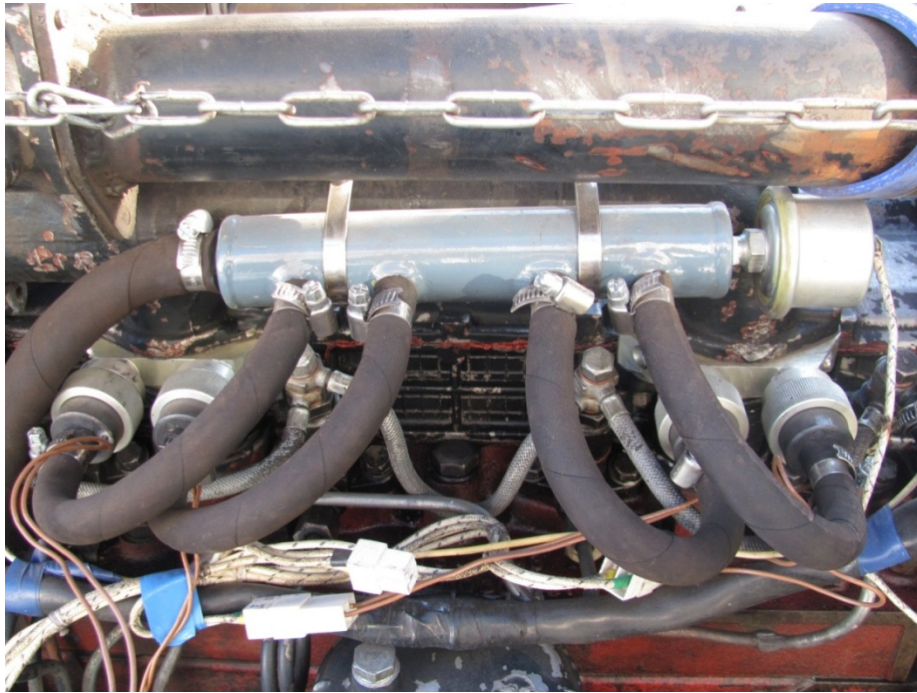


Рисунок 4.12 – Электронные газовые клапаны и газовый коллектор дизеля Д-243

Программное обеспечение «Тракторинжект» предназначено для настройки параметров и диагностики системы подачи газообразного топлива. Главное окно программы «Тракторинжект» представлено на рисунке 4.13.

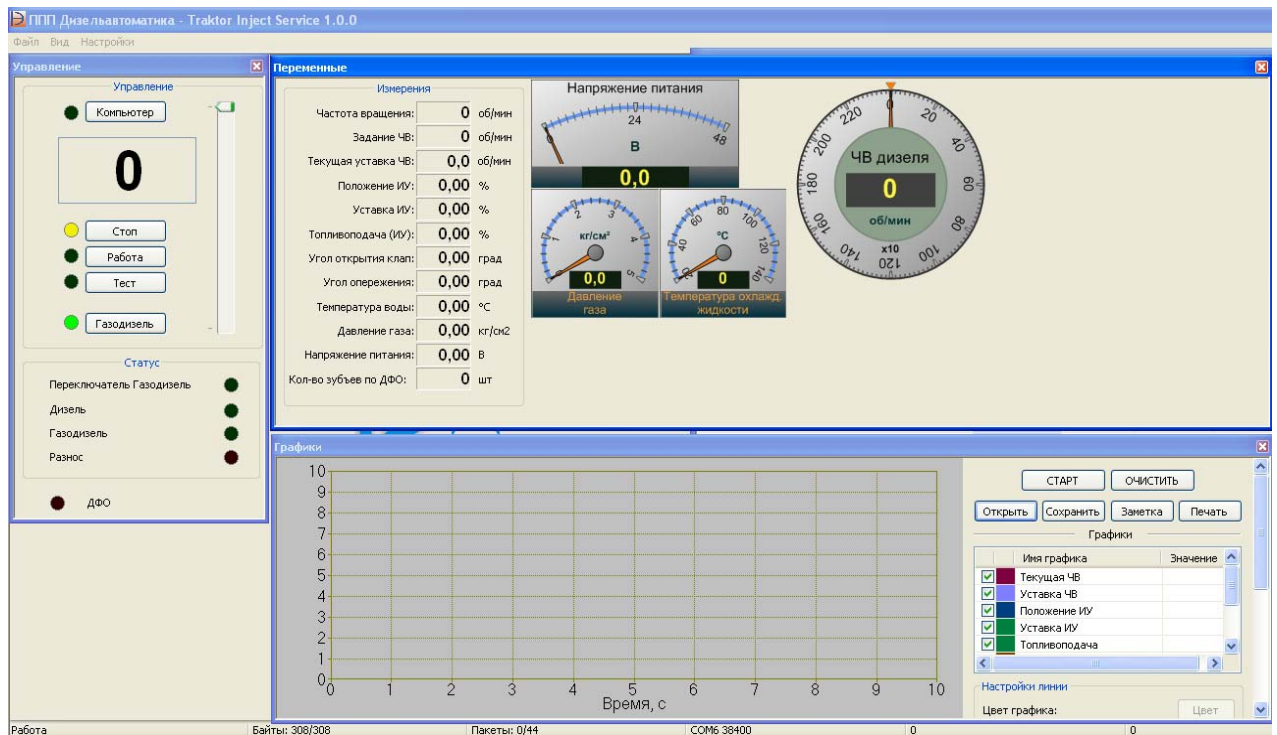


Рисунок 4.13 – Главное окно программы «Тракторинжект»



Таким образом, был создан программно-технический комплекс для контроля и управления работой тракторного дизеля Д-243 при работе его по дизельному и газодизельному циклу.

#### **4.2. Результаты экспериментальных испытаний трактора МТЗ-82.1, оснащённого системой распределённой подачи газа по эжекционному принципу**

Для проведения эксплуатационных испытаний был выбран трактор МТЗ-82.1 с установленной системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для работы дизелей по газодизельному циклу, которая была изготовлена и скомплектована из серийных и опытных изделий в ООО «ППП Дизельавтоматика». Общий вид трактора МТЗ-82.1, оснащённого системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу, представлен на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14 – Общий вид трактора МТЗ-82.1, оснащённого системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу



Эксплуатационные испытания проводили на полях, принадлежащих СПК им. Чапаева, с. Новозохаркино Петровского района Саратовской области при выполнении сельскохозяйственных операций: культивации и транспортных работах. Для записи параметров работы двигателя использовали программный комплекс «Тракторинжект», разработанный ООО «ППП Дизельавтоматика».

Перед началом проведения эксперимента трактор прогревался пробегом с целью обеспечения рабочих температур технологических жидкостей в системах двигателя и трансмиссии. Время и путь, на котором регистрируют параметры в процессе испытательного заезда, должны быть достаточны для обеспечения требуемой точности измерений. Трактор проходил измеряемый участок на определённой передаче трансмиссии под нагрузкой, позволяющей поддерживать среднее значение частоты вращения коленчатого вала двигателя и ведущих колёс на заданном уровне для каждого отдельного заезда.

Для проведения испытаний по определению зависимостей расхода топлива от нагрузки использовали сельскохозяйственное орудие ОПО-4,25, представляющее собой культиватор. На рисунке 4.15 представлен процесс обработки почвы машинно-тракторным агрегатом в составе трактора МТЗ-82.1 и почвообрабатывающего орудия ОПО-4,25. Акт о проведении эксплуатационных испытаний представлен в приложении А.



Рисунок 4.15 – Обработка почвы машинно-тракторным агрегатом  
МТЗ-82.1+ОПО-4,25

Для проведения испытаний по определению зависимости расхода газообразного и дизельного топлива трактором МТЗ-82.1 в транспортном режиме использовали тракторный прицеп 2-ПТС-4,5, задействованный на перевозке сена.

Результаты испытаний представлены в таблице 4.3. Для проведения более наглядного сравнения и анализа полученных данных были построены диаграммы расходов топлива при работе по дизельному и газодизельному циклу, которые представлены на рисунке 4.16.

Таблица 4.3 – Показатели работы трактора МТЗ-82.1 при работе по дизельному и газодизельному циклам

Показатель	Базовый	Газобаллонный
Эксплуатационная масса трактора, т	3,62	3,75
Диапазон скоростей, км/ч	1,89-33,4	1,89-33,4
Расход дизельного топлива, кг/ч	11,4	4,3
Расход газообразного топлива, м <sup>3</sup> /ч	–	8,7
Расход дизельного топлива в транспортном режиме, кг/ч	8,6	2,8
Расход газа в транспортном режиме, м <sup>3</sup> /ч	–	6,5
Транспортная скорость, км/ч	33	33
Количество газовых баллонов/емкость одного баллона, л	–	2/67

В процессе отладки системы подачи газа трактора МТЗ-82.1 были подобраны оптимальные коэффициенты электронного ПИД-регулятора, что позволило говорить о полной отладке системы.

Таким образом, в результате эксплуатационных исследований было установлено, что система распределенной подачи газообразного топлива для трактора МТЗ-82.1 способна работать в режимах холостого хода и в режимах близких к номинальным как по дизельному, так и по газодизельному циклу.

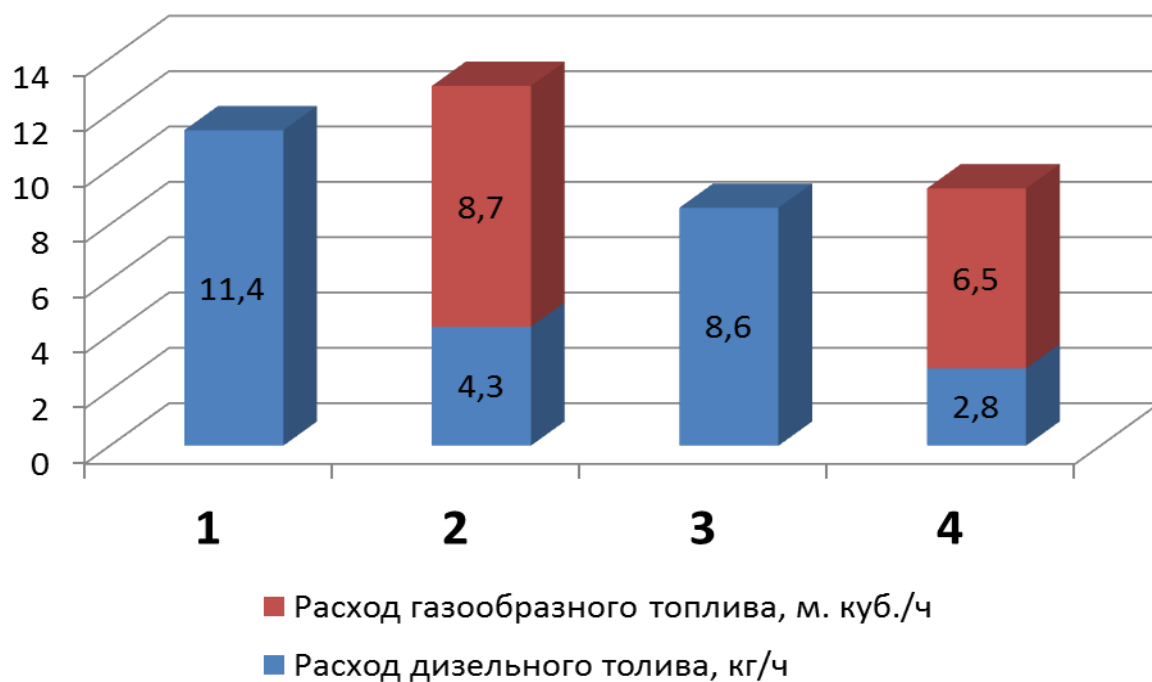


Рисунок 4.16 – Диаграммы расходов топлива при работе трактора МТЗ-82.1 по дизельному и газодизельному циклам: 1 – культивация по дизельному циклу; 2 – культивация по газодизельному циклу; 3 – транспортирование по дизельному циклу; 4 – транспортирование по газодизельному циклу

Кроме того, в ходе экспериментальных исследований согласно методике, изложенной в пункте 3.4, были определены предельные статические углы устойчивости трактора МТЗ-82.1, оснащённого газобаллонным оборудованием для работы по газодизельному циклу. Результаты определения предельных статических углов устойчивости представлены в таблице 4.4.

Расхождение теоретических и экспериментальных значений предельных углов опрокидывания в таблице 4.4 определяли по формуле

$$\delta = \frac{|\alpha_{\text{ТЕОР}} - \alpha_{\text{ЭКСП}}|}{\alpha_{\text{ТЕОР}}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где  $\alpha_{\text{ТЕОР}}$  – теоретическое значение угла, °;  $\alpha_{\text{ЭКСП}}$  – экспериментальное значение угла, °.

Таблица 4.4 – Сводная таблица определения статических углов продольной и поперечной устойчивости трактора МТЗ-82.1, оснащённого газобаллонным оборудованием

Комплектация		Предельный статический угол подъёма $\alpha_{\text{limПОД}}$	Предельный статический угол уклона $\alpha_{\text{limУК}}$	Предельный статический угол поперечной устойчивости $\beta_{\text{limУК}}$
Трактор без газобаллонного оборудования (базовый)	теорет., °	39,3	57,3	35,3
	экспер., °	38,6	57,0	35,9
	$\delta$ , %	1,7	0,5	1,7
Трактор, оснащенный газобаллонным оборудованием (со съёмной кассетой, установленной в передней части трактора)	теорет., °	42,7	55,6	35,2
	экспер., °	41,5	54,1	34,2
	$\delta$ , %	2,8	2,5	2,8

Как показал проведённый эксперимент, значения предельных статических углов устойчивости, полученные экспериментальным путем и посредством аналитических расчётов довольно близки. Расхождение не превышает 2,8 % (таблица 4.4). Это является подтверждением правильности проведённых теоретических расчётов.

#### 4.3. Выводы по главе 4

1. Была разработана, скомплектована и исследована система распределенной подачи газообразного топлива для трактора МТЗ-82.1, которая показала возможность работы как по дизельному, так и по газодизельному циклу при выполнении различных сельскохозяйственных операций.

2. Для повышения эффективности использования тракторов МТЗ-82.1, оснащённых газобаллонным оборудованием, доработана система распределённой подачи газа по эжекционному принципу. Эксплуатационными испытаниями установлено:

– трактор МТЗ-82.1 способен работать в режимах близких к номинальному как по дизельному, так и по газодизельному циклу;

- запальная доза дизельного топлива достигает 22 %;
- при обработке почвы почвообрабатывающим орудием ОПО-4,25 расход дизельного топлива при работе по газодизельному циклу снижается в 4,7-4,9 раза; расход дизельного топлива при работе по дизельному циклу составил 13,5 кг/ч, по газодизельному – 3,2 кг/ч.

## **5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КАССЕТНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ**

### **5.1. Совершенствование схемы технологического процесса заправки путём использования съёмных кассетных модулей**

Используя методику, представленную в главе 2, было принято решение о размещении газовых баллонов для хранения природного газа в передней части трактора перед радиатором. В этом случае они практически не ухудшают угол обзора с места тракториста.

Для переоборудования трактора МТЗ-82.1 в газодизельный были использованы металлокомпозитные баллоны БА 67.20.401/840, произведённые фирмой «Реал-Шторм», г. Ижевск, ёмкостью 67 л каждый, которые рассчитаны на рабочее давление 20 МПа. Такие баллоны устанавливаются на различные транспортные средства и предназначены для транспортирования, хранения и использования в качестве моторного топлива сжатого природного газа (метана), изготовленные по ГОСТ 27577-2000. Такие баллоны используются на легковых автомобилях, автобусах, грузовых автомобилях, сельскохозяйственной технике.

Для крепления баллонов на тракторе изготавливается специальный кассетный модуль (патент № 150060 [109]), представляющий собой сборную металлическую конструкцию из труб квадратного сечения с ложементами для крепления баллонов. Данный кассетный модуль имеет возможность установки в подрамник, который прикреплен к раме трактора болтовыми соединениями. Схема размещения сменного кассетного модуля на тракторе МТЗ-82.1 приведена на рисунке 5.1. При этом, за счет веса баллонов, дополнительно улучшаются тягово-сцепные показатели трактора, так как догружается передний ведущий мост трактора, на который в базовом варианте приходится лишь 40 % массы трактора.

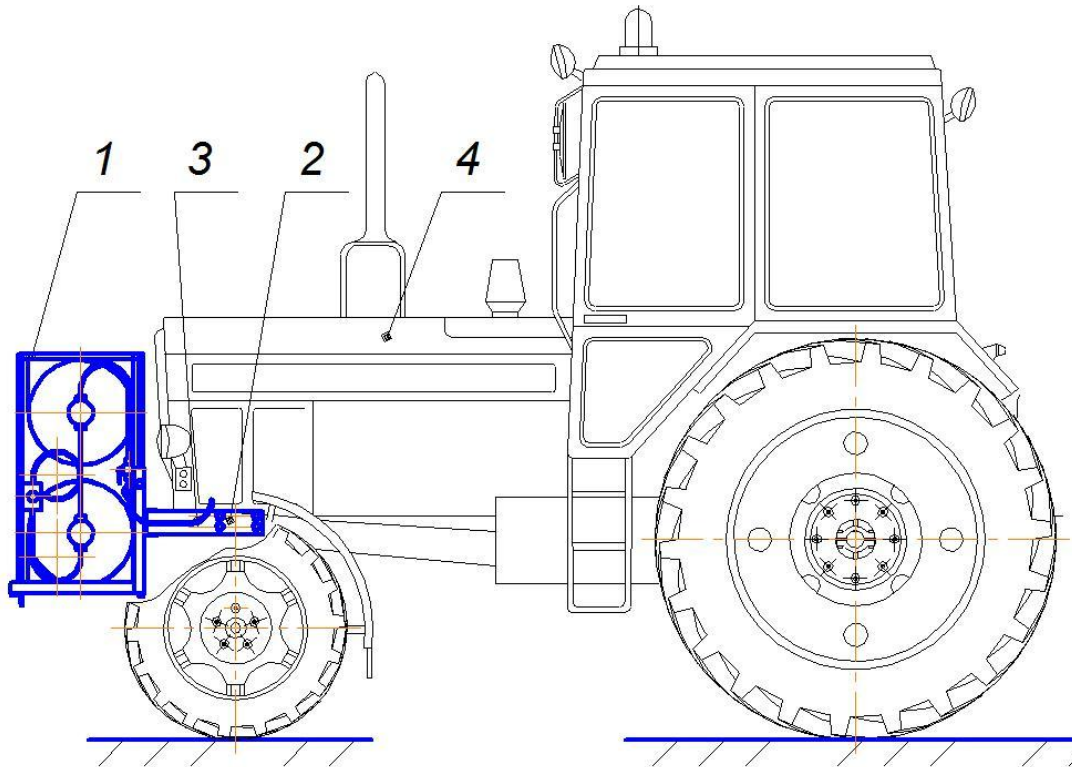


Рисунок 5.1 – Расположение элементов крепления кассетного модуля на тракторе МТЗ-82.1: 1 – кассетный модуль; 2 – подрамник установочный; 3 – рукав высокого давления; 4 – трактор

Суммарная ёмкость баллонов составляет 134 л, что позволяет обеспечить продолжительность работы трактора без заправки в течение приблизительно 4 ч, что сопоставимо с существующими моделями уже существующих газодизельных тракторов, разработанных на базе МТЗ-80. Переход на баллоны с рабочим давлением 32 МПа позволит увеличить продолжительность работы трактора без заправки до 6 ч при той же ёмкости баллонов.

Расположение составляющих элементов в кассетном модуле представлено на рисунке 5.2.

Природный газ поступает в баллоны 7 кассетного модуля от АГНКС через заправочное устройство 1 посредством трубопроводов высокого давления 2. Во избежание преждевременного истечения газа из баллонов они снабжены баллонными вентилями 3. Для предохранения баллонов от разрыва под действием внутреннего давления баллонные вентили 3 снабжены предохранительными клапанами. Газ из баллонов поступает в газопровод высокого давления трактора через ру-

кав высокого давления с быстроразъёмным соединением 5. Для отсечки газа при разъединении с газопроводом высокого давления трактора кассетный модуль снабжён шаровым краном 4. Шаровый кран 4, заправочное устройство 1, газовые баллоны 7 закреплены на раме кассетного модуля с ложементами 6.

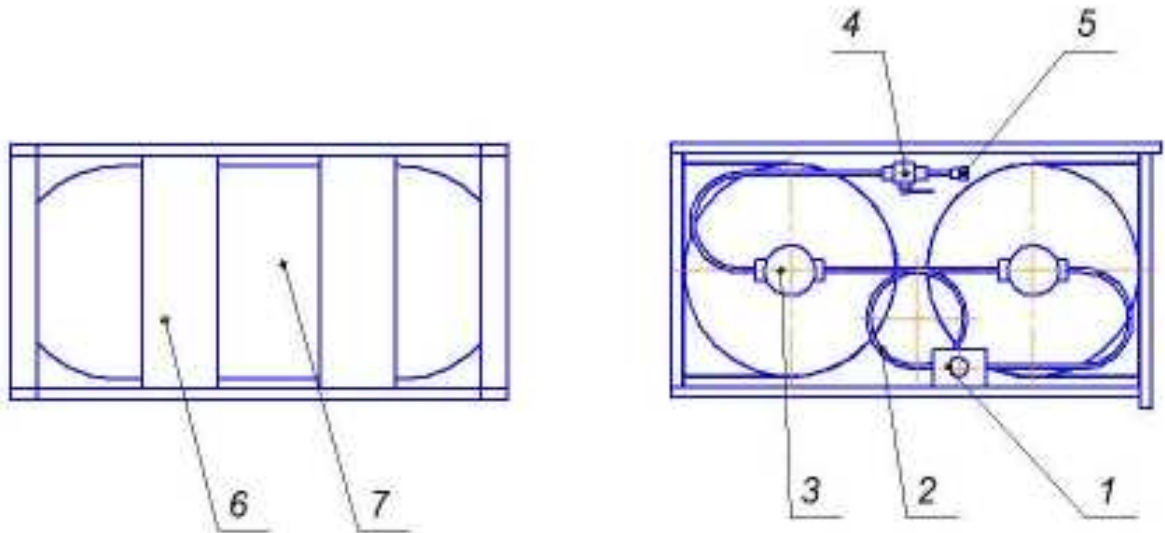


Рисунок 5.2 – Эскиз кассетного модуля: 1 – заправочное устройство; 2 – трубопроводы высокого давления; 3 – баллонные вентили; 4 – кран шаровой, запирающий кассетный модуль, 5 – рукав высокого давления с быстроразъёмным соединением, 6 – рама кассетного модуля с ложементами, 7 – газовые баллоны

Подрамник (рисунок 5.3) представляет собой прямоугольную конструкцию, изготовленную из уголков методом сварки, внутренний установочный размер которой соответствует наружным размерам кассетного модуля. Данная конструкция прикреплена к опорной пластине посредством поперечных уголков; для усиления конструкции предусмотрены раскосы. Опорная пластина крепится к раме трактора 8 болтами диаметром 20 мм. Конструкция подрамника предусматривает использование фиксаторов, которые исключают возможность выпадения кассетного модуля во время движения трактора.



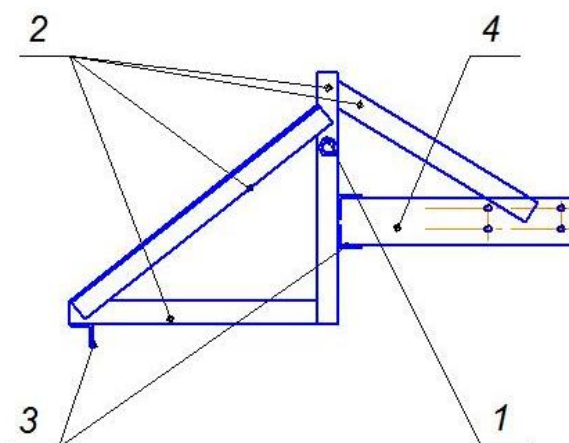


Рисунок 5.3 – Подрамник для кассетных модулей: 1 – фиксаторы кассетного модуля; 2 – каркасные уголки; 3 – поперечные уголки; 4 – опорные пластины

На рисунке 5.4 представлен съёмный кассетный модуль для трактора МТЗ-82.1 в сборе.



Рисунок 5.4 – Кассетный модуль емкостью 134 л

Порядок установки кассетного модуля:

- 1) поднять кассетный модуль и установить его в подрамник;
- 2) обеспечить фиксацию кассетного модуля в подрамнике при помощи фиксатора;

3) соединить компоненты рукава высокого давления с помощью быстросъемного соединения;

4) открыть запирающие шаровые краны.

Порядок демонтажа кассетного модуля:

1) закрыть запирающий шаровой кран;

2) сбросить давление при помощи узла сброса давления;

3) закрыть запирающий шаровой кран;

4) разъединить компоненты рукава высокого давления при помощи быстросъемного соединения;

5) освободить фиксаторы кассетного модуля;

6) снять кассетный модуль.

На баллонах ГБО трактора находится заправочный и аварийно-расходный вентиль. Заправочный вентиль предназначен для заправки трактора газом.

Процесс заправки съёмного кассетного модуля на АГНКС представлен на рисунке 5.5.

На основании разработанного кассетного модуля была разработана схема заправки (рисунок 5.6), основанная на так называемых кассетных модулях. Данная схема заправки является комбинированной, и в её основу заложен принцип сменных кассетных модулей, которые имеют возможность быстро устанавливаться непосредственно на сельскохозяйственную технику. Данные кассетные модули имеют возможность заправки как от АГНКС, так и от ПАГЗов и компрессорных установок. При этом они могут транспортироваться любыми грузовыми транспортными средствами, имеющимися в наличии у сельхозпроизводителя. Также они могут быть использованы при создании пунктов временного хранения газообразного топлива.



Рисунок 5.5 – Заправка кассетного модуля емкостью 134 л на АГНКС



Рисунок 5.6 – Схема заправки сельскохозяйственной техники компримированным природным газом на основе съёмных кассетных модулей

К достоинствам данной схемы следует отнести высокую производительность и пропускную способность, возможность заправки сельскохозяйственной техники в местах её непосредственной эксплуатации.

Недостатком является малый объем газа, хранящегося в кассетном модуле. Однако он компенсируется за счет быстроты смены кассетного модуля.

Предусмотрена следующая последовательность заправки трактора, оснащенного кассетным модулем, на АГНКС:

- 1) при въезде на заправку необходимо высадить всех пассажиров в безопасной зоне, заглушить двигатель, выключить массу трактора;
  - 2) проверить положение стрелки манометра (она должна показывать давление 0 МПа);
  - 3) проверить, чтобы на заправочном пальце имелось два уплотнительных резиновых кольца, убедиться в их целостности;
  - 4) вставить заправочный палец в заправочное устройство;
  - 5) открыть заправочный вентиль и баллонные вентили;
  - 6) переключить заправочный кран на колонке в положение «заправка»;
  - 7) доложить оператору о готовности к заправке и указать количество закачиваемого топлива;
  - 8) определить давление закачанного газа по индикатору колонки и оплатить заправку;
  - 9) закрыть заправочный вентиль и баллонные вентили;
  - 10) переключить заправочный кран на колонке в положение «на свечу»;
  - 11) вынуть заправочный палец из заправочного устройства;
- При заправке следует находиться только возле своей колонки. Запрещено ходить вокруг трактора, переступать шланги, открывать дверь и т.п.

## **5.2. Расчёт оптимального использования снабжения и заправки газомоторным топливом сельскохозяйственной техники**

Вследствие того, что в настоящее время в России сеть АГНКС развита довольно слабо, перед сельскохозяйственными организациями встаёт вопрос заправки техники компримированным природным газом. При значительной удалённости хозяйства от АГНКС затраты на заправку могут значительно снизить экономию от применения компримированного природного газа, так как при этом затрачиваются дополнительные денежные средства на перемещение трактора к АГНКС, а также снижается сменная производительность. Эту проблему можно решить путём использования передвижных газозаправщиков, рассмотренных в

разделе 1.2. Снизить затраты на заправку газом также можно при использовании схемы заправки, представленной на рисунке 5.6, в основу которой положено использование съёмных кассетных модулей. В то же время, если АГНКС находится на незначительном расстоянии от хозяйства, использование ПАГЗов и заправки с помощью кассетных модулей может быть нерентабельным, т. е. более целесообразно будет осуществлять заправку непосредственно на тракторе на АГНКС. Поэтому необходимо для различных способов заправки определить наиболее оптимальное значение удалённости от АГНКС, при котором тот или иной способ заправки будет наиболее оптимальным.

Для обоснования способа заправки тракторов компримированным природным газом необходимо определить себестоимость одного кубического метра компримированного природного газа для данного способа.

Рассмотрим различные способы заправки. В качестве ПАГЗ выберем модель 2500/32-4 (таблица 1.3) на шасси КамАЗ-53229, который оснащен двигателем модели 740.31.240 (Евро-2), дизельный, с турбонаддувом и промежуточным охлаждением воздуха, мощностью 225 л. с. (165 кВт) при 2200 мин<sup>-1</sup>. Расход топлива на 100 км пути составляет (в дизельном режиме) 26 л.

Для перевозки сменных кассетных модулей можно использовать автомобиль ГАЗ-3302 («ГазЕЛЬ»), оснащенную двигателем УМЗ-4216 мощностью 107 л. с. (79 кВт) при 4000 мин<sup>-1</sup>. Расход топлива (бензин) на 100 км пути составляет 15,5 л.

Кроме этого будем рассматривать перемещение трактора к АГНКС самостоятельно. Расход дизельного топлива в транспортном режиме для МТЗ-82.1 составляет 9,2 л/ч.

Себестоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа С<sub>1</sub>, руб., при его доставке к потребителю на транспортном средстве на базе какого либо автомобиля может быть определена по формулам:

– при транспортировании газа при помощи ПАГЗ или при помощи кассетных модулей:

$$C_1 = \frac{C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ТСМ}} + C_{\text{ТОР}} + C_{\text{А}} + C_{\text{Ш}}}{V_{\Gamma}}; \quad (5.1)$$

– при самозаправке тракторов:

$$C_1 = \frac{C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ТСМ}} + C_{\text{ТОР}} + C_{\text{А}}}{V_{\Gamma}}, \quad (5.2)$$

где  $C_{\text{ЗП}}$  – затраты на заработную плату водителя, руб.;  $C_{\text{ТСМ}}$  – затраты на топливо и смазочные материалы, руб.;  $C_{\text{ТОР}}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб.;  $C_{\text{А}}$  – затраты на амортизацию, руб.;  $C_{\text{Ш}}$  – затраты на восстановление износа и ремонт шин, руб.;  $V_{\Gamma}$  – объём газа, перевозимого за одну езду, м<sup>3</sup>.

Затраты на заработную плату водителя могут быть определены из выражения

$$C_{\text{ЗП}} = \tau T_{\text{Е}}, \quad (5.3)$$

где  $\tau$  – часовая тарифная ставка водителя, руб.;  $T_{\text{Е}}$  – время на одну езду, ч.

Время  $T_{\text{Е}}$  может быть определено по следующим формулам:

– при транспортировании газа на ПАГЗ:

$$T_{\text{Е}} = \frac{2l}{v_{\text{СР}}} + T_{\text{ПАГЗ}}^{\text{АГНКС}} + \frac{T_{\text{УЗ}} K_{\text{О}}}{V_{\text{УЗ}}}; \quad (5.4)$$

– при транспортировании кассетных модулей:

$$T_{\text{Е}} = \frac{2l}{v_{\text{СР}}} + n T_{\text{К}}^{\text{АГНКС}}; \quad (5.5)$$

– при самозаправке тракторов:

$$T_{\text{Е}} = \frac{2l}{v_{\text{СР}}} + T_{\text{АГНКС}}, \quad (5.6)$$

где  $l$  – расстояние до АГНКС, км;  $v_{\text{СР}}$  – средняя скорость движения в транспортном режиме, км/ч;  $T_{\text{ПАГЗ}}^{\text{АГНКС}}$  – время заправки ПАГЗ на АГНКС, ч;  $T_{\text{УЗ}}$  – время условной заправки от ПАГЗ, ч; согласно таблице 1.3  $T_{\text{УЗ}} = 0,17$  ч (8 мин);  $K_{\text{О}}$  – коэффициент опорожнения; по таблице 1.3 для ПАГЗ модели 2400/32-4  $K_{\text{О}} =$

$= 0,95$ ;  $V_y$  – объём условной заправки,  $\text{м}^3$ ; по таблице 1.3  $V_y = 50 \text{ м}^3$ ;  $n$  – количество кассетных модулей, транспортируемых одновременно на АГНКС, шт.;  $T_K^{\text{АГНКС}}$  – время заправки кассетного модуля на АГНКС, ч;  $T_{\text{АГНКС}}$  – время заправки трактора на АГНКС, ч.

Данные для расчёта затрат на заработную плату при различных способах заправки представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Данные для расчёта затрат на заработную плату при заправке

Показатель	Способ заправки		
	ПАГЗ	кассетный модуль	самозаправка
$v_{\text{ср}}$ , км/ч	58	69	29,6
$T_{\text{ПАГЗ}}^{\text{АГНКС}}$ , ч	2,73	–	–
$T_y$ , ч	0,17	–	–
$T_K^{\text{АГНКС}}$ , ч	–	0,37	–
$T_{\text{АГНКС}}$ , ч	–	–	0,35
$n$ , шт.	–	12	–

Затраты на топливо и смазочные материалы могут быть определены из следующих выражений:

– для автомобилей:

$$C_{\text{ТСМ}} = \frac{2Q_T \Pi_T \rho_T K_{\text{СМ.М}}}{100}; \quad (5.7)$$

– для тракторов:

$$C_{\text{ТСМ}} = \frac{2Q_{\text{Тч}} \Pi_T K_{\text{СМ.М}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (5.8)$$

где  $Q_T$  – расход топлива на 100 км пути, л/100 км;  $\Pi_T$  – цена данного вида топлива, руб./кг;  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/л;  $K_{\text{СМ.М}}$  – коэффициент учета стоимости смазочных материалов;  $Q_{\text{Тч}}$  – часовой расход дизельного топлива, кг/ч.

Данные для расчёта затрат на топливо и смазочные материалы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Данные для расчёта затрат на топливо и смазочные материалы

Показатель	Способ заправки		
	ПАГЗ	кассетный модуль	самозаправка
$Q_T$ , л/100 км	27,6	15,5	–
$Q_{Tч}$ , кг/ч	–	–	8,6
$Ц_T$ , руб./кг	27	25,8	27
$\rho_T$ , кг/л	0,86	0,75	0,86
$K_{СМ.М}$	1,2	1,2	1,2
$v_{ср}$ , км/ч	58	69	29,6

Затраты на ремонт и техническое обслуживание могут быть определены из следующих выражений:

– для автомобилей:

$$C_{ТОР} = 0,001 \cdot 2l(N_p + N_o); \quad (5.9)$$

– для тракторов:

$$C_{ТОР} = \frac{2Br l}{T_3 v_{ср}}, \quad (5.10)$$

где  $N_p$ ,  $N_o$  – соответственно нормы отчислений на 1000 км пробега на ремонты и техническое обслуживание, руб.;  $B$  – балансовая стоимость, руб.;  $r$  – норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание тракторов;  $T_3$  – годовая зональная фактическая загрузка техники, ч.

Данные для определения затрат на техническое обслуживание и ремонт представлены в таблице 5.3.



Таблица 5.3 – Данные для расчёта затрат на техническое обслуживание и ремонт

Показатель	Марка транспортного средства		
	КамАЗ-53229	ГАЗ-3302	МТЗ-82.1
$H_P$ , руб.	1635	546	–
$H_O$ , руб.	574	227	–
$B$ , руб.	2090000	590000	805000
$r$ , %	–	–	9,9
$T_3$ , ч	–	–	1012
$v_{cp}$ , км/ч	58	69	29,6

Затраты на амортизацию  $C_A$ , руб., определяют по следующим формулам:

– для автомобилей:

$$C_A = 0,00001B2l(H_B + H_K); \quad (5.11)$$

– для тракторов:

$$C_A = \frac{2Bal}{T_3 v_{cp}}, \quad (5.12)$$

где  $B$  – балансовая стоимость транспортного средства, руб.;  $H_B$  – норма отчислений на полное восстановление на 1000 км, %;  $H_K$  – норма отчислений на капитальный ремонт на 1000 км, %;  $a$  – коэффициент отчислений на амортизацию техники.

Данные для расчета затрат на амортизацию представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Данные для расчета затрат на амортизацию

Показатель	Марка транспортного средства		
	КамАЗ-53229	ГАЗ-3302	МТЗ-82.1
$H_B$ , %/1000 км	0,2	0,3	–
$H_K$ , %/1000 км	0,2	0,2	–
$B$ , руб.	2090000	590000	805000
$a$ , %	–	–	9,1
$T_3$ , ч	–	–	1012
$v_{cp}$ , км/ч	58	69	29,6

Затраты на восстановление износа и ремонт шин автомобилей определяют по формуле

$$C_{\text{ш}} = \frac{2n_{\text{ш}}C_{\text{ш}}a_{\text{ш}}l}{1 \cdot 10^5}, \quad (5.13)$$

где  $n_{\text{ш}}$  – количество колес у автомобиля не считая запасного, шт.;  $C_{\text{ш}}$  – стоимость одной шины, руб.;  $a_{\text{ш}}$  – норма отчислений на 1000 километров пробега, %.

Данные для расчёта затрат на восстановление и ремонт шин представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Данные для расчёта затрат на восстановление и ремонт шин автомобилей

Показатель	Марка автомобиля	
	ГАЗ-3302	КамАЗ-53229
Модель и тип шины	185/75R16 радиальные	280-R508 радиальные
Стоимость новой шины $C_{\text{ш}}$ , руб.	2860	10290
Количество шин $n_{\text{ш}}$ , шт.	6	10
Норма отчислений на 1000 км пробега $a_{\text{ш}}$ , %	1,32	1,17

Результаты расчёта затрат на заправку сельскохозяйственных тракторов компримированным природным газом представлены на рисунке 5.7.

Анализируя графические зависимости, представленные на рисунке 5.7, можно сделать вывод о том, что использование ПАГЗ для заправки тракторов наиболее целесообразно, так как в этом случае затраты на заправку компримированным природным газом минимальны. Однако при небольшом количестве техники в хозяйстве ПАГЗ будет значительно недозагружен и, как следствие, срок окупаемости затрат на его приобретение значительно превысит нормативный срок его службы – 20 лет.

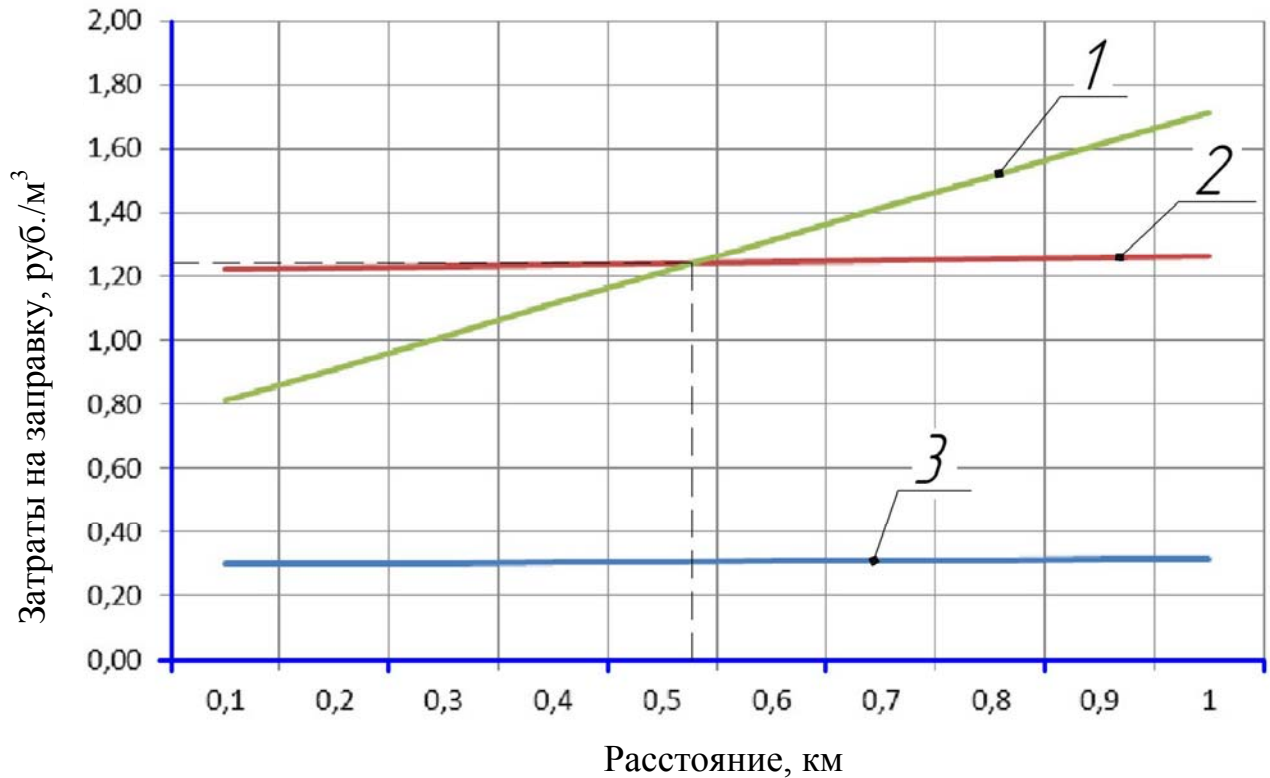


Рисунок 5.7 – Затраты на заправку тракторов компримированным природным газом: 1 – самозаправка трактора МТЗ-82.1; 2 – заправка при помощи кассетных модулей; 3 – заправка при помощи ПАГЗ

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что для заправки тракторов в небольших хозяйствах целесообразно использовать метод на основе кассетных модулей. При расстоянии до АГНКС не более 530 м целесообразно осуществлять самозаправку трактора МТЗ-82.1. Если расстояние до АГНКС превышает 530 м, то целесообразней будет заправка трактора при помощи кассетных модулей.

При использовании кассетных модулей необходимо также определить максимальную удалённость от АГНКС, при которой их использование будет целесообразным. Такой расчёт можно провести исходя из максимальных затрат на заправку техники компримированным природным газом. Исходя из того, что затраты на заправку не превысят 20 % максимальной экономии от эксплуатации газобаллонных тракторов, максимальная величина затрат на заправку  $Z_{\max}$ , руб., определится из выражения:

$$Z_{\max} = 0,2 \mathcal{E}_{3y} W_{\text{CM}} K_y T_{\text{CM.H}}, \quad (5.14)$$

где  $\mathcal{E}_{3y}$  – экономия от эксплуатации газобаллонных тракторов на 1 усл. эт. га, руб.;  $W_{\text{CM}}$  – производительность за 1 ч сменного времени, га/ч;  $K_y$  – коэффициент перевода физических гектар в условные эталонные гектары.

Максимальная величина затрат на заправку:

– для трактора МТЗ-82.1:

$$Z_{\max} = 0,2 \cdot 59,06 \cdot 2,75 \cdot 0,73 \cdot 8,3 = 196,8 \text{ руб.}$$

Затраты на заправку трактора за смену определяют из выражения

$$C_{\text{ЗАП}} = C_1 V_{\text{Г.СМ}}, \quad (5.15)$$

где  $C_1$  – себестоимость доставки 1 м<sup>3</sup> компримированного природного газа при данном способе заправки, руб.;  $V_{\text{Г.СМ}}$  – количество газа, необходимое для работы трактора в течение одной смены, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{Г.СМ}} = 67 \text{ м}^3$ .

Зависимость затрат на заправку тракторов МТЗ 82.1 компримированным природным газом представлена на рисунке 5.8.

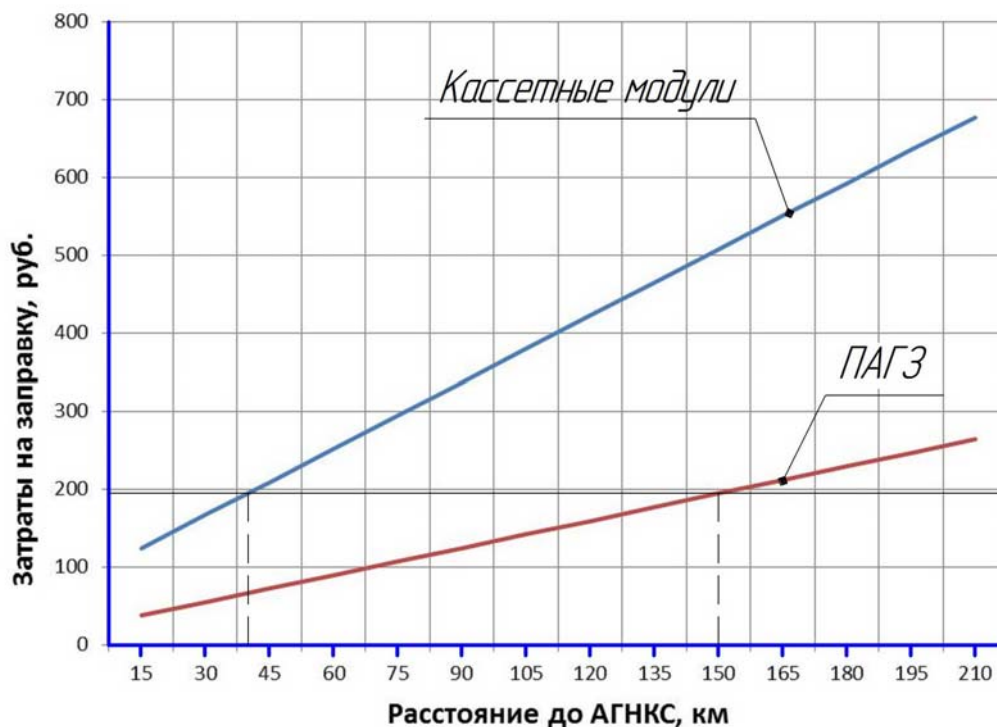


Рисунок 5.8 – Затраты на заправку компримированным природным газом трактора МТЗ-82.1

Как видно из рисунка 5.8, заправка при помощи кассетных модулей для трактора МТЗ-82.1 целесообразна при удаленности от АГНКС не более 37 км, при заправке от ПАГЗ – не более 150 км.

Как было сказано выше, использование тех или иных средств заправки целесообразно только при достаточной их загруженности в технологическом процессе заправки. При незначительной их загрузке возможны неизбежные простои, что, в свою очередь, говорит о недостаточной степени использования средств заправки.

Поэтому для рационального их использования необходимо оптимизировать количество тракторов, обслуживаемых одним заправщиком.

В случае простоя заправщика, несмотря на то, что он в данном случае не используется, имеют место затраты на его амортизацию в целях полного восстановления основных фондов хозяйства.

Основными показателями, необходимыми для расчета амортизации основного средства, являются его стоимость и норма амортизации, рассчитанная исходя из срока полезного использования амортизируемого основного средства.

Сроком полезного использования основного средства признается период, в течение которого предусматривается использование основного средства в процессе деятельности учреждения в тех целях, ради которых он был приобретен, создан и (или) получен (в запланированных целях). Порядок определения срока полезного использования основного средства представлен в приказе Минфина Российской Федерации от 1 декабря 2010 г. № 157н «Об утверждении единого плана счетов бухгалтерского учета для органов государственной власти (государственных органов), органов местного самоуправления, органов управления государственными внебюджетными фондами, государственных академий наук, государственных (муниципальных) учреждений и инструкции по его применению».

В соответствии с Постановлением № 1 Правительства Российской Федерации «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» от 01.01.2002 г. автомобиль ГАЗ-3302, используемый для перевозки кассетных модулей, относится к четвертой группе (имущество со сроком полезного ис-

пользования от 5 до 7 лет) «Автомобили грузовые, дорожные тягачи для полуприцепов (автомобили общего назначения: бортовые, фургоны, автомобильные тягачи; автомобили-самосвалы)»; код ОКОФ 15 3410020. Также в соответствии с данным постановлением ПАГЗ относится к пятой группе (имущество со сроком полезного использования от 7 до 10 лет) «Автомобили специальные»; код ОКОФ 15 3410040.

Затраты на амортизацию, руб., за время простоя техники определяют из следующего выражения:

$$З_{\Pi} = \frac{Ba_{\kappa}t_{\Pi}}{24n_{\text{д}}}, \quad (5.16)$$

где  $a_{\kappa}$  – коэффициент отчислений на амортизацию;  $t_{\Pi}$  – время простоя техники, ч;  $n_{\text{д}}$  – число дней в году, дней;  $n_{\text{д}} = 365$  дней.

Значение коэффициента отчислений на амортизацию  $a_{\kappa}$  может быть определено из выражения [44]:

$$a_{\kappa} = \frac{1}{T_{\text{с}}}, \quad (5.17)$$

где  $T_{\text{с}}$  – нормативный срок службы средства заправки, лет.

В этом случае время его простоя  $t_{\Pi}$ , ч, определится из следующих выражений:

– для ПАГЗа:

$$t_{\Pi} = \left( \frac{V_{\text{ПАГЗ}} K_{\text{о}} T_{\text{см.н}}}{V_{\text{к}} n_{\text{т}} n_{\text{з}}} - T_{\text{е}} - n_{\text{т}} T_{\text{ПАГЗ}} \right) \cdot K_{\text{см}}; \quad (5.18)$$

– для заправки при помощи кассетных модулей:

$$t_{\Pi} = \left( \frac{n_{\text{к}} T_{\text{см.н}}}{n_{\text{т}} n_{\text{з}}} - T_{\text{е}} \right) \cdot K_{\text{см}}, \quad (5.19)$$

где  $V_{\text{ПАГЗ}}$  – объём газа, перевозимого ПАГЗ, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{о}}$  – коэффициент опорожнения ПАГЗ (согласно таблице 1.3);  $K_{\text{см}}$  – коэффициент, учитывающий суточные простои техники при многосменной работе; при односменной работе  $K_{\text{см}} = 2,9$ ;

при двухсменной работе  $K_{\text{СМ}} = 1,45$ ;  $V_{\text{К}}$  – объём газа в одной кассете,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{К}} = 33,5 \text{ м}^3$ ;  $n_{\text{Т}}$  – количество тракторов, обслуживаемых одним средством заправки, имеющим неполную загрузку, ед.;  $n_3$  – количество заправок одного трактора за смену; согласно данным, представленным в главе 5, за смену расходуется около  $260 \text{ м}^3$  газа, что соответствует двум кассетным модулям, т. е.  $n_3 = 2$ ;  $T_{\text{ПАГЗ}}$  – время заправки кассеты от ПАГЗ, ч; поскольку используется активный ПАГЗ, то время заправки можно принять равным времени заправки на АГНКС  $T_{\text{АГНКС}}$ , которое согласно таблице 5.1 составляет 0,35 ч.

При использовании 2 и более средств заправки при соответствующем количестве обслуживаемых тракторов возможна ситуация, когда один из заправщиков будет недогружен, то есть будут иметь место его простои.

Максимальное число тракторов, обслуживаемых средством заправки за одну езду, может быть определено исходя из того, что в этом случае простои средства заправки будут минимальными. Поэтому для его определения необходимо время простоя  $t_{\text{П}}$  принять равным нулю. Тогда формулы для определения максимального количества тракторов, обслуживаемых одним средством заправки, примут следующий вид:

– для ПАГЗа:

$$n_{\text{Т}} = \frac{\sqrt{V_{\text{К}} n_3 (V_{\text{К}} n_3 T_{\text{Е}} + 4T_{\text{ПАГЗ}} V_{\text{ПАГЗ}} K_{\text{О}} T_{\text{СМ.Н}})} - V_{\text{К}} n_3 T_{\text{Е}}}{2 \cdot V_{\text{К}} \cdot n_3 \cdot T_{\text{ПАГЗ}}}; \quad (5.20)$$

– для заправки при помощи кассетных модулей:

$$n_{\text{Т}} = \frac{n_{\text{К}} T_{\text{СМ.Н}}}{T_{\text{Е}} n_3}. \quad (5.21)$$

Число тракторов  $n_{\text{Т}}$ , обслуживаемых одним средством заправки, которое не полностью загружено, определяют из выражения

$$n_{\text{Т}} = n_{\text{ПТ}} - (Ч_{\text{СЗ}} - 1) \cdot Ч_{\text{ТР}}, \quad (5.22)$$

где  $n_{\text{ПТ}}$  – общее количество тракторов в парке, ед.

При этом число, полученное по формуле (5.22), округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Для объективной оценки затрат и проведения сравнения различных способов заправки целесообразно отнести затраты от простоя этой техники на  $1 \text{ м}^3$  заправляемого газа. Тогда с учётом (5.16) удельные затраты от простоя техники определяются следующим образом:

$$Z_{\text{пу}} = \frac{Ba_{\text{к}} t_{\text{п}}}{24n_{\text{д}} V_{\text{Г}}}, \quad (5.23)$$

где  $V_{\text{Г}}$  – объём газа, перевозимого за одну езду средством заправки,  $\text{м}^3$ .

Объём газа  $V_{\text{Г}}$  находят из следующих выражений:

– для ПАГЗа:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{ПАГЗ}} K_{\text{О}}, \quad (5.24)$$

– для заправки при помощи кассетных модулей:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{к}} n_{\text{к}}. \quad (5.25)$$

Результаты расчёта затрат от простоя средств заправки природным газом при различных значениях удалённости от АГНКС представлены в приложении Б.

В целом себестоимость доставки  $1 \text{ м}^3$  природного газа потребителю складывается из себестоимости его доставки от АГНКС и затрат от простоя средств заправки. Как показал проведённый выше расчёт, себестоимость  $C_1$  доставки  $1 \text{ м}^3$  природного газа при помощи ПАГЗ при удалённости от АГНКС 20 км составляет 1,29 руб. Этот же показатель при использовании способа заправки при помощи кассетных модулей составляет 2,23 руб. формула для расчёта затрат  $Z_{\text{дос}}$ , руб., по доставке природного газа потребителю выглядит следующим образом:

$$Z_{\text{дос}} = C_1 + Z_{\text{пу}}. \quad (5.26)$$

Результаты расчёта затрат на доставку природного газа представлены на рисунке 5.9.

Анализируя представленные на рисунке 5.9 графические зависимости, можно сделать вывод, что заправку при удалённости от АГНКС 20 км при помощи ПАГЗ целесообразно производить при количестве тракторов более 18 ед. При меньшем же количестве тракторов необходимо использовать заправку при помо-



щи кассетных модулей, которые доставляются к месту работы тракторов при помощи грузовых автомобилей [135].

Проведённый расчёт также показал, что максимальное количество тракторов МТЗ-82.1, оснащённых оборудованием для работы по газодизельному циклу, обслуживаемых одним ПАГЗ, при удалённости от АГНКС 20 км не должно превышать 24 ед. При использовании метода заправки при помощи кассетных модулей на каждый грузовой автомобиль грузоподъёмностью около 1,5 т количество тракторов при такой же удалённости от АГНКС не должно превышать 9 ед.

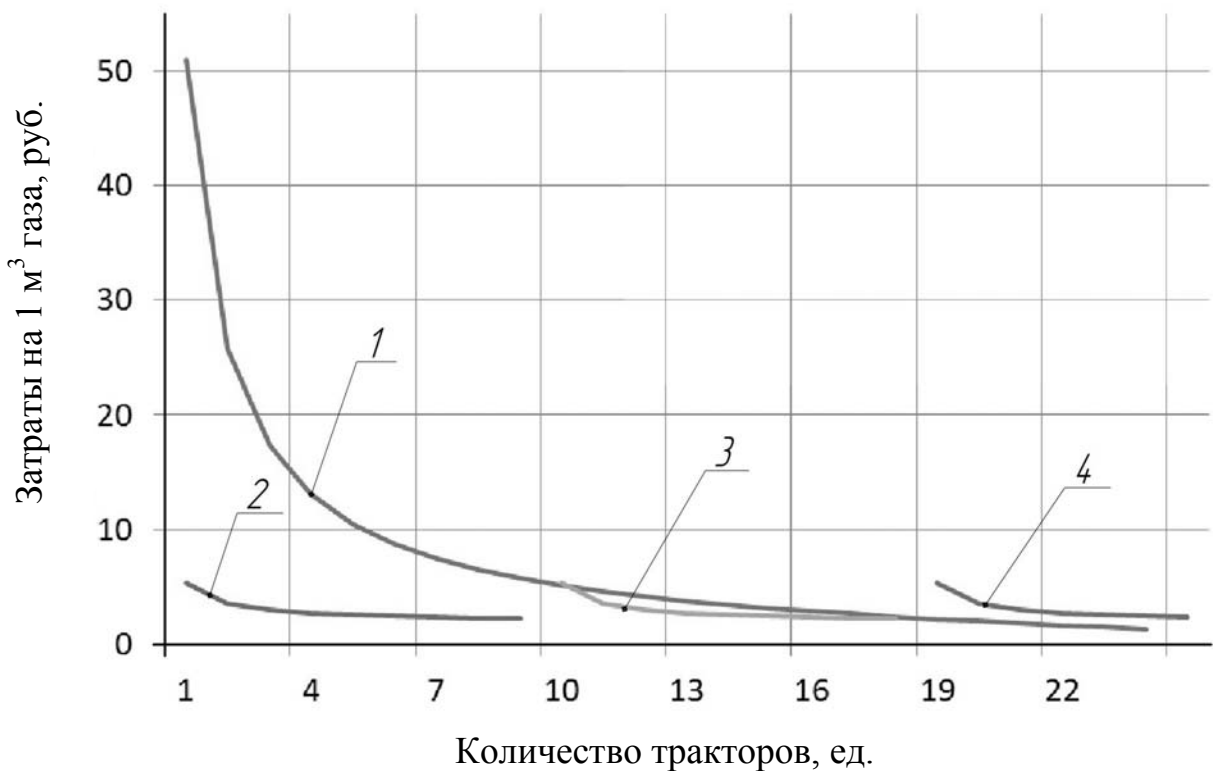


Рисунок 5.9 – Затраты на доставку природного газа потребителю: 1 – заправка от ПАГЗ; 2 – заправка при помощи съёмных кассетных модулей с использованием одного автомобиля для их транспортировки; 3 – заправка при помощи съёмных кассетных модулей с использованием двух автомобилей для их транспортировки; 4 – заправка при помощи съёмных кассетных модулей с использованием трёх автомобилей для их транспортировки

В связи с тем, что большинство крестьянских (фермерских) хозяйств Саратовской области имеют не более для тракторов тягового класса 1,4, для таких хозяйств следует рекомендовать использовать способ заправки при помощи съёмных кассетных модулей.

### 5.3. Результаты экспериментальных исследований заправки трактора МТЗ-82.1, оснащённого кассетным модулем

Для подтверждения результатов теоретических исследований, представленных выше, были проведены экспериментальные исследования, суть которых заключалась в сравнении времени, затраченного на заправку при использовании основных видов заправки газообразным топливом (КПГ) – заправка на АГНКС и заправка при помощи ПАГЗ с разработанным методом заправки на основе кассетных модулей. Результаты исследований представлены в таблице 5.6. Для упрощения сравнений время при выполнении идентичных операций принято одинаковое.

Таблица 5.6 – Результаты экспериментальных исследований процесса заправки трактора МТЗ-82.1

Параметры	Самозаправка на АГНКС	Заправка от ПАГЗ	Заправка с использованием кассетных модулей
Время работы трактора на одной заправке <sup>1</sup> , мин	236	236	236
Время на рассоединение трактора с сельскохозяйственным орудием <sup>2</sup> , мин	3	3	3 <sup>10</sup>
Переезд трактора (ПАГЗа) к месту заправки <sup>3</sup> , мин	50	50 <sup>11</sup>	20 <sup>12</sup>
Время подготовки кассетного модуля к заправке <sup>4</sup> , мин	0	0	3 <sup>13</sup>
Подготовительное время к заправке <sup>5</sup> , мин	2	2 <sup>14</sup>	3 <sup>15</sup>
Время заправки <sup>6</sup> , мин	6	6	6
Заключительное время к заправке <sup>7</sup> , мин	2	2	3 <sup>15</sup>

Параметры	Самозаправка на АГНКС	Заправка от ПАГЗ	Заправка с использованием кассетных модулей
Переезд трактора к месту работы <sup>8</sup> , мин	50	10	20 <sup>12</sup>
Время на соединение трактора с сельскохозяйственным орудием <sup>9</sup> , мин	4	4	4
Затрачено времени на заправку, мин/ч	117/1,95	90/1,5	62/1
Всего затраченного времени, мин/ч	353/5,9	326/5,4	298/4,9

<sup>1</sup>Время работы трактора на одной заправке газообразным топливом.

<sup>2</sup>Данное время включает время на изъятие шкворня из сцепки и рассоединение гидравлических систем трактора и с/х орудия.

<sup>3</sup>Данный показатель учитывает время переезда трактора к АГНКС, к ПАГЗу, переезд ПАГЗа к месту заправки и перевоз кассетного модуля к АГНКС.

<sup>4</sup>Данное время затрачено на снятие кассетного модуля с трактора.

<sup>5</sup>Время на выполнение работ (открытие заправочного устройства, ввод заправочной иглы и т. д.), направленных на подготовку к заправке.

<sup>6</sup>Фиксировалось время от нажатия оператором кнопки заправка до нажатия кнопки останов.

<sup>7</sup>Время на выполнение работ (закрытие заправочного устройства, удаление заправочной иглы, сброс газа на «свечу» и т.д.), направленных на подготовку к завершению заправки.

<sup>8</sup>Данный показатель учитывает время переезда трактора от АГНКС, ПАГЗа, к месту работы.

<sup>9</sup>Данное время включает в себя время на установку шкворня и соединение гидравлических систем трактора и с.-х. орудия.

<sup>10</sup>При использовании передвижного манипулятора данный показатель может быть равным 0, так как снятие кассетного модуля с трактора может произво-

даться в поле без рассоединения с сельскохозяйственным орудием.

<sup>11</sup>В данном случае учитывают два времени: первое – это переезд ПАГЗа к месту заправки, а так как ПАГЗы не приспособлены к передвижению на грунтовых дорогах, то учитывали и второе время переезда трактора от места работы к месту заправки.

<sup>12</sup>В данном случае учитывают два времени: переезд трактора к месту выгрузки кассетного модуля и время перевоза кассетного модуля к месту заправки.

<sup>13</sup>Учитывалось время выгрузки кассетного модуля.

<sup>14</sup>В данном случае учитывают два времени: подготовку трактора к заправке и подготовку ПАГЗа к заправке;

<sup>15</sup>Учитывалось время обслуживания средства доставки кассетного модуля.

#### **5.4. Выводы по главе 5**

1. Разработан, изготовлен и исследован съёмный кассетный модуль с двумя баллонами высокого давления общей ёмкостью 134 л для хранения компримированного газа, который устанавливается в передней части трактора, способствует улучшению тягово-сцепных показателей трактора и обеспечивает продолжительность работы более 4 ч.

2. Предложена новая схема технологического процесса заправки газовых баллонов с использованием съёмных кассетных модулей, которая позволяет

- сократить время заправки на 20-25 % по сравнению с существующими схемами (ПАГЗ и самозаправка на АГНКС);
- получить экономический эффект в размере 53 тыс. руб. в год;
- использовать для заправки автомобили малой грузоподъёмности, которые могут обслуживать до 9 тракторов одновременно.

## **6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ МТЗ-82.1, РАБОТАЮЩИХ ПО ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ЦИКЛУ**

Единственным экономическим стимулом перевода техники на газомоторное топливо является Постановление Правительства РФ №31 от 15.01.93 г. «О неотложных мерах по расширению замещения моторных топлив природным газом», которое устанавливает, что стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа для автомобильного транспорта и сельскохозяйственной техники не должно превышать 50 % стоимости 1 л бензина марки А-76. Учитывая, что в настоящее время дизельное топливо стоит около 30 руб./л, то стоимость газа будет в 3 раза меньше.

Для получения результатов экономической оценки тракторов, оснащённых газобаллонным оборудованием, а также их сравнительной экономической оценки в сравнении с базовыми моделями тракторов расчёт следует вести по абсолютным экономическим показателям при выполнении конкретных сельскохозяйственных операций.

В ходе исследований был рассмотрен трактор МТЗ-82.1, работающий по газодизельному циклу. При этом трактор был задействован на проведении сплошной культивации в агрегате с орудием почвообрабатывающим (культиватором) ОПО-4,25, а также на перевозке сена в составе с тракторным прицепом 2-ПТС-4,5.

При выполнении различных сельскохозяйственных работ (вспашки, боронования, культивации и т. д.) в качестве единицы наработки используется 1 га. При выполнении транспортных работ за единицу наработки принимается масса перевезенного груза в тоннах. Поэтому все дальнейшие расчеты следует вести в расчете на 1 га (для работ по обработке почвы) и на 1 т перевезённого груза (при выполнении транспортных работ).

Исходные данные для расчета технико-экономических показателей работы тракторов представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные для определения технико-экономических показателей тракторов МТЗ-82.1

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
1. Число обслуживающего персонала Л, чел	1	1	1	1
2. Производительность за 1 ч основного времени $W_0$ : – га/ч – т/ч	3,92 –	3,92 –	– 1,6	– 1,6
3. Продолжительность нормативной смены $T_{СМ.Н}$ , ч	8,3	8,3	8,3	8,3
4. Часовой расход дизельного топлива $q_T$ , л/ч	13,5	2,6	10,5	2,8
5. Часовой расход газообразного топлива $q_T$ , м <sup>3</sup> /ч	–	13,2	–	8,5
6. Годовая фактическая загрузка техники $T_3$ , ч	1012	1012	1012	1012
7. Годовая наработка $T_{3Г}$ , усл. эт. га	1205	1205	1205	1205
8. Балансовая стоимость Б, тыс. руб.	705	805	705	805
9. Технический ресурс техники по данным завода-изготовителя $\lambda_{Т.Р}$ , мото-ч	7000	7000	7000	7000
10. Ресурс техники по фактическим данным хозяйства $\lambda_{В.Р}$ , мото-ч	5600	5600	5600	5600

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Совокупные затраты денежных средств на единицу наработки  $I_{С.З}$ , руб./ед., наработки вычисляют по формуле [44]:

$$I_{С.З} = I + I_{К.П.} + I_{У.Т.} + I_{Э}, \quad (6.1)$$

где  $I$  – прямые эксплуатационные затраты денежных средств, руб./га, руб./т;  
 $I_{К.П.}$  – затраты средств, учитывающие изменение количества и качества продукции, руб./га, руб./т;  $I_{У.Т.}$  – затраты средств, учитывающие уровень

условий труда обслуживающего персонала, руб./га, руб./т;  $I_{\text{Э}}$  – затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду, руб./га, руб./т.

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств на единицу наработки вычисляют по формуле [44]:

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Phi, \quad (6.2)$$

где  $Z$  – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га, руб./т;  $\Gamma$  – затраты средств на горюче-смазочные материалы, газ, электроэнергию, руб./га, руб./т;  $P$  – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./га, руб./т;  $A$  – затраты средств на амортизацию, руб./га, руб./т;  $\Phi$  – прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы (провода, шпагат, тара), руб./га, руб./т.

Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала вычисляют по формуле [44]:

$$Z = \frac{L\tau K_3}{W_{\text{CM}}}, \quad (6.3)$$

где  $L$  – число обслуживающего персонала, чел.;  $\tau$  – оплата труда обслуживающего персонала, руб./чел.-ч;  $K_3$  – коэффициент начислений на зарплату при различных формах налогообложения (единый социальный налог, единый сельскохозяйственный налог);  $W_{\text{CM}}$  – производительность в единицах наработки за 1 час сменного времени (ГОСТ Р 52778-2007), га/ч, т/ч

Производительность  $W_{\text{CM}}$ , га/ч, определяется по формуле [36]:

$$W_{\text{CM}} = W_0 K_{\text{CM}}, \quad (6.4)$$

где  $W_0$  – производительность за 1 ч основного времени, га/ч;  $K_{\text{CM}}$  – коэффициент использования сменного времени.

Коэффициент использования сменного времени определяют из выражения [36]:

$$K_{\text{см}} = \frac{T_0}{T_{\text{см.н}}}, \quad (6.5)$$

где  $T_0$  – основное время при нормативной продолжительности смены с учетом элементов времени смены, ч;  $T_{\text{см.н}}$  – продолжительность нормативной смены, ч;  $T_{\text{см.н}} = 8,3$  ч.

Основное время  $T_0$ , ч, определяют из выражения [100]:

$$T_0 = T_{\text{см.н}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{е.т.о}} - T_{\text{л.н}} - T_{\text{п.а}}, \quad (6.6)$$

где  $T_{\text{пз}}$  – подготовительно-заключительное время, ч;  $T_{\text{е.т.о}}$  – время на ежесменное техническое обслуживание, ч;  $T_{\text{л.н}}$  – время на отдых и личные надобности, ч;  $T_{\text{п.а}}$  – время на подготовку агрегата, ч.

Указанные выше составляющие времени смены устанавливаются согласно [100, 126].

Производительность за 1 ч основного времени при выполнении транспортных работ  $W_0$ , т/ч, находят из выражения

$$W_0 = \frac{W_{0\text{см}}}{T_0}, \quad (6.7)$$

где  $W_{0\text{см}}$  – сменная норма выработки, т; определяется по таблицам [126] для соответствующих тракторов и агрегатируемых с ними прицепов.

Затраты труда  $Z_T$ , чел.-ч/га, чел.-ч/т, при выполнении производственного процесса вычисляют по формуле

$$Z_T = \frac{Л}{W_{\text{см}}}. \quad (6.8)$$

Результаты расчета средств на оплату труда обслуживающего персонала и затрат труда сведены в таблицу 6.2.

Часовую оплату труда обслуживающего персонала, которая включает в себя все виды доплат: основную зарплату, доплаты за стаж и классность, выплаты стимулирующего характера (премии), натуроплату в денежном выражении на период проведения расчетов в текущем году, определяют по данным типового хозяйства.



Таблица 6.2 – Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
З, – руб./га – руб./т	31,19 –	32,15 –	– 66,18	– 67,94
$T_{\text{О}}$ , ч	6,01	5,83	6,94	6,76
$T_{\text{ПЗ}}$ , ч	1,1	1,1	0,33	0,33
$T_{\text{Е.Т.О}}$ , ч	0,74	0,92	0,74	0,92
$T_{\text{ЛН}}$ , ч	0,25	0,25	0,17	0,17
$T_{\text{ПА}}$	0,2	0,2	0,12	0,12
Л, чел.	1	1	1	1
$W_{\text{СМ}}$ , – га/ч – т/ч	2,84 –	2,75 –	– 1,34	– 1,30
$\tau$ , руб./чел.-ч	68	68	68	68
$K_3$	1,302	1,302	1,302	1,302
$Z_{\text{Г}}$ , – чел.-ч/га – чел.-ч/т	0,352 –	0,364 –	– 0,746	– 0,769

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Затраты средств на горюче-смазочные материалы, газ и электроэнергию вычисляют по формуле [44]:

$$\Gamma = q_{\text{T}} \cdot \Pi_{\text{T}} \cdot K_{\text{СМ.М}}, \quad (6.9)$$

где  $q_{\text{T}}$  – удельный расход дизельного топлива, газа, кг/га, м<sup>3</sup>/га;  $\Pi_{\text{T}}$  – цена 1 кг дизельного топлива, 1 м<sup>3</sup> газа, руб./кг, руб./м<sup>3</sup>;  $K_{\text{СМ.М}}$  – коэффициент учета стоимости смазочных материалов.

В случае использования для работы двигателя нескольких видов топлива формула (6.9) принимает следующий вид:

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n (q_{\text{T}_i} \cdot \Pi_{\text{T}_i}) \cdot K_{\text{СМ.М}}. \quad (6.10)$$

Результаты расчета затрат на горюче-смазочные материалы сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Расчет затрат средств на горюче-смазочные материалы

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
Г, – руб./га – руб./т	111,58 –	67,96 –	– 212,63	– 130,01
$q_T$ (ДТ), – кг/га – кг/т	3,44 –	0,66 –	– 6,56	– 1,75
$q_T$ (газ), – м <sup>3</sup> /га – м <sup>3</sup> /т	– –	3,37 –	– –	– 5,31
$C_T$ (ДТ), руб./кг	27	27	27	27
$C_T$ (газ), руб./м <sup>3</sup>	–	11,5	–	11,5
$K_{СММ}$	1,2	1,2	1,2	1,2

Примечание: ДТ – дизельное топливо; ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Удельный расход топлива, газа, электроэнергии определяют в типовом хозяйстве во время проведения контрольной смены техническими средствами (расходомер топлива или метод «долива» с использованием заправщика со счетчиком расхода топлива, газовых и электросчетчиков).

Цена дизельного топлива, газа, электроэнергии, коэффициент учета стоимости смазочных материалов для отечественной и зарубежной техники определяют по данным бухгалтерии типового хозяйства в период проведения расчетов.

Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание новой техники по нормам отчислений от цены машины вычисляют по формуле [44]:

$$P = \frac{Br_p}{W_{ЭК} T_3}, \quad (6.11)$$

где  $B$  – цена техники, руб.;  $r_p$  – коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание техники; согласно [100] для трактора МТЗ-82.1 отчисления на ремонт и техническое обслуживание составляют 9,9 %;  $W_{ЭК}$  – производительность агрегата в час эксплуатационного времени, га/ч, т/ч;  $T_3$  – годовая зональная фактическая загрузка техники, ч.

Производительность  $W_{ЭК}$ , га/ч, т/ч, определяется по формуле [36]:

$$W_{ЭК} = W_0 K_{ЭК}, \quad (6.12)$$

где  $K_{ЭК}$  – коэффициент использования эксплуатационного времени.

Коэффициент использования эксплуатационного времени определяется из выражения [36]:

$$K_{ЭК} = \frac{T_o}{T_{ЭК.Н}}, \quad (6.13)$$

где  $T_{ЭК.Н}$  – эксплуатационное время при нормативной продолжительности смены, ч.

Эксплуатационное время  $T_{ЭК.Н}$ , ч, рассчитывают из выражения [36]:

$$T_{ЭК.Н} = T_{см.н} + T_{то.н}, \quad (6.14)$$

где  $T_{то.н}$  – время на проведение периодического технического обслуживания при нормативном времени смены, ч;

$$T_{то.н} = T_{см.н} \cdot \left[ T'_{то.н} \cdot \left( \frac{1}{\Pi_1} - \frac{1}{\Pi_2} \right) + T''_{то.н} \cdot \left( \frac{1}{\Pi_2} - \frac{1}{\Pi_3} \right) + \frac{T'''_{то.н}}{\Pi_3} \right], \quad (6.15)$$

где  $T'_{то.н}$ ,  $T''_{то.н}$ ,  $T'''_{то.н}$  – периодичность первого, второго и третьего технического обслуживания соответственно, ч; выбирается согласно [100];  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$  – среднее время технического обслуживания первого, второго, третьего соответственно, ч; выбирается согласно [100]; причем для проведения первого технического обслуживания привлекается один мастер-наладчик, а для второго и третьего – два мастера-наладчика.

Результаты расчета затрат на ремонт и техническое обслуживание сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет затрат на ремонт и техническое обслуживание техники

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
$P$ , – руб./га – руб./т	24,91 –	29,35 –	– 52,85	– 62,01
$B$ , руб.	705000	805000	705000	805000
$r_p$ , %	9,9	9,9	9,9	9,9
$W_{ЭК}$ , – га/ч – т/ч	2,77 –	2,68 –	– 1,31	– 1,27
$K_{ЭК}$	0,71	0,68	0,82	0,79
$T_{ЭК.Н}$ , ч	8,51	8,52	8,51	8,52
$T_{ТО.Н}$ , ч	0,21	0,22	0,21	0,22
$\Pi_1$ , ч	125	125	125	125
$\Pi_2$ , ч	500	500	500	500
$\Pi_3$ , ч	1000	1000	1000	1000
$T'_{ТО.Н}$ , ч	2,38	2,45	2,38	2,45
$T''_{ТО.Н}$ , ч	2,84	2,98	2,84	2,98
$T'''_{ТО.Н}$ , ч	8	8,4	8	8,4
$T_3$ , ч	1012	1012	1012	1012

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Нормативы затрат на ремонт и техническое обслуживание серийной техники, имеющейся в хозяйстве, определяют по фактическим данным бухгалтерской отчетности или по данным государственных испытаний.

По новой технике нормативы отчислений на ремонт и техническое обслуживание предоставляют предприятия-изготовители. А при отсутствии такой информации – машиноиспытательные станции.

Затраты средств на амортизацию техники в хозяйственных субъектах различных организационно-правовых форм вычисляют по формуле:

$$A = \frac{Ba}{W_{\text{ЭК}} T_3}, \quad (6.16)$$

где  $a$  – коэффициент отчислений на амортизацию техники; согласно [100] для трактора МТЗ-82.1 отчисления на амортизацию составляют 9,1 %.

Амортизационные отчисления по сельскохозяйственной технике определяют по нормативам, установленным Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, если иная методика не принята в типовом хозяйстве.

Результаты расчета затрат на амортизацию сведены в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Затраты средств на амортизацию техники

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
$A$ , – руб./га – руб./т	22,90 –	26,98 –	– 48,58	– 57,00
$a$ , %	9,1	9,1	9,1	9,1
$B$ , руб.	705000	805000	705000	805000
$W_{\text{ЭК}}$ , – га/ч – т/ч	2,77 –	2,68 –	– 1,31	– 1,27
$T_3$ , ч	1012	1012	1012	1012

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Результаты расчета прямых эксплуатационных затрат сведены в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Прямые эксплуатационные затраты денежных средств

Экономический показатель	Вид работ			
	культивация, руб./га		транспортирование, руб./т	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
И	190,58	156,44	380,23	316,96
З	31,19	32,15	66,18	67,94
Г	111,58	67,96	212,63	130,01
Р	24,91	29,35	52,85	62,01
А	22,90	26,98	48,58	57,00

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду, вычисляют по формуле [44]:

$$I_{\text{э}} = \frac{q_{\text{т}} N_{\text{ОК}}}{1000}, \quad (6.17)$$

где  $N_{\text{ОК}}$  – норма затрат на охрану окружающей среды, руб./ 1000 кг, руб./1000 м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов затрат на выплаты за отрицательное воздействие на окружающую среду сведены в таблицу 6.7.

Таблица 6.7 – Затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
1	2	3	4	5
$I_{\text{э}}$ , – руб./га	0,0086	0,0040	–	–
– руб./т	–	–	0,0164	0,0081
$q_{\text{т}}$ (ДТ), – кг/га	3,44	0,66	–	–
– кг/т	–	–	6,56	1,75

1	2	3	4	5
$q_T$ (газ), – м <sup>3</sup> /Га – м <sup>3</sup> /т	– –	3,37 –	– –	– 5,31
Н <sub>ОК</sub> , руб./1000 кг	2,5	2,5	2,5	2,5
Н <sub>ОК</sub> , руб./1000 м <sup>3</sup>	0,7	0,7	0,7	0,7

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Результаты расчета совокупных затрат денежных средств представим в виде таблицы 6.8.

Таблица 6.8 – Совокупные затраты денежных средств на единицу наработки

Экономический показатель	Вид работ			
	культивация, руб./га		транспортирование, руб./т	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
И	190,58	156,44	380,23	316,96
И <sub>к.п</sub>	–	–	–	–
И <sub>у.т.</sub>	–	–	–	–
И <sub>э</sub>	0,0086	0,0040	0,0164	0,0081
И <sub>с.з</sub>	190,58	156,44	380,24	316,97

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Удельную остаточную стоимость новой и базовой техники  $\Pi_{\text{ост}}$ , руб./га, вычисляют по формуле:

$$\Pi_{\text{ост}} = \frac{B(\lambda_{\text{т.р}} - \lambda_{\text{в.р}})}{\lambda_{\text{т.р}} T_3 W_{\text{эк}}}, \quad (6.18)$$

где  $\lambda_{\text{т.р}}$  – технический ресурс техники (по данным предприятия-изготовителя, зарубежной фирмы), ч;  $\lambda_{\text{в.р}}$  – ресурс техники (рассчитанный по фактическим данным хозяйствующих субъектов или по амортизационным нормативам Министерства сельского хозяйства Российской Федерации), ч.

Результаты расчета удельной остаточной стоимости сведены в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Расчет удельной остаточной стоимости техники

Показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
Ц <sub>ост</sub> , – руб./га – руб./т	50,32 –	59,29 –	– 106,76	– 125,27
λ <sub>т.р</sub> , ч	7000	7000	7000	7000
λ <sub>в.р</sub> , ч	5600	5600	5600	5600
Б, руб.	705000	805000	705000	805000
W <sub>ЭК</sub> , – га/ч – т/ч	2,77 –	2,68 –	– 1,31	– 1,27
T <sub>з</sub> , ч	1012	1012	1012	1012

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Экономия совокупных затрат денежных средств от эксплуатации новой техники на отдельно взятой технологической операции Э<sub>з</sub>, руб./га, вычисляют по формуле [44]:

$$Э_z = (И_{С.З.Б} - Ц_{ост.Б}) - (И_{С.З.Н} - Ц_{ост.Н}), \quad (6.19)$$

где И<sub>С.З.Б</sub>, И<sub>С.З.Н</sub> – совокупные затраты денежных средств, включающие в себя прямые эксплуатационные затраты, значение величины убытка от снижения количества и качества продукции, от достигнутого уровня условий труда обслуживающего персонала, затраты от отрицательного воздействия на окружающую среду соответственно по базовой и новой технике, руб./га, руб./т; Ц<sub>ост.Б</sub>, Ц<sub>ост.Н</sub> – удельная остаточная стоимость соответственно базовой и новой техники, руб./га, руб./т.

В связи с тем, что, как правило, в течение года тракторы работают на различных видах работ, необходимо определить экономию совокупных затрат денежных средств в расчете на один условный эталонный гектар (усл. эт. га). При выполнении пахотных работ и других работ по обработке почвы годовая



экономия на один условный эталонный гектар  $\mathcal{E}_{3y}$ , руб./усл. эт. га, определится из выражения:

$$\mathcal{E}_{3y} = \frac{\mathcal{E}_3}{K_y}, \quad (6.20)$$

где  $K_y$  – коэффициент перевода физических гектаров в условные эталонные гектары; определяется по таблицам [100].

В случае же, когда за единицу наработки принимается величина, отличная от гектара (при транспортных работах в качестве единицы наработки используется тонна) годовая экономия на 1 усл. эт. га  $\mathcal{E}_{3y}$ , руб./усл. эт. га, определится следующим образом:

$$\mathcal{E}_{3y} = \frac{\mathcal{E}_3 W_{CM}}{K_y}. \quad (6.21)$$

Годовая экономия совокупных затрат определится из выражения:

$$\mathcal{E}_{Г.З} = \mathcal{E}_{3y} T_{ЗГ}, \quad (6.22)$$

где  $T_{ЗГ}$  – годовая загрузка трактора, усл. эт. га; определяется по таблицам [100].

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений по специализированной новой технике  $T_{OK}$ , лет, вычисляются по формуле [44]:

$$T_{OK} = \frac{B_H - B_B}{\mathcal{E}_{Г.З}}, \quad (6.23)$$

где  $B_H$ ,  $B_B$  – цена новой, базовой техники (без торговой наценки) соответственно с учетом затрат на доставку и монтаж, руб.

Сроки окупаемости дополнительных капитальных вложений:

– для трактора МТЗ-82.1 на культивации:

$$T_{OK} = \frac{805000 - 705000}{71164,91} = 1,41 \text{ года};$$

– для трактора МТЗ-82.1 на транспортировании сена:

$$T_{OK} = \frac{805000 - 705000}{55206,42} = 1,81 \text{ года}.$$

Результаты расчета годовой экономии совокупных затрат сведены в таблицу 6.10.

Таблица 6.10 – Годовая экономия совокупных затрат денежных средств от эксплуатации новой техники

Экономический показатель	Вид работ			
	культивация		транспортирование	
	ДИЗ	ГБ	ДИЗ	ГБ
И <sub>С.З.Б</sub> – руб./га – руб./т	190,58 –	– –	– 380,24	– –
И <sub>С.З.Н</sub> , – руб./га – руб./т	– –	156,44 –	– –	– 316,97
Ц <sub>ОСТ.Б</sub> , руб.	50,32	–	106,76	–
Ц <sub>ОСТ.Н</sub> , руб.	–	59,29	–	125,27
К <sub>у</sub>	0,73	0,73	0,73	0,73
T <sub>ЗГ</sub> , усл. эт. га	1205		1205	
Э <sub>з</sub> , – руб./га – руб./т	43,11 –		– 81,78	
Э <sub>зу</sub> , руб./усл. эт. га	59,06		45,81	
Э <sub>Г.З</sub> , руб.	71164,91		55206,42	

Примечание: ДИЗ – базовый трактор, работающий на дизельном топливе; ГБ – газобаллонный трактор, работающий в газодизельном режиме.

Верхний предел цены специализированной новой техники Ц<sub>л</sub>, руб., вычисляются по формуле [44]:

$$Ц_{л} = \frac{\mathcal{E}_{Г.Н}}{a_{Н}} + B_{Н}, \quad (6.24)$$

где  $a_{Н}$  – коэффициент отчисления на амортизацию новой техники.

Верхние пределы цены для газобаллонных тракторов МТЗ-82.1:

– на культивации:

$$Ц_{л} = \frac{71164,91}{0,091} + 805000 = 1587032 \text{ руб.};$$

– на транспортировании сена:

$$C_{л} = \frac{55206,42}{0,091} + 805000 = 1411664 \text{ руб.}$$

Результаты расчета показателей сравнительной экономической эффективности тракторов представим в виде таблицы 6.11.

Таблица 6.11 – Показатели сравнительной экономической эффективности трактора МТЗ-82.1

Показатель	Значение показателя по образцам сравниваемой техники		Индекс изменения показателя, %
	базовой	новой	
<b>Трактор МТЗ-82.1 (культивация)</b>			
1. Совокупные затраты денежных средств, руб./га	190,58	156,44	-17,9
2. Затраты труда, чел.-ч/га	0,352	0,364	+3,3
3. Годовой экономический эффект, руб.	–	71164,91	–
4. Капитальные вложения, руб.	–	100000	–
5. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	–	1,41	–
6. Верхний предел цены новой техники, руб.	–	1587032	–
7. Цена техники по данным завода-производителя, руб.	705000	805000	+12,4
<b>Трактор МТЗ-82.1 (транспортирование)</b>			
1. Совокупные затраты денежных средств, руб./т	380,24	316,97	-16,6
2. Затраты труда, чел.-ч/т	0,746	0,769	+3,0
3. Годовой экономический эффект, руб.	–	55206,42	–
4. Капитальные вложения, руб.	–	100000	–
5. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	–	1,81	–
6. Верхний предел цены новой техники, руб.	–	1411664	–
7. Цена техники по данным завода-производителя, руб.	705000	805000	+12,4

Результаты расчета технико-экономических показателей тракторов в соответствии с представленным алгоритмом представлены на рисунках 6.1 и 6.2.

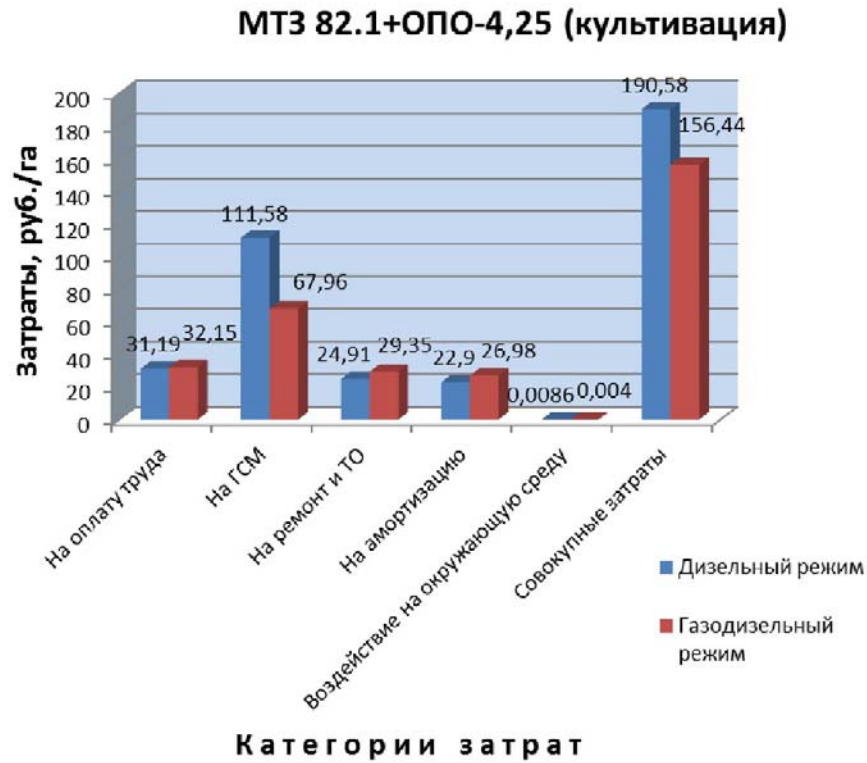


Рисунок 6.1 – Составляющие затрат при культивации на тракторе МТЗ-82.1

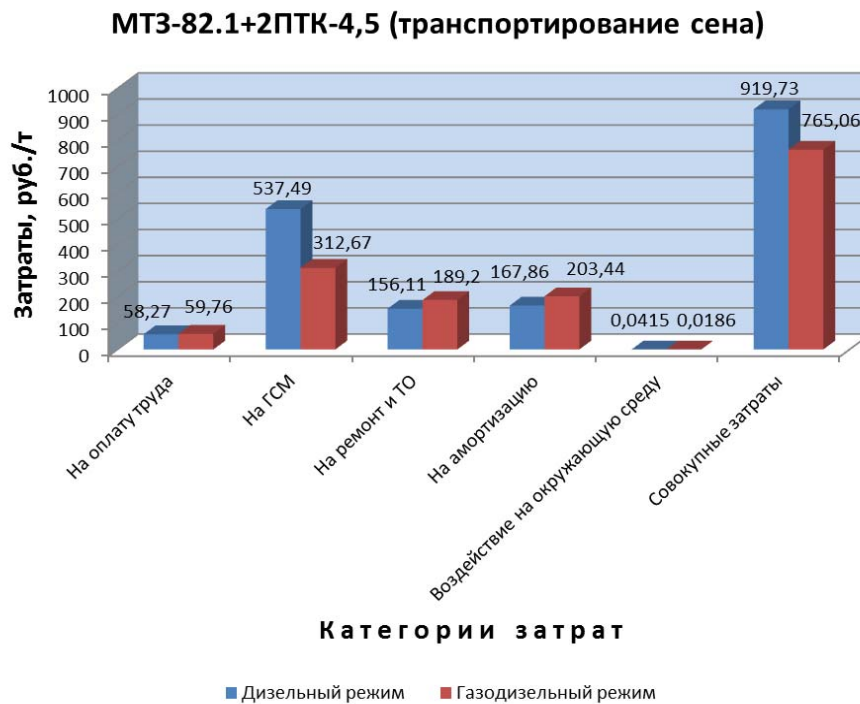


Рисунок 6.2 – Составляющие затрат при транспортировании на тракторе МТЗ-82.1

Экономическая эффективность использования сельскохозяйственной техники напрямую зависит от выбора рационального способа заправки. В некоторых случаях затраты на заправку неоправданно высоки. Поэтому с целью обеспечения максимального экономического эффекта необходимо для конкретных условий эксплуатации выбирать соответствующие средства и способы заправки, которые будут наиболее оптимальными для данных условий.

Годовая экономия от использования рационального способа заправки при эксплуатации трактора за год его эксплуатации определяются из выражения:

$$\mathcal{E}_{\text{ГЭЗ}} = Q_{\text{УЭ}} T_z (Z_{\text{ДОС}}^i - Z_{\text{ДОС}}^j), \quad (6.25)$$

где  $Q_{\text{УЭ}}$  – расход газообразного топлива на 1 усл. эт. га, м<sup>3</sup>/усл. эт. га;  $Z_{\text{ДОС}}^i$ ,  $Z_{\text{ДОС}}^j$  – затраты на доставку 1 м<sup>3</sup> природного газа для способа с наибольшим и наименьшим значением соответственно, руб.; согласно расчётам, проведённым в разделе 4.2, при удалённости от АГНКС 20 км для самозаправки трактора  $Z_{\text{ДОС}} = 20,79$  руб./м<sup>3</sup>, для заправки от ПАГЗ  $Z_{\text{ДОС}} = 5,76$  руб./м<sup>3</sup>, для заправки при помощи кассетных модулей  $Z_{\text{ДОС}} = 2,26$  руб./м<sup>3</sup>.

Расход газообразного топлива на 1 усл. эт. га  $Q_{\text{УЭ}}$ , м<sup>3</sup>/у. э. га, может быть определён из выражения

$$Q_{\text{УЭ}} = \frac{Q_{\text{ЧГ}} \cdot K_y}{W_{\text{ЭК}}}, \quad (6.26)$$

где  $Q_{\text{ЧГ}}$  – часовой расход газообразного топлива на данной операции, м<sup>3</sup>/ч; согласно таблице 6.1 на культивации  $Q_{\text{ЧГ}} = 8,7$  м<sup>3</sup>/ч.

$$Q_{\text{УЭ}} = \frac{8,7 \cdot 0,73}{2,68} = 2,37 \text{ м}^3/\text{усл. эт. га.}$$

При удалённости от АГНКС 20 км годовая экономия от использования различных способов заправки по формуле (6.25) составит:

– для заправки от ПАГЗ:

$$\mathcal{E}_{\text{СТЭ}}^{\text{ПАГЗ}} = 2,37 \cdot 1205 \cdot (20,79 - 5,76) = 42923,4 \text{ руб.};$$

– для заправки при помощи кассетных модулей:

$$\mathcal{E}_{\text{СТЭ}}^{\text{KM}} = 2,37 \cdot 1205 \cdot (20,79 - 2,26) = 52918,9 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений по специализированной новой технике  $T_{\text{ок}}$ , лет, вычисляют по формуле [44]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\text{н}} - B_{\text{б}}}{\mathcal{E}_{\text{сз}}}, \quad (6.27)$$

где  $B_{\text{н}}$ ,  $B_{\text{б}}$  – цена новой, базовой техники (без торговой наценки) соответственно с учётом затрат на доставку и монтаж, руб.;  $\mathcal{E}_{\text{сз}}$  – суммарная экономия затрат при эксплуатации сельскохозяйственной техники, руб.

Суммарная экономия затрат  $\mathcal{E}_{\text{сз}}$  определяется как сумма годовой экономии совокупных эксплуатационных затрат  $\mathcal{E}_{\text{ГЗ}}$  и годовой экономии от использования рационального способа заправки  $\mathcal{E}_{\text{ГЭЗ}}$ , т. е.:

$$\mathcal{E}_{\text{сз}} = \mathcal{E}_{\text{ГЗ}} + \mathcal{E}_{\text{ГЭЗ}}. \quad (6.28)$$

Результаты расчёта сроков окупаемости представим в виде таблицы 6.12.

Таблица 6.12 – Результаты расчёта сроков окупаемости

Наименование показателя	Способ заправки	
	при помощи ПАГЗ	при помощи кассетных модулей
1. Годовая экономия совокупных эксплуатационных затрат $\mathcal{E}_{\text{ГЗ}}$ , руб.		
– на культивации	71164,91	71164,91
– на транспортных работах	55206,42	55206,42
2. Годовая экономия от использования способа заправки $\mathcal{E}_{\text{ГЭЗ}}$ , руб.	42923,4	52918,9
1. Суммарная экономия затрат $\mathcal{E}_{\text{сз}}$ , руб.		
– на культивации	114088,31	124083,81
– на транспортных работах	95129,82	108125,32
2. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ , год		
– на культивации	0,88	0,81
– на транспортных работах	1,05	0,92

Результаты расчета показателей сравнительной экономической эффективности тракторов представим в виде таблицы 6.13.

Таблица 6.13 – Показатели сравнительной экономической эффективности трактора МТЗ-82.1

Показатель	Единица измерения	Значение	
		базовый трактор	экспериментальный трактор
1	2	3	4
1. Производительность за 1 ч сменного времени $W_{CM}$	га/час	2,84	2,75
2. Затраты труда на единицу наработки $Z_T$	чел-ч./га	0,352	0,364
3. Прямые эксплуатационные затраты И в том числе	руб./га	190,58	156,44
– затраты средств на оплату труда З	руб./га	31,10	32,15
– затраты средств на горючее и смазочные материалы Г	руб./га	111,58	67,96
– затраты средств на ремонт и техническое обслуживание Р	руб./га	24,91	29,35
– затраты средств на амортизацию А	руб./га	22,9	26,98
4. Капитальные вложения	тыс. руб.	–	105
5. Годовая загрузка трактора $T_{зг}$	у.э.га	1205	1205
6. Годовая экономия $\Delta_{ГЗ}$			
– при заправке от ПАГЗ	руб.	–	114088,31
в том числе от организации заправки	руб.	–	42923,4
– при заправке при помощи кассетных модулей	руб.	–	124083,31
в том числе от организации заправки	руб.	–	52918,9

1	2	3	4
7. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{OK}$			
– при заправке от ПАГЗ	год	–	0,88
– при заправке при помощи кассетных модулей	год	–	0,81



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований газобаллонного трактора МТЗ-82.1 обосновано размещение газовых баллонов. Предложена и доработана система распределённой подачи газа по эжекционному принципу. Разработана новая схема технологического процесса заправки газовых баллонов с использованием съёмных кассетных модулей;

2. Получены аналитические выражения, позволяющие определить предельные углы устойчивости трактора МТЗ-82.1, оснащённого газобаллонным оборудованием; новизна которых заключается в том, что в них учтено различное расположение газобаллонного оборудования на тракторе, предельные статические углы подъёма, продольного и поперечного уклонов составили соответственно 42,7; 55,6; 35,2 °; эти же углы при установке баллонов на крыше трактора – 37,4; 53,8; 33,3°. Это свидетельствует о целесообразности установки газовых баллонов впереди трактора. Установлено, что при таком расположении баллонов буксование трактора минимально и снижается на 0,4 % по сравнению с базовым трактором (при максимальной нагрузке на крюке);

3. Для повышения эффективности использования тракторов МТЗ-82.1, оснащённых газобаллонным оборудованием, доработана система распределённой подачи газа по эжекционному принципу. Эксплуатационными испытаниями установлено:

- трактор МТЗ-82.1 способен работать в режимах близких к номинальному как по дизельному, так и по газодизельному циклу;
- запальная доза дизельного топлива достигает 22 %;
- при обработке почвы почвообрабатывающим орудием ОПО-4,25 расход дизельного топлива при работе по газодизельному циклу снижается в 4,7-4,9 раза; расход дизельного топлива при работе по дизельному циклу составил 13,5 кг/ч, по газодизельному – 3,2 кг/ч.

4. Разработан, изготовлен и исследован съёмный кассетный модуль с двумя баллонами высокого давления общей ёмкостью 134 л для хранения компримированного газа, который устанавливается в передней части трактора, способствует

улучшению тягово-сцепных показателей трактора и обеспечивает продолжительность работы более 4 ч.

5. Предложена новая схема технологического процесса заправки газовых баллонов с использованием съёмных кассетных модулей, которая позволяет

– сократить время заправки на 20-25 % по сравнению с существующими схемами (ПАГЗ и самозаправка на АГНКС);

– получить экономический эффект в размере 53 тыс. руб. в год;

– использовать для заправки автомобили малой грузоподъёмности, которые могут обслуживать до 9 тракторов одновременно.

### **Рекомендации производству**

1. При переводе тракторов для работы на природном газе на предприятиях АПК необходимо выбрать схему технологического процесса заправки газом в зависимости от расстояния до АГНКС, дорожных условий и количества тракторов.

2. При внедрении газобаллонного оборудования на тракторах тягового класса 1,4 следует провести расчёт экономической целесообразности с учётом количества тракторов и удалённости от АГНКС.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

1. Разработать рекомендации по использованию природного газа в АПК на всех марках тракторов, имеющих в хозяйствах.

2. Провести испытания по определению показателей надёжности сельскохозяйственной техники при использовании газомоторного топлива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов, С. В.** Методика определения устойчивости трактора / С. В. Абрамов, И. Д. Нигматулин, В. В. Володин, Б. П. Загородских // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2014. – № 1. – С. 48–50.
2. **Абрамов, С. В.** Методика определения устойчивости трактора К-700А, оснащенного оборудованием для работы по газодизельному циклу / С. В. Абрамов, В. В. Володин, Б. П. Загородских // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов: «КУБиК». – 2012. – С. 13–16.
3. **Абрамова, Н. А.** Справочник химика: Том 2 «Основные свойства неорганических и органических соединений» / Н. А. Абрамова, А. С. Воеводский, О. Ф. Гинзбург [и др.]; под ред. Б. П. Никольского. – Л.: Химия, 1971. – 1168 с.
4. **Аллилуев, В. А.** Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка / В. А. Аллилуев, А. Д. Ананьин, В. М. Михлин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.
5. **Бибенин, Е. В.** Обоснование применения кассетных модулей для заправки газообразным топливом / Е. В. Бибенин, Н. А. Ченцов // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. – Волгоград, 2015. – С. 7–10.
6. **Беспятый, Ф. С.** Конструкция, основы теории и расчёт трактора / Ф. С. Беспятый, И. Ф. Троицкий. – М.: Машиностроение, 1972. – 502 с.
7. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / Н. Б. Варгафтик, Л. П. Филиппов, А. А. Тарзиманов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 349 с.
8. **Васильев, Ю. Н.** Газозаправка транспорта / Ю. Н. Васильев, А. И. Гриценко, К. Ю. Чириков. – М.: Недра, 1995. – 447 с.

9. **Володин, В. В.** Обоснование экономической эффективности работы трактора на газообразном топливе / В. В. Володин, Е. В. Бебенин, Н. В. Осовин // Научное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 57–63.

10. **Володин, В. В.** Выбор и обоснование газо-воздушного смесителя двигателя внутреннего сгорания / В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Грузовик и строительно-дорожные машины. – 2012. – №10. – С. 41–44.

11. **Володин, В. В.** Использование газообразного топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им Н. И. Вавилова. – 2012. – № 12. – С. 54–57.

12. **Володин, В. В.** Использование газообразного топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Аграрная наука – основа успешного развития АПК и сохранения экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. – Волгоград: ФГБОУ ВПО «Волгоградский ГАУ», 2012. – С. 241-246.

13. **Володин, В. В.** Использование программного обеспечения при диагностировании работы двигателя по газодизельному циклу при проведении эксплуатационных испытаний / В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов.: «КУБиК». – 2012. – С. 53–56.

14. **Володин, В. В.** Испытания газообразного топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Аграрная наука – основа успешного развития АПК и сохранения экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2012. – Т. 2. – С. 214–246.

15. **Володин, В. В.** К вопросу диагностики работы топливной системы питания дизельных двигателей газообразным топливом при работе по газодизельному циклу / В. В. Володин, Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин, И. Д. Нигматулин. // Труды ГОСНИТИ, т. 110;47. – М., 2012. – С. 52–58.

16. **Володин, В. В.** Обоснование влияния формирования рабочей газозвдушной смеси в в газовых и дизельных двигателях / В. В. Володин, В. В. Фурман, Е. В. Бебенин // АвтоГазоЗаправочный колмплекс + Альтернативное топливо: Международный научно-технический журнал. – 2012. – №2 (63). – С. 18–20.

17. **Володин, В. В.** Обоснование газозвдушного смесителя двигателя внутреннего сгорания / В. В. Володин, Е. В. Бебенин, Н. В. Осовин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-техн. семинара им. В. В. Михайлова.– Саратов, 2012. – Вып. 25. – С.44–46.

18. **Володин, В. В.** Обоснование расположения газовых баллонов трактора МТЗ-82.1 при работе в газодизельном цикле / В. В. Володин, Н. А. Ченцов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 7. – С. 48–51.

19. **Володин, В. В.** Обоснование снижения неравномерности подачи газа в цилиндры двигателя при работе по газодизельному циклу / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Научное обозрение. – 2012. – № 5. – С. 41–43.

20. **Володин, В. В.** Особенности использования природного газа в качестве моторного топлива / В. В. Володин, Е. В. Бебенин, А. Г. Махоткин // Энергосбережение в Саратовской области. – 2011. – №1(43). – С. 36–37.

21. **Володин, В. В.** Перевод тракторов для работы по газодизельному циклу: рекомендации производству / В. В. Володин, Б. П. Загородских. – Саратов, 2012. – 20 с.

22. **Володин, В. В.** Повышение эффективности использования газобаллонных тракторов совершенствованием системы подачи газообразного топлива: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Володин Виктор Владимирович. – Пенза, 2013. – 42 с.

23. **Володин, В. В.** Повышение эффективности системы газодизелей / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Саратов-АГРО.2011: материалы науч.-практ. конф. 2-й специализир. выставки; Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С.151–153.

24. **Володин, В. В.** Результаты применения газообразного топлива при выполнении основных сельскохозяйственных работ / В. В. Володин, Е. В. Бебенин //

Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сб. науч. тр. Санкт-Петербургского ГАУ. – СПб, 2012. – С. 308–310.

25. **Володин, В. В.** Результаты эксплуатационных испытаний эжекционной системы распределенной подачи газообразного топлива в двигатель / В. В. Володин // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов, 2012. – С. 49–53.

26. **Володин, В. В.** Создание системы для применения различных видов газообразного топлива / В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Саратов-АГРО.2011: материалы науч.-практ. конф. 2-й специализир. выставки; Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С. 125–127.

27. **Володин, В. В.** Теоретическое обоснование применения эффекта эжекции в системах подачи газообразного топлива в двигатель и моделирование параметров его работы / В. В. Володин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова – 2012. – № 11. – С. 48–50.

28. **Володин, В. В.** Эжекционная система распределенной подачи газообразного топлива в дизельный двигатель / В. В. Володин, Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2012. – №1(25). – С. 147–150.

29. **Володин, В. В.** Эжекционная система распределенной подачи газообразного топлива в дизель / В. В. Володин, Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 5. – С. 13–15.

30. **Гайнуллин, Ф. Г.** Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф. Г. Гайнуллин, А. И. Гриценко, Ю. Н. Васильев. – М.: Недра, 1986. – 255 с.

31. **Гинзбург, Ю. В.** Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 296 с.

32. **Гольцяпин, В. Я** Перспективы применения газомоторного топлива в энергетических средствах сельскохозяйственного назначения: науч. аналитич. обзор / В. Я Гольцяпин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 88 с.

33. **Гольтяпин, В. Я.** Использование природного газа в качестве моторного топлива в энергетических средствах сельскохозяйственного назначения / В. Я. Гольтяпин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 40 с.

34. **Горбачев, С. П.** Оценка эффективности производства СПГ на газораспределительных станциях / С. П. Горбачев // Технические газы. – 2005. – № 5. – С. 35–40.

35. **Горбачев, С. П.** Эффективность технологий производства СПГ на АГНКС / С. П. Горбачев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 2. – С. 42–45.

36. **ГОСТ Р 52778-2007.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Введ. 2008.07.01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 27 с.

37. **ГОСТ 12.2.002 – 91.** Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – Взамен ГОСТ 12.2.002-81; введ. 1992.07.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 116 с.

38. **ГОСТ 12.2.002-91.** Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – Взамен ГОСТ 12.2.002-81; введ. 1992.07.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 116 с.

39. **ГОСТ 12.2.019 – 2005.** Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 2010.07.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.

40. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990.07.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 46 с.

41. **ГОСТ 30750-2001 (ИСО 789-6-82).** Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. – Введ. 2003.01.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 6 с.

42. **ГОСТ 7057-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – Введ. 2003.01.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2002. – 13 с.

43. **ГОСТ Р 51862-2002.** Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Методы контроля требований безопасности. – Введ. 2003.01.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 19 с.

44. **ГОСТ Р 53056-2008.** Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2009.01.01. М.: Госстандарт России: Стандартинформ, 2009. – 33 с.

45. **Грехов, Л. В.** Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

46. **Гудков, А. П.** Перспективы применения газомоторного топлива для техники АПК и ЖКХ / А. П. Гудков, А. Р. Кульчицкий // Агромаш. – 2013. – № 3. – С. 8–10.

47. **Гуревич, Г. Р.** Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей / Г. Р. Гуревич, А. И. Брусиловский. – М.: Недра, 1984. – 264 с.

48. **Гуськов, В. В.** Тракторы: Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]; под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение. – 1988. – 376 с.

49. **Долганов, К. Е.** Автомобильные газодизели / К. Е. Долганов // Двигателестроение. – 1995. – № 182. – С. 6–10.

50. **Долганов, К. Е.** Исследование топливной экономичности и токсичности отработавших газов газодизеля / К. Е. Долганов, В. С. Вербовский, С. А. Ковалев // Двигателестроение. – 1991. – № 8–9. – С. 6–9.

51. **Долганов, К. Е.** Разработка и исследование системы питания и регулирования газодизеля ЯМЗ-240Н1-ГД / К. Е. Долганов, А. И. Пятничко, В. С. Вербовский [и др.] // Химическая технология. – 1989. – № 6. – С. 45–47.

52. **Долганов, К. Е.** Система питания для газодизеля с двухрежимным регулятором частоты вращения / К. Е. Долганов, А. А. Лисовал, А. П. Поляков // Двигателестроение. – 1995. – № 182. – С. 6–10.

53. **Дубовкин, Н. Ф.** Легкие моторные топлива и их компоненты: Справочник / Н. Ф. Дубовкин, Е. М. Брещенко – М.: Химия, 1999. – 480 с.



54. **Ерохов, В. И.** Газодизельные автомобили (конструкция, расчет, эксплуатация): учеб. пособие / В. И. Ерохов, А. Л. Карунин. – М.: Граф-Пресс, 2005. – 560 с.

55. **Ефанов, Е. В.** Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03: защищена 15.05.09 / Е. В. Ефанов. – Пенза, 2009. – 136 с.

56. **Ефимов, С. И.** Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

57. **Загородских, Б. П.** Диагностика работы топливной системы питания двигателей газообразным топливом при работе по газодизельному циклу на примере трактора РТМ-160 / Б. П. Загородских, В. В. Володин // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-та. – Саратов, 2011. – С. 74–89.

58. **Загородских, Б. П.** Определение компоновочной схемы трактора РТМ-160 работающего по газодизельному циклу / Б. П. Загородских, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы Междунар. научн. семинара. – Саратов, 2010. – Вып. 19. – С. 41–44.

59. **Загородских, Б. П.** Перспективы развития газа / Б. П. Загородских, И. Д. Нигматулин. // Актуальные проблемы проектирования и строительства объектов в АПК России: сб. науч. трудов ФГУП НИПИ Гипропромсельстрой. – Саратов, 2007. – С. 189–191.

60. **Загородских, Б. П.** Повышение эффективности применения газового топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения, работающих по газодизельному циклу / Б. П. Загородских, В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный аграрный университет им. В. П. Горячкина». – 2012. – № 2(53). – С. 75–77.

61. **Загородских, Б. П.** Результаты эксплуатационных испытаний трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу / Б. П. Загородских,

В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2011. – № 5. – С. 44–46.

62. **Загородских, Б. П.** Система подачи газа в двигатель / Б. П. Загородских, В. В. Володин // Сельский механизатор. – 2012. – № 2. – С. 4–5.

63. **Загородских, Б. П.** Совершенствование системы подачи газообразного топлива для повышения эффективности использования газобаллонных тракторов / Б. П. Загородских, В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. – № 2. – С. 33–39.

64. **Загородских, Б. П.** Сравнительные характеристики экологических показателей двигателя ЯМЗ-236Д при работе по дизельному и газодизельному циклу / Б. П. Загородских, А. А. Жиздюк, И. Д. Нигматулин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 3. – С. 35–37.

65. **Загородских, Б. П.** Стендовые испытания системы эжекционной подачи подачи газообразного топлива в дизелях / Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин, В. В. Володин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2(26). – С. 17–19.

66. **Загородских, Б. П.** Улучшение подачи компримированного газообразного топлива в тракторный двигатель / Б. П. Загородских, Ю. А. Коцарь, В. В. Володин // Нива Поволжья. – 2012. – № 1(22). – С. 68–73.

67. **Загородских, Б. П.** Устойчивость трактора РТМ-160 при работе в газодизельном цикле / Б. П. Загородских, Ю. А. Коцарь, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин, И. М. Коростышевский // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3(21). – С. 45–47.

68. **Загородских, Б. П.** Экологические показатели трактора РТМ-160, работающему по дизельному и газодизельному циклам / Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин, И. Д. Нигматулин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2009. – № 1 – С. 47–49.

69. **Загорученко, В. А.** Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана / В. А. Загорученко, А. М. Журавлев – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 236 с.

70. **Захаров, В. П.** Исследование безопасности природного газа как топлива для тепловых установок / В. П. Захаров, Е. В. Бебенин, Н. А. Ченцов // Безопасность и качество товаров: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – 2014. – С. 48–50.

71. **Захаров, Е. С.** Эффективность перевода дизеля Д-240 (4Ч 11/12,5) трактора МТЗ на компримированный природный газ / Е. С. Захаров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2009. – № 9. – С. 60–62.

72. **Исамухамедов, В. С.** Влияние диффузионно-тепловых явлений при использовании метана в качестве топлива в ДВС: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.17; 05.04.02 / Исамухамедов Васик Сабирович. – М., 2006. – 16 с.

73. **Истомин, В. А.** Термодинамика природного газа / В. А. Истомин. – М.: Изд-во ВНИИГАЗ, 1999. – 105 с.

74. **Кадхем, Н. С.** Совершенствование системы впрыска жидкого топлива для газодизеля: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02: защищена 05.08.08 / Кадхем Нассер Сальман. – СПб., 2008. – 128 с.

75. **Карасевич, В. А.** Биогаз как комплексное решение экономических и экологических задач / В. А. Карасевич, А. В. Албул, Г. С. Акопова // Научный журнал Российского газового общества, 2014. – № 2. – С. 147–152.

76. **Кириллов, Н. Г.** Альтернативные моторные топлива XXI века / Н. Г. Кириллов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 3. – С. 58–63.

77. **Кириллов, Н. Г.** Сжиженный природный газ как универсальное моторное топливо XXI века: Технология производства и системы долгосрочного хранения: Обзор. Серия «Газификация. Природный газ в качестве моторного топлива. Использование газа» / Н. Г. Кириллов. – М.: ИРЦ «Газпром», 2002. – 63 с.

78. **Коллеров, Л. К.** Газовые двигатели поршневого типа / Л. К. Коллеров. – Л.: Машиностроение, 1968. – 248 с.

79. **Коллеров, Л. К.** Энергетические установки с газовыми поршневыми двигателями / Л. К. Коллеров, М. Е. Нижник, А. А. Окунев; под ред. Л. К. Коллерова. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.

80. **Королевская, Е. В.** Исследование товарных качеств природного газа как топлива для тепловых установок / Е. В. Королевская, Е. В. Бебенин, Н. А. Ченцов // Безопасность и качество товаров: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2014. – С. 54–56.

81. **Коцарь, Ю. А.** Определение компоновочной схемы трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу / Ю. А. Коцарь, Б. П. Загородских, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, 2010. – С. 41–44.

82. **Коцарь, Ю. А.** Расчет устойчивости трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу / Ю. А. Коцарь, Б. П. Загородских, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, 2010. – С. 44–47.

83. **Кудряш, А. П.** Природный газ в двигателях / А. П. Кудряш, В. В. Пашков, В. С. Маринин. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 198 с.

84. **Лapidус, А. Л.** Природный газ как моторное топливо / А. Л. Лapidус, И. Ф. Крылов, Б. П. Тонконогов // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 3. – С. 3–8.

85. **Левкин, Г. М.** Новый способ использования газового топлива в ДВС / Г. М. Левкин, Ю. М. Карпенко // Двигателестроение. – 1991. – № 7. – С. 58–59.

86. **Левкин, Г. М.** Повышение эффективности применения газового топлива в транспортных ДВС: обзор / Г. М. Левкин // Двигатели внутреннего сгорания: Межведомств. сб. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1991. – Серия 4. – Вып. 2. – 40 с.

87. **Левков, В. Г.** Тракторы «Беларусь» МТЗ-80, МТЗ-82 и их модификации. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию / В. Г. Левков, И. Ф. Брусенков. – Минск: Ураджай, 1990. – 174 с.

88. **Лиханов, В. А.** Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа / В. А. Лиханов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 1. – С. 11–13.

89. **Лиханов, В. А.** Снижение токсичности автотракторных дизелей / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М.: Колос, 1994. – 224 с.

90. **Лыков, О. П.** Природный и попутный газ как моторное топливо / О. П. Лыков // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 6. – С. 3–7.

91. **Льотко, В. В.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. В. Льотко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

92. **Мазинг, М. В.** Законы управления топливоподачей / М. В. Мазинг // Автомобильная промышленность. – 1994. – № 9. – С. 7–9.

93. **Мамедова, М. Д.** Транспортные двигатели на газе / М. Д. Мамедова, Ю. Н. Васильев. – М.: Машиностроение, 1994. – 224 с.

94. **Марков, В. А.** Рекомендации производству по переводу сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо (природный газ) / В. А. Марков, В. В. Володин, В. П. Захаров, Е. В. Бебенин, Н. А. Ченцов. – Саратов: Наука, 2014. – 15 с.

95. **Марков, В. А.** Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей / В. А. Марков, Е. В. Бебенин, Е. Ф. Поздняков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5(35). – С. 24–29.

96. **Марков, В. А.** Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.

97. **Марков, В. А.** Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей / В. А. Марков, С. И. Козлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с.

98. **Марков, В. А.** Эксплуатационные исследования газодизельного трактора МТЗ-82.1, оснащенного кассетным модулем / В. А. Марков, В. В. Володин, Е. В. Бебенин, Н. А. Ченцов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2015. – № 1(37). – С. 183–186.

99. **Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным мето-**

дом): утв. М-вом транспорта Рос. Федерации 28.10.1998: ввод в действие 01.01.1999. – М., 1998. – 31 с.

100. **Михлин, В. М.** Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями (МТС) / В. М. Михлин, Л. И. Кушнарев, Н. М. Хмелева, И. Г. Савин, С. Е. Бутягин, С. В. Заборин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 190 с.

101. **Наумов, О. П.** Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на операциях обработки почвы газодизельными энерго-средствами: на примере трактора К-701: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: защищена 18.05.10 / Наумов Олег Павлович. – Ставрополь, 2010. – 156 с.

102. **Орлин, А. С.** Двигатели внутреннего сгорания: Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей / А. С. Орлин, Д. Н. Вырубов, В. И. Ивин; под ред. А. С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.

103. **Осовин, Н. В.** Изменение плотности почвы после прохода трактора К-701 с газовым оборудованием / Н. В. Осовин, В. В. Володин, А. В. Русинов // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов, 2012. – С. 135–138.

104. **Павлович, Н. В.** Справочник по теплофизическим свойствам природных газов и их компонентов / Н. В. Павлович. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 119 с.

105. **Парсаданов, И. В.** Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И. В. Парсаданов. – Харьков: Изд-во Харьковского политехнического института, 2003. – 244 с.

106. **Пат. 105372 Российская Федерация, МПК F 02 M 23/02.** Система распределенного эжекционного впрыска газообразного топлива / Володин В. В., Загородских Б. П., Бебенин Е. В.; заявитель и патентообладатель Бебенин Е. В. – № 2010152293/28; заявл. 21.12.10; опубл. 10.06.11, Бюл. № 16. – 5 с.

107. **Пат. 108491 Российская Федерация, МПК: F 02 B 43/00, F 02 M 31/00.** Устройство эжекционной подачи топлива в двигатель / Володин В. В., Загород-

ских Б. П., Бебенин Е. В.; заявитель и патентообладатель Бебенин Е. В. – № 2010152294/28; заявл. 21.12.10; опубл. 20.09.11, Бюл. № 26. – 4 с.

108. Пат. **123847 Российская Федерация, МПК: F 02 M 43/00**. Газовый коллектор / Володин В. В., Загородских Б. П., Осовин Н. В.; заявитель и патентообладатель Саратов. гос. аграрн. ун-т им. Н. И. Вавилова. – № 2011140816/06; заявл. 07.10.11; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1 – 2 с.

109. Пат. **150060 Российская Федерация, МПК В 60 S5/02**. Система хранения природного газа / Ченцов Н. А., Бебенин Е. В., Володин В. В.; заявитель и патентообладатель Бебенин Евгений Викторович. – № 2014118710/11; заявл. 12.05.14; опубл. 27.01.15; Бюл. №3. – 3 с.

110. Пат. **2059911 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> F16K17/04, F16K21/04, F02M21/00, F02M37/00**. Устройство для заправки автомобилей сжатым природным газом / Караваев П. Т., Роднянский В. М.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий. – № 93028597; заявл. 26.05.93; опубл. 10.05.96. – 4 с.

111. Пат. **2185974 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> B60S5/02, B60P3/22**. Способ заправки транспортных средств сжатым природным газом / Иванов И. А., Михаленко С. В., Тимербулатов Г. Н.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Сургутгазпром». – № 2001101948/28; заявл. 23.01.01; опубл. 27.07.02. – 5 с.

112. Пат. **2305224 Российская Федерация, МПК F17C5/06, F17D1/04**. Способ заправки транспорта сжатым природным газом (варианты) и передвижная газозаправочная станция для его осуществления / Наумейко А. В., Наумейко С. А., Наумейко А. А.; заявители и патентообладатели Наумейко Анатолий Васильевич, Наумейко Сергей Анатольевич, Наумейко Анастасия Анатольевна. – № 2006115705/06; заявл. 06.05.06; опубл. 27.08.07, Бюл. № 24. – 15 с.: ил.

113. **Пронин, Е. Н.** В поисках ответов / Е. Н. Пронин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 6. – С. 5–11.

114. **Равкинд, А. А.** Унифицированные газовые дизельные двигатели / А. А. Равкинд. – М.: Недра, 1967. – 196 с.

115. **Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном газе:** РД 03112194-1094-03: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации: ввод в действие 01.01.2003. – М.: Департамент автомобильного транспорта ФГУП НИИАТ, 2003. – 43 с.

116. **Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе:** РД 3112199-1095-03: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации: ввод в действие 01.01.2003. – М.: Департамент автомобильного транспорта ФГУП НИИАТ, 2003. – 59 с.

117. **Савельев, Г. С.** Комплексный подход к обеспечению сельхозпроизводства газомоторным топливом / Г. С. Савельев, М. Н. Кочетков, Е. В. Овчинников, И. М. Коклин // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 3. – С. 47–50.

118. **Савельев, Г. С.** Применение газомоторного и биодизельного топлив в автотракторной технике / Г. С. Савельев. – М.: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2009. – 216 с.

119. **Савельев, Г. С.** Руководство по организации и проведению переоборудования тракторов для работы на компримированном природном газе [Текст] / Г. С. Савельев, В. В. Подосинников, А. Д. Шапкайц, И. М. Кауров [и др.]. – М.: ОАО «Газпром», Минсельхозпрод РФ, 2000. – 79 с.

120. **Савельев, Г. С.** Сельскохозяйственные тракторы, работающие на метане / Г. С. Савельев, А. Д. Шапкайц, В. В. Подосиновичев, А. А. Медведев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5. – С. 7–13.

121. **Савельев, Г. С.** Технологии и технические средства адаптации автотракторной техники к работе на альтернативных видах топлива: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01: защищена 05.10.10 / Савельев Геннадий Степанович. – Москва, 2010. – 315 с.

122. **Сафин, А. В.** СПГ как моторное топливо для транспортных средств / А. В. Сафин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 2. – С. 40-41.

123. **Сердюков, С. Г.** Сжиженный природный газ (СПГ) в Санкт-Петербурге и России. Экономические аспекты производства и использования / С. Г. Сердюков,



И. Л. Ходорков // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 2. – С. 59–63.

124. **Сжиженный природный газ. Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства: Справочник** / под ред. И. Л. Ходоркова. – СПб.: ЗАО «Крионорд». – Химиздат, 2003. – 64 с.

125. **Скотников, В. А.** Основы теории и расчёта трактора и автомобиля / В. А. Скотников, А. А. Машенский, А. С. Солонский; под ред. В. А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

126. **Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства** / под ред. В. В. Нунгезера, Ю. Ф. Лачуги и В. Ф. Федоренко. – Ч. 1. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 372 с.

127. **Стопалов, С. Г.** Использование газа и АПК / С. Г. Стопалов // Сельский механизатор. – 2014. – № 2. – С. 13–15.

128. **Требования пожарной безопасности для предприятий, эксплуатирующих автотранспортные средства на компримированном природном газе:** РД 3112199-98: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации 21.05.1998. – М.: Министерство транспорта РФ, 1998. – 27 с.

129. **Федоренко, В. Ф.** Развитие биоэнергетики, экологическая и продовольственная безопасность: науч. изд. [Текст] / В. Ф. Федоренко, Д. С. Буклагин, Н. П. Мишуров, В. С. Тихонравов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 144 с.

130. **Финько, В. Е.** Перспективы использования сжиженного природного газа / В. Е. Финько // Газовая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 58–60.

131. **Хасаншина, А. Р.** Экономическое исследование применения природного газа в качестве моторного топлива при использовании условного эталонного гектара / А. Р. Хасаншина, Е. В. Бебенин, Н. А. Ченцов // Безопасность и качество товаров: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2014. – С. 104–106.

132. **Хачиян, А. С.** Мир накануне резкого увеличения применения альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / А. С. Хачиян, В. Е. Кузнецов,

И. Г. Шишлов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 1(25). – С. 34–35.

133. **Ходорков, И. Л.** Первый в России типовой мини-завод по производству сжиженного природного газа на АГНКС / И. Л. Ходорков // Холодильный бизнес. – 2001. – № 4. – С. 12–3.

134. **Ченцов, Н. А.** Обоснование использования комплекса средств для заправки газобаллонных тракторов природным газом / Н. А. Ченцов // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: материалы Международ. научн. семинара. – Саратов, 2014. – Вып. 27 – С. 201–204.

135. **Ченцов, Н. А.** Оптимизация заправки газобаллонных тракторов природным газом / Н. А. Ченцов, С. В. Абрамов // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 293–296.

136. **Чириков, К. Ю.** Перспективы применения СПГ на транспорте / К. Ю. Чириков, Е. Н. Пронин // Газовая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 28–29.

137. **Чулков, П. В.** Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология / П. В. Чулков, И. П. Чулков. – М.: Политехника, 1996. – 304 с.

138. **Чумак, П. И.** Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов / П. И. Чумак, В. Ф. Кривокрысенко. – М.: Патриот, 1991. – 238 с.: ил.

139. **Bach, C.** Diesel- und Erdgasmotorei für Schwere Nutzfahrzeuge: Emissionen, Verbrauch und Wirkungsgrad / C. Bach, J. Rutter, P. Soltic // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – No. 5. – S. 394–402.

140. **Bartunek, V.** Direct Induction Natural Gas (DING): A Diesel-Derived Combustion System for Low Emissions and High Fuel Economy IISAE Technical Paper Series / V. Bartunek, U. Hilger // – 2001. – No. 2000-01-2827. – P. 1-12.

141. **Beaty, K. D.** Development of a km Emission Volvo 9.GL Natural Gas Fueled Bus Engine K. D. Beaty, R. Egnell, M. Ekelund // SAE Technical Paper Series. – 1992. – No. 921554. – P. 1–12.

142. **Beroun, S.** The Development of Gas Engines for Buses and Trucks and Emissions and Cycle Variability Characteristics / S. Beroun, J. Martins // SAE Technical Paper Series. – 2001. – No. 2001-01- 0144. – P. 1–9.

143. **Blank, D. A.** Methanol Combustion with Low Compression Ratio D.I. Engines Enabled by Sonex Ptikm Design / D. A. Blank, A. A. Pouring, J. Lu // SAE Technical Paper Series. – 2001. – No. 2001-01- 1197. – P. 1-10.

144. **Chen, S. K.** Gas Engine Combustion Principles and Applications II SAE Technical Paper Series / S. K. Chen, N. J. Beck. – 2001. – No. 2001-01-2489. – P. 1–10.

145. **Dietrich, W. R.** Pollutacr Reduction on Stationary S.I. Engines from Motoren-WeAe Mannheim for Operation on Natural Gas Applying the Lean- Principle / W. R. Dietrich, W. Grundmann, G. Langeloth // MTZ. – 1986. – Jg. 47. – No. 3. – S. 83–87.

146. **Diller, D. E.** Measurements of the Viscosity of COB- pressed Gaseous and Liquid Methane / D. E. Diller // Physica A. – 1980. – Vol. 104A. – No. 3. – P. 417–426.

147. **Douville, B.** Perfcrance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using fight Pressure Direct Injection of Natural Gas / B. Douville, P. Ouellette, A. Touchette [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1998. – No. 981160. – P. 1–9.

148. **Dymond, J. H.** Second Virial Coefficients for  $\mu$ -Alkanes: Recommendations and Predctions / J. H. Dymond, J. A. Cholinski, A. Szafranski et al. // Fluid Phase Equilibria. – 1986. – Vol. 27. – Special Issue – P. 1–13.

149. **Einewall, P.** Combustion Chamber for Su–percharged Natural Gas Engines / P. Einewall, B. Johansson // SAE Technical Paper Series. – 1997. – No. 970221. – P. 33–58.

150. **Finley, B. E.** A Three Year Comparison of Natural Gas and Diesel Transit Buses / B. E. Finley, T. A. Daly // SAE Technical Paper Series. – 1999. – No. 1999-01-3738. – P. 1–9.

151. **Fukuzawa, Y.** Development of High Efficiency Miller Cycle Gas Engine / Y. Fukuzawa, Y. Kakuhama, H. Shimoda et al. // Technical Review. – 2001. – Vol. 38. – No. 3. – P. 146-150.

152. **Funts, S.** Properties of Natural Gas of Physica / S. Funts, A. Bellemans. – 1956. – Vol. 22. – No. 3. – P. 1–9.
153. **Golec, K.** Influence of Spark Discharge Energy on the Combustion Process in the Engine Fuelled With Natural Gas / K. Golec, T. Papuga, M. Makowski [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 2001. – No. 2001-01-1188. – P. 1–7.
154. **Harrington, J.** Direct Section of Natural Gas in a Heavy-Duty Diesel Engine / J. Harrington, S. Munshi, C. Nedelcu et al. // SAE Technical Paper Series. – 2002. – No. 2002-01-1630. – P. 1–10.
155. **Heywood, J. B.** Internal Combustion Engine Fundamentals / J. B. Heywood. – N.-Y.: McGraw-Hill Inc., 1988. – 448 p.
156. **Johansson, B.** Influence of the Velocity Near the Spark Plug on Early Flame Development / B. Johansson // SAE Technical Paper Series. – 1993. – No. 930481. – P. 1–8.
157. **Johansson, B.** Combustion Chamber for Natural Gas SI Engines. Part: Fluid Flow and Combustion / B. Johansson, K. Olsson // SAE Technical Paper Series. – 1995. – No. 950469. – P. 1–12.
158. **Kingston, J. M. G.** Nebula Combustion System for Lean Burn Spark Ignited Gas Engines / J. M. G. Kingston, M. D. Heaton // SAE Technical Paper Series. – 1989. – No. 890211. – P. 1–9.
159. **Kubesh, J. T.** Development of an Electronically-Controlled Natural Gas-Fueled John Deere Power Tech 8.1 L Engine / J. T. Kubesh, D. J. Podnar, K. H. Guglielmo et al. // SAE Technical Paper Series. – 1995. – No. 951940. – P. 71–78.
160. **Lancaster, D. R.** Effects of Turbulence on Spark Ignition Engine Combustion / D. R. Lancaster, R. B. Krieger, S. C. Sorenson [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1976. – No. 760160. – P. 1–10.
161. **Litzke, W.-L.** Natural Gas as a Future Fuel for Heavy-Duty Vehicles / W.-L. Litzke, J. Wegrzyn // SAE Technical Paper Series. – 2001. – No. 2001-01-2067. – P. 1–4.

162. **Mendera, K. Z.** Obliczenia parametrow statu czynnika roboczego silnika spalinowego / K. Z. Mendera, M. Smereka, A. Spyra // *Silnica gazowe.* – 2003. – C. 479–489.

163. **Mendis, K. J. S.** Modeling and Measurements from a Natural Gas Fuelled Engine / K. J. S. Mendis, C. R. Stone, N. Ladommatos // *SAE Technical Paper Series.* – 1993. – No. 930927. – P. 143–161.

164. **Olsson, K.** Combustion Chambers for Natural Gas SI Engines. Part2: Combustion and Emission / K. Olsson, B. Johansson // *SAE Technical Paper Series.* – 1995. – No. 950517. – P. 1–13.

165. **Reid, R. C.** The Properties of Gases and Liquids / R. C. Reid, J. M. Prausnitz, T. K. Sherwoo. – N.-Y.: McGraw-Hill Inc., 1977. – 688 p.

166. **Ricklin, P. U.** The Effects of NO<sub>x</sub> Addition on the Auto Ignition Behavior of Natural Gas under HCCI Conditions / P. U. Ricklin, A. Kazakov, F. L. Dryer [et al.]. // *SAE Technical Paper Series.* – 2002. – No. 2002-01-1746. – P. 1–11.

167. **Rosarius, H.** Antriebsalternative mit Zukunft / H. Rosarius // *AMZ.* – 2004. – Jg. 92. – No. 6. – S. 30.

168. **Rubas, P. J.** Methane Jet Penetration in a Direct-Injection Natural Gas Engine / P. J. Rubas, M. A. Paul, G. C. Martin et al. // *SAE Technical Paper Series.* – 1998. – No. 980143. – P. 1–12.

169. **Russell, B. J.** Demonstration of Natural Gas-to-Liquids (GTL) Light Paraffin Fuel in an Integrated Fuel Processing System [Text] / B. J. Russell, H. L. Tomlinson, S. K. Prabhu et al. // *SAE Technical Paper Series.* – 2000. – No. 2000-01-0004. – P. 1–5.


170. **Song, Y.** Knock Limitations of Methane-Air Mixtures in a Turbocharged Dual-Fuel Engine / Y. Song, G. Acker, W. Schaetzle // *SAE Technical Paper Series.* – 1987. – No. 870794. – P. 10.

171. **Table of Contents, Cryogenic Data** // *Cryogenics and Industrial Gases.* – 1976. Vol. 11. – No. 3. – P. 37–40.

172. **Thomas, D. G.** Essais de Moteurs Diesel Alimentés à l'huile végétale et au gaz naturel / D. G. Thomas, J. Darque, P. Delval // Entropie. – 1985. – Vol. 21. – No. 122. – P. 7–10.

173. **Umierski, M.** Low Emission and Fuel Consumption Natural Gas Engines with High Power Density for Stationary and Heavy-Duty Application / M. Umierski, T. Korfer, P. Stommel // SAE Technical Paper Series. – 1999. – No. 1999-01-2896. – P. 1–7.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**


 Председатель  
 СПК им. Чапаева с. Новозахаркино  
 Петровского р-на Саратовской обл.  
 \_\_\_\_\_ Трунилин С.И.

Акт

о проведении производственных исследований трактора МТЗ-82.1 с установленной системой распределенной подачи компримированного природного газа для работы по газодизельному циклу

Комиссия в составе представителей СПК им. Чапаева, с. Новозахаркино Петровского района Саратовской области – гл. инженера Мазяркина П.Н., тракториста – механика Гаврилова В.В. и представителей СГАУ – Володина В.В., Ченцова Н.А. составила настоящий акт в том, что в соответствии с соглашением между кафедрой «Технология машиностроения и конструкционных материалов» СГАУ им. Н.И. Вавилова и СПК им. Чапаева с 15.05.2014 по 02.10.2014 проводились производственные исследования трактора МТЗ-82.1 (Зав. № 0816192) с установленной системой распределенной подачи компримированного природного газа для работы по газодизельному циклу и разработанным в СГАУ им. Н.И. Вавилова кассетным модулем. Нарботка трактора за время испытаний составила 250 моточасов.

Установлено, что трактор МТЗ-82.1, агрегатируемый с сельхозорудием ОПО-4.25 надежно и качественно выполнял технические операции, при этом расход газа составил – 3,37 м<sup>3</sup>/га, а дизельного топлива – 0,66 кг/га при работе по газодизельному циклу.

Представители СПК им. Чапаева

Гл.инженер

\_\_\_\_\_ Мазяркин П.Н.

Механик – тракторист

\_\_\_\_\_ Гаврилов В.В.

ФГБОУ ВПО СГАУ им. Н.И.

Вавилова

Профессор д.т.н

\_\_\_\_\_ Володин В.В.

Аспирант

\_\_\_\_\_ Ченцов Н.А.



Таблица Б.1 – Затраты от простоя средств заправки природным газом при использовании ПАГЗ модели 2500/32-4, руб./м<sup>3</sup>

Количество тракторов	Удалённость от АГНКС, км											
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
1	49,81	49,79	49,76	49,74	49,72	49,69	49,67	49,65	49,62	49,60	49,57	49,55
2	24,57	24,55	24,52	24,50	24,48	24,45	24,43	24,40	24,38	24,36	24,33	24,31
3	16,12	16,09	16,07	16,05	16,02	16,00	15,97	15,95	15,93	15,90	15,88	15,86
4	11,86	11,84	11,81	11,79	11,77	11,74	11,72	11,69	11,67	11,65	11,62	11,60
5	9,28	9,26	9,23	9,21	9,19	9,16	9,14	9,12	9,09	9,07	9,05	9,02
6	7,54	7,52	7,50	7,47	7,45	7,43	7,40	7,38	7,35	7,33	7,31	7,28
7	6,28	6,26	6,24	6,21	6,19	6,17	6,14	6,12	6,10	6,07	6,05	6,02
8	5,32	5,30	5,28	5,25	5,23	5,21	5,18	5,16	5,14	5,11	5,09	5,07
9	4,57	4,54	4,52	4,49	4,47	4,45	4,42	4,40	4,38	4,35	4,33	4,31
10	3,95	3,92	3,90	3,88	3,85	3,83	3,80	3,78	3,76	3,73	3,71	3,69
11	3,43	3,40	3,38	3,36	3,33	3,31	3,29	3,26	3,24	3,22	3,19	3,17
12	2,99	2,96	2,94	2,92	2,89	2,87	2,85	2,82	2,80	2,77	2,75	2,73
13	2,60	2,58	2,56	2,53	2,51	2,49	2,46	2,44	2,42	2,39	2,37	2,34
14	2,27	2,24	2,22	2,20	2,17	2,15	2,13	2,10	2,08	2,06	2,03	2,01
15	1,97	1,94	1,92	1,90	1,87	1,85	1,83	1,80	1,78	1,76	1,73	1,71
16	1,70	1,67	1,65	1,63	1,60	1,58	1,56	1,53	1,51	1,49	1,46	1,44
17	1,45	1,43	1,41	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,26	1,24	1,22	1,19
18	1,23	1,20	1,18	1,16	1,13	1,11	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,97
19	1,02	1,00	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,79	0,76
20	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64	0,62	0,59	0,57
21	0,65	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48	0,46	0,44	0,41	0,39
22	0,48	0,46	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,24	0,22
23	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06
24	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,05	0,03	0,00	–	–	–	–

Таблица Б.2 – Затраты от простоя средств заправки природным газом при использовании  
автомобиля ГАЗ-3302, руб./м<sup>3</sup>

Количество тракторов	Удалённость от АГНКС, км											
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
1	3,14	3,13	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08	3,07	3,06	3,05	3,04	3,03
2	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30
3	0,83	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73
4	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
5	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27
6	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
7	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
8	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
9	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	–	–	–	–	–
10	0,03	0,02	0,01	–	–	–	–	–	–	–	–	–