

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

**На правах рукописи**

**Нигматулин Ильдар Дагиевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ,  
ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

**Специальность 05.20.03 – «Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве»**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук.**

**Научный руководитель:**

**доктор технических наук,**

**доцент**

**Володин В.В.**

**Саратов – 2014**

## Содержание

<b>1</b>	<b>СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>8</b>
1.1	Системы топливоподачи газодизельных двигателей сельскохозяйственных тракторов .....	9
1.2	Безопасность тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием .....	23
1.3	Техническое обслуживание газобаллонного оборудования.....	30
1.4	Выводы по разделу .....	33
<b>2</b>	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТОРОВ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ РАБОТАЮЩИХ С НАВЕСНЫМИ ОРУДИЯМИ.....</b>	<b>35</b>
2.1	Определение расположения центров тяжести тракторов.....	35
2.2	Определение расположения центров тяжести газобаллонного оборудования.....	44
2.3	Определение расположения центра тяжести плуга ПЛН-8-35.....	46
2.4	Определение предельных статических углов устойчивости .....	49
2.4.1	Обоснование компоновки газобаллонного оборудования на тракторе РТМ-160 .....	49
2.4.2	Определение предельных статических углов устойчивости трактора К-700А в агрегате с плугом ПЛН-8-35 .....	57
	Определение предельного статического угла поперечного уклона.....	62
2.5	Выводы по разделу .....	66
<b>3</b>	<b>ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>68</b>
<b>4</b>	<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАКТОРОВ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....</b>	<b>76</b>
4.1	Алгоритм и технология диагностирования .....	76
4.2	Определение экологических показателей работы двигателей .....	90

<b>4.3</b>	<b>Методика и результаты экспериментальных исследований статических углов устойчивости трактора К-700А с навесным плугом ...</b>	<b>102</b>
<b>4.4</b>	<b>Рекомендации по совершенствованию техники безопасности и техническому обслуживанию.....</b>	<b>112</b>
<b>4.5</b>	<b>Выводы по разделу .....</b>	<b>121</b>
<b>5</b>	<b>РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАКТОРА РТМ-160 ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА.....</b>	<b>122</b>
<b>5.1</b>	<b>Оценка снижения ущерба окружающей среде при переходе на газообразное моторное топливо .....</b>	<b>122</b>
<b>5.2</b>	<b>Расчет годового экономического эффекта от использования газообразного топлива .....</b>	<b>125</b>
<b>6</b>	<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....</b>	<b>129</b>
	<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>131</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>149</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в дизельных двигателях все больше используется в виде альтернативного топлива природный газ (метан). При его использовании в качестве моторного топлива повышается эффективность работы сельскохозяйственного производителя вследствие более низкой цены по сравнению с дизельным топливом, а также снижается уровень дымности и выбросов твердых частиц с отработавшими газами.

В сельском хозяйстве основным способом перевода дизельных двигателей для работы на более дешевом газообразном топливе является газодизельный цикл, который позволяет работать как на дизельном топливе, так и на его смеси с компримированным газом.

Для широкого внедрения тракторов оснащенных газобаллонным оборудованием, в сельском хозяйстве требуется определение технико-экономических и экологических показателей тракторов, работающих на газообразном топливе, обоснование требований безопасности и разработка мероприятий по технике безопасности и техническому обслуживанию.

Актуальность этого научного направления подтверждена поручением президента Российской Федерации от 18.10.2004 г. №Пр-1686 ГС «О стимулировании широкомасштабного перевода сельскохозяйственной техники на газомоторное топливо», поручением правительства Российской Федерации от 19.08.2011 г. №ВЗ-ПП-5884 «Проект предложений о техническом перевооружении сельскохозяйственной техники в части перехода на использование газомоторного топлива».

**Степень разработанности темы.** В Российской Федерации имеется техническая документация и изготовлены образцы на переоборудование для работы по газодизельному циклу тракторов К-701, К-700А, Т-150К, МТЗ-80/82, ДТ-75, разработанные в ОАО «ВНИИГАЗ», ГНУ «ВИМ», ФГУП «НАТИ», ОАО «НЗТА», ЗАО «Автосистема» и ОАО «ППП Дизельавтоматика», а также автомобилей ОАО «КамАЗ».

Отдельные модификации тракторов прошли испытания на Центральной, Кубанской, Поволжской и Владимировской государственных зональных машиностроительных станциях. Тракторы, оснащенные газобаллонным оборудованием, работают в Ставропольском крае, Саратовской, Волгоградской, Рязанской областях. При этом установлено, что применение газобаллонного оборудования при эксплуатации сельскохозяйственных тракторов экономически целесообразно за счет снижения расхода дизельного топлива, заменяемого природным газом. При этом работа тракторов с газобаллонным оборудованием вносит свои особенности при эксплуатации и требует дополнительных исследований и разработок рекомендаций по следующим вопросам:

- определение устойчивости трактора с газобаллонным оборудованием эксплуатируемого с навесными орудиями;
- разработка мероприятий по технике безопасности;
- совершенствование технического обслуживания тракторов с газобаллонным оборудованием.

Предлагаемая работа направлена на исследование указанных вопросов.

**Цель работы** – обоснование эксплуатационно-технологических показателей работоспособности сельскохозяйственных тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием.

**Объект исследования** – тракторы К-700А и РТМ-160, оснащенные газобаллонным оборудованием.

**Предмет исследования** – закономерности изменения устойчивости, безопасности и экологических показателей при использовании тракторов с газобаллонным оборудованием.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- получены аналитические выражения (теоретические зависимости) для определения устойчивости трактора К-700А с навесными орудиями и оснащенного газобаллонным оборудованием;
- результаты экспериментальных исследований экологических показателей двигателей, работающих в газодизельном цикле;

– разработан алгоритм и технология диагностирования тракторных двигателей оснащенных газобаллонным оборудованием и работающих в газодизельном режиме.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

– разработана методика определения устойчивости трактора К-700А, работающего с навесными орудиями и оснащенного газобаллонным оборудованием;

– усовершенствована технология технического обслуживания тракторов, учитывающая использование компримированного газа в качестве топлива;

– разработаны рекомендации по технике безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании тракторов с газобаллонным оборудованием;

– в эксплуатационных условиях определены экологические показатели тракторных двигателей при эксплуатации, работающих в газодизельном цикле.

**Методология и методы исследования.** Исследования выполнены с использованием известных положений теоретической механики и эксплуатации машинно-тракторного парка, позволяющих определить статическую устойчивость трактора с навесными орудиями и разработать рекомендации по совершенствованию технического обслуживания тракторов.

#### **Положения выносимые на защиту:**

– результаты теоретических и экспериментальных исследований устойчивости тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием и работающих с навесными орудиями;

– рекомендации по совершенствованию технологического обслуживания и техники безопасности при эксплуатации тракторов, работающих на газомоторном топливе;

– алгоритм и технология диагностирования системы подачи компримированного газа в тракторных двигателях.

**Реализация результатов исследований.** Рекомендации по техническому обслуживанию и технике безопасности использовались при доводке, изготовлении и эксплуатации трактора РТМ-160 ОАО «Уралвагонзавод», а

также при эксплуатации тракторов К-700А в ООО «Горизонт-С» Саратовской области и учтены при изготовлении системы в ООО «ППП Дизельавтоматика» г. Саратова.

**Апробация работы.** Основные научные положения выводы и практические рекомендации доложены и одобрены на научно практических конференциях:

– ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (г. Саратов, 2007, 2008, 2010 гг.);

– на Международной научно-технической конференции «Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей» г. Москва, ГНУ ГОСНИТИ 2009, 2010 гг.;

– на Международной научно-технической конференции «Научные проблемы технического сервиса сельскохозяйственных машин» г. Москва, ГНУ ГОСНИТИ 2011 г.

– на постоянно действующем научно-техническом семинаре «Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания» (г. Саратов, 2006, 2008, 2010 гг.);

– на Международной научно-практической конференции, посвященной столетию со дня рождения Г. П. Шаронова «Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники» Саратовский ГАУ (г. Саратов, 2012 г.).

## 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последние годы наметилась тенденция к снижению роли нефти и нефтепродуктов в мировой экономике. Это объясняется снижением темпов роста добычи нефти, вызванным выработкой крупных месторождений, заметным сокращением инвестиций в поисково-разведочные работы, отсутствием эффективных технологий добычи, обеспечивающих высокую отдачу нефтяных пластов. Поэтому ожидаемый подъем экономики неизбежно будет сопровождаться дефицитом нефти и нефтепродуктов, что создает предпосылки к более широкому использованию других энергетических ресурсов.

Использование на транспорте различных альтернативных топлив обеспечивает решение проблемы замещения нефтяных топлив, значительно расширяет сырьевую базу для получения моторных топлив, облегчает решение вопросов снабжения топливом транспортных средств и стационарных установок. Возможность получения альтернативных топлив с требуемыми параметрами и физико-химическими свойствами позволит целенаправленно совершенствовать рабочие процессы дизелей и тем самым улучшить их экологические и экономические показатели [34].

В 2001 году Европейская комиссия одобрила три альтернативных замены моторным топливам: природный газ, биотопливо и водород.

Проведенная многими учеными мира оценка надежности топливообеспечения автотранспортной техники показывает, что на смену эры нефтяных моторных топлив идет эра газовых топлив и, в первую очередь природного газа [6].

Изучение использования компримированного природного газа как топлива для дизельных двигателей посвящены работы Г. Н. Абрамовича, В. И. Анискина, Ю. В. Бабкова, Е. В. Бебенина, Т. А. Букреева, В. В. Бушуева, В. В. Володина, А. И. Гайворонского, Б. П. Загородских, А. С. Козлова, С. И. Козлова, В. А. Лиханова, В. А. Лушко, В. А. Маркова, Г. С. Савельева, В. Г. Соколова и др.

## 1.1 Системы топливоподачи газодизельных двигателей сельскохозяйственных тракторов

В нашей стране активно развивается рынок природного газа, который охватывает большое количество автотракторной техники, данная ситуация способствует увеличению количества автоматических газонаполнительных компрессорных станций и инфраструктуры, что создает хорошие предпосылки для перевода сельскохозяйственной техники на газообразное топливо в нашей стране.

Существующие системы питания газодизелей можно разделить на следующие виды:

- Электронные системы с рычажно-механическим регулированием подачи газа;
- Инжекторные системы с центральным впрыском газа;
- Инжекторные системы с распределенным впрыском газа.

*Электронные системы с рычажно-механическим регулированием подачи газа [6].*

Этот класс систем представлен фирмами «Ловато», «Ланди Ренцо» (Италия), GFI, ECO (Канада), Nippon (Япония) и др. Представленные этими фирмами системы применяются на двухтактных и четырехтактных двигателях, перекрывающих широкий мощностной диапазон: от мопедов до грузовых автомобилей большой грузоподъемности и автобусов.

В настоящее время, широкое внедрение получили электронные блоки управления, обеспечивающие новые функциональные возможности:

– регулирование количества подаваемого газа не только по разрежению во впускном коллекторе, но и по зонду для поддержания параметров токсичности в заданных пределах, а также по изменению температуры двигателя, воздуха и газа;

– поддержание стабильных оборотов холостого хода за счет регулирования подачи воздуха или топлива дополнительными шиберными или лопастными устройствами с электроприводом, управляемыми на основе данных от датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Введение элементов электронного регулирования в традиционные рычажно-мембранные системы, конечно, не устранило их основные недостатки (неравномерность дозирования газа по цилиндрам, большая инерционность газового потока, недостаточная надежность механических регуляторов давления). В то же время, частичная электронизация позволила значительно увеличить стабильность работы оборудования, что при относительно невысокой стоимости сохраняет привлекательность механических систем для потребителя. Кроме того, жесткой проверки на токсичность отработавших газов в условиях повседневной эксплуатации никто не проводит, а проверка переносными (менее чувствительными, по сравнению со стационарными) измерителями токсичности значительных отклонений от нормы не выявляет [6].

Необходимо отметить, что на механические системы в силу их сравнительной дешевизны приходится значительный объем рынка. В первую очередь следует назвать страны, в которых по лицензии выпускаются (и в ближайшие несколько лет будут выпускаться) значительные объемы автомобилей «доэлектронного» поколения, такие, как: Аргентина, Бразилия, Египет, Индия, Иран, Китай, Турция. Существенную долю рынка рычажно-мембранные системы сохраняют и в Европе [6].

#### *Инжекторные системы с центральным впрыском газа*

По своим характеристикам такие системы, оснащенные микропроцессорными блоками управления, занимают промежуточное положение между эжекторными и инжекторными системами подготовки газозвушной смеси с распределенной подачей. Они имеют следующие преимущества:

- стабильное дозирование газа независимо от внешних условий (степени засоренности воздушного фильтра, уменьшения плотности газа при повышении температуры);
- необходимость минимальной доработки двигателя при установке газовой системы (по сравнению с распределенной инжекторной);
- высокие энергетические показатели;
- стабильность параметров системы во времени;

– возможность коррекции состава газозвушной смеси по зонду (при работе с 3<sup>х</sup>-компонентным нейтрализатором);

В то же время инжекторным системам с центральным впрыском газа присущ ряд недостатков, главными из которых являются [6]:

– значительная инерционность систем за счет больших паразитных объемов впускного ресивера;

– невозможность дозирования топливной смеси индивидуально для каждого цилиндра;

– выброс несгоревшего метана в выпускную систему за счет значительного перекрытия фаз открытия впускных и выпускных клапанов современных двигателей (снижение экономичности и увеличение выбросов CH).

Такие системы производят фирмы Woodward, GFI, AFS (Канада), Nippon (Япония); КамАЗ - МАДИ (Россия); «Мерседес-Бенц» (Германия).

Системы с центральным инжекторным впрыском применяют и такие известные фирмы Европы как VOLVO и SKANIA (Швеция), причем их специалисты считают, что такие системы – это разумный компромисс между ценой и качеством. При этом они признают, что дальнейшее совершенствование таких систем бесперспективно [6].

В России разработкой газодизельных систем занимается ряд предприятий: ЗАО «Газомотор», НПФ «САГА», ООО «ППП «Дизельавтоматика», ЗАО «Автосистема» и др. Все работы в данном направлении не имеют достаточно широкого распространения и находятся в состоянии научного поиска. Практически все разработки представлены в виде опытных образцов, требующих научных испытаний и апробации газового оборудования в условиях реальной эксплуатации.

Для сельского хозяйства предпочтительно применение газодизельного цикла, так как при этом дизель имеет возможность работать как на газообразном, так и на традиционном дизельном топливе, что повышает гибкость использования сельскохозяйственных тракторов, а также увеличивает продолжительность работы на одной заправке [6].

На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема бортовой газотопливной системы с механическим всережимным эжекторным регулированием подачи газа. Она включает в себя две секции 2 и 3 по девять стальных баллонов объемом 50 литров с манометрами на каждой секции, заправочное устройство 7, магистральный вентиль 9, подогреватель газа 11 с подводом теплоносителя из системы охлаждения двигателя 21, редуктор высокого давления (РВД) 16, электромагнитный клапан с фильтром 20, редуктор низкого давления (РНД) 25.

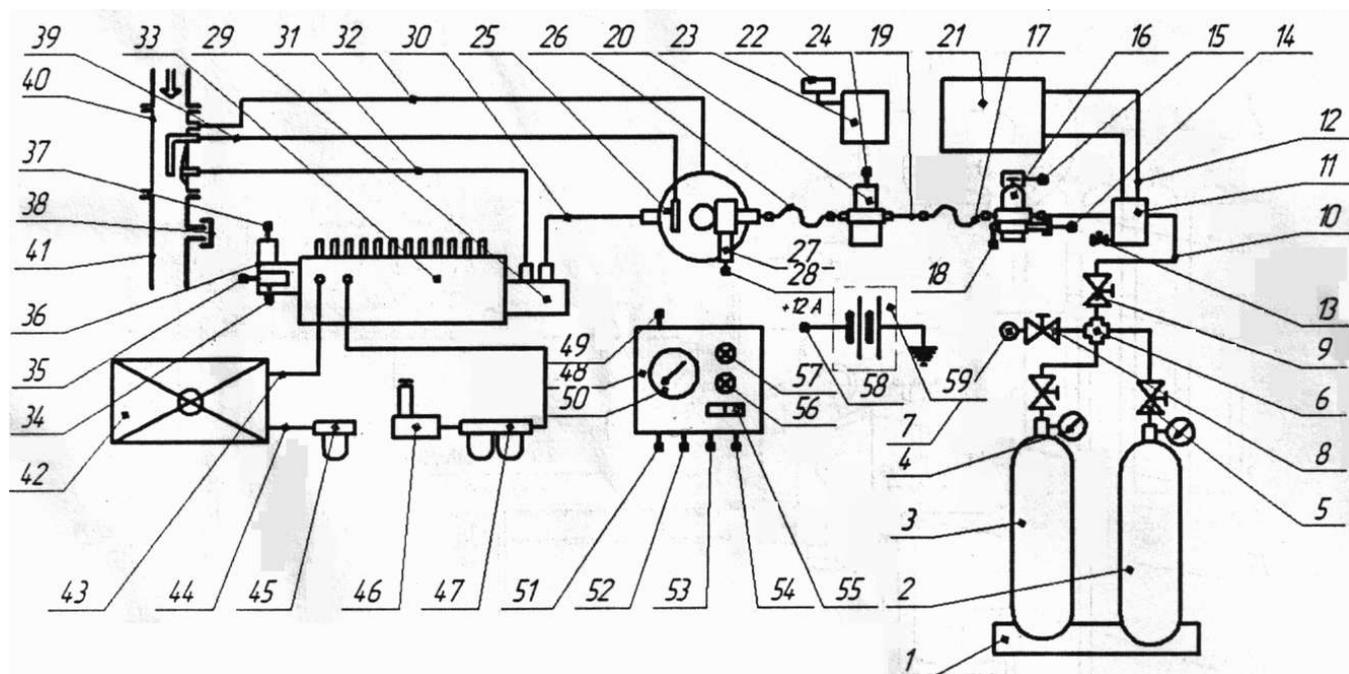


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема бортовой эжекторной системы подачи газа трактора К-701 при всережимном регулировании с механическим приводом дозатора газа.

Схема газодизельной топливной аппаратуры тракторов К-700А и К-701 с микропроцессорной системой управления подачей газа СЭРГ-500 производства ООО «ППП «Дизельавтоматика» (г. Саратов) показана на рисунке 1.2 [6].

В отличие от механической системы управления подачей газа, микропроцессорная система укомплектована редуктором высокого давления и двумя параллельно соединенными редукторами-подогревателями низкого давления производства ОАО «Автосистема». Параллельное подключение двух редукторов позволяет добиться необходимого расхода газа при максимальной

мощности газодизеля (50...55 м<sup>3</sup>/ч). Возможна установка одного доработанного двухступенчатого редуктора повышенной производительности НПФ «Сага», в этом варианте редуктор имеет две ступени – высокого и среднего давления.

Количество подаваемого газа в данной схеме регулируется газовым дозатором, который управляется системой электронного регулирования СЭРГ-500, в состав которой входят блок автоматического контроля системы (БАКС) и ряд необходимых датчиков [35].

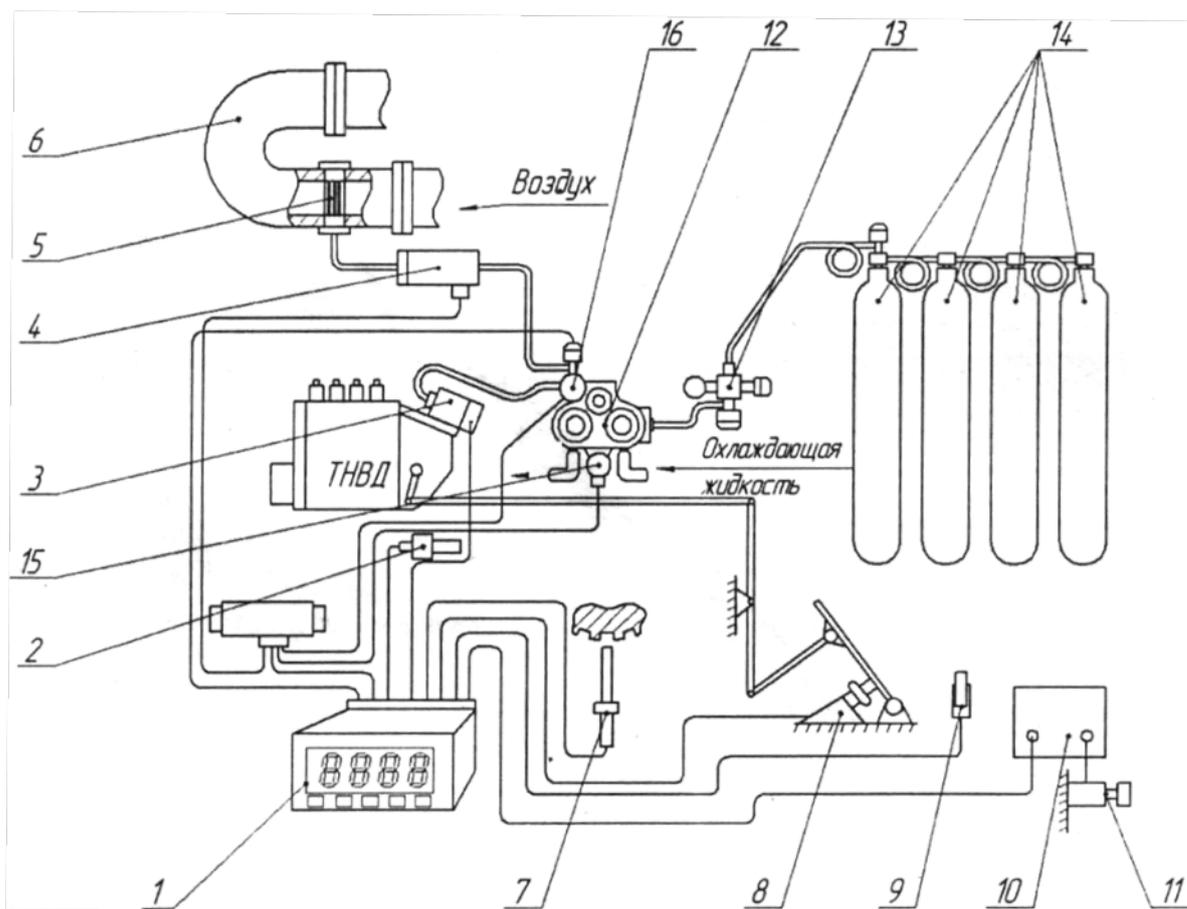


Рисунок 1.2 – Система питания газодизеля под управлением СЭРГ-500.

Однако у данной системы не устранен недостаток предыдущей системы: величина запальной дозы остается постоянной, а нагрузочный режим поддерживается регулированием расхода газа, т. е. осуществляется качественное регулирование мощности дизеля. При таком регулировании на режимах с частичной нагрузкой образуются бедные газозвушные смеси, сгорающие хуже, чем смеси на основе дизельного топлива, что приводит к увеличению расхода топлива и выбросов продуктов его неполного сгорания (СН<sub>х</sub>, СО) [43]. Таким

образом, системы эффективны только на режимах максимальной и близкой к ней нагрузок, на переходных же режимах доля газового топлива снижается вплоть до перехода в чисто дизельный режим. Кроме того, при фиксированном положении рейки и изменении частоты вращения изменяются цикловая подача топлива топливным насосом и, соответственно, запальная доза дизельного топлива, причем это изменение является неуправляемым, что также сказывается на эффективности работы двигателя [6].

С целью решения задачи динамического регулирования подачи как газа, так и запальной дозы дизельного топлива Саратовским государственным аграрным университетом им. Н. И. Вавилова совместно с НТЦ «Авангард» была разработана система для двигателя ЯМЗ-236, которая отличается от имеющихся тем, что механический регулятор частоты вращения двигателя полностью упраздняется (рисунок 1.3).

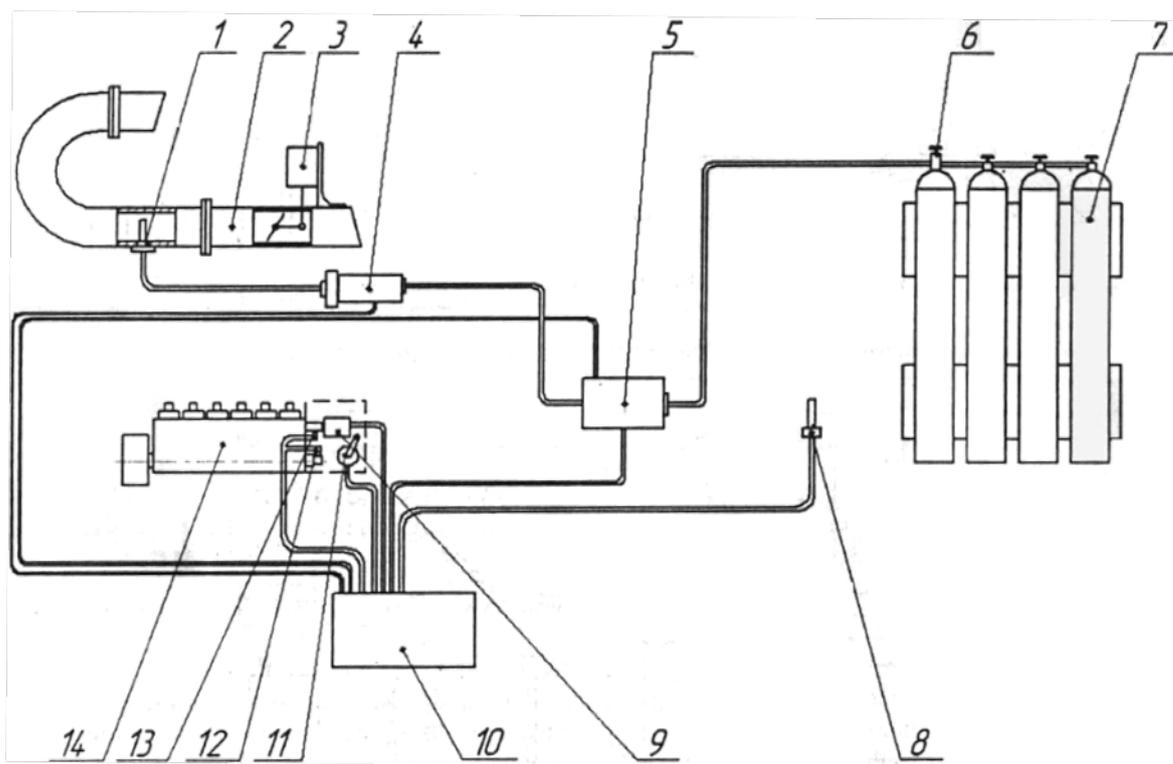


Рисунок 1.3 – Схема системы питания дизеля с центральным впрыском газа.

На кулачковом валу топливного насоса установлен датчик частоты вращения, а на рейке – шаговый электродвигатель для ее перемещения и датчик положения топливной рейки. Рычаг управления оборудован датчиком углового перемещения. Управление осуществляется от электронного блока, который

получает информацию с датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя (скоростной режим работы двигателя) и датчика положения рычага управления (нагрузочный режим работы двигателя) и устанавливает требуемую величину запальной дозы дизельного топлива (перемещением рейки топливного насоса) и газа (газовым дозатором). Таким образом, на всех режимах работы двигателя можно устанавливать соответствующее соотношение дизельного топлива и газа [22].

Еще одним решением задачи может послужить переход к количественно-качественному (смешанному) регулированию и ограничению максимального коэффициента избытка воздуха на уровне близком к оптимальному [22]. Именно такое регулирование реализуется в системе управления топливоподачей газодизеля «КамАЗ-7409.10». Она включает в себя электронный блок управления, газовую заслонку и электромагнитный клапан в магистрали подачи газа, заслонку во впускном трубопроводе после смесителя, кулачок-ограничитель для регулирования запальной дозы дизельного топлива (при работе с механическим регулятором частоты вращения), исполнительные механизмы управления заслонками и кулачком-ограничителем, датчики частоты вращения и разрежения во впускном трубопроводе после заслонки дозирования смеси [6].

Следует отметить, что электронное управление различными параметрами в настоящее время широко применяется на зарубежных газовых и газодизельных двигателях. В ходе испытаний такой системы были выявлены следующие недостатки [22]:

- значительная инерционность системы за счет больших паразитных объемов впускного ресивера;
- выброс несгоревшего метана в выпускную систему за счет значительного перекрытия впускных и выпускных клапанов (снижение экономичности и увеличение выбросов CH);
- невозможность дозирования топливной смеси индивидуально для каждого цилиндра, в результате его наблюдается непостоянство состава смеси в камере сгорания.

Для наиболее рационального использования дизельного и газообразного топлива Саратовским государственным аграрным университетом им. Н. И. Вавилова совместно с ООО «ППП Дизельавтоматика» разработана система питания газодизеля с распределенной подачей газообразного топлива [22].

Конструкция системы с распределенным впрыском топлива (рисунок 1.4) отличается от серийных аналогов наличием газовых клапанов, установленных в воздушном коллекторе напротив каждого цилиндра двигателя, что обеспечивает распределенную подачу газа, и электронного регулятора положения топливной рейки ТНВД [22].

Конструкция системы также позволяет использовать эффект эжекции, заключающийся в передаче энергии потока газа, подаваемого под давлением через электромагнитный клапан в смеситель, потоку воздуха, поступающего из впускного коллектора при их турбулентном смешении, тем самым улучшая наполнение камеры сгорания во время цикла всасывания, т. е. увеличивает коэффициент наполнения камеры сгорания, который непосредственно влияет на мощность двигателя [22].

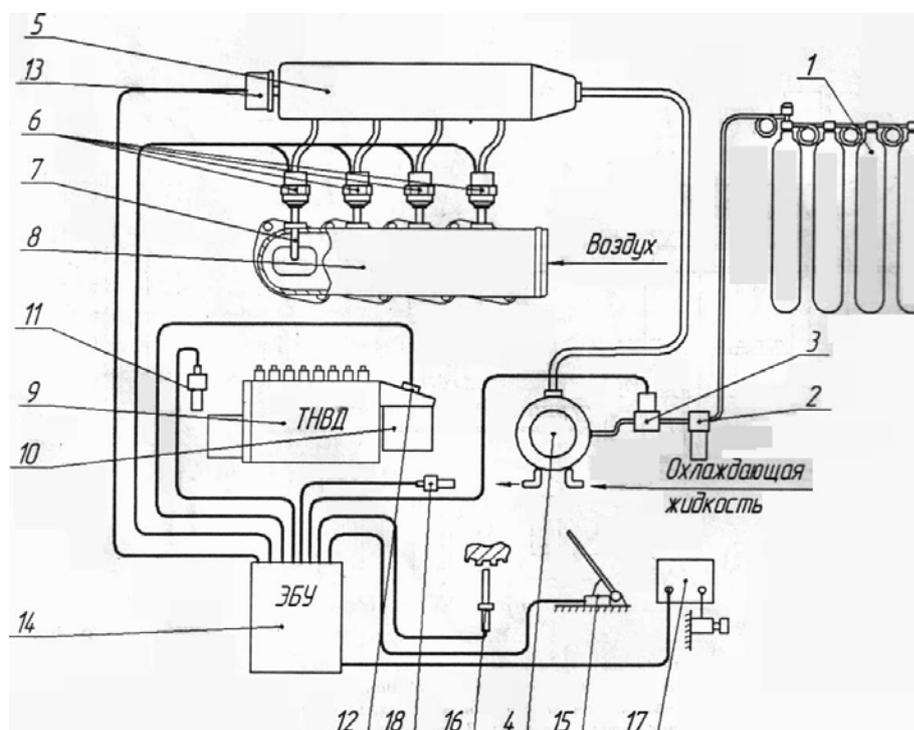


Рисунок 1.4 – Система распределенного эжекционного впуска газообразного топлива.

Для повышения равномерности подачи топлива в системе применен газовый коллектор. Его выходные патрубки расположены на одном расстоянии от впускного. Это позволяет добиться равного давления в трубопроводах, подводящих газ к газовым форсункам. Кроме того, коллектор выполняет функцию фильтра, задерживающего абразивные частицы, которые поступают вместе с газом.

В последние годы во многих регионах России (Рязанской, Владимирской, Пензенской, Самарской, Саратовской областях, Ставропольском и Краснодарском краях) активно реализуются программы по переводу автомобильного транспорта и сельскохозяйственных тракторов на газомоторное топливо. В отдельных хозяйствах указанных регионов работают тракторы К-700А, Т-150К, МТЗ-80/82, ДТ-75М (рисунок 1.5), РТМ-160 с газобаллонным оборудованием [107].



Рисунок 1.5 – Сельскохозяйственные тракторы с газобаллонным оборудованием

Стимулированию перевода сельскохозяйственных тракторов на газомоторное топливо являются:

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-ПП-5884.

3. Распоряжение правительства РФ от 13.05.2013 г. №767 и утвержденный заместителем Председателя Правительства РФ А. В. Дворковичем от 14.11.2013 г. №6819п-П9 «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., утвержденный губернатором области.

Результаты экспериментальных исследований и опыт эксплуатации газодизельных сельскохозяйственных тракторов и автомобильного транспорта свидетельствуют об их значительном преимуществе по сравнению с дизелями, работающими на минеральном дизельном топливе.

К достоинству применения компримированного (сжатого) газа в дизельных двигателях следует отнести также экономическую целесообразность его использования.

Запальная доза существующих в настоящее время систем подачи газообразного топлива достигает 20-25 %, что позволяет экономить до 80 % дизельного топлива. В России экономическим стимулом для перевода 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 должна превышать 50 % стоимости 1 литра бензина марки А-76. Это постановление действует до настоящего времени.

Проведенные расчеты экономической эффективности работы трактора К-700А, оборудованного системой подачи газообразного топлива показали, что годовая экономия эксплуатационных затрат составляет 300603 руб. при сроке окупаемости капитальных вложений 1,06 года [22]. Расчет проводился при стоимости газообразного топлива 8 руб./м<sup>3</sup>, а дизельного топлива – 28 руб./кг.

В работе [107] Савельева Г. С. отмечается, что наиболее эффективно переоборудовать мощные тракторы (типа К-701) вследствие большей экономии дизельного топлива. В то же время постоянный рост цен на газобаллонное оборудование и топливо влияет на эффективность использования тракторов. Повышение стоимости и монтажа газобаллонного оборудования для трактора К-700А системы с распределенным впрыском газа по эжекционному принципу, по сравнению с системой с центральным впрыском, в 3,5 раза компенсируется за счет увеличения разницы цен на дизельное топливо и газ в 2,5 раза позволило увеличить чистый дисконтированный доход в 2,4 раза [107].

Главное преимущество природного газа – его экологичность. Отработавшие газы двигателей, работающих на природном газе, содержат мало вредных веществ. По составу природный газ на 90-98 % состоит из метана – нетоксичного углеводорода, который при сгорании дает, главным образом, диоксид углерода и воду. Двигатель на природном газе производит примерно на 65 % меньше выбросов оксидов азота и на 80 % меньше выбросов твердых частиц, чем дизельный двигатель, оборудованный окисляющим каталитическим нейтрализатором [8, 52, 53, 70, 108].

Работа на природном газе предполагает и ряд других преимуществ. Он фактически не содержит серы, которая влияет на здоровье людей и приводит к окислению почвы и воды. Если брать все в комплексе, то отработавшие газы двигателя, работающего на природном газе, по наиболее вредным компонентам в

несколько раз менее опасны, чем у двигателей, работающих на бензине или дизельном топливе [6].

Анализ токсичности и дымности отработанных газов дизеля и газодизеля показал, что дымность отработавших газов газодизеля ниже на 40 и более процентов по сравнению с дизельным двигателем. На 20 % происходит уменьшение концентрации оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в отработавших газах. При этом содержание выбросов СО и СН изменяется незначительно [46, 49].

Современные методики позволяют оценить не количество выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, а экологическую опасность этих выбросов для человека (таблица 1.1) [105, 106].

Таблица 1.1 – Состав основных соединений отработавших газов дизелей

Вещество или класс веществ	Содержание	Качественная характеристика токсичности	Класс опасности	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	
				м.р.	с.с.
Азот ( $\text{N}_2$ ), об. %	75...78	НТ	–	–	–
Кислород ( $\text{O}_2$ ), об. %	2...20	НТ	–	–	–
Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), об. %	0,5...12	НТ	–	–	–
Пары воды, об. %	10...12	НТ	–	–	–
Водород ( $\text{H}_2$ ), об. %	0,01...0,5	НТ	–	–	–
Оксид углерода (СО), об. %	0,005...0,5	КЯ, НС	4	5,0	1,0
Углеводороды (СН) в пересчете на пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), об. %	0,0002... ...0,017	КЯ, КТ, Г, НС, Н, П, ПО, СС, С, рс	2-4	1,4...200	1,0...2,5
Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) в пересчете на $\text{NO}_2$ , об. %	0,005... ...0,008	КЯ, КТ, НС, О, П, рс	2	0,085	0,085
Сажа, г/м	0,01...1,0	рс, У	4	0,15	0,05
Альдегиды в пересчете на акролеин ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ ), мг/м <sup>3</sup> (об. %)	1,0...10,0	Г, Н, НЯ, НС, О, П, ПО, рс, с	2-3	0,01... ...3,0	0,01... ...5,0
Акролеин ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ ), об. %	0,00010... ...0,00013	НС, рс	2	0,03	0,03
Формальдегид ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), об. %	0,00010... 0,0019	О, П, ПО, НС, рс, с	2	0,035	0,003
Двуокись серы ( $\text{SO}_2$ ), об. %	0,002...0,02	К Я, КГ, г, п, рс	3	0,5	0,5
Бенз(а)пирен (БП)	0,05...1,0	к, м	1	–	106

Сокращения, принятые в таблице 1.1: О – общее токсическое действие; Г – поражение зрительного нерва и сетчатки глаз, помутнение хрусталика, ожога роговицы; К – канцероген; КТ – яды, действующие на кроветворение (вызывают изменение количества лейкоцитов, эритроцитов и т.д.); КЯ – кровяные яды (вызывают непосредственное изменение состава крови); М – мутаген; Н – наркотики; НС – поражение нервной системы; НЯ – нервные яды (вызывающие судороги и параличи); П – поражение печени; ПО – поражение почек; рс – раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательных путей; С – образование смога; СС – поражение сосудистой системы; У – удушающее действие; ПДК м.р. – предельно допустимая местная разовая концентрация вещества в воздухе жилых массивов; ПДК с.с. – предельно допустимая среднесуточная концентрация в воздухе жилых массивов.

Большое значение с точки зрения климатических изменений (глобальное потепление) имеют наличие и объемы в продуктах сгорания «парниковых газов» и, в первую очередь, двуокиси углерода. Чем выше отношение водорода и углерода (H/C) в топливе, тем меньше образуется в продуктах сгорания  $CO_x$ . С этой точки зрения природный газ предпочтительнее других видов топлива [105, 106].

Основной компонент сжатых (компримированных) газов – метан содержание которого не должно быть ниже 90 % для газа марки А и 85 % – для газа марки Б. Содержание в них более тяжелых углеводородов ограничено с целью исключения отложений в газовой аппаратуре. Содержание негорючих составляющих (азот, кислород, диоксид углерода) также ограничено, так как их большая концентрация снижает теплоту сгорания топлива. При дросселировании газа, находящегося под высоким давлением, его температура значительно понижается и возможно выделение из газа кристаллов льда. Поэтому во избежание закупорки льдом элементов системы топливоподачи газ подвергается тщательному обезвоживанию. Лимитируется содержание в газе коррозионно-агрессивных веществ (сера и ее соединения) [105, 106].

При исследовании дизеля Д-21А1, проведенном в Кировском СХИ выяснилось, что при работе двигателя по газодизельному циклу на режимах с неполной нагрузкой содержание в ОГ оксидов азота  $\text{NO}_x$  оказалось меньше, чем при работе по дизельному циклу. Лишь на режимах с полной подачей топлива отмечено увеличение концентрации  $\text{NO}_x$  в ОГ, что объясняется более жестким протеканием процесса сгорания газового топлива и повышенными температурами его сгорания. Кроме того, сжигание газового топлива практически не дает дымного выхлопа: содержание сажи в ОГ не превышает 0,1-0,2 единицы по шкале Bosch. При работе по дизельному циклу на режимах с полной нагрузкой дымность ОГ достигает 2,5 единицы по шкале Bosch. В то же время отмечается существенное увеличение содержания в ОГ монооксида углерода СО при работе двигателя по газодизельному циклу на режимах с неполной нагрузкой. Концентрация СО в ОГ достигает на этих режимах 1,3 % (рисунок. 1.6) [35, 106].

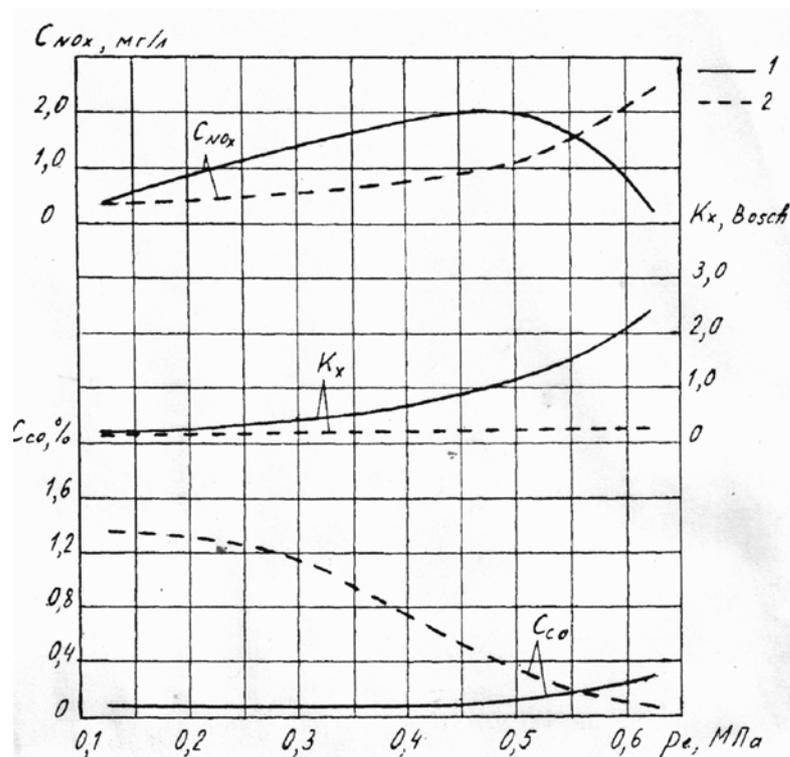


Рисунок 1.6 – Зависимость концентраций оксидов азота  $C_{\text{NO}_x}$ , монооксида углерода  $C_{\text{CO}}$  в отработавших газах и дымности  $K_x$  от нагрузочного режима (среднего эффективного давления  $p_e$ ) дизеля Д-245, работающего по дизельному (1) и газодизельному (2) циклам на режиме с  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $\varphi = 22^\circ$  ПКВ до ВМТ.

Для снижения жесткости сгорания газового топлива, уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  на режимах с полной нагрузкой и выбросов  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_x$  на режимах с неполной подачей топлива целесообразно применить количественно-качественный принцип регулирования газодизелей и ограничить максимальные значения коэффициента избытка воздуха на уровне, близком к оптимальному. Необходимо оптимизировать геометрические размеры элементов топливоподающей аппаратуры [43].

Таким образом, одним из преимуществ применения газообразного топлива является снижение показателей дымности и токсичности отработавших газов. Наиболее совершенными системами подачи газообразного топлива в двигатель считаются системы с распределенной подачей, но в открытых литературных источниках нет данных по показателям дымности и токсичности таких систем. Отсутствует анализ выбросов с европейскими нормами токсичности ЕВРО-3, ЕВРО-4, ЕВРО-5 [43].

## **1.2 Безопасность тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием**

Применение газового топлива в тракторных двигателях имеет и ряд недостатков, которые сдерживают широкое внедрение в эксплуатацию тракторов с газобаллонным оборудованием.

Как известно, газообразное топливо объективно является источником повышенной опасности. Природа повышенных эксплуатационных рисков при использовании газообразного топлива обусловлена теми же факторами, что и его преимущества перед жидкими топливами, а именно групповым химическим составом и агрегатным состоянием. Газ как горючее вещество по базовой характеристике – низшей теплоте сгорания – в расчете на массовую единицу не отличается существенно от других типов энергоносителей углеводородного ряда – бензинов или дизельного топлива. Газовоздушные и топливовоздушные смеси ведут себя практически одинаково, и как потенциальные источники пожаро- и взрывоопасности их можно считать равнозначными [52, 91].

Принципиальное отличие газообразного топлива от жидкого состоит в том, что из-за низкой плотности при нормальных условиях газообразные энергоносители хранятся в баллонах под повышенным давлением. Таким образом, в эксплуатационных условиях газ находится в механически неравновесном состоянии по отношению к внешней среде. Это обстоятельство является причиной дополнительной опасности потенциальной возможности разрушения газовых емкостей, находящихся под высоким внутренним давлением, т.е. взрывоопасности газовых баллонов [91].

При разгерметизации газового оборудования истечение газа во внешнюю среду происходит за счет внутренней энергии сжатого газа со значительно большими скоростями, чем это возможно для жидких видов топлива в аналогичных или сопоставимых условиях. Процесс истечения газа при аварийной разгерметизации газовых емкостей не может быть остановлен. В сочетании с большими скоростями истечения газа это приводит к образованию больших объемов горючей смеси в короткие промежутки времени. При воспламенении газоздушных смесей, в силу указанных причин, тушение их практически невозможно. Еще одна специфическая особенность газообразного топлива - способность к самовоспламенению за счет электризации и электрического разряда из-за высоких скоростей истечения во внешнюю среду [91].

Повышенную опасность газ представляет даже при незначительной разгерметизации и небольшой величине газовых потоков, если оборудование или газифицированное транспортное средство находится в закрытом, недостаточно вентилируемом помещении. В этом случае существует возможность постепенного накопления газоздушной смеси и при наличии инициирующих факторов возникает опасность объемного взрыва [52].

Помимо перечисленных, существуют и другие обстоятельства, указывающие на то, что газообразное топливо как объект эксплуатации действительно представляет большую опасность по сравнению с жидкими видами энергоносителей [36].

Вместе с тем, любое газообразное топливо является элементом комплементарной группы «газ - газовое оборудование». Как таковое оно не может быть использовано иначе, как только в составе этой группы. Поэтому непосредственной причиной актуальности проблемы повышенной опасности газообразного топлива является непосредственно газовое оборудование. Именно априори предполагаемая и фактически имеющая место неидеальность газового оборудования является причиной повышенных эксплуатационных рисков при использовании газообразного моторного топлива. Система мер по обеспечению безопасной эксплуатации газообразного топлива включает следующие основные требования [36]:

- периодическое освидетельствование газового оборудования на предмет герметичности, а газовых баллонов – на предмет механической прочности;
- обязательное (внеочередное) освидетельствование газовой аппаратуры после каждого ремонта оборудования или монтажа (демонтажа) отдельных его элементов;
- запрет на нахождение в закрытых помещениях и производство сварочных работ на газифицированном транспортном средстве с неопустошенными газовыми баллонами;
- запрет на эксплуатацию транспортного средства в случае обнаружения признаков утечек газа;
- запрет эксплуатации газифицированного транспортного средства водителем, не прошедшим специальный курс обучения;
- осуществление текущего контроля герметичности газового оборудования органолептическим методом (т. е. по запаху), проведение которого вменяется водителю;
- осуществление ежедневного контроля герметичности газового оборудования при выпуске транспортного средства на линию выпускающим контролером предприятия и специалистом заправщиком газозаправочной станции.

В настоящее время имеются инструкции по технике безопасности при эксплуатации автомобилей с газобаллонным оборудованием. Для тракторов такие инструкции разрабатываются отдельно каждым предприятием, выпускающим газобаллонное оборудование, которые не в полном объеме учитывают условия эксплуатации и особенно меры безопасности при проведении технического обслуживания.

Поэтому разработка мер по безопасности обслуживающего персонала тракторов с газобаллонным оборудованием при эксплуатации и техническом обслуживании является необходимым условием для их использования в сельском хозяйстве.

К недостаткам использования тракторов с газобаллонным оборудованием можно отнести увеличение эксплуатационной массы трактора, что негативно отражается на воздействии движителей трактора на агротехнические свойства почвы.

В Саратовском государственном аграрном университете им. Н. И. Вавилова были проведены исследования изменения свойств почвы после прохода трактора К-700А, оснащенного газобаллонным оборудованием [22], в ходе которых было установлено, что плотность почвы увеличивается на 2,5 %, твердость – на 3 %, глубина следа – на 3,14 %. Снижение давления в шинах с 0,12 до 0,10 МПа позволяет устранить этот недостаток.

Другой особенностью эксплуатации тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием, является то, что вследствие изменения расположения его центра тяжести ухудшается устойчивость трактора, которая характеризует его способность работать на продольных и поперечных уклонах без опрокидывания. В общем случае различают продольную и поперечную устойчивость трактора. Устойчивость может быть оценена статическими углами продольного и поперечного уклонов, на которых заторможенный трактор без прицепа и навесной машины может стоять, не опрокидываясь. При расположении трактора неподвижно на наклонной опорной поверхности, угол наклона которой соответствует одному из предельных углов, возникает опрокидывание под

действием только сил тяжести. В процессе же движения на трактор могут действовать и другие силы, которые будут способствовать опрокидыванию трактора.

В условиях эксплуатации часто колесный трактор, заторможенный на уклоне или подъеме, не теряет продольной устойчивости, но при этом начинает сползать вниз по склону. В этом случае максимальная тормозная сила, которая может быть реализована в данных условиях, недостаточна для удержания трактора на склоне [45].

Современные тракторы по назначению в большей или меньшей степени универсальны: каждый из них предназначен для выполнения комплекса работ, различающихся технологическими процессами. Область распространения тракторов охватывает практически все климатические зоны и разнообразные почвенно-грунтовые условия страны. При этом работа сельскохозяйственных и промышленных тракторов происходит при непрерывно изменяющихся внешних воздействиях, значение и характер которых зависят от вида операции, состава агрегата, состояний окружающей среды и многих других факторов. Таким образом, существующие в настоящее время тракторы и сельскохозяйственные машины, осуществляющие технологические процессы по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур, созданы для выполнения определенных видов работ в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями безопасности [36, 41]. Этими нормативными документами регламентируется минимальное значение угла поперечной статической устойчивости  $\beta = 35^\circ$  (при транспортной комплектации и колее).

Однако в результате модернизации тракторов, следствием которой является установка на трактор дополнительных агрегатов и оборудования, может значительно измениться устойчивость как самого трактора, так и машинно-тракторного агрегата в целом. Как правило, установка на трактор дополнительного оборудования, имеющего значительную массу, приводит к повышению центра его тяжести. При установке восьми баллонов емкостью 80 л каждый для хранения сжатого газа на задней грузовой платформе

трактора РТМ-160 происходит увеличение вертикальной координаты центра тяжести трактора на 100 мм и смещение горизонтальной координаты центра тяжести в сторону, противоположную направлению движения трактора, на 294 мм [65]. Это, в свою очередь, приводит к изменению (как правило - к уменьшению) статических углов продольной и поперечной устойчивости, что негативно сказывается на безопасности.

Для тракторов с ломающейся рамой проблема устойчивости усугубляется еще и конструкцией таких тракторов. При этом при повороте трактора (при повороте полурам трактора на определенный угол друг относительно друга в горизонтальной плоскости) устойчивость трактора еще больше ухудшается. Наряду с этим поперечная устойчивость тракторов с шарнирно сочлененной рамой вследствие наличия шарнира рассматривается как устойчивость сочлененной системы. Основное влияние на поперечную устойчивость такого трактора оказывают характер сочленения секций и ограничения их взаимного перемещения, которые зависят от шарнира [45]. Поэтому для таких тракторов обеспечение устойчивости при установке дополнительного оборудования является еще более актуальной задачей.

В Саратовском государственном аграрном университете им. Н. И. Вавилова проводились исследования [2, 23, 65] устойчивости тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием для работы по газодизельному циклу. На рисунке 1.7 представлена гистограмма предельных статических углов продольной и поперечной устойчивости трактора К-700А, оснащенного оборудованием для работы по газодизельному циклу [23].

Как видно из рисунка 1.7, все регламентируемые [36] параметры остаются в допустимых пределах. При этом установка газовых баллонов способствует более равномерному распределению нормальных реакций по ведущим мостам трактора и повышению тягово-сцепных свойств трактора [65].

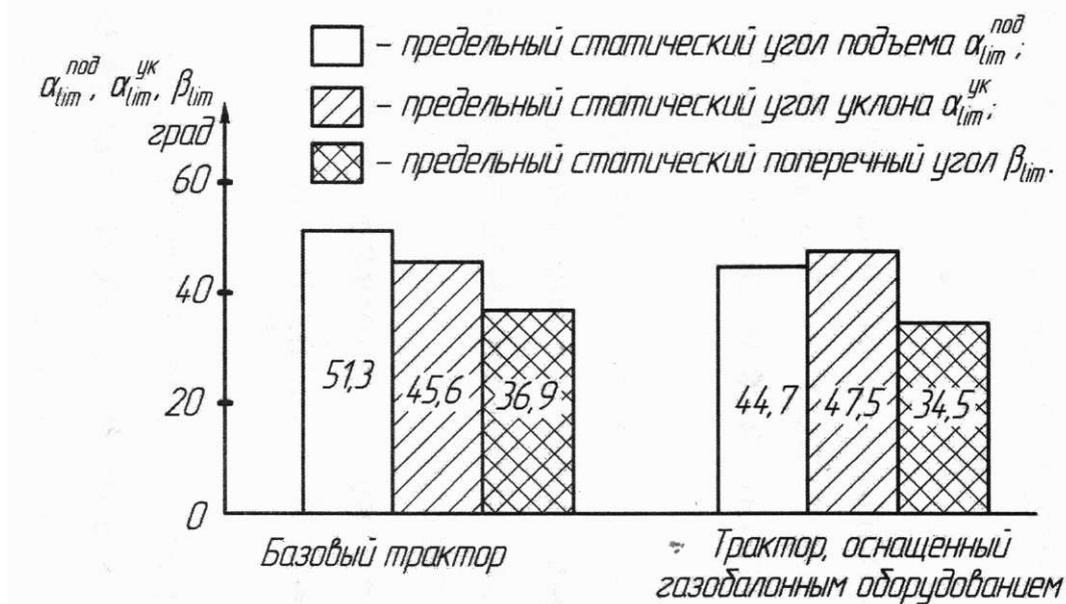


Рисунок 1.7 – Предельные статические углы устойчивости трактора К-700А.

Таким образом, установка газобаллонного оборудования незначительно влияет на устойчивость газодизельных тракторов.

Однако при модернизации тракторов, служащих в процессе выполнения различных сельскохозяйственных работ в качестве энергетического (тягового) средства, необходимо учитывать, что в большинстве случаев трактор используется в составе машинно-тракторного агрегата (МТА). Навешиваемая на трактор в этом случае сельскохозяйственная машина может значительно изменить указанные характеристики устойчивости МТА. Это в большинстве случаев приводит к несчастным случаям при эксплуатации МТА.

При этом необходимо также учитывать, что некоторые сельскохозяйственные машины имеют центр тяжести, который смещен относительно продольной оси трактора в сторону. К таковым можно отнести, например, плуг, установка которого приводит к значительному смещению центра тяжести МТА и, как следствие, к значительному уменьшению статического угла поперечной устойчивости. Это подтверждается тем, что в процессе выполнения пахотных работ в составе МТА «трактор К-700А + плуг ПЛН-8-35» имеют место частые несчастные случаи, связанные с их опрокидыванием.

Аналогична ситуация и при выполнении транспортных работ, когда трактор транспортирует прицеп. В этом случае сила, вызываемая его сопротивлением при

движении, может привести к значительному изменению угла продольной устойчивости трактора. Однако опрокидывание трактора назад маловероятно, так как потере продольной устойчивости предшествует потеря устойчивости движения и управляемости трактора, вызванная разгрузкой передних управляемых колес [45]. Это не относится к полноприводным тракторам с ломающейся рамой.

Оценка устойчивости трактора в агрегате с машиной в динамике представляет большие трудности ввиду большого числа взаимодействующих факторов, влияющих на устойчивость движения системы трактор-машина. При этом, так как обычно тракторы в составе МТА работают при небольших скоростях, а, следовательно, при относительно динамических силах, вызывающих изменение их устойчивости, целесообразно рассмотреть устойчивость тракторов, оснащенных газобаллонным оборудованием для работы по газодизельному циклу, именно в составе МТА.

### **1.3 Техническое обслуживание газобаллонного оборудования**

В современных условиях одним из основных средств производства являются дорогостоящие тракторы типа К-700». Поэтому при их использовании для достижения большей экономии необходимо снижать эксплуатационные издержки.

Практика показывает, что обеспечение минимальных затрат на техническое обслуживание и ремонт тракторной техники возможен при реализации планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, дополненной рациональным использованием средств диагностики. Алгоритм и технологии диагностирования тракторов с газовым оборудованием в настоящее время разработаны недостаточно полно.

Как известно, событие, состоящее в отказе системы или ее элементов (в контексте проблемы безопасности это разгерметизация газового оборудования), имеет вероятностно-статистическую природу, т. е. момент его наступления

заранее неизвестен и не может быть определен заранее. В силу действия принципа причинности любая реальная система, в том числе и описанная выше, может обнаружить факт отказа только после того, как он произошел. Принципиально важное значение с практической точки зрения имеет время реакции, т. е. промежуток времени от момента фактического возникновения отказа до его регистрации системой.

Время реакции любой системы обеспечения безопасности, как показатель ее эффективности, очевидно, должно быть минимальным и в идеале стремиться к нулю. С этой точки зрения, эффективность существующих систем, если исходить из реальной динамики процессов истечения, воспламенения и сгорания газоздушных смесей, практически равна нулю. Существенно важное значение имеет то обстоятельство, что реальный контроль ограничен во времени процедурой диагностики и поэтому ее результаты, в силу вероятностно-статистической природы отказа, справедливы только и исключительно на момент ее осуществления. То обстоятельство, что в момент контроля утечки отсутствуют, не дает никаких оснований предполагать, что газовое оборудование будет находиться в исправном состоянии через час или, например, в ста метрах от места проведения диагностики. Таким образом, традиционная технология в принципе не позволяет осуществлять непрерывную диагностику состояния газового оборудования. Вместе с тем, как следует из обозначенной выше специфики поведения газообразного топлива и вероятностно-статистической природы явления, только непрерывный во времени, оперативный контроль герметичности всего газового оборудования эффективно и надлежащим образом решает проблему обеспечения безопасной эксплуатации газообразного топлива. Но в тоже время, в нашей стране отсутствуют руководящие документы, систематизирующие требования к эксплуатации автотракторной техники, работающей на компримированном природном газе.

В литературных источниках и нормативных документах перечислены не все виды обслуживания газобаллонного оборудования, что снижает его качество и влияет на эксплуатационную надежность [105, 106, 113].

Для поддержания в работоспособном состоянии такой системы необходимо иметь техническую документацию для проведения сервисного обслуживания. А для этого необходимо разработать перечень необходимых операций при проведении ежедневного технического обслуживания, ТО-1, ТО-2, ТО-3 и сезонного ТО. Газобаллонная аппаратура должна быть приспособлена для выполнения на должном уровне операций технического обслуживания и ремонта.

В эксплуатации должна быть полностью реализована надежность заложенная при конструкционном проектировании. При правильно организованной эксплуатации, вероятность внезапных отказов системы подачи газообразного топлива близка к нулю. При этом отдалается наступление постепенных отказов.

Заправка сжатым природным газом осуществляется на автоматических газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) и передвижных газонаполнительных компрессорных станциях (ПАГС) [105, 106, 113]

Время наполнения газом изменяется в зависимости от производительности компрессора, количества транспорта, которое нужно заправить, и объема газовых баллонов машин.

Для наполнения каскада ресиверов в необходимой последовательности между компрессором и каскадом ресиверов используется панель приоритетного распределения газа.

Вкратце, существует три этапа приоритетного расхода газа в такой системе:

- ресиверы высокого уровня;
- ресиверы среднего уровня;
- ресиверы низкого уровня.

Первоначально, газ поступает непосредственно от компрессора в ресиверы высокого уровня через невозвратный клапан, пока распределительные клапаны закрыты давлением пружин клапанов, что эквивалентно давлению газа приблизительно 21 МПа.

Когда в ресиверах высокого уровня достигается давление 21 МПа, открывается распределительный клапан среднего ресивера, и газовый поток

направляется в ресиверы среднего уровня. Невозвратный клапан в этот момент предохраняет ресиверы высокого уровня от разрядки [105, 106].

Аналогично, когда давление газа в ресиверах среднего уровня достигает 21 МПа, открывается распределительный клапан низкого уровня и газ направляется в ресиверы низкого уровня. Невозвратный клапан препятствует разрядке ресиверов среднего уровня.

Наконец, когда давление газа в ресиверах низкого уровня достигает 21 МПа, все распределительные клапаны открываются и ресиверы всех трех уровней становятся одинаково заряжены газом до давления 21 МПа, что является сигналом для остановки компрессора.

Если во время наполнения ресиверов низкого уровня происходит падение давления в ресиверах среднего или высокого уровня, то распределительные клапана закроются в порядке приоритета.

Недостатком заправки тракторов с газобаллонным оборудованием является ее большая продолжительность. Поэтому необходимо разрабатывать новые способы заправки и устройства, позволяющие сократить время заправки газом.

#### **1.4 Выводы по разделу**

1. Одним из преимуществ перевода сельскохозяйственных тракторов для работы на газомоторном топливе является уменьшение затрат на топливо. При работе дизеля по газодизельному циклу экономия дизельного топлива достигает 75-80 %.

2. Важным преимуществом использования газа в качестве топлива является улучшение экологических показателей. Использование природного газа в качестве топлива позволяет сельскохозяйственным тракторам выйти на нормы токсичности ЕВРО-4.

3. При использовании природного газа как топлива повышается ресурс цилиндропоршневой группы дизеля.

4. Для широкого использования в агропромышленном комплексе тракторов с газобаллонным оборудованием необходимо исследовать и дополнить

нормативно техническую документацию по эксплуатации техническому обслуживанию:

- определить нормативные показатели устойчивости трактора при работе с навесными орудиями;
- дополнить технику безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании;
- разработать алгоритм и технологию диагностирования;
- определить экологические показатели и оценить эколого-экономическую эффективность разработок.

В результате проведенного анализа сформулированы основные задачи исследования:

1. Теоретически и экспериментально определить устойчивость тракторов с газобаллонным оборудованием и навесными орудиями.
2. Обосновать эксплуатационно-технологические требования к сельскохозяйственным тракторам, оснащенным газобаллонным оборудованием.
3. Исследовать экологические показатели двигателя при работе по газодизельному циклу.
4. Определить экономическую эффективность предлагаемых разработок.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТОРОВ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ РАБОТАЮЩИХ С НАВЕСНЫМИ ОРУДИЯМИ**

В процессе выполнения различных сельскохозяйственных работ трактор должен работать без опрокидывания на уклонах различной величины. Это регламентируется предельными статическими углами продольного и поперечного уклонов, при которых трактор может стоять в заторможенном состоянии. Также эти углы служат определяющими параметрами для оценки продольной и поперечной устойчивости трактора. ГОСТ 12.2.019-2005 «Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования» регламентирует значение угла поперечной статической устойчивости для тракторов тяговых классов 0,9 и более не менее  $35^\circ$  [37].

Наряду с этим различные сельскохозяйственные орудия, агрегируемые с тракторами, могут значительно изменить значения вышеуказанных углов. Поэтому для того, чтобы обосновать возможность работы машинно-тракторного агрегата в различных, условиях необходимо знание вышеуказанных углов.

Для определения теоретического значения статических углов устойчивости необходимо знать расположение центров тяжести как самого трактора, так и устанавливаемого на него оборудования.

### **2.1 Определение расположения центров тяжести тракторов**

#### *Определение расположения центра тяжести трактора РТМ-160*

Трактор универсально-пропашной РТМ-160 предназначен для работ общего назначения, а также для возделывания и уборки сахарной свеклы, овощей, картофеля и высокостебельных пропашных культур в составе широкозахватных, однооперационных и комбинированных агрегатов, навешенных сзади и спереди, с размещением на тракторе емкостей для семян, удобрений и гербицидов, выполнения пахоты навесными, в том числе оборотными плугами различных почв на глубину до 30 см, сплошной культивации, посева, уборки зерновых и др. культур, а также транспортных и других работ общего назначения.

Эксплуатационная масса трактора с навесным оборудованием составляет 5575 кг. Основные размеры трактора представлены на рисунке 2.1.

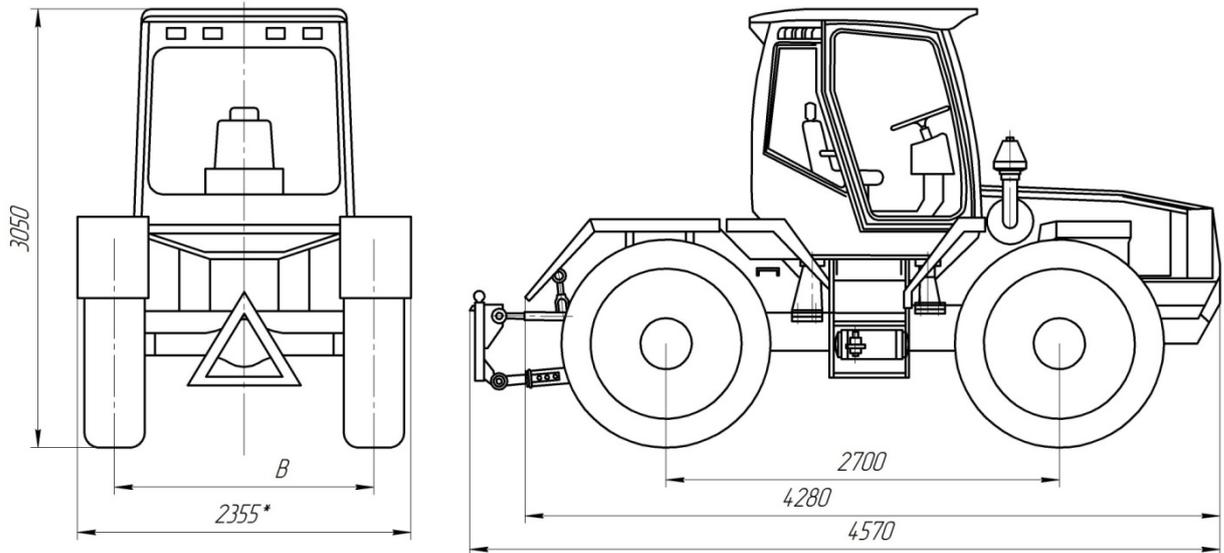


Рисунок 2.1 – Основные размеры трактора РТ-М-160: \* при колее  $B = 1800$  мм

Колея трактора  $B$  (рисунок 2.1) может иметь следующие значения: 1400; 1460; 1515; 1800; 2060 мм.

В стандартном исполнении трактор комплектуется шинами размерности 16,9R30, которые имеют ширину профиля 429 мм, наружный диаметр шины составляет 1475 мм.

При определении положения центра тяжести трактора РТМ-160 целесообразно использовать методику, изложенную в ГОСТ 30750-2001 [39].

Данный способ определения расположения центра тяжести трактора в целом заключается в следующем. Тракторы, представляемые на испытания, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7057-2001 [40]. Центр тяжести определяют методом измерения реакции опор при установке трактора в следующие положения:

- горизонтальное;
- наклонное при поднятой передней (моторной) части;
- наклонное 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  $F_2$ , вызванную массой трактора  $m$  на переднем мосту, и базу трактора  $d$  (рисунок 2.2).

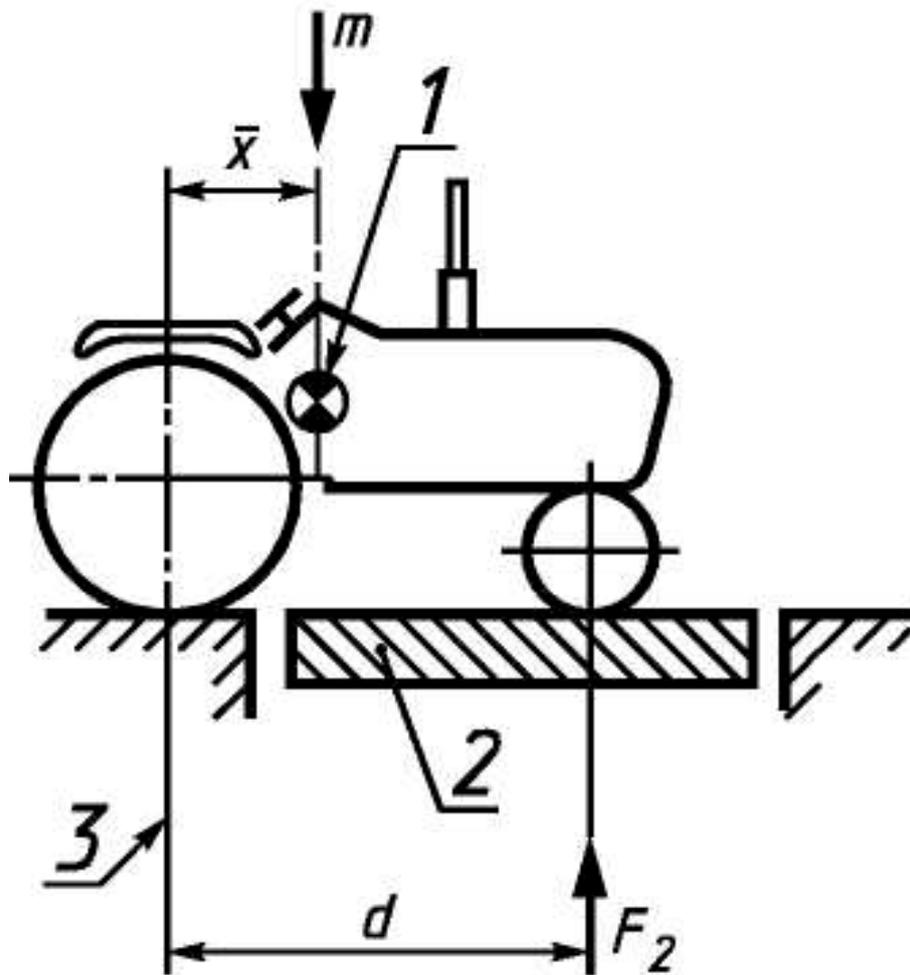


Рисунок 2.2 – Схема к определению продольной горизонтальной координаты центра тяжести трактора: 1 – центр тяжести трактора; 2 – платформенные весы; 3 – линия отсчета по вертикали.

Горизонтальную продольную координату  $\bar{x}$  центра тяжести вычисляют по формуле (2.1) [39]:

$$\bar{x} = \frac{d \cdot F_2}{m}, \quad (2.1)$$

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  $20\text{-}25^\circ$  к горизонтали со стороны прицепного устройства.

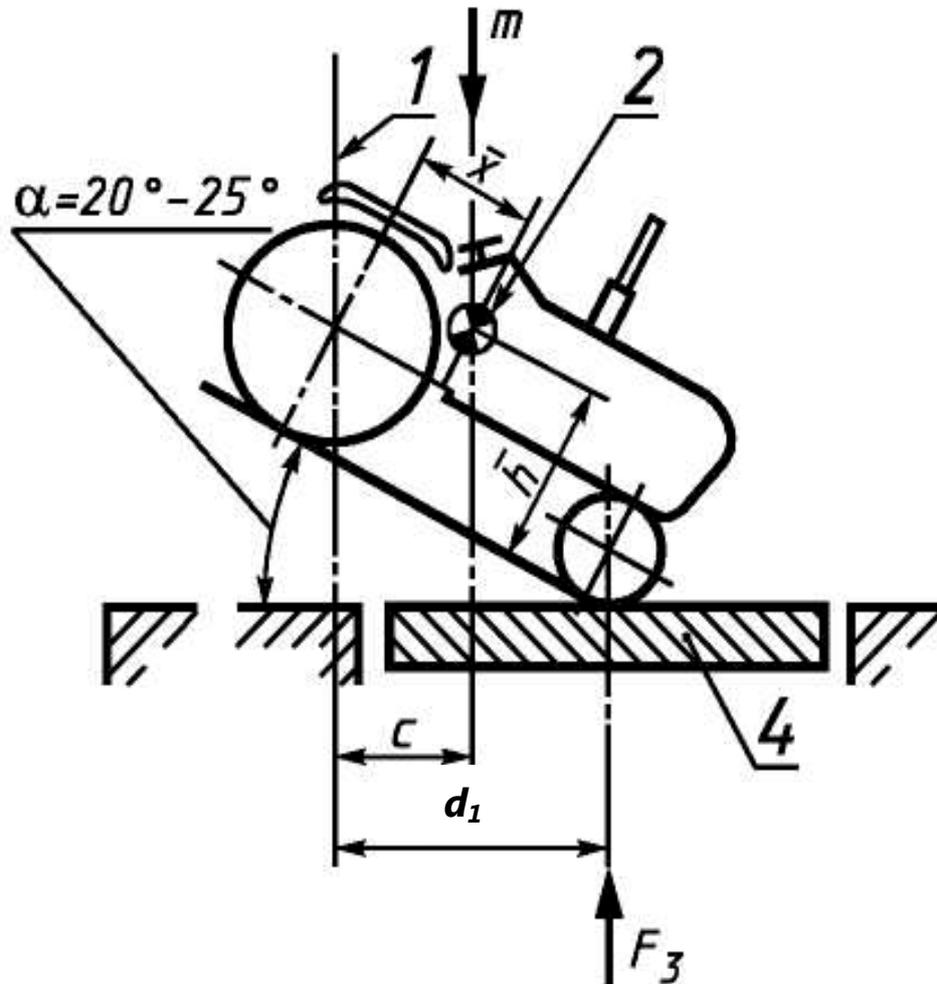


Рисунок 2.3 – Схема к определению вертикальной координаты положения центра тяжести трактора.

Измеряют реакцию  $F_3$  в месте контакта колеса с платформой весов. Далее измеряют расстояние  $d_1$  от места контакта с платформой до линии подвешивания, после чего вычисляют расстояние  $c$  от центра тяжести до линии подвешивания по формуле [39]:

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

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 повторяют испытания, подвешивая трактор с другой стороны. При этом сохранение угла подвеса трактора необязательно. 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 нее, 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 колесами с левой и правой сторон. Вычисляют расстояние  $b$ , положения центра тяжести с использованием ширины колеи  $d_t$ , [39]:

$$b = \frac{d_t \cdot F_4}{m}, \quad (2.3)$$

где  $d_t$  – ширина колеи трактора, мм;

$F_4$  – нагрузка, создаваемая колесами левого борта трактора, кг.

Поперечную координату центра тяжести  $y$  рассчитывают по формуле [39]:

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

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.

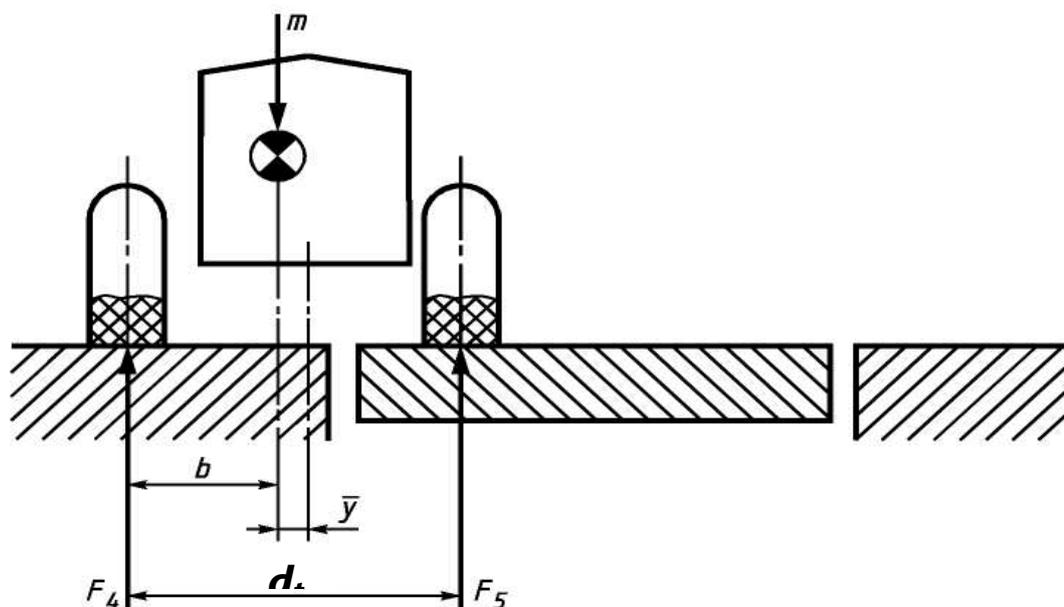


Рисунок 2.4 – Схема к определению поперечной координаты центра тяжести трактора.

Данную методику вполне можно использовать при определении положения центра тяжести трактора. Однако вследствие ее трудоемкости целесообразно вертикальную координату центра тяжести определить аналитически.

Первоначально по формуле (2.1) определим горизонтальную координату  $\bar{x}$  (рисунок 2.2) расположения центра тяжести трактора. Для этого при помощи подкладных автомобильных весов «Мера ВТП-10» (рисунок 2.5) (в дальнейшем – автомобильных весов) определяли часть веса  $F_2$  трактора, приходящуюся на переднюю ось трактора. Согласно проведенным замерам данный параметр составил  $F_2 = 32814$  Н (3345 кг).

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

$$\bar{x} = \frac{2700 \cdot 3345}{5575} = 1620 \text{ мм.}$$

Для определения вертикальной координаты необходимо определить реакцию, действующую на заднюю ось трактора, стоящего под углом 20-25°. Для этого задние колеса трактора устанавливались на специальную платформу, высота которой  $H$  (рисунок 2.6) вместе с весами составляла 1141 мм. Угол наклона трактора  $\alpha$  при этом составлял 25°.



Рисунок 2.5 – Весы автомобильные переносные «Мера ВП-10».

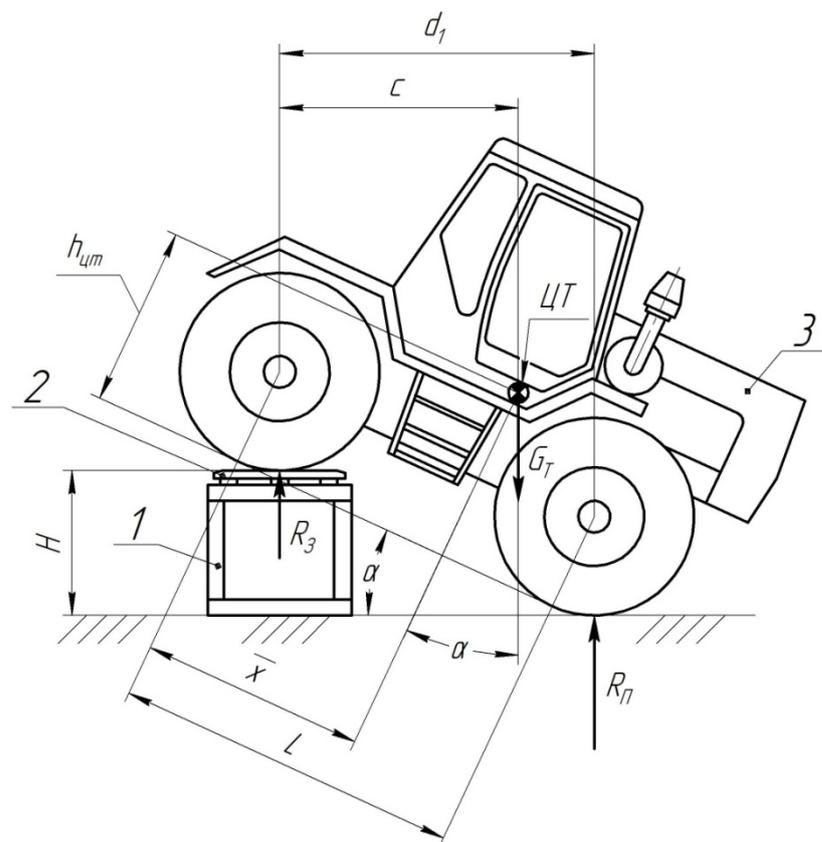


Рисунок 2.6 – Схема к определению расположения центра тяжести трактора РТМ-160: 1 – платформа; 2 – автомобильные переносные весы; 3 – трактор РТМ-16; ЦТ – центр тяжести трактора.

Вертикальная координата центра тяжести трактора  $h_{цт}$  (рисунок 2.5) определится как:

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

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

Для определения горизонтальной координаты центра тяжести  $c$  рассмотрим равновесие трактора в наклонном положении. Уравнение равновесия будет выглядеть следующим образом:

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

где  $G_T$  – вес трактора, Н;

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

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$$G_T = 5575 \cdot 9,81 = 54691 \text{ Н};$$

$R_3$  – реакция на задние колеса со стороны платформы, Н;

$d_1$  – расстояние в горизонтальной плоскости между осями трактора, стоящего на платформе, мм, определяемое из выражения:

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

$L$  – колесная база трактора, мм;  $L = 2700$  мм (см. рисунок 2.1).

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

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

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

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

Реакция на задние колеса  $R_3$  определялась при помощи автомобильных весов 2 (рисунок 2.5), устанавливаемых на платформе 1. При этом значение

реакции определялось с трехкратной повторяемостью, после чего было взято среднее арифметическое значение реакции  $R_3 = 10173 \text{ Н}$  (1037 кг).

Вертикальная координата центра тяжести по формуле (2.10):

$$h_{\text{цт}} = \left( \frac{(54691 - 10173) \cdot 2700}{54691} - 1620 \right) \cdot \text{ctg } 25^\circ = 1239 \text{ мм.}$$

Горизонтальную поперечную координату центра тяжести  $\bar{y}$  определяли по формуле (2.4). Для этого при помощи автомобильных весов определяли реакцию  $F_4$ , действующую на левое колесо трактора, среднее значение которой составило 27105 Н (2763 кг). После этого по формуле (2.3) определяли расстояние  $b$ :

$$b = \frac{1800 \cdot 2763}{5575} = 892 \text{ мм.}$$

Координата  $\bar{y}$  по формуле (2.4):

$$y = \frac{1800}{2} - 892 = 8 \text{ мм.}$$

Таким образом, центр тяжести трактора РТМ-160 имеет следующие координаты:

- горизонтальная продольная координата (относительно задней оси)  
 $\bar{x} = 1620 \text{ мм}$ ;
- горизонтальная поперечная координата центра тяжести (согласно рисунка 2.4)  $\bar{y} = 8 \text{ мм}$ ;
- вертикальная координата центра тяжести  $h_{\text{цт}} = 1239 \text{ мм}$ .

*Определение расположения центров тяжести полурам  
трактора К-700А*

Трактор К-700А колесный, сельскохозяйственный, общего назначения, повышенной проходимости, тягового класса 50 кН. Предназначен для выполнения в агрегате с широкозахватными машинами сельскохозяйственных (вспашка и глубокое рыхление почвы, культивация, дискование, боронование, лущение стерни, посев, снегозадержание), транспортных, дорожно-строительных, мелиоративных, землеройных и других работ.

Эксплуатационная масса трактора в снаряженном состоянии составляет 12850 кг. Основные размеры трактора представлены на рисунке 2.7.

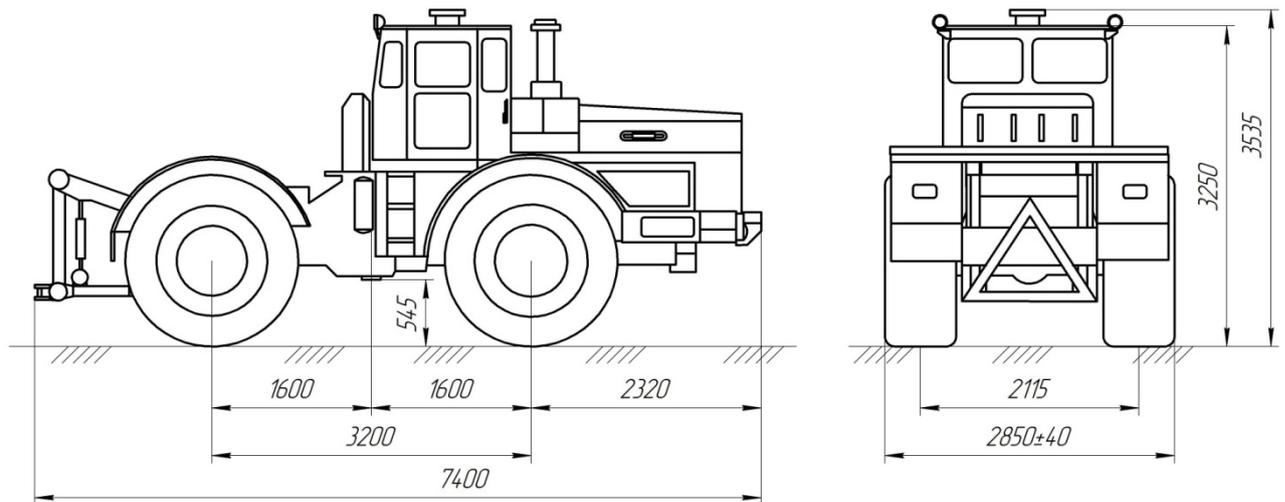


Рисунок 2.7 – Основные размеры трактора К-700А.

Трактор комплектуется шинами размерности 28,1R26, которая имеет ширину профиля 750 мм, наружный диаметр шины составляет 1750 мм.

В связи с тем, что трактор К-700А выполнен по компоновке с шарнирно сочлененной рамой, две полурамы имеют возможность относительного поворота полурам (в горизонтальной плоскости до  $35^\circ$  и в поперечной вертикальной плоскости вокруг продольного шарнира до  $16^\circ$  [112]). При этом до определенного момента (до упора в ограничительные кронштейны) две полурамы трактора ведут себя как две отдельные части. В связи с этим для определения предельных статических углов продольной и поперечной устойчивости необходимо знание массы передней и задней частей (полурам) трактора, а также координат их центров тяжести. С этой целью были проведены соответствующие исследования (раздел 4.1), которые позволили определить указанные параметры.

## 2.2 Определение расположения центров тяжести газобаллонного оборудования

Для переоборудования трактора РТМ-160 для работы по газодизельному циклу использовались цельнометаллические баллоны БТ-81-20-320/1250 производства Орского машиностроительного завода [65]. Емкость каждого баллона – 80 л, длина баллона – 1250 мм, диаметр баллона – 320 мм. Общее

количество баллонов – 8 шт. Общая вместимость баллонов – 640 л. Для крепления баллонов на тракторе использовалась специальная кассета, представляющая собой сборную металлическую конструкцию из труб квадратного сечения с ложементами для крепления баллонов. Масса каждого пустого баллона составляет 56,8 кг, масса баллона, заправленного газом – 70,7 кг. Масса кассеты для установки баллонов – 55 кг. Масса кассеты в сборе с баллонами, полностью заправленными газом, равна 628 кг.

При переоборудования трактора К-700А были использованы 24 цельнометаллических баллона производства Первоуральского новотрубного завода емкостью 50 л каждый. Длина баллона – 1755 мм, диаметр баллона – 219 мм. Масса пустого баллона – 76,2 кг, масса баллона, заправленного газом – 85 кг. Масса кассеты для установки баллонов – 72 кг. Масса полностью заправленных баллонов вместе с кассетой – 2112 кг.

Для определения положения центра тяжести газобаллонного оборудования, включающего кассету и баллоны, использовалась методика, изложенная в [119]. Согласно данной методике координаты центра тяжести агрегата, состоящего из нескольких составных элементов, определяются из условия равенства моментов их сил тяжести относительно центра тяжести всего агрегата. При этом выражение для определения соответствующей координаты центра тяжести кассеты  $x_T$ , мм, в целом запишется как:

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

где  $G_i$  – вес  $i$ -го элемента, входящего в состав агрегата, Н;

$x_i$  – соответствующая координата центра тяжести  $i$ -го элемента, мм.

В процессе определения расположения центра тяжести кассета разбивалась на более простые элементы, баллоны, а также две межрамные балки. В данном случае массой газопроводов и газовой топливной аппаратуры можно пренебречь ввиду из пренебрежимо малой массы по сравнению с указанными элементами.

Результаты определения координат центра тяжести кассеты представлены на рисунке 2.8.

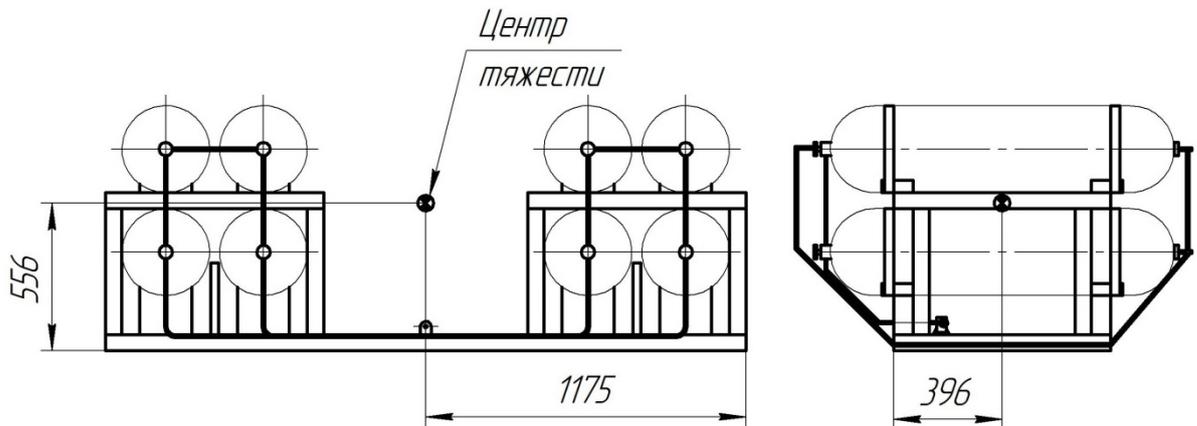


Рисунок 2.8 – Координаты центра тяжести кассеты газовых баллонов трактора РТМ-160М.

Аналогичным образом определялись координаты центра тяжести газовых баллонов, использованных для переоборудования трактора К-700А (рисунок 2.9).

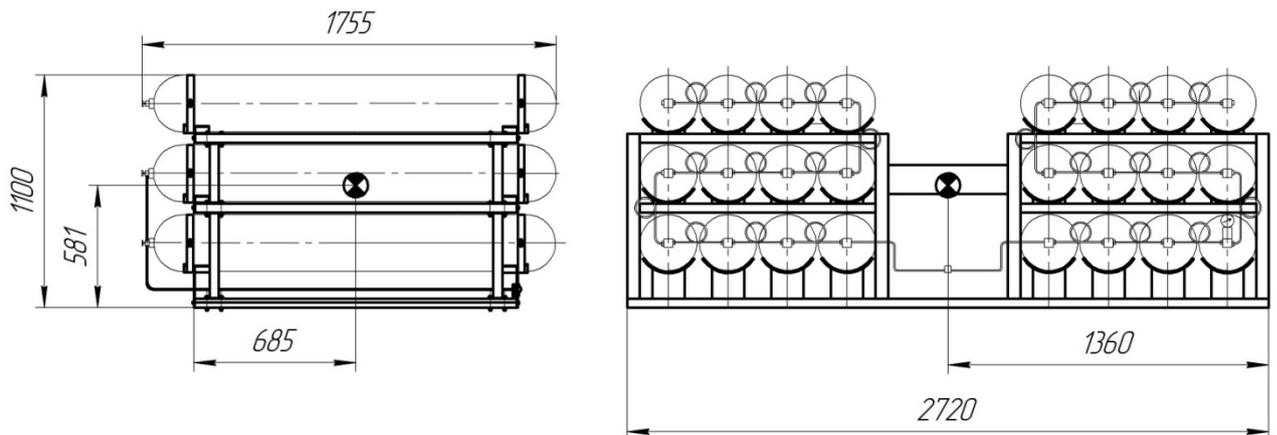


Рисунок 2.9 – Координаты центра тяжести кассеты газовых баллонов трактора К-700А.

### 2.3 Определение расположения центра тяжести плуга ПЛН-8-35

Тракторы сельскохозяйственного назначения в большинстве случаев используются в качестве энергетических средств для проведения различных работ. При этом для осуществления технологического процесса используются различные сельскохозяйственные орудия, которые могут быть как прицепными, так и навесными. При этом используемые орудия могут значительно изменить

распределение масс машинно-тракторного агрегата и, как следствие, его устойчивость в целом. Особенно это актуально для сельскохозяйственных орудий, у которых центр тяжести смещен относительно продольной оси трактора. К таким орудиям относится навесной плуг ПЛН-8-35, используемый в агрегате с трактором К-700А.

Плуг лемешный навесной ПЛН-8-35 предназначен для пахоты под зерновые и технические культуры на глубину до 30 см почв, не засорённых камнями, плитняком и другими препятствиями, с удельным сопротивлением до 0,09 МПа (0,9 кг/см<sup>2</sup>), твёрдостью до 3,0 МПа (30 кг/см<sup>2</sup>) и влажностью 12-15 %.

Габаритные размеры плуга, мм: длина – 6730±200; ширина – 3475±100; высота 1680±50. Масса плуга – 1735±52 кг.

Для определения расположения центра тяжести плуга при помощи программы «Компас 3D-V14» была создана 3D-модель плуга, на основе которой были определены основные масс-центровочные характеристики плуга (рисунок 2.10).

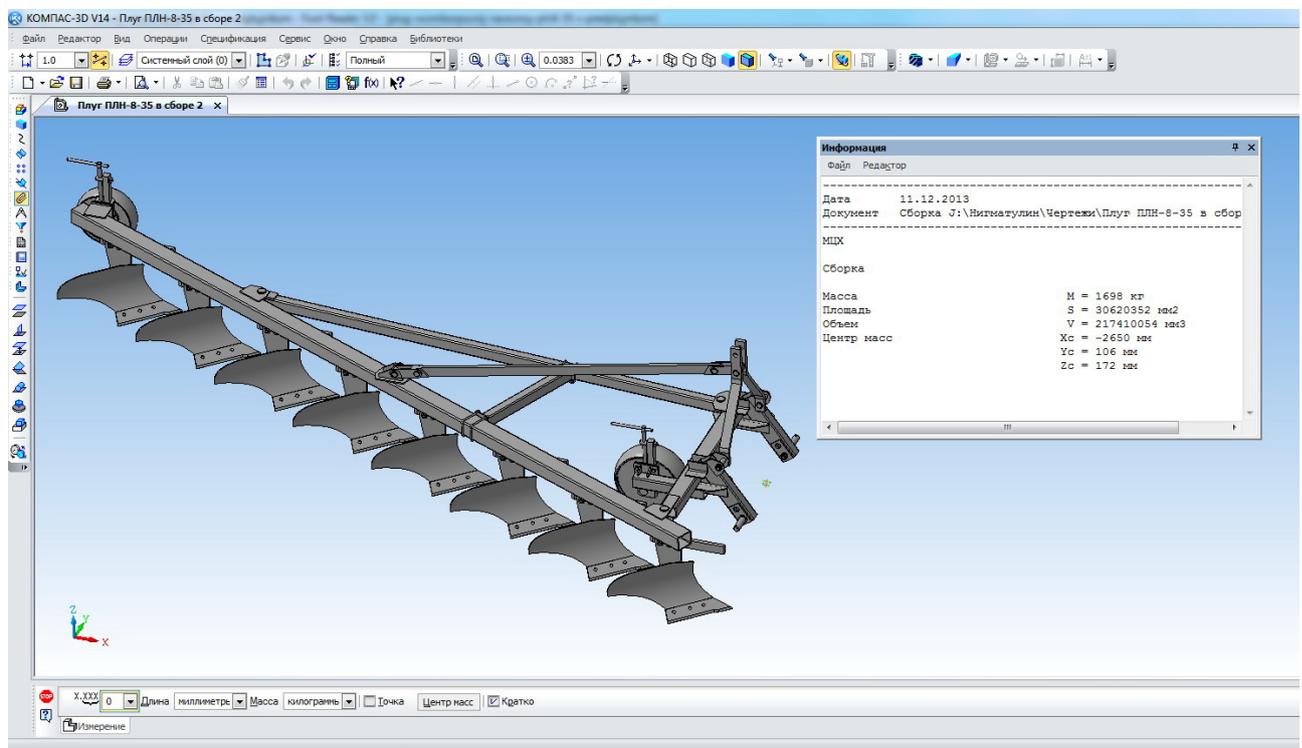


Рисунок 2.10 – Масс-центровочные характеристики плуга ПЛН-8-35.

В качестве точки отсчета для определения координат центра тяжести плуга была выбрана точка, расположенная на оси пальцев навески плуга на равном расстоянии от каждого пальца (рисунок 2.11).

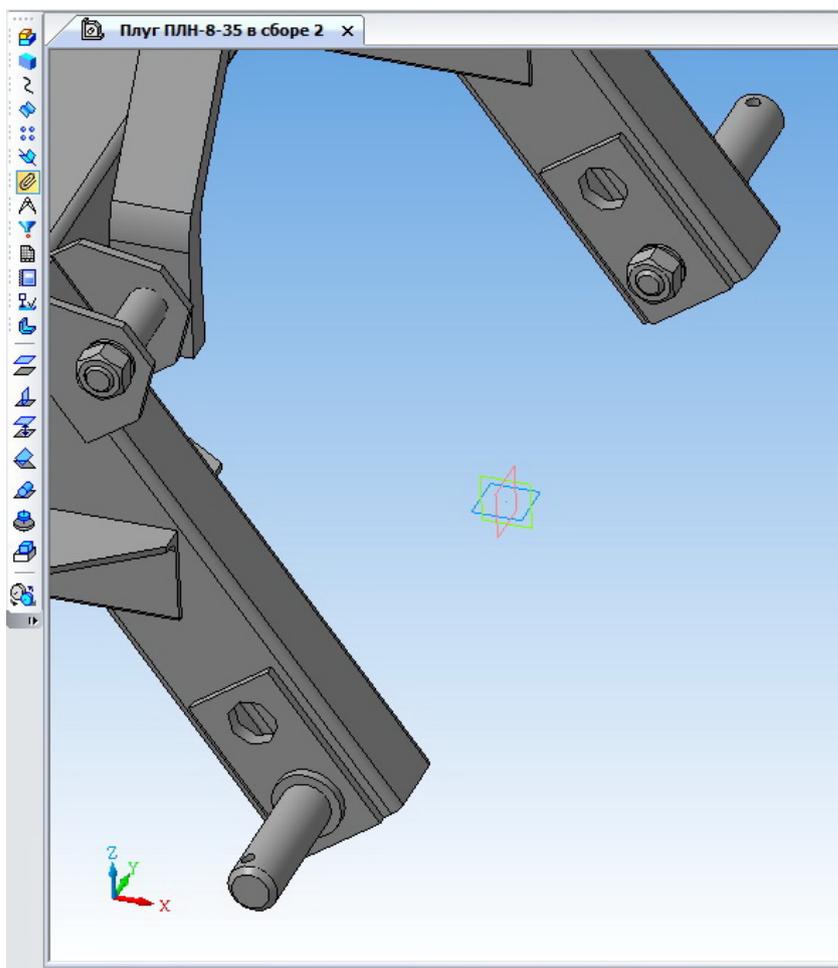


Рисунок 2.11 – Расположение координатных плоскостей при определении масс-центровочных характеристик плуга ПЛН-8-35.

Как показано на рисунке 2.10, координаты центра тяжести плуга ПЛН-8-35 относительно точки отсчета (рисунок 2.11):

- продольная координата  $X = - 2650$  мм;
- поперечная координата  $Y = 106$  мм;
- вертикальная координата  $Z = 172$  мм.

Таким образом нами были определены координаты центров тяжести тракторов, газобаллонного оборудования и плуга, необходимые для проведения дальнейшего расчета предельных статических углов устойчивости тракторов и машинно-тракторного агрегата.

## 2.4 Определение предельных статических углов устойчивости

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.

В общем случае опрокидывание представляет собой вращательное движение трактора относительно некоторой оси, называемой осью опрокидывания, то есть это такой поворот трактора вокруг оси опрокидывания, при котором выполняется неравенство (2.12) [45]:

$$M_{\text{ОПР}} \geq M_{\text{СТАБ}}, \quad (2.12)$$

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, около которой возможен поворот трактора в вертикальной плоскости на некоторый угол [45].

Продольная устойчивость против опрокидывания вперед или назад – это свойство трактора сопротивляться опрокидывающему движению вокруг поперечной оси опрокидывания [45]. Причем, прежде чем произойдет опрокидывание трактора, происходит перераспределение опорных реакций между осями трактора до того момента, когда одна из них станет равной нулю. В этот момент суммарный вектор сил тяжести компонентов трактора проходит через ось возможного опрокидывания. При этом наибольший угол подъема, при котором заторможенный трактор может стоять, не опрокидываясь, называется предельным статическим углом подъема  $\alpha_{lim\text{под}}$ . Аналогично трактуются предельные статические углы уклона ( $\alpha_{lim\text{ук}}$ ) и поперечного уклона ( $\beta_{lim\text{ук}}$ ).

### 2.4.1 Обоснование компоновки газобаллонного оборудования на тракторе РТМ-160

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. В этом случае значительно повышается центр тяжести (вследствие высокого расположения баллонов). На тракторе РТМ-160 также имеется возможность установки газовых баллонов над задней осью трактора. Такой способ установки в меньшей степени увеличивает центр тяжести трактора в целом, но при этом может нарушаться обзорность назад с места водителя. Поэтому в данном случае целесообразно провести сравнительную оценку различного расположения баллонов на тракторе.

Для этого сначала рассмотрим равновесие трактора РТМ-160, оснащенного газобаллонным оборудованием, установленного на подъеме (рисунок 2.12).

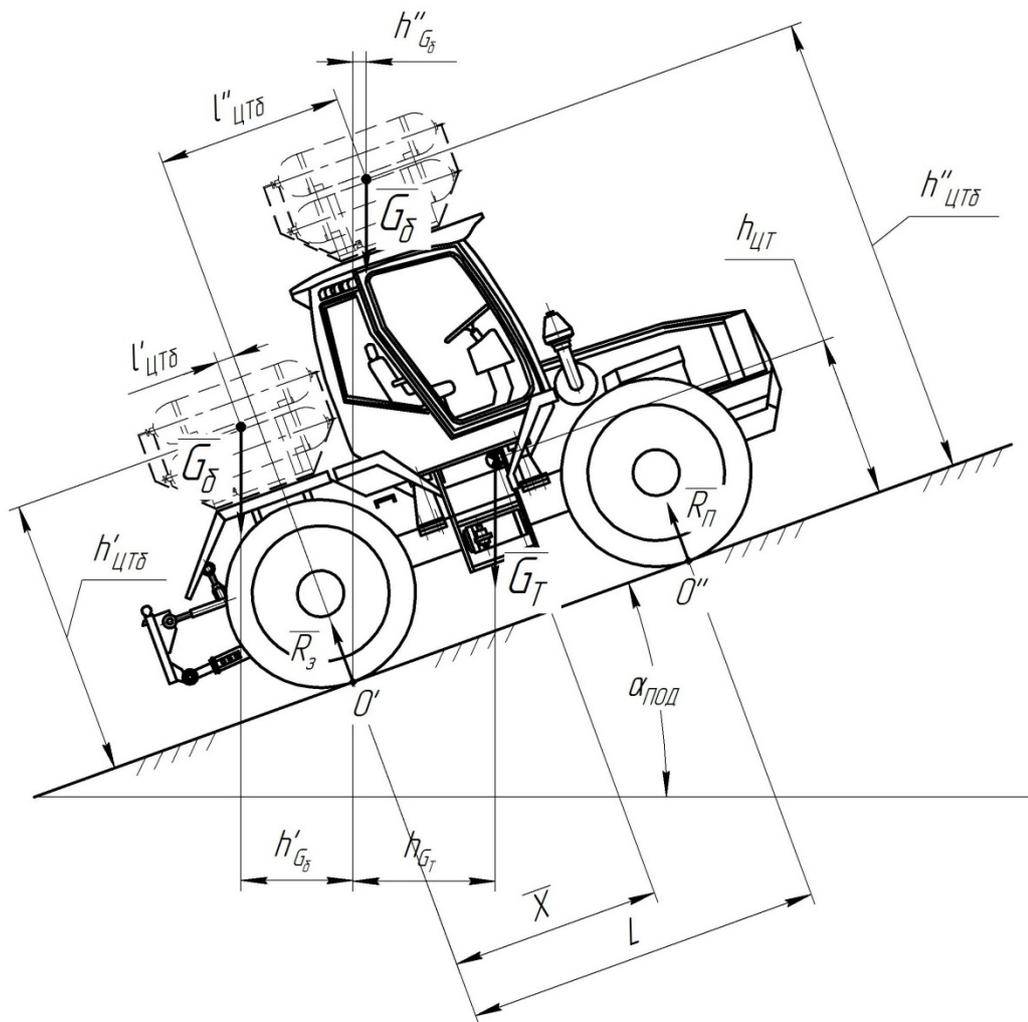


Рисунок 2.12 – Схема к определению предельного статического угла подъема трактора РТМ-160 при различной компоновке газобаллонного оборудования.

В общем случае на трактор действуют силы тяжести  $\overline{G}_T$  (обусловленная массой трактора) и  $\overline{G}_B$  (обусловленная массой баллонов).

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

При расположении баллонов над задней осью трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T \cdot h_{G_T} + G_B \cdot h'_{G_6} + R_{II} \cdot L = 0, \quad (2.13)$$

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

$$h_{G_T} = \bar{x} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ЦТ}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.14)$$

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

$h'_{G_6}$  – плечо приложения силы тяжести баллонов  $\overline{G}_B$  при их установке над задней осью трактора, мм;

$$h'_{G_6} = l'_{\text{ЦТ6}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} + h'_{\text{ЦТ6}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.15)$$

$l'_{\text{ЦТ6}}$  – горизонтальная координата центра тяжести баллонов, установленных над задней осью трактора, мм; согласно замерам, проведенным непосредственно на тракторе,  $l'_{\text{ЦТ6}} = 136$  мм;

$h'_{\text{ЦТ6}}$  – вертикальная координата центра тяжести баллонов, установленных над задней осью трактора, мм; согласно замерам

$h'_{\text{ЦТ6}} = 2135$  мм;

$L$  – колесная база трактора, м;  $L = 2700$  мм (рисунок 2.1).

При расположении баллонов на крыше трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; \quad -G_T \cdot h_{G_T} - G_B \cdot h''_{G_6} + R_{II} \cdot L = 0, \quad (2.16)$$

где  $h''_{G_6}$  – плечо приложения силы тяжести баллонов  $\overline{G}_B$  при их установке на крыше трактора, мм;

$$h''_{G_6} = l''_{\text{ЦТ6}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h''_{\text{ЦТ6}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.17)$$

$l''_{\text{ЦГ6}}$  – горизонтальная координата центра тяжести баллонов, установленных на крыше трактора, мм; согласно замерам  $l''_{\text{ЦГ6}} = 1416$  мм;

$h'_{\text{ЦГ6}}$  – вертикальная координата центра тяжести баллонов, установленных на крыше трактора, мм;  $h'_{\text{ЦГ6}} = 3598$  мм.

В момент опрокидывания трактора реакция со стороны опорной поверхности на переднюю ось  $\bar{R}_{\text{П}}$  равна нулю. При этом угол подъема  $\alpha_{\text{ПОД}}$  равен предельному статическому углу подъема  $\alpha_{\text{limПОД}}$ . Тогда выражения для определения предельного статического угла подъема с учетом (2.14), (2.15), (2.17) запишутся в следующем виде:

– при установке баллонов над задней осью трактора:

$$\alpha'_{\text{limПОД}} = \arctg \frac{G_{\text{Т}} \cdot \bar{x} - G_{\text{Б}} \cdot l'_{\text{ЦГ6}}}{G_{\text{Т}} \cdot h_{\text{ЦТ}} + G_{\text{Б}} \cdot h'_{\text{ЦГ6}}}, \quad (2.18)$$

– при установке баллонов на крыше трактора:

$$\alpha''_{\text{limПОД}} = \arctg \frac{G_{\text{Т}} \cdot \bar{x} + G_{\text{Б}} \cdot l''_{\text{ЦГ6}}}{G_{\text{Т}} \cdot h_{\text{ЦТ}} + G_{\text{Б}} \cdot h''_{\text{ЦГ6}}}, \quad (2.19)$$

Для определения предельных статических углов уклонов трактора при различных вариантах расположения газовых баллонов рассмотрим равновесие трактора, стоящего на уклоне (рисунок 2.13).

В общем случае уравнение равновесия относительно предполагаемой оси опрокидывания  $O''$  будет иметь вид:

$$\sum M_{O''}(F_i) = 0; \quad G_{\text{Т}} \cdot h_{G_{\text{Т}}} + G_{\text{Б}} \cdot h_{G_{\text{Б}}} - R_3 \cdot L = 0, \quad (2.20)$$

где  $h_{G_{\text{Б}}}$  – плечо приложения силы тяжести баллонов  $\bar{G}_{\text{Б}}$  при различных вариантах их установки (над задней осью или на крыше), мм.

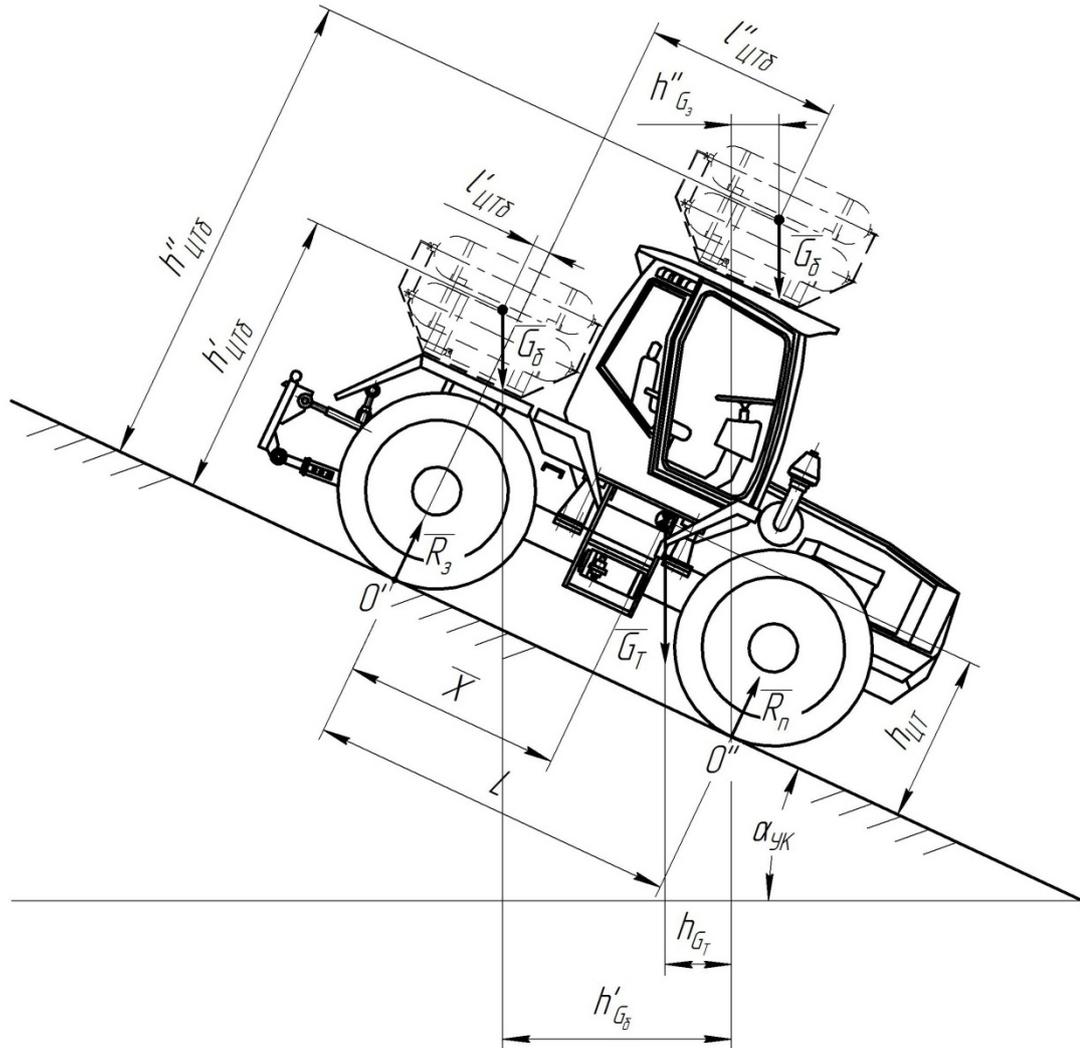


Рисунок 2.13 – Схема к определению предельного статического угла уклона трактора РТМ-160 при различной компоновке газобаллонного оборудования.

Плечи приложения соответствующих сил тяжести определяются из выражений

$$h_{G_T} = (L - \bar{x}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h_{ЦТ} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.21)$$

$$h'_{G_6} = (L + l'_{ЦТ6}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h'_{ЦТ6} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.22)$$

$$h''_{G_6} = (L - l''_{ЦТ6}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h''_{ЦТ6} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.23)$$

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  $\alpha_{limук}$ . Таким образом, учитывая (2.21)-

(2.23), получаем выражения для определения предельного статического угла уклона:

– при установке баллонов над задней осью трактора:

$$\alpha'_{limУК} = \arctg \frac{(G_T + G_B) - G_T \cdot \bar{x} + G_B \cdot l'_{ЦТб}}{G_T \cdot h_{ЦТ} + G_B \cdot h'_{ЦТб}}, \quad (2.24)$$

– при установке баллонов на крыше трактора:

$$\alpha''_{limУК} = \arctg \frac{(G_T + G_B) - G_T \cdot \bar{x} - G_B \cdot l''_{ЦТб}}{G_T \cdot h_{ЦТ} + G_B \cdot h''_{ЦТб}}, \quad (2.25)$$

Для определения предельного статического угла уклона трактора  $\beta_{lim}$  необходимо рассмотреть равновесие трактора, стоящего на поперечном уклоне (рисунок 2.14)

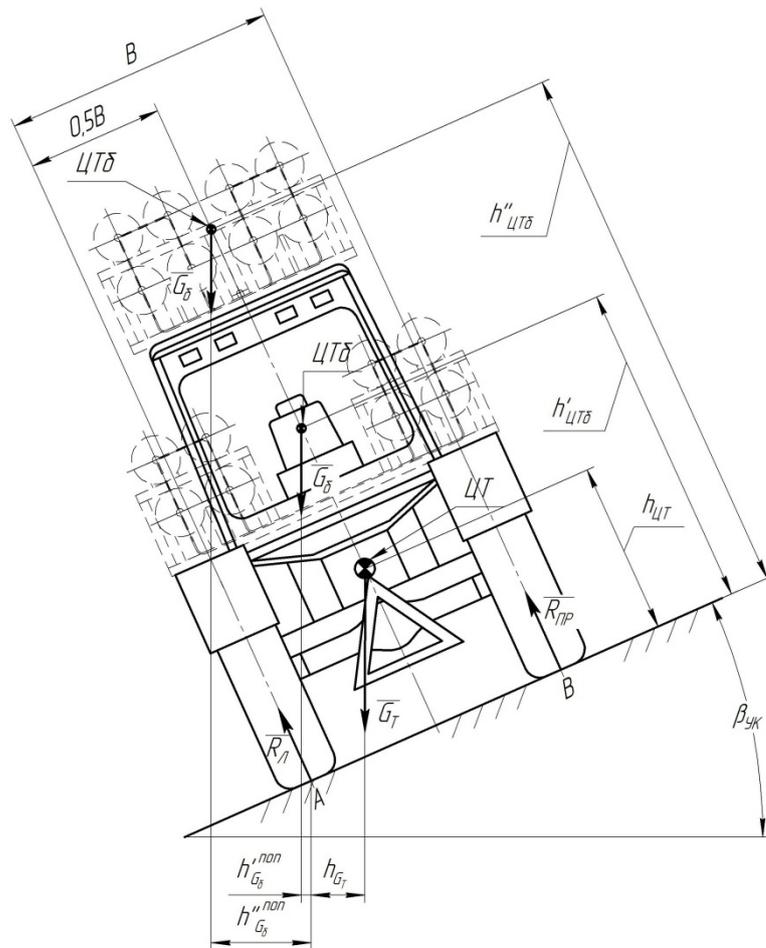


Рисунок 2.14 – Схема к определению предельного поперечного статического угла уклона трактора РТМ-160 при различной компоновке газобаллонного оборудования.

Составим уравнение моментов всех сил, действующих на трактор, относительно оси опрокидывания  $A$ . При этом, как и в случае предельных продольных углов опрокидывания, трактор будем первоначально рассматривать при бесконечно малом угле поперечного уклона:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_{\text{ПР}} \cdot B - G_T \cdot h_{G_T}^{\text{поп}} - G_B \cdot h_{G_B}^{\text{поп}} = 0, \quad (2.26)$$

где  $R_{\text{ПР}}$  – реакция со стороны опорной поверхности, приходящаяся на заднее правое колесо, Н;

$h_{G_T}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести трактора  $\bar{G}_T$  на поперечном уклоне, мм.

$h_{G_B}^{\text{поп}}$  – плечо приложения силы тяжести баллонов  $\bar{G}_B$  на поперечном уклоне при различных вариантах их установки (над задней осью или на крыше), мм.

Плечи приложения соответствующих сил определяются из выражений:

$$h_{G_T}^{\text{поп}} = (0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{УК}} - h_{\text{ЦТ}} \cdot \sin \beta_{\text{УК}}), \quad (2.27)$$

$$h_{G_B}^{\prime \text{поп}} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{УК}} - h_{\text{ЦТб}} \cdot \sin \beta_{\text{УК}}, \quad (2.28)$$

$$h_{G_B}^{\prime \prime \text{поп}} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{\text{УК}} - h_{\text{ЦТб}} \cdot \sin \beta_{\text{УК}}, \quad (2.29)$$

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

В момент начала опрокидывания реакция со стороны опорной поверхности, на которой установлен трактор,  $R_{\text{ПР}}$  равна нулю. Причем в этот момент значение угла  $\beta_{\text{УК}}$  будет равно предельному значению угла поперечной устойчивости  $\beta_{\text{limУК}}$ . С учетом этого получим выражение для определения предельного статического поперечного угла уклона трактора:

$$\beta_{\text{limУК}} = \arctg \frac{0,5 \cdot B \cdot (G_T + G_B)}{G_T \cdot h_{\text{ЦТ}} + G_B \cdot h_{\text{ЦТб}}}, \quad (2.30)$$

Полученные таким образом выражения (2.18), (2.19), (2.24), (2.25) и (2.30) позволяют определить предельные статические углы устойчивости трактора при различном расположении газобаллонного оборудования. Также при помощи них можно определить предельные статические углы устойчивости трактора без

баллонов, если принять массу баллонов равной нулю. Результаты расчета предельных статических углов устойчивости трактора РТМ-160 представлены на рисунке 2.15.

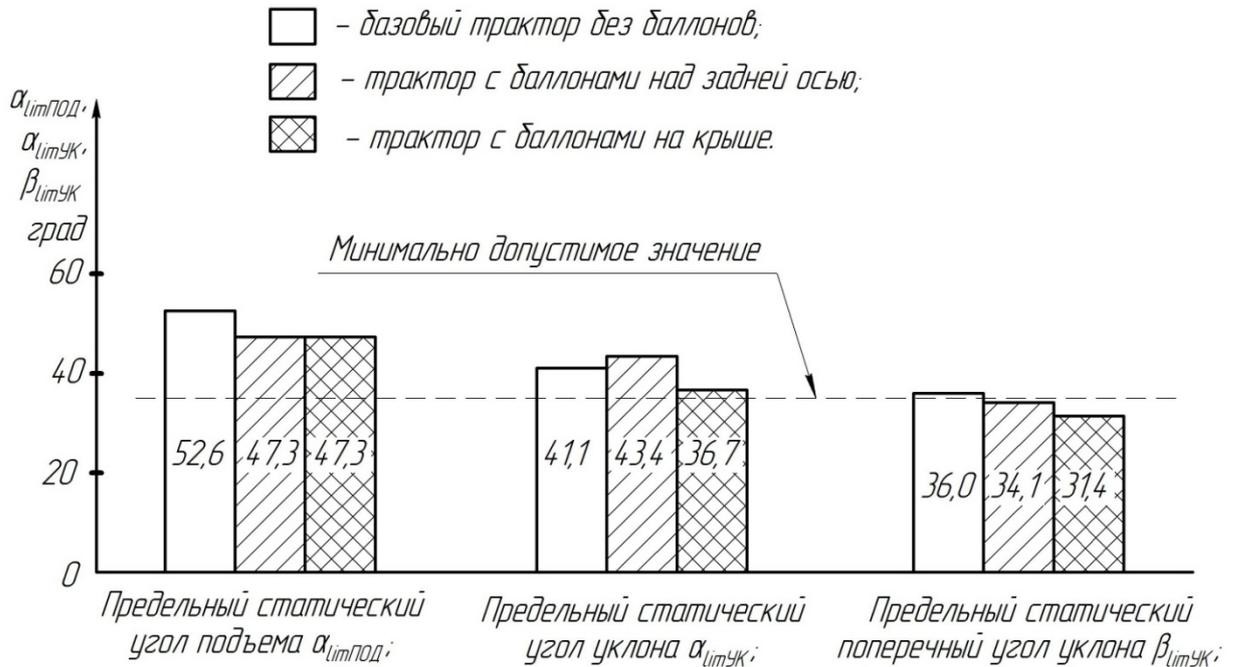


Рисунок 2.15 – Предельные статические углы устойчивости при различной компоновке газобаллонного оборудования.

Как видно из диаграммы, представленной на рисунке 2.15, установка газовых баллонов незначительно снижает предельный статический угол подъема трактора  $\alpha_{\text{limпод}}$ . Причем место установки газовых баллонов не оказывает влияния на данный угол устойчивости трактора (угол в обоих случаях снижается с 52,6 до 47,3 град).

На уклоне установка газовых баллонов над задней осью трактора несколько повышает (с 41,1 до 43,4 град) предельный статический угол продольного уклона  $\alpha_{\text{limук}}$ . В то же время при установке газовых баллонов на крыше предельный статический угол уклона трактора значительно снижается (до 36,7 град).

На поперечном уклоне в обоих случаях установка газовых баллонов приводит к уменьшению предельного статического угла поперечного уклона трактора  $\beta_{\text{limук}}$ . Однако при установке газовых баллонов над задней осью трактора предельный статический поперечный угол уклона уменьшается гораздо меньше (с

36 до 34,1 град) по сравнению с установкой баллонов на крыше (угол уменьшается до 31,4 град).

Таким образом, при переводе трактора РТМ-160 на газодизельный цикл, баллоны наиболее целесообразно устанавливать над задней осью трактора, так как это практически не ухудшает устойчивость трактора.

## 2.4.2 Определение предельных статических углов устойчивости трактора К-700А в агрегате с плугом ПЛН-8-35

### *Определение предельного статического угла подъема*

Вследствие того, что трактор К-700А имеет шарнирно сочлененную раму, при которой имеется возможность относительного поворота полурам (в горизонтальной плоскости до  $35^\circ$  и в поперечной вертикальной плоскости вокруг продольного шарнира до  $16^\circ$  [112]). Причем до упора в ограничительные кронштейны две полурамы трактора ведут себя как две отдельные части.

С учетом сказанного рассмотрим равновесие машинно-тракторного агрегата (МТА), стоящего на подъеме (рисунок 2.16).

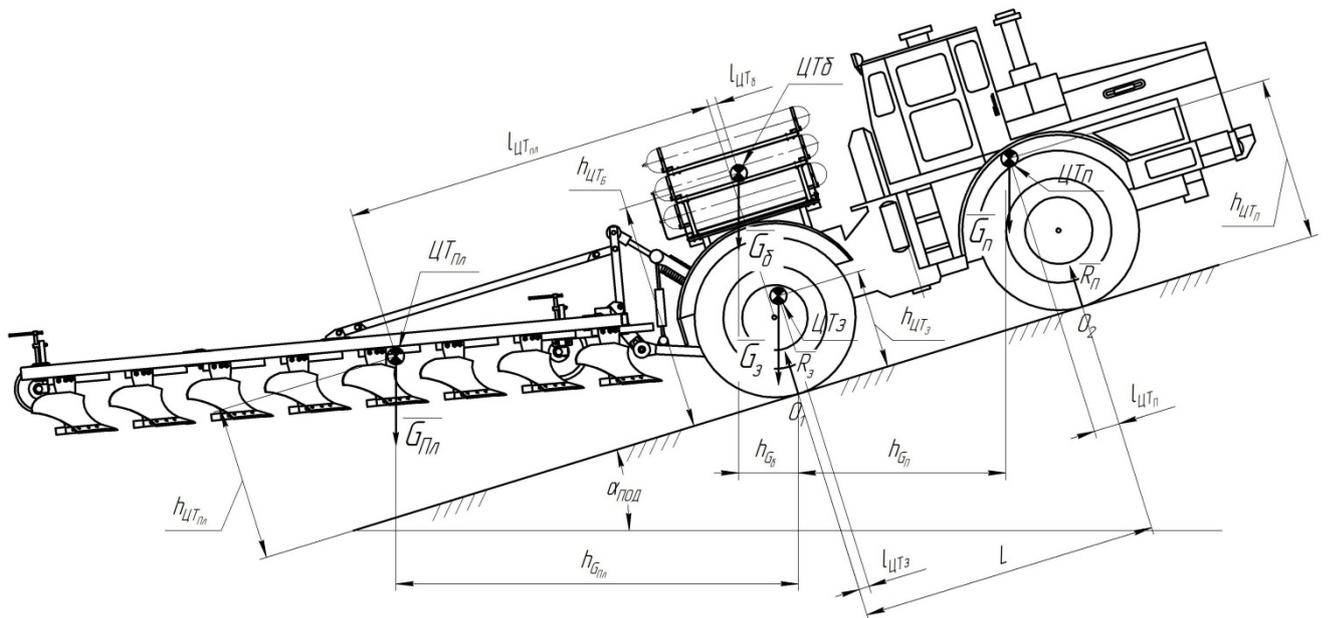


Рисунок 2.16 – Схема к определению предельного статического угла подъема машинно-тракторного агрегата.

Для этого составим уравнение равновесия МТА относительно предполагаемой оси опрокидывания трактора (точка  $O_1$ ).

$$\sum M_{O_1}(F_i) = 0: -G_{\text{П}} \cdot h_{G_{\text{П}}} - G_3 \cdot h_{G_3} - G_{\text{Б}} \cdot h_{G_{\text{Б}}} + G_{\text{Пл}} \cdot h_{G_{\text{Пл}}} + R_{\text{П}} \cdot L = 0, \quad (2.31)$$

где  $h_{G_{\text{П}}}$  – плечо приложения силы тяжести передней полурамы

трактора  $\bar{G}_{\text{П}}$ , м;

$h_{G_3}$  – плечо приложения силы тяжести задней полурамы

трактора  $\bar{G}_3$ , м;

$h_{G_{\text{Б}}}$  – плечо приложения силы тяжести газобаллонной

аппаратуры  $\bar{G}_{\text{Б}}$ , м;

$h_{G_{\text{Пл}}}$  – плечо приложения силы тяжести плуга  $\bar{G}_{\text{Пл}}$ , м;

$L$  – колесная база трактора, м;  $L = 3200$  мм [112].

Согласно рисунка 2.19 имеем:

$$h_{G_{\text{П}}} = L \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - l_{\text{ЦТП}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ЦТП}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.32)$$

$$h_{G_3} = l_{\text{ЦТЗ}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ЦТЗ}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.33)$$

$$h_{G_{\text{Б}}} = l_{\text{ЦТБ}} \cdot \cos \alpha_{\text{ПОД}} - h_{\text{ЦТБ}} \cdot \sin \alpha_{\text{ПОД}}, \quad (2.34)$$

где  $\alpha_{\text{ПОД}}$  – угол подъема, на котором установлен трактор, град;

$l_{\text{ЦТБ}}$  и  $h_{\text{ЦТБ}}$  – соответственно горизонтальная и вертикальная

координаты центра тяжести кассеты баллонов трактора,

заправленных газом, м; согласно проведенным выше расчетам и

результатам замеров, проведенных непосредственно на тракторе,

$l_{\text{ЦТБ}} = 209$  мм;  $h_{\text{ЦТБ}} = 2421$  мм.

Для определения расположения центра тяжести трактора плуга относительно предполагаемой оси опрокидывания  $O_I$  рассмотрим схему, представленную на рисунке 2.17.

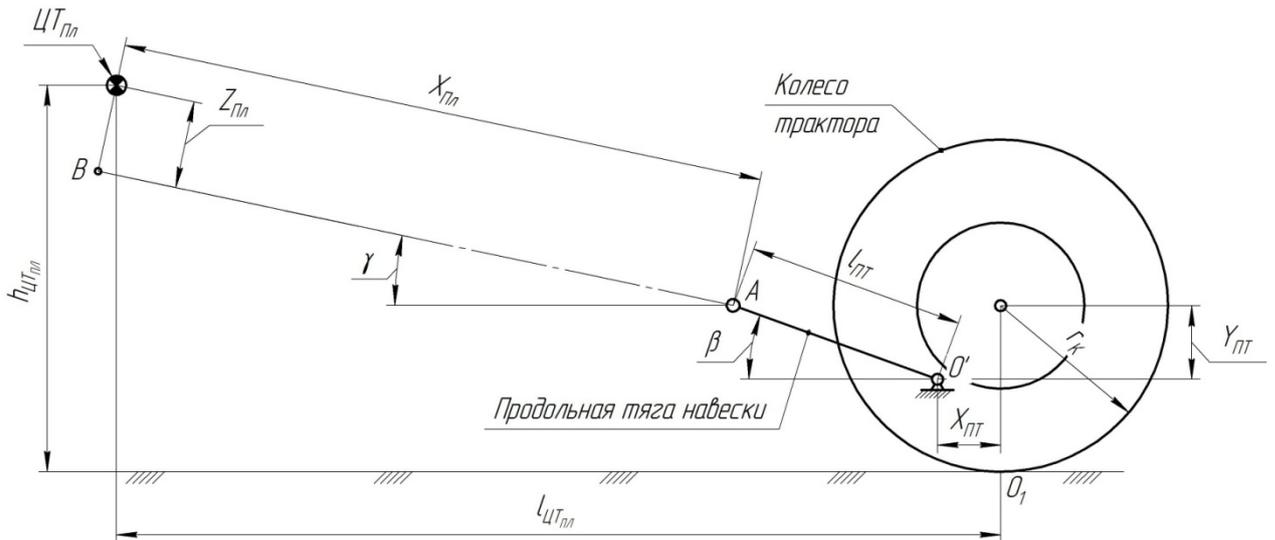


Рисунок 2.17 – Схема к определению расположения центра тяжести плуга.

Продольная координата центра тяжести плуга  $l_{ЦТ_{Пл}}$ , мм, определится по формуле:

$$l_{ЦТ_{Пл}} = X_{ПТ} + l_{ПТ} \cdot \cos \beta + X_{Пл} \cdot \cos \gamma - Z_{Пл} \cdot \sin \gamma, \quad (2.35)$$

где  $X_{ПТ}$  – горизонтальная координата оси продольной тяги навески, мм;  $X_{ПТ} = 340$  мм;

$l_{ПТ}$  – длина продольной тяги, мм;  $l_{ПТ} = 965$  мм;

$\beta$  – угол наклона продольной тяги навески, град;  $\beta = 21^\circ$ ;

$X_{Пл}$  – продольная координата центра тяжести плуга, мм;  $X_{Пл} = 2650$  мм (раздел 2.1.3);

$\gamma$  – угол наклона плуга в поднятом положении, град;  $\gamma = 12^\circ$ ;

$Z_{Пл}$  – вертикальная координата центра тяжести плуга, мм;  $Z_{Пл} = 172$  мм (раздел 2.1.3).

$$l_{ЦТ_{Пл}} = 340 + 965 \cdot \cos 21^\circ + 2650 \cdot \cos 12^\circ - 172 \cdot \sin 12^\circ = 3797 \text{ мм};$$

Вертикальная координата центра тяжести плуга  $h_{ЦТ_{Пл}}$ , мм, определится по следующей формуле:

$$h_{ЦТ_{Пл}} = r_K - Y_{ПТ} + l_{ПТ} \cdot \sin \beta + X_{Пл} \cdot \sin \gamma + Z_{Пл} \cdot \cos \gamma, \quad (2.36)$$

где  $Y_{ПТ}$  – вертикальная координата оси продольной тяги навески, мм;

$Y_{ПТ} = 350$  мм.

$$h_{ЦТ_{Пл}} = 875 - 350 + 965 \cdot \sin 21^\circ + 2650 \cdot \sin 12^\circ + 172 \cdot \cos 12^\circ = 1590 \text{ мм};$$

Плечо приложения силы тяжести плуга  $\bar{G}_{Пл}$  при определении предельного статического угла подъема трактора определится по формуле:

$$h_{G_{Пл}} = l_{ЦТ_{Пл}} \cdot \cos \alpha_{ПОД} + h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \alpha_{ПОД}, \quad (2.37)$$

С учетом (2.32-2.34, 2.37) уравнение (2.31) принимает вид:

$$\begin{aligned} & -G_{П} \cdot (L \cdot \cos \alpha_{ПОД} - l_{ЦТ_{П}} \cdot \cos \alpha_{ПОД} - h_{ЦТ_{П}} \cdot \sin \alpha_{ПОД}) - \\ & -G_3 \cdot (l_{ЦТ_3} \cdot \cos \alpha_{ПОД} - h_{ЦТ_3} \cdot \sin \alpha_{ПОД}) - \\ & -G_Б \cdot (l_{ЦТ_6} \cdot \cos \alpha_{ПОД} - h_{ЦТ_6} \cdot \sin \alpha_{ПОД}) + \\ & + G_{Пл} \cdot (l_{ЦТ_{Пл}} \cdot \cos \alpha_{ПОД} + h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \alpha_{ПОД}) + R_{П} \cdot L = 0, \end{aligned} \quad (2.38)$$

Запишем выражение для реакции на передней оси  $R_{П}$ ,  $H$ , которое запишется как:

$$\begin{aligned} R_{П} = & \frac{(G_{П} \cdot L - G_{П} \cdot l_{ЦТ_{П}} + G_3 \cdot l_{ЦТ_3} + G_Б \cdot h_{ЦТ_6} - G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}) \cdot \cos \alpha_{ПОД}}{L} - \\ & - \frac{(G_{П} \cdot h_{ЦТ_{П}} + G_3 \cdot h_{ЦТ_3} + G_Б \cdot h_{ЦТ_6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}) \cdot \sin \alpha_{ПОД}}{L}; \end{aligned} \quad (2.39)$$

Как было сказано выше, в момент опрокидывания трактора реакция  $R_{П} = 0$ ; причем в этот момент угол подъема равен предельному статическому углу подъема ( $\alpha_{ПОД} = \alpha_{limПОД}$ ). При этом колесная база  $L \neq 0$ . С учетом сказанного выражение (2.39) запишется как:

$$\begin{aligned} & (G_{П} \cdot L - G_{П} \cdot l_{ЦТ_{П}} + G_3 \cdot l_{ЦТ_3} + G_Б \cdot h_{ЦТ_6} - G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}) \cdot \cos \alpha_{ПОД} - \\ & - (G_{П} \cdot h_{ЦТ_{П}} + G_3 \cdot h_{ЦТ_3} + G_Б \cdot h_{ЦТ_6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}) \cdot \sin \alpha_{ПОД} = 0, \end{aligned} \quad (2.40)$$

После некоторых преобразований получаем выражение для определения предельного статического угла подъема трактора  $\alpha_{limПОД}$ :

$$\alpha_{limПОД} = \arctg \frac{G_{П} \cdot (L - l_{ЦТ_{П}}) + G_3 \cdot l_{ЦТ_3} + G_Б \cdot l_{ЦТ_6} - G_{Пл} \cdot l_{ЦТ_{Пл}}}{G_{П} \cdot h_{ЦТ_{П}} + G_3 \cdot h_{ЦТ_3} + G_Б \cdot h_{ЦТ_6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}}, \quad (2.41)$$

Подставив в выражение значение веса баллонов  $G_Б = 0$  или веса плуга  $G_{Пл} = 0$  можно определить значение критического угла подъема трактора без

баллонов или без плуга соответственно. После подстановки численных значений получаем следующие значения предельного угла подъема трактора (МТА):

- для трактора без газовых баллонов и без плуга  $\alpha_{limПОД} = 51,3^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами без плуга  $\alpha_{limПОД} = 44,7^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами с плугом  $\alpha_{limПОД} = 44,7^\circ$ .

#### *Определение предельного статического угла уклона*

Для определения предельного статического угла уклона  $\alpha_{limУК}$  рассмотрим равновесие трактора, установленного на уклоне (рисунок 2.18).

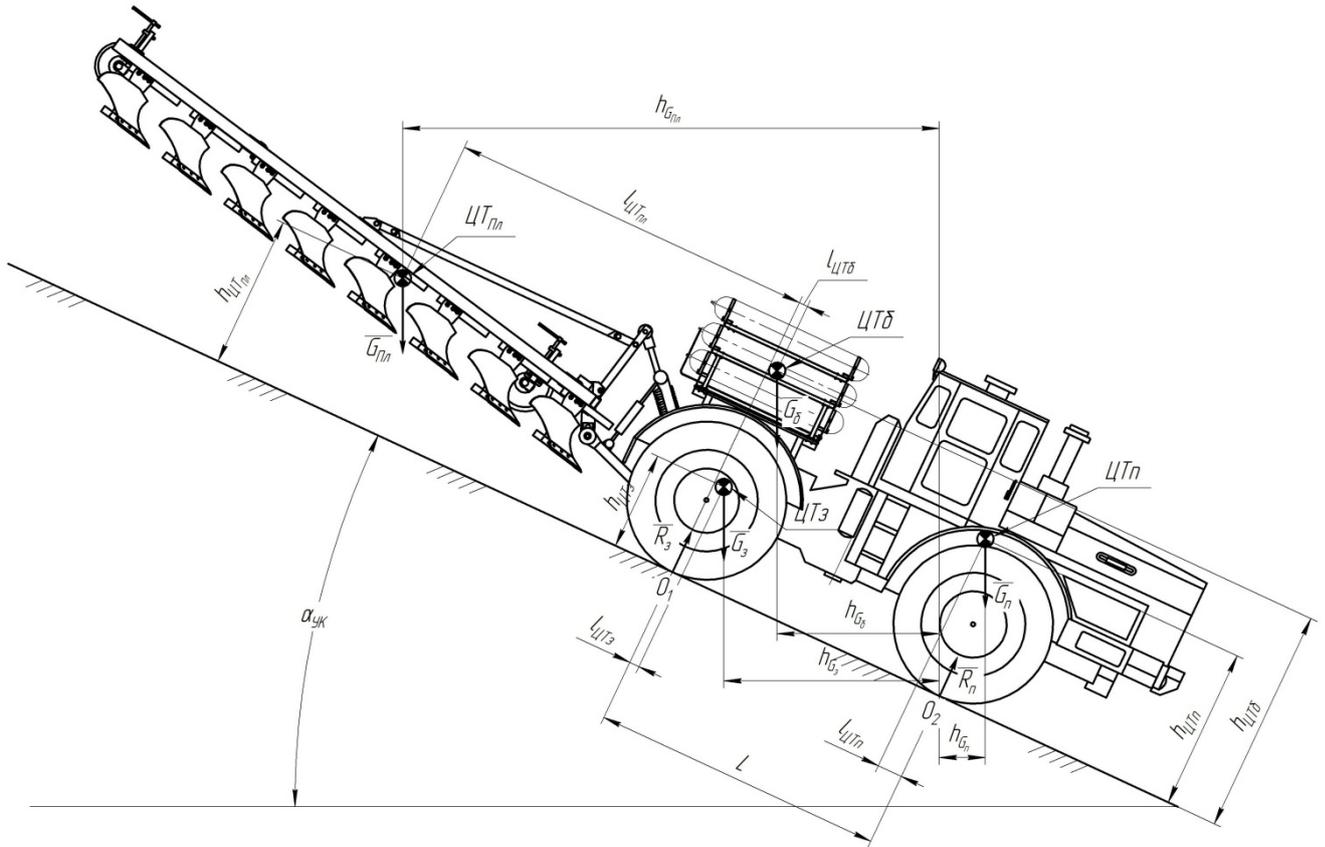


Рисунок 2.18 – Схема к определению предельного статического угла уклона машинно-тракторного агрегата.

Составим уравнение равновесия машинно-тракторного агрегата относительно предполагаемой оси опрокидывания трактора (точка  $O_2$ ).

$$\sum M_{O_2}(F_i) = 0; \quad -R_3 \cdot L + G_{пл} \cdot h_{G_{пл}} + G_3 \cdot h_{G_3} + G_б \cdot h_{G_б} + G_{пл} \cdot h_{G_{пл}} = 0, \quad (2.42)$$

Согласно рисунку 2.21 имеем:

$$h_{G_{пл}} = l_{ЦТ_{пл}} \cdot \cos \alpha_{УК} - h_{ЦТ_{пл}} \cdot \sin \alpha_{УК}, \quad (2.43)$$

$$h_{G_3} = (L - l_{ЦТ3}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h_{ЦТ3} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.44)$$

$$h_{G_б} = (L - l_{ЦТ6}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h_{ЦТ6} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.45)$$

$$h_{G_{пл}} = (L + l_{ЦТ_{пл}}) \cdot \cos \alpha_{ук} - h_{ЦТ_{пл}} \cdot \sin \alpha_{ук}, \quad (2.46)$$

где  $\alpha_{ук}$  – угол уклона, на котором установлен трактор, град.

Проведя преобразования, подобные вышеприведенным, получаем выражение для определения предельного статического угла уклона:

$$\alpha_{limук} = \arctg \frac{G_{п} \cdot l_{ЦТ_{п}} + G_3 \cdot (L - l_{ЦТ3}) + G_б \cdot (L - l_{ЦТ6}) + G_{пл} \cdot (L + l_{ЦТ_{пл}})}{G_{п} \cdot h_{ЦТ_{п}} + G_3 \cdot h_{ЦТ3} + G_б \cdot h_{ЦТ6} + G_{пл} \cdot h_{ЦТ_{пл}}}, \quad (2.47)$$

Подставив численные значения в выражение (2.47), получаем значение предельного статического угла уклона для трактора с баллонами и без них, а также в агрегате с плугом:

- для трактора без газовых баллонов и без плуга  $\alpha_{limук} = 46,3^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами без плуга  $\alpha_{limук} = 47,6^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами с плугом  $\alpha_{limук} = 56,0^\circ$ .

#### *Определение предельного статического угла поперечного уклона*

Поперечная боковая устойчивость против опрокидывания представляет собой свойство трактора сопротивляться опрокидыванию вокруг продольной оси опрокидывания. При этом процессе опрокидывания первоначально предшествует перераспределение опорных реакций по бортам трактора. В тот момент, когда продольная ось, проходящая через центр масс, пройдет через ось опрокидывания, наступает предельное положение, при котором трактор опрокидывается.

Поперечная устойчивость трактора с шарнирной рамой необходимо рассматривать как устойчивость сочлененной системы. Основное влияние на поперечную устойчивость в данном случае оказывают характер сочленения секций и ограничения их взаимного перемещения, зависящие от шарнира.

Ограничители, блокирующие шарнир, допускают поворот одной секции относительно другой на угол  $16^\circ$  [112]. При этом с момента смыкания упоров трактор с шарнирной рамой можно рассматривать как единое целое.

Рассмотрим равновесие трактора, стоящего на уклоне. Первоначально, когда у трактора имеется возможность относительного поворота полурам (за счет шарнира), рассмотрим равновесие передней и задней полурам в отдельности (рисунок 2.19).

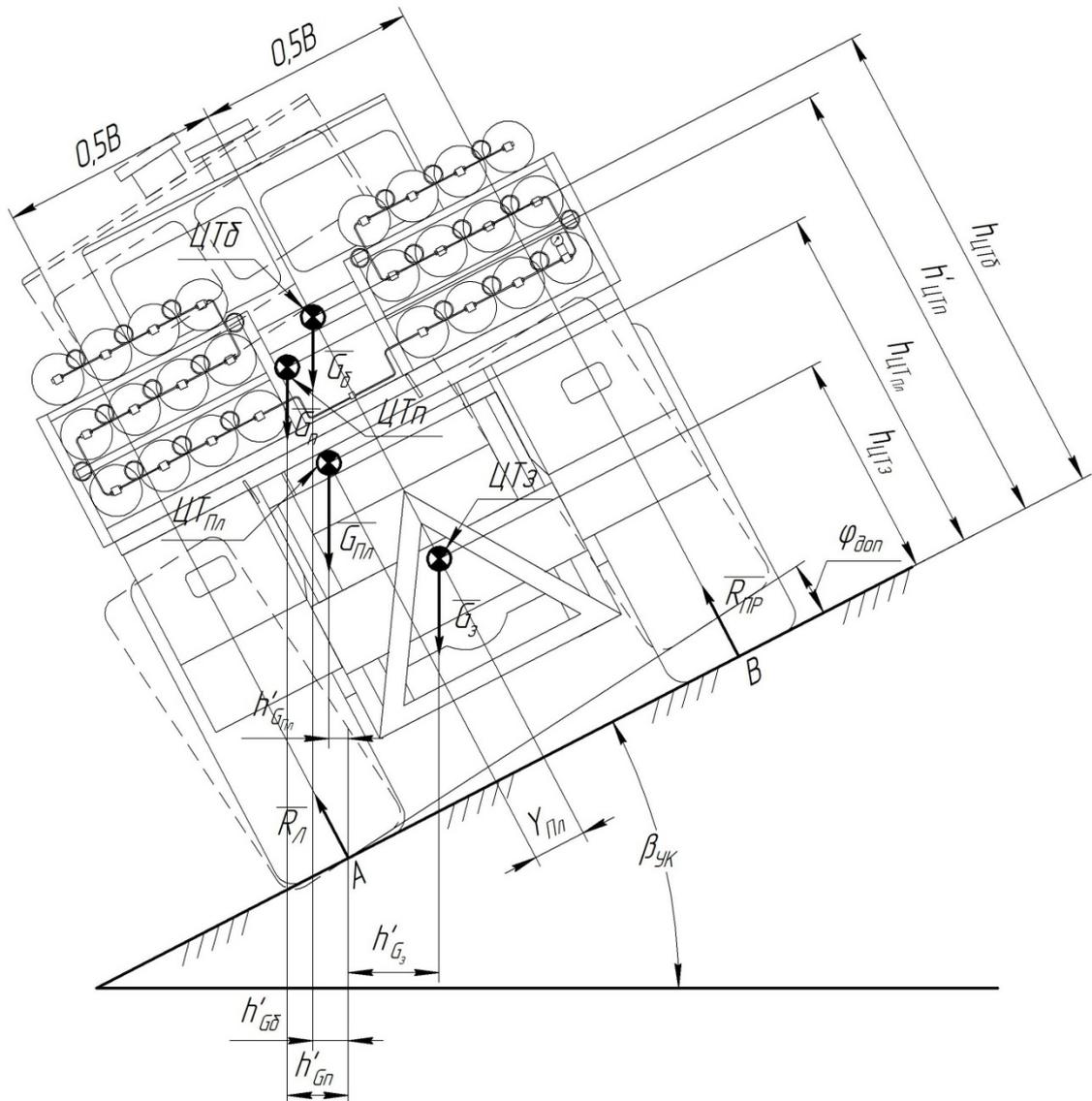


Рисунок 2.19 – Схема к расчету поперечной устойчивости машинно-тракторного агрегата.

На рисунке 2.19 плуг условно не показан чтобы не загромождать рисунок.

Условие отсутствия начала опрокидывания передней полурамы запишется как:

$$\beta_{lim}^{пер} = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot B}{h_{цт}^{пер}}, \quad (2.48)$$

где  $\beta_{lim}^{пер}$  – предельный угол поперечной устойчивости для передней полурамы, град;  
 $B = 2115$  мм.

Таким образом, предельное значение угла поперечной устойчивости для передней полурамы составит:

$$\beta_{lim}^{пер} = \arctg \frac{0,5 \cdot 2115}{1920} = 28,8 \text{ град.}$$

Теперь рассмотрим равновесие задней полурамы (рисунок 2.19). Условие равновесия задней полурамы относительно оси опрокидывания  $O'$  запишется как:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0: R_{ПП}^{зад} \cdot B - G_3 \cdot h'_{G_3} - G_B \cdot h'_{G_B} - G_{Пл} \cdot h'_{G_{Пл}} = 0, \quad (2.49)$$

где  $R_{ПП}^{зад}$  – реакция правого борта трактора, приходящаяся на заднее правое колесо, Н;

$h'_{G_3}$ ,  $h'_{G_B}$  и  $h'_{G_{Пл}}$  – плечи приложения сил тяжести  $\bar{G}_3$ ,  $\bar{G}_B$  и  $\bar{G}_{Пл}$  соответственно, мм.

Плечи приложения сил тяжести соответствующих элементов определяются из выражений:

$$h'_{G_3} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ3} \cdot \sin \beta_{УК}, \quad (2.50)$$

$$h'_{G_B} = 0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ6} \cdot \sin \beta_{УК}, \quad (2.51)$$

$$h'_{G_{Пл}} = (0,5 \cdot B - Y_{Пл}) \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \beta_{УК}, \quad (2.52)$$

Опрокидывание задней полурамы трактора не произойдет до тех пор, пока значение реакции правого борта трактора не будет равно нулю. Исходя из этого можно записать:

$$G_3 \cdot h'_{G_3} + G_B \cdot h'_{G_B} + G_{Пл} \cdot h'_{G_{Пл}} = 0, \quad (2.53)$$

С учетом (2.50)-(2.52) получим:

$$G_3 \cdot (0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ3} \cdot \sin \beta_{УК}) + G_B \cdot (0,5 \cdot B \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ6} \cdot \sin \beta_{УК}) + G_{Пл} \cdot ([0,5 \cdot B - Y_{Пл}] \cdot \cos \beta_{УК} - h_{ЦТ_{Пл}} \cdot \sin \beta_{УК}), \quad (2.54)$$

После некоторых преобразований имеем:

$$(G_3 + G_B) \cdot 0,5 \cdot B = (G_3 \cdot h_{ЦТ3} + G_B \cdot h_{ЦТ6}) \cdot \operatorname{tg} \beta_{lim}^{зад}, \quad (2.55)$$

Откуда:

$$\beta_{lim}^{зад} = \operatorname{arctg} \frac{(G_3 + G_B + G_{Пл}) \cdot 0,5 \cdot B - G_{Пл} \cdot Y_{Пл}}{G_3 \cdot h_{ЦТ3} + G_B \cdot h_{ЦТ6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}}, \quad (2.56)$$

$$\beta_{lim}^{зад} = \operatorname{arctg} \frac{(4678 + 2112 + 1735) \cdot 0,5 \cdot 2115 - 1735 \cdot 106}{4678 \cdot 975 + 2112 \cdot 2421 + 1735 \cdot 1590} = 35,4 \text{ град.}$$

Таким образом, значение предельного угла поперечного опрокидывания для передней полурамы ( $\beta_{lim}^{пер} = 28,8^\circ$ ) меньше, чем для задней с баллонами и плугом ( $\beta_{lim}^{зад} = 35,4^\circ$ ). Поэтому для определения предельного значения угла поперечной устойчивости ( $\beta_{limУК}$ ) рассмотрим такое положение трактора, когда передняя полурама повернется относительно задней до упора (т. е. на угол  $\varphi_{доп} = 8^\circ$ ). При этом трактор с этого момента будем рассматривать как одно целое. Составим уравнение моментов всех сил, действующих на трактор, относительно оси опрокидывания  $O'$ :

$$\sum M'_{O'}(F_i) = 0; R_{ПР} \cdot B - G_{Пл} \cdot h'_{G_{Пл}} - G_3 \cdot h'_{G_3} - G_B \cdot h'_{G_B} - G_{Пл} \cdot h'_{G_{Пл}} = 0, \quad (2.57)$$

где  $h'_{G_{Пл}}$  – плечо приложения сил тяжести  $\bar{G}_{Пл}$ , мм.

$$h'_{G_{Пл}} = (0,5 \cdot B \cdot \cos \varphi_{доп} + h_{ЦТп} \cdot \sin \varphi_{доп}) \cdot \cos \beta_{УК} - (0,5 \cdot B \cdot \sin \varphi_{доп} + h_{ЦТп} \cdot \cos \varphi_{доп}) \cdot \sin \beta_{УК} \quad (2.58)$$

В момент начала опрокидывания реакция  $R_{ПР} = 0$ , причем значение угла  $\beta_{УК}$  будет равно предельному значению угла поперечной устойчивости  $\beta_{limУК}$ . С учетом этого после преобразований получим:

$$\beta_{limУК} = \operatorname{arctg} \frac{G_{Пл} \cdot (0,5 \cdot B \cdot \cos \varphi_{доп} - h_{ЦТп} \cdot \sin \varphi_{доп}) + 0,5 \cdot B \cdot (G_3 + G_B + G_{Пл}) - G_{Пл} \cdot Y_{Пл}}{G_{Пл} \cdot (0,5 \cdot B \cdot \sin \varphi_{доп} + h_{ЦТп} \cdot \cos \varphi_{доп}) + G_3 \cdot h_{ЦТ3} + G_B \cdot h_{ЦТ6} + G_{Пл} \cdot h_{ЦТ_{Пл}}}, \quad (2.59)$$

Подставив в выражение (2.59) численные значения соответствующих параметров, получаем следующие значения предельных статических углов поперечного опрокидывания:

- для трактора без газовых баллонов и без плуга  $\beta_{limУК} = 35,6^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами без плуга  $\beta_{limУК} = 33^\circ$ ;
- для трактора, оснащенного газовыми баллонами с плугом  $\beta_{limУК} = 32,8^\circ$ .

Представим результаты определения предельных статических углов опрокидывания трактора в виде столбчатых диаграмм (рисунок 2.20).

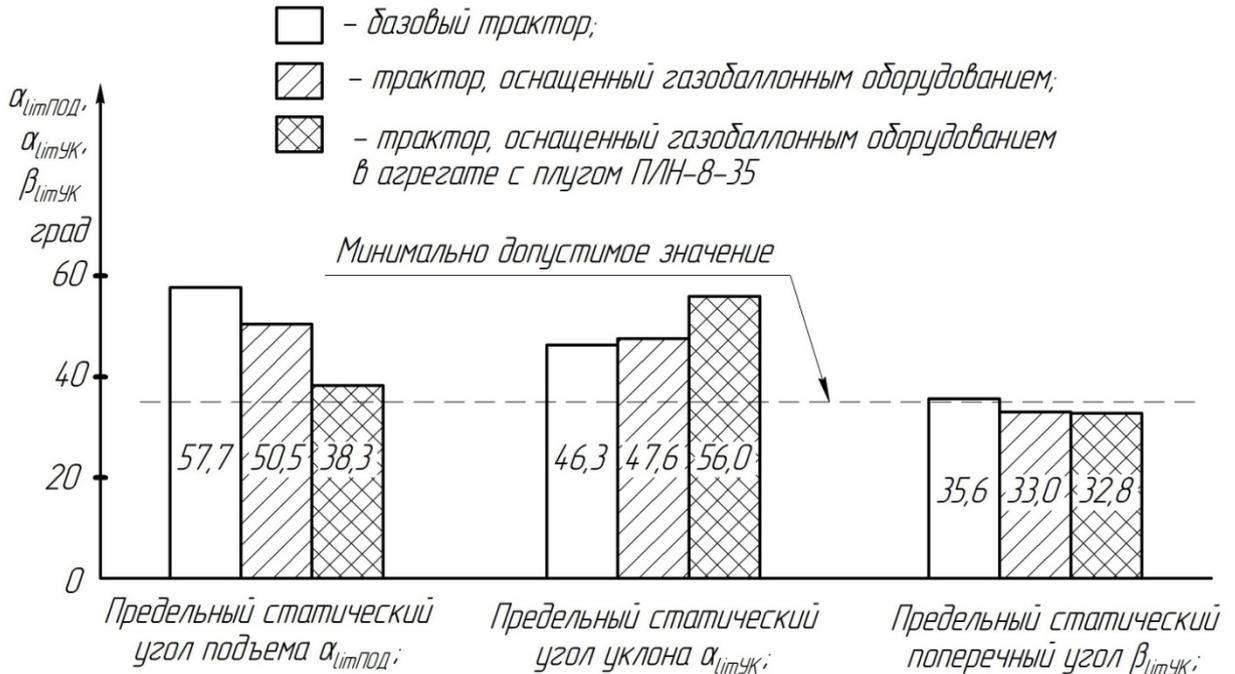


Рисунок 2.20 – Предельные статические углы опрокидывания трактора

## 2.5 Выводы по разделу

1. Установлено, что для трактора РТМ-160 газовые баллоны наиболее целесообразно расположить над задней осью, так как в данном случае все углы статической устойчивости трактора соответствуют требованиям ГОСТ 30750-2001.

2. Установка газобаллонного оборудования незначительно ухудшает устойчивость трактора К-700А, а в некоторых случаях (на уклоне) даже улучшает ее. Устойчивость трактора, оснащенного газобаллонным оборудованием в составе машинно-тракторного агрегата с плугом ПЛН-8-35 в целом также соответствует ГОСТ 30750-2001.

3. Использование плуга практически не влияет на устойчивость МТА на поперечном уклоне. Вследствие этого никаких противопоказаний к установке газового оборудования на трактор нет.

### 3 ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись тракторы РТМ-160 и К-700А, оснащенные двигателями ЯМЗ-236Д-2 и ЯМЗ-238НДЗ соответственно.

Тракторы располагают всем необходимым для внедрения современных энергоресурсосберегающих, экологически чистых технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. Двигатель трактора РТМ-160 оснащен газодизельной инжекторной системой с центральным впрыском газа, разработанной в СГАУ им. Н. И. Вавилова совместно с ООО «НТЦ Авангард» по договору с ОАО «НПК Уралвагонзавод».

Тракторы К-700А были оснащены газовым оборудованием производства ООО «ППП Дизельавтоматика». – СЭРГ-500 и системой распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу совместной разработки СГАУ им Н. И. Вавилова и ООО «ППП Дизельавтоматика» [6].

Исследования проводились в соответствии с программой и методикой, представленной на рисунке 3.1.

Эксплуатационные исследования проводились в соответствии с ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» и ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» при выполнении основных сельскохозяйственных операций: пахоты, культивации, посева, дискования. При этом определялись тяговое сопротивление агрегата, скорость агрегата, расход дизельного и газообразного топлива, показатели газоанализатора: концентрация  $CO$ ,  $CH_x$ ,  $NO_x$  и сажи (С). Для записи параметров работы трактора (частота вращения коленчатого вала дизеля,  $мин^{-1}$ ; расход дизельного топлива,  $кг/ч$ ; расход газообразного топлива,  $м^3/ч$ ; крюковая нагрузка,  $кН$ ; температура охлаждающей жидкости,  $°C$ ; фактическая скорость трактора,  $м/с$ ) использовался программный комплекс «Тракторинжект», разработанный ООО «ППП Дизельавтоматика».

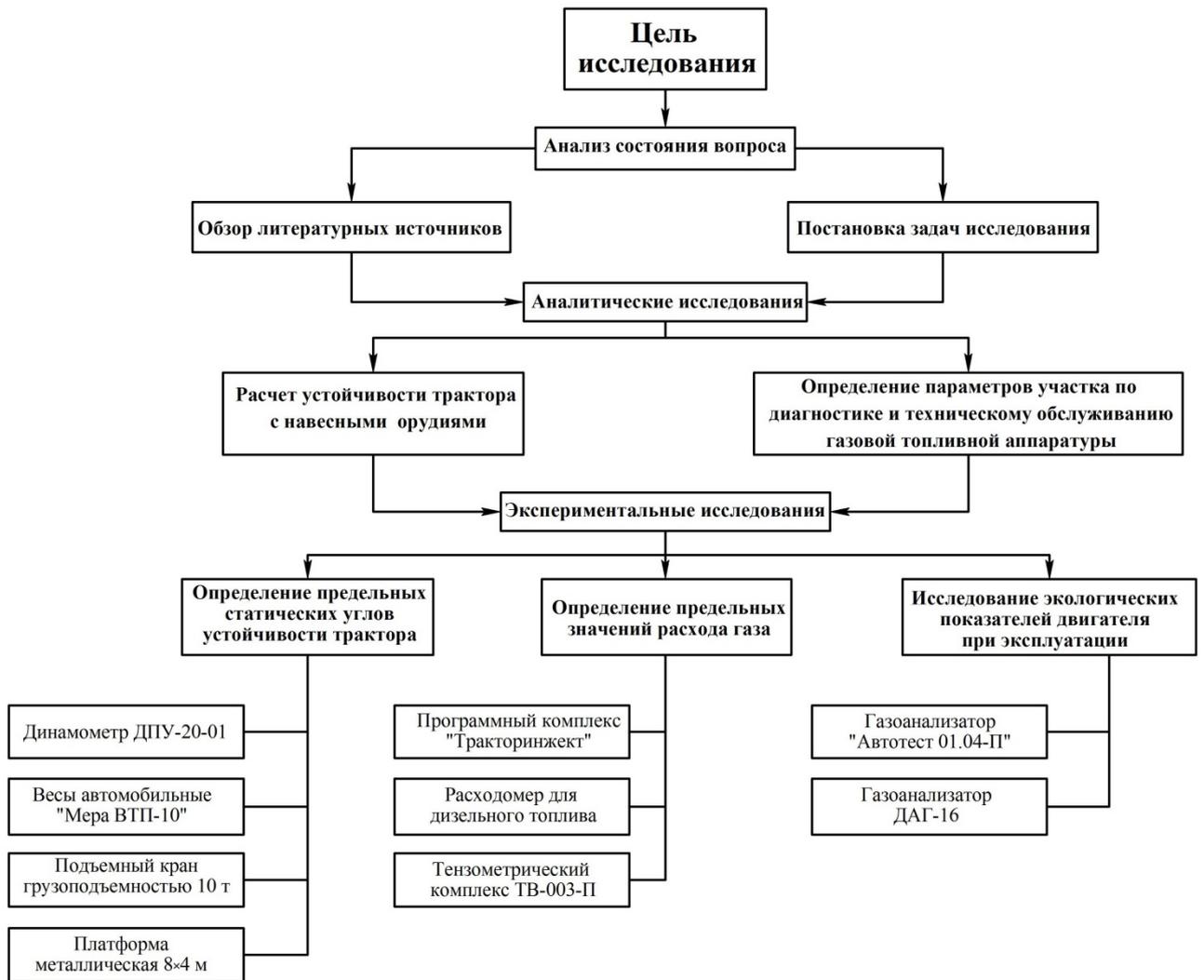


Рисунок 3.1 – Программа и методика исследования.

Эксплуатационные исследования проводились в Марксовском районе Саратовской области на полях ООО «Горизонт-С». Необходимо отметить, что в данном хозяйстве уже имеется большой опыт эксплуатации тракторов, работающих по газодизельному циклу. На момент начала проведения эксплуатационных исследований в данном хозяйстве имелись три трактора К-700А, оборудованные системами центральной подачи газообразного топлива для работы двигателей по газодизельному циклу модели СЭРГ-500 производства ООО «ППП Дизельавтоматика», г. Саратов. Опытный образец системы распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для работы двигателей по газодизельному циклу был смонтирован на тракторе К-700А, эксплуатирующемся в ООО «Горизонт-С».

Для измерения силы тяги на крюке использовался тензометрический комплекс.

Тензорезисторные датчики были соединены по параллельной схеме подключения (рисунок 3.1)

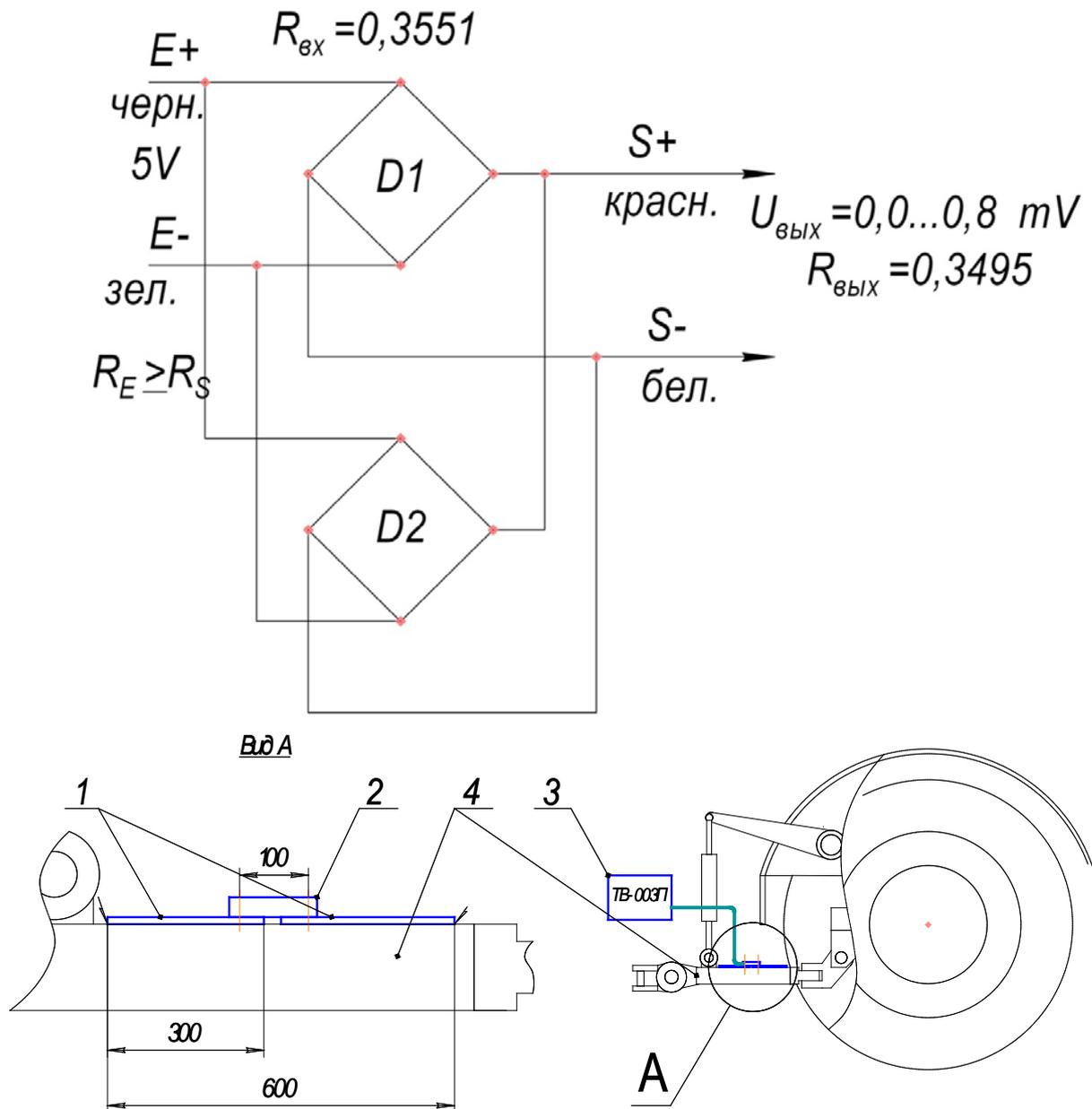


Рисунок 3.1 – Схема подключения тензорезисторных датчиков: 1 – удлинитель; 2 – тензометрический датчик; 3 – весовой терминал ТВ-003П; 4 – нижняя тяга навески трактора.

Исследования проводились при выполнении основных сельскохозяйственных операций: пахоты (плуг ПЛН-8-35), культивации

(культиватор плоскорез КПШ-9), посева (сеялка СЗС-2,1), дискования (борона дисковая БН-3,2).

Для настройки параметров и диагностирования системы подачи газообразного топлива использовался «Тракторинжект» разработки ООО «ППП Дизельавтоматика», с помощью которого определялись:

- положение топливной рейки (процент запальной дозы, расход дизельного топлива);
- период открытия газовой форсунки и давление в газовом коллекторе (расход газообразного топлива); определяется при помощи датчика фазовой отметки угла опережения подачи топлива;
- частота вращения коленчатого вала двигателя.

Экспериментальные исследования устойчивости трактора оснащенного газобаллонным оборудованием при использовании навесных сельскохозяйственных орудий основывались на следующих нормативных документах:

- ГОСТ 12.2.002.1-91 «Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности» [36];
- ГОСТ 12.2.019-2005 «Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности» [37];
- ГОСТ Р 51862-2002 «Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Методы контроля требований безопасности» [41].

Для определения предельных статических углов продольной и поперечной устойчивости использовалась специально изготовленная платформа и кран грузоподъемностью 10 тонн. Значение предельных углов наклона определялось при помощи отвеса и деревянного щита размерами 400×400 мм, закрепленных на платформе [2, 3].

Для определения предельного угла (например, подъема трактора) на щите по отвесу регистрировалось горизонтальное положение платформы. После этого

краном со стороны передней части трактора, установленного и закреплённого на платформе, поднимали платформу до отрыва передних колес. В момент отрыва на щите снова регистрируется угловое положение платформы, которое и является предельным статическим углом подъема трактора. Аналогично определялись предельные статические углы уклона и поперечного уклона.

Программа и методика проведения экологических эксплуатационных исследований системы подачи газообразного топлива по эжекционному принципу, смонтированной на тракторном дизеле ЯМЗ-238НДЗ, представлена на рисунке 3.2.

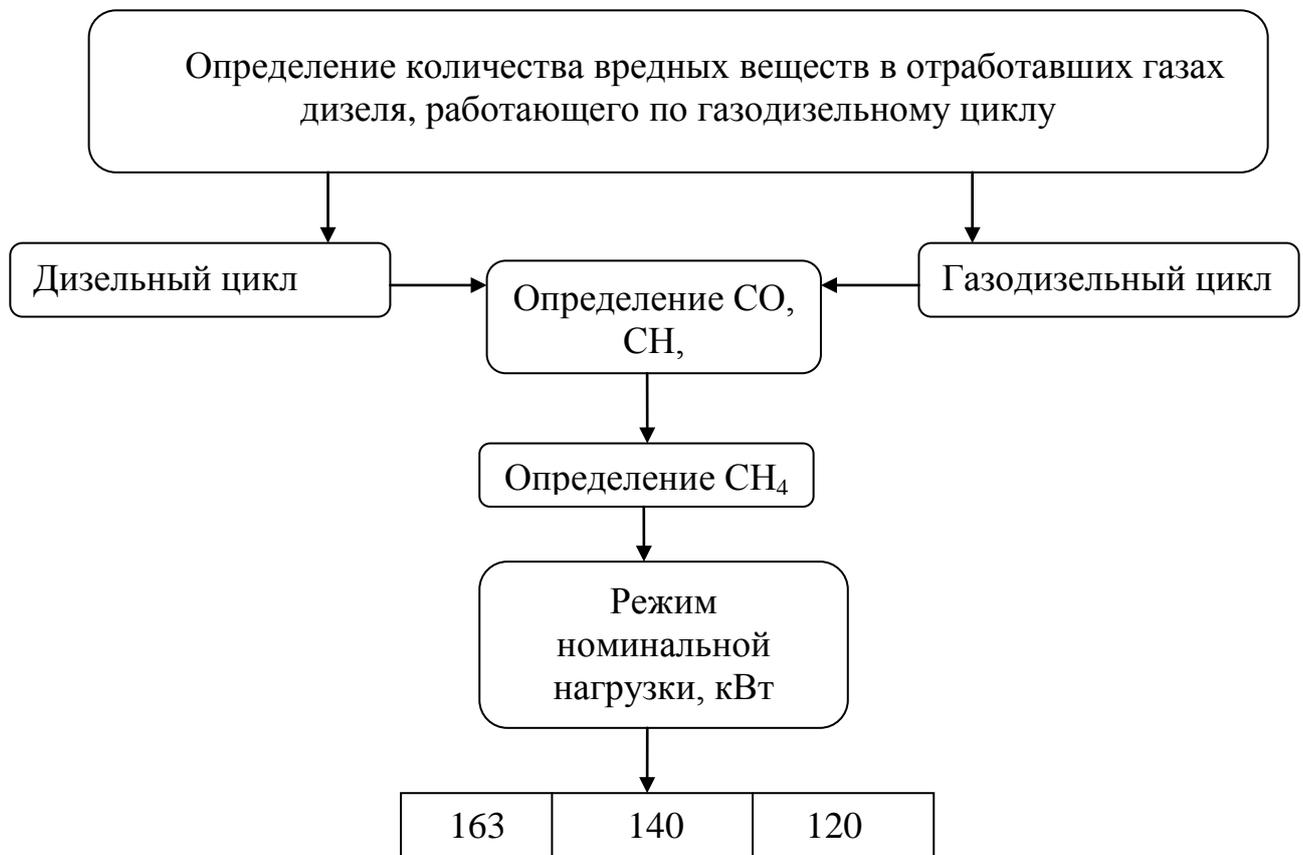


Рисунок 3.2 – Программа и методика проведения экологических эксплуатационных исследований системы подачи газообразного топлива по эжекционному принципу.

Исследования проводились с намерением определить эффективность эжекционного смешения при распределенной подаче газообразного топлива по сравнению с промышленными системами по экологическим показателям. А именно, подтверждение:

– зависимости концентрации основных видов токсичных веществ от мощности, развиваемой двигателем при работе по газодизельному циклу, под управлением экспериментальной системы;

– зависимости концентрации основных видов токсичных веществ от мощности, развиваемой двигателем при работе по газодизельному циклу, под управлением системы СЭРГ-500.

В качестве объекта исследования был выбран дизель ЯМЗ-238 НДЗ. Данный дизель был выбран вследствие того, что он широко применяется в качестве энергетического средства в сельском хозяйстве. Он является основным дизелем, которым комплектуются трактора тягового класса 50 кН (типа К-700А, К-701 и К-744); также он применяется на таких сельскохозяйственных машинах, как кормоуборочные комбайны КСК-100А-3 и «Марал» Е-281, комбайны зерноуборочные «Дон- 1500Б», СКР-7 «Кубань», КЭС-9-1 «Славутич», «Дон-2600» и других видах различной сельскохозяйственной техники.

Экологические показатели содержания сажи в отработавших газах определяли с помощью газоанализатора «Автотест 01.04-П» II класса точности при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля как по дизельному, так и по газодизельному циклу.

Двухкомпонентный газоанализатор «Автотест 01.04-П» II класс точности с каналом измерения дымности и встроенным термопринтером. Предназначен для измерения токсичности отработавших газов карбюраторных и дымности дизельных двигателей (за счет определения коэффициента и показателя ослабления светового потока). Также он позволяет производить измерение содержания СО и СН в отработавших газах. Содержит датчик тахометра, один буквенно- цифровой дисплей. Обладает функцией автоматической коррекции нуля, выходом на ПЭВМ RS-232 и возможностью работы с программным обеспечением «Автотест», а также в составе линейно-телеметрического комплекса и мотор тестерами. Имеет возможность подключения выносного табло, автослив конденсата, автоматическое отключение пробы, автокоррекцию и встроенный термопринтер.

Система распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для работы дизеля по газодизельному циклу состоит из следующих элементов (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Состав комплекта системы подачи газообразного топлива по эжекционному принципу

Наименование	Единица измерения	Кол-во
1. Блок управления (БУ)	шт.	1
2. Клапан электрогазовый (ЭГК)	шт.	8
3. Коллектор газовый (ГК)	шт.	1
4. Устройство исполнительное в сборе с кронштейном для крепления к ТНВД	шт.	1
5. Преобразователь частоты вращения (ПЧВ)	шт.	1
6. Датчик фазы 36.3847 (ДФО)	шт.	1
7. Тумблер «дизель/газодизель»	шт.	1
8. Тумблер «стоп/работа»	шт.	1
9. Реле 901.3747 (24В/10А)	шт.	1
10. Комплект кабелей связи	компл.	1
11. Комплект монтажных частей	компл.	1
12. Комплект ЗИП	компл.	1

Для установки и запуска программы «Тракторинжект» необходим РС-совместимый персональный компьютер, удовлетворяющий следующим рекомендованным системным требованиям:

- а) операционная система Windows XP с установленным Servise Pack 2 и выше;
- б) процессор Pentium с тактовой частотой не менее 1 ГГц;
- в) оперативная память, не менее 256 Мб;
- г) свободное пространство на жёстком диске, не менее 100 Мб;
- д) наличие привода компакт-дисков;
- е) наличие СОМ-порта (RS-232С).

Примечание: при отсутствии на компьютере COM-порта допустимо использование переходника USB-COM (RS232C).

Начало работы:

1. Подключить к блоку управления персональный компьютер посредством кабеля DB9F-DB9M.
2. Включить персональный компьютер.
3. Подать питание на блок управления включением массы трактора.
4. Запустить программу GazService 0.1.0.

Все дальнейшие исследования проводились в соответствии с вышеизложенными методиками.

## **4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАКТОРОВ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

### **4.1 Алгоритм и технология диагностирования**

Неисправности, как показала практика, не возникают сами по себе. Причины их появления могут быть различны. В процессе эксплуатации двигателя его детали изнашиваются, изменяется их геометрия, увеличиваются зазоры между парами трения. Износу «способствует» множество факторов: стиль вождения, условия эксплуатации, несвоевременное или/и неквалифицированное обслуживание, низкое качество горюче-смазочных материалов, работа с детонацией, калильным зажиганием, неисправными системами смазки и охлаждения и т.п. По мере износа двигателя его эксплуатация становится всё более обременительной, возрастают эксплуатационные расходы, появляются проблемы в работе. Эксплуатация изношенного двигателя приводит к его повреждению. Ремонт двигателя, получившего повреждение, требует больших капитальных вложений.

Диагностика предшествует любому ремонту и от того, как квалифицированно она будет выполнена, во многом зависит качество ремонта, его стоимость и трудоёмкость. Результатом (конечным продуктом) диагностики является информация о неисправности. Данная информация используется для определения вида предстоящего ремонта (частичный или капитальный), технологии ремонта, планирования времени и затрат на его проведение.

Для переоборудования дизельного трактора К-700А, оснащенного двигателем ЯМЗ-238НДЗ, в газодизельный он оборудуется дополнительной топливной системой питания газом, состав которой представлен таблицей 4.1.

Структурная схема питания двигателя газом при работе по газодизельному циклу представлена на рисунке 4.1.

В большинстве систем их элементы расположены последовательно. Последовательным соединением при расчетах надежности называется такое

соединение элементов, при котором отказ хотя бы одного из них приводит к отказу всей системы в целом. Причем последовательное соединение не всегда совпадает с физическим последовательным соединением элементов системы [74].

Таблица 4.1 – Элементы системы питания двигателя газом

Наименование	Количество
1. Газовые баллоны для хранения сжатого природного газа	24
2. Вентили для обеспечения возможности обслуживания газовой аппаратуры при заправленных баллонах и на случай аварийной ситуации	24
3. Манометр для оценки количества газа в баллонах	1
4. Заправочное устройство для заправки баллонов газом	1
5. Электромагнитный клапан	1
6. Редуктор высокого давления для снижения давления газа на первой ступени регулирования	1
7. Редуктор низкого давления для снижения давления газа на второй ступени регулирования	2
8. Газовый ресивер для распределения подаваемого газа между форсунками	1
9. Газовые форсунки для подачи топлива в коллекторы двигателя %	8
10. Впускные коллекторы двигателя	2
11. Педальный задатчик для определения режима работы двигателя	1
12. Электронный блок управления	1
13. Датчик давления газа	1
14. Датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя	1
15. Датчик фазовой отметки	1
16. Датчик положения топливной рейки	1
17. Датчик температуры охлаждающей жидкости	1
18. Электронно-регулирующее устройство топливной рейки (взамен регулятора ТНВД)	1

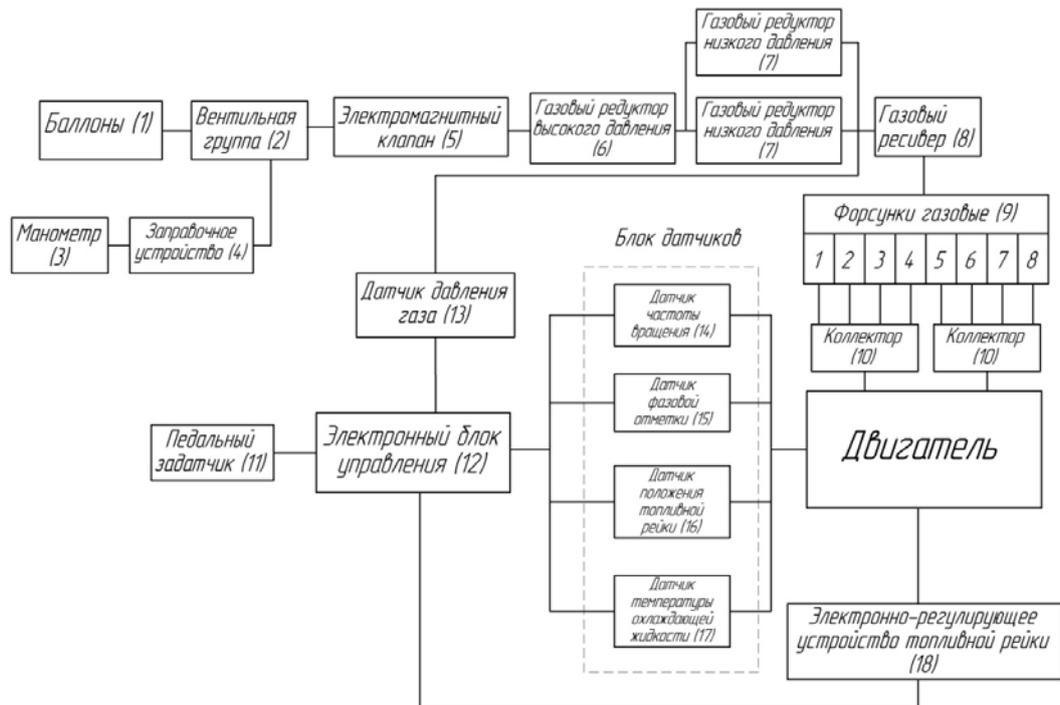


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы питания дизельного двигателя ЯМЗ-238НДЗ газом при работе по газодизельному циклу.

Для последовательного соединения элементов вероятность безотказной работы системы в целом за время  $t_0$  определяется из выражения:

$$P(t_0) = \prod_{i=1}^m P_i(t_0), \quad (4.1)$$

где  $P_i(t_0)$  – вероятность безотказности работы  $i$ -го элемента системы за время  $t_0$ ;

$m$  – количество элементов в системе.

$$P_i(t_0) = e^{-\lambda_i \cdot t_0}, \quad (4.2)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента системы за время  $t_0$ .

Согласно [73] для системы из последовательно соединенных невосстановимых элементов:

$$P(t_0) = \prod_{i=1}^m e^{-\lambda_i \cdot t_0} = e^{-t_0 \cdot \sum_{i=1}^m \lambda_i}, \quad (4.3)$$

Для повышения надежности наиболее сложных или особо ответственных устройств нередко применяют так называемое резервирование, заключающееся в том, что основное (рабочее) устройство резервируется устройствами, не

аналогичными ему по своей структуре и зачастую основанными на других принципах [73]. В нашем случае для системы питания дизельного двигателя газом основным параметром, влияющим на работоспособность этой системы, является частота вращения коленчатого вала. Источником такой информации для системы является датчик частоты вращения коленчатого вала. Однако в случае выхода этого датчика из строя данные о частоте вращения коленчатого вала двигателя могут быть получены от датчика фазовой отметки. Для системы с резервированием с одним резервным элементом справедлива формула:

$$P(t_0) = (k + 1) \cdot e^{-k \cdot \lambda_i \cdot t_0} - k \cdot e^{-(k+1) \cdot \lambda_i \cdot t_0}, \quad (4.4)$$

где  $k$  – число рабочих элементов в системе.

В Саратовском ГАУ им. Н. И. Вавилова совместно с ООО «ППП Дизельавтоматика», создана система распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу, новизна которой подтверждена патентами на полезную модель [99, 100, 101]. Её схема приведена на рисунке 4.2. Данная система построена таким образом, что имеет возможность связи с компьютером при помощи COM порта, с предварительной установкой на компьютер программного комплекса «Тракторинжект».

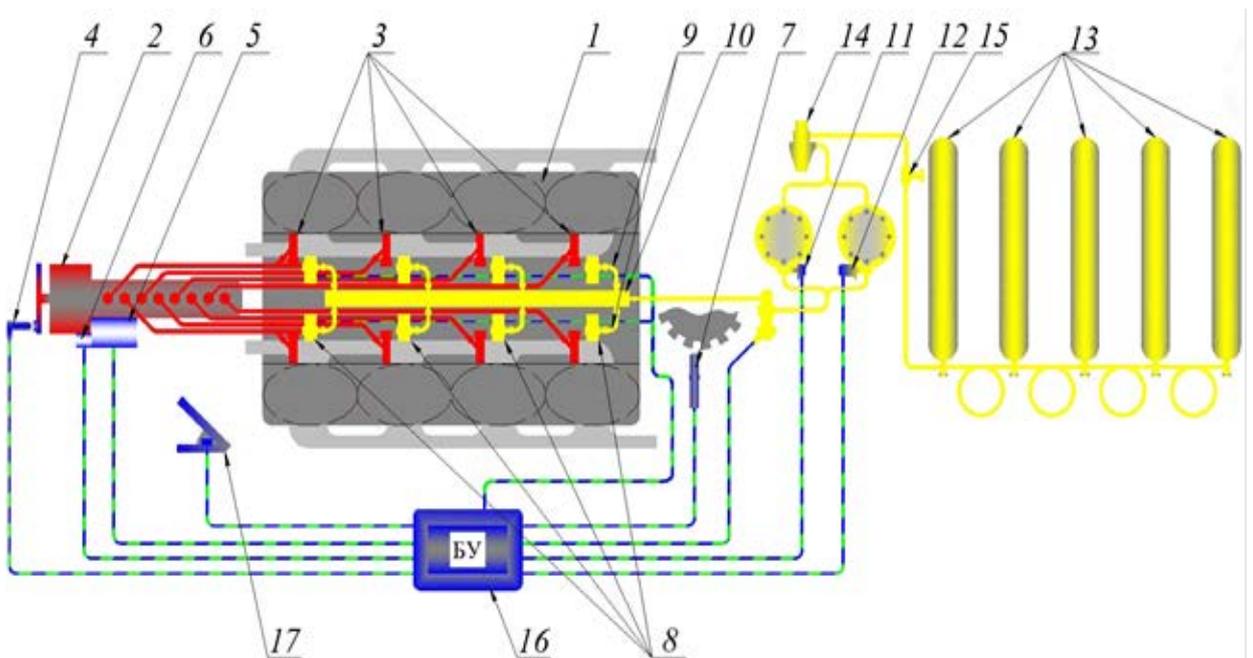


Рисунок 4.2 – Система распределенной подачи газообразного топлива в двигатель.

На рисунке 4.4 цветами обозначены составные части системы подачи газообразного топлива: желтый – подача газообразного топлива; синий – электронные цепи управления; красный – подача дизельного топлива. Также на этом рисунке цифрами обозначены: 1 – двигатель; 2 – топливный насос высокого давления; 3 – дизельные форсунки; 4 – рейка топливного насоса; 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 – датчик температуры; 12 – датчик давления газа; 13 – газовые баллоны; 14 – газовый редуктор высокого давления; 15 – вентильная группа; 16 – электронный блок управления; 17 – педальный задатчик.

#### *Теоретическое обоснование диагностирования дизелей*

На основании серии проведенных исследований, как стендовых, так и эксплуатационных (в составе тракторов РТМ-160 и К-700А) были разработаны графики отклонения параметров работы двигателя от номинальных значений (рисунок 4.3 и 4.4) для систем, разработанных в СГАУ им. Н. И. Вавилова. Данные графики составлены по указаниям, приведенным в ГОСТ 23435-79 «Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания». На данных графиках представлены зависимости расхода газодизельного топлива от усилия на крюке трактора.

Области отклонения расхода топлива от номинального позволяют выявлять и устранять неисправности в системе распределенной подачи газообразного топлива в частности и двигателя в целом.

На рисунке 4.3 цифрами обозначены: 1 – область отклонения параметров на 5 % (завышение расхода топлива), предположительная неисправность – сбой показаний датчиков; 2 – область отклонения параметров на 10 % (завышение расхода топлива), предположительная неисправность – сбой настроек подачи топлива; 3 – область отклонения параметров на 5 % (занижение расхода топлива), предположительная неисправность – неисправность датчиков (давления газообразного топлива и частоты вращения); 4 – область отклонения параметров

на 10 % (занижение расхода топлива), предположительная неисправность – утечка в системе подачи топлива, износ двигателя.

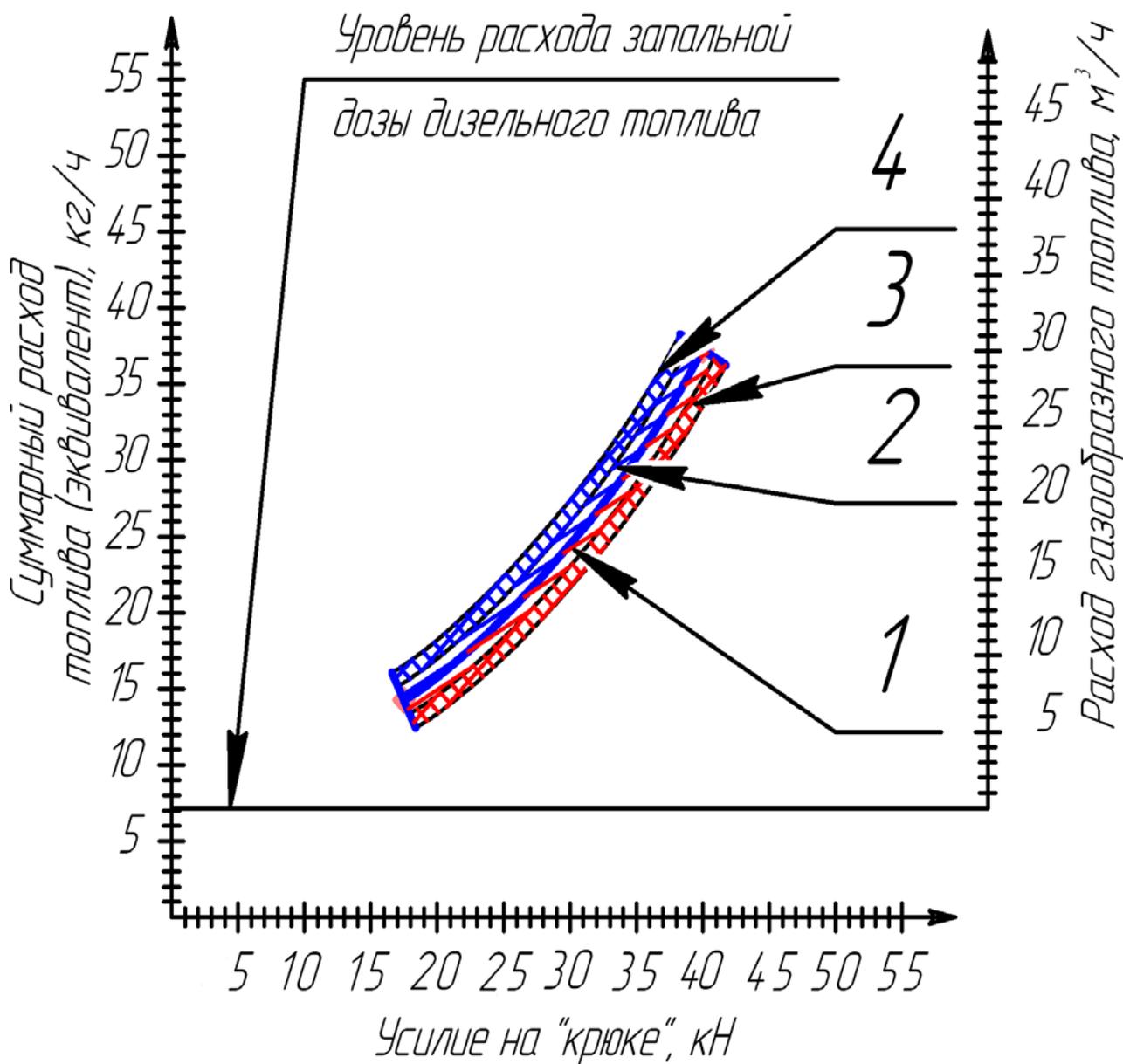


Рисунок 4.3 – График определения отклонения параметров работы двигателя ЯМЗ-238НД от номинального.

При обнаружении отклонения расхода топлива необходимо провести диагностику дизеля согласно разработанному алгоритму (рисунок 4.3).

На основании алгоритма диагностирования (рисунок. 4.4) составлена технология и карта диагностирования (таблица 4.2), приведенная ниже.

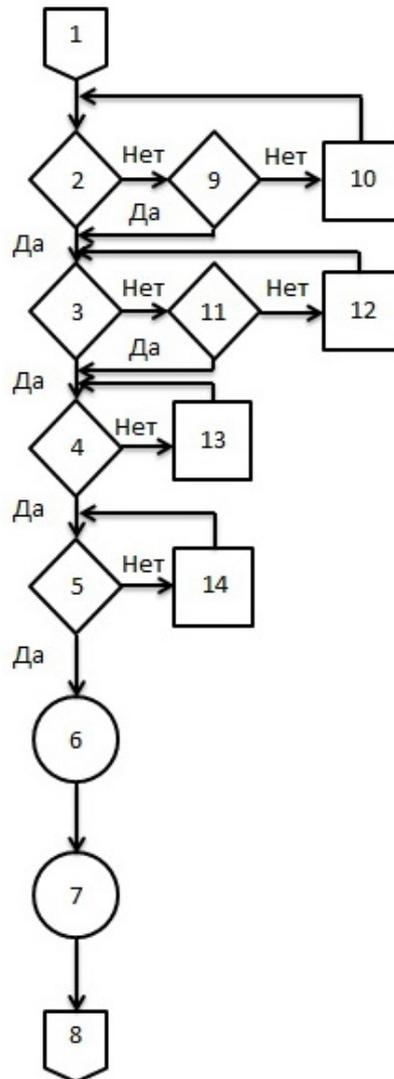


Рисунок 4.4 – Алгоритм диагностирования системы подачи газообразного топлива:  – подготовительные операции;  – операции диагностирования;  – ремонтные операции;  – последовательные операции.

При диагностировании необходимо выполнить следующие действия согласно алгоритма (рисунок 4.4):

1 – внешний осмотр, проверка жесткости крепления оборудования (наличие трещин в каркасе крепления баллонов не допускается), при ослаблении затяжек резьбовых соединений, последние следуют подтянуть, так как ослабление креплений способно привести к ослаблению соединений трубопроводов;

2 – в случае снижения давления газа в системе проводится проверка утечек путем омыливания соединений (устранение утечек производится путем

подтяжки резьбовых соединений, замены прокладок), в случае отсутствие утечек при продолжении снижения давления перейти к пункту 9;

Таблица 4.2 – Карта диагностирования

Наименование диагностического параметра	Размерность	Значение параметра		Оборудование
		предельные	допустимые	
1. Затяжка креплений газовых баллонов, не менее	Н·м	50	62	Динамометрический ключ
2. Утечки газообразного топлива	–	Утечки не допускаются		Мыльный раствор, кисточка
3. Давление в газовом коллекторе, не менее	МПа	2,8	3,0	Датчик давления, индикатор системы подачи топлива
4. Температурный режим работы по газодизельному циклу, не более	°С	95	90	Датчик температуры дизеля и индикатор трактора
5. Стабильность поддержания частоты вращения, не более	%	5	2	Программный комплекс «Тракторинжект»
6. Анализ процесса сгорания топлива	%	Евро-2	Евро-3	Газоанализатор
7. Реакция системы на изменение нагрузки на двигатель, не более	с	5	2	Программный комплекс «Тракторинжект»

3 – проверка давления газообразного топлива в газовом коллекторе производится при выключенном дизеле при помощи штатного датчика давления при открытом магистральном клапане, при отклонении давления от заданного перейти к пункту 11;

4 – проверка температурного режима работы дизеля по газодизельному циклу; проводится при помощи штатного датчика охлаждающей жидкости и программного комплекса «Тракторинжект»; в случае, если температурный режим превышает 95 °С, то перейти к пункту 13;

5 – анализ стабильности поддержания частоты вращения коленчатого вала дизеля при работе по газодизельному циклу проводится при помощи программного комплекса «Тракторинжект» (ползунком на панели программного окна выставляется частота вращения коленчатого вала);

6 – анализ температуры и содержания токсичных веществ в отработанных газах проводят при помощи пирометра и анализатора отработавших газов марки «Автотест 2.1»;

7 – определение времени динамической реакции системы при работе по газодизельному циклу под нагрузкой; проводится при помощи программного комплекса «Тракторинжект». Данный параметр определяет время восстановления заданной частоты вращения коленчатого вала дизеля трактора в зависимости от изменившейся нагрузки;

8 – эксплуатация трактора;

9 – герметичность заправочной арматуры проверяется путем перекрытия баллонной и заправочной арматуры и наблюдением в течении 5 минут за давлением в трубопроводах при помощи штатного манометра, в случае обнаружения утечек перейти к пункту 10;

10 – замена соединений; производится на станции технического обслуживания;

11 – регулировка давления путем вращения регулировочной гайки редуктора и измерительного комплекса давления газа;

12 – замена и ремонт редуктора; производится на станции технического обслуживания;

13 – ремонт системы охлаждения; производится на станции технического обслуживания;

14 – корректировка коэффициентов ПИД-регулятора при помощи программного комплекса «Тракторинжект» (рисунок. 4.5);

Параметр	Значение	Ед.измер	Диапазон
[-] Конструкция			
Количество зубьев	180	шт.	25..260
Угол заклинки фазовой отметки	90,0	град ПКВ	0..720
Технологическое поле	1		
[-] Параметры пуска			
Частота инициализации пуска	32	мин <sup>-1</sup>	20..100
Пусковая частота вращения	250	мин <sup>-1</sup>	50..350
Пусковая топлиподача	0,0	%	0..100
[-] Частота вращения			
[-] Фильтрация (1-рег., 2-виз.)			0..1
Козф. фильтрации 1	0,30		
Козф. фильтрации 2	0,30		
Время измерения	14,0	мсек	5..50
[-] Динамика изменения ЧВ			
Темп набора	20	мин <sup>-1</sup>	10..1000
Темп снижения	20	мин <sup>-1</sup>	10..1000
[-] Параметры регулятора подачи газа			
[-] Пропорциональный коэффициент			0.100..10.000
Козффициент 1	0,100		
Козффициент 2	0,100		
Козффициент 3	0,100		
Козффициент 4	0,100		
Козффициент 5	0,100		
Множитель	1,000		0.001..1000.0
[-] Интегральный коэффициент			0.000..1.000
Козффициент 1	0,001		
Козффициент 2	0,001		
Козффициент 3	0,001		
Козффициент 4	0,001		
Козффициент 5	0,001		
Множитель	1,000		0.001..1000.0
[+] Дифференциальный коэффициент			0.000..1.000
[+] Параметры регулятора топлива			

Рисунок. 4.5 – Окно «Параметры» программы «Тракторинжект»

При возникновении неисправностей в работе двигателя (двигатель не запускается, не развивает полной мощности и т.д.) необходимо убедиться в отсутствии механических повреждений в системах двигателя – утечки дизельного топлива, определить степень засоренности воздушного фильтра, убедиться в отсутствии утечек газа, проверить надежность всех электрических соединений и целостность проводов. Причиной ухудшения динамики разгона и увеличения расхода топлива могут быть неисправности ходовой части транспортного средства и тормозов. Углубленную диагностику электронной системы управления двигателем можно проводить, убедившись в отсутствии механических неисправностей. Ее производят при условии превышения суммарного расхода газообразного и дизельного топлива более чем на 10 % от номинального расхода

(рисунок 4.3 ). При проверке электрических цепей системы управления двигателем запрещается пользоваться контрольной лампой. Некоторые цепи электронного блока управления рассчитаны на низкое напряжение и малый ток, поэтому использование контрольной лампы 1...5 Вт может вывести блок управления из строя. Допускается использование вольтметра или пробника на светодиодах. Категорически запрещается подключать и отключать клеммы питания системы управления и разъемы блока управления при включенном зажигании, а тем более при работающем двигателе. Отсоединять указанные разъемы можно не ранее, чем через 20 секунд после выключения массы трактора. Запрещается прикасаться руками к выводам блока управления.

Для обнаружения утечек газа через магистральный клапан необходимо закрыть расходные вентили и по магистральному манометру, в течение 5 минут определить отсутствие падения давления в главной магистрали. Запрещаются любые ремонтные воздействия над элементами системы подачи газа, находящимися под давлением.

При проведении работ по диагностированию, техническому обслуживанию и текущему ремонту газовой аппаратуры используют различное технологическое оборудование, выполненное в виде стационарных, передвижных и переносных стендов. Некоторые операции диагностирования можно произвести при помощи программного комплекса «Тракторинжект».

Контроль газотопливных систем питания газобаллонных тракторов (ГБТ), работающих на сжатом газе (КПГ), на герметичность соединений составляющих ее агрегатов и узлов проводят на специализированных участках (постах) в следующих случаях:

- после установки на базовое АТС комплекта газобаллонного оборудования для работы на КПГ;
- у ГБТ, на которых прошла смена баллонов вследствие истечения срока их освидетельствования;
- у ГБТ, попавших в дорожно-транспортное происшествие и имеющих отказы, связанные с необходимостью демонтажа и последующего монтажа

газовых баллонов, соединительных газопроводов, запорно-расходной и предохранительной аппаратуры;

- у ГБТ с возникшими неисправностями агрегатов и узлов газобаллонного оборудования, для устранения которых при проведении ТО и ТР требуется их снятие с трактора.

Испытания на герметичность может проводиться в соответствии с требованиями ТУ 152-12-008-99 (с изменениями № 1) «Автомобили и автобусы. Установка на автобусы газобаллонного оборудования для работы на газе сжиженном нефтяном (ГСН). Приемка и выпуск после установки. Испытание газотопливных систем».

Для проверки и регулировки газовой аппаратуры используется универсальный стенд мод. ИС-001, выпускаемый ЗАО «Автосистема», который обеспечивает:

- проверку герметичности узлов и агрегатов газовой аппаратуры;
- проверку и регулировку параметров узлов и агрегатов газобаллонной аппаратуры, в т. ч. проверку величины минимального и максимального расхода газа через ее агрегаты;
- проверку электромагнитных клапанов на срабатывание;
- проверку рабочих параметров комплектов газобаллонной аппаратуры в сборе.

Стенд содержит следующие основные части и узлы:

1. Пульт управления с измерительными приборами;
2. Стол монтажный;
3. Баллон для сжатого воздуха на давление 19,6 МПа;
4. Насос вакуумный для создания динамического (рабочего) разрежения;
5. Подводящие и распределительные трубопроводы и арматура.

Общий вид стенда представлен на рисунке. 4.6.



Рисунок 4.6 – Универсальный стенд для проверки и регулировки газовой аппаратуры мод. ИС-001

Техническая характеристика стенда мод. ИС-001:

Тип – стационарный, пневматический;

Рабочее тело – сжатый воздух;

Давление рабочего тела, подводимого к стенду – 0,95-0,78 МПа; 14,7-19,6 МПа;

Давление рабочего тела, подводимого к проверяемому объекту, МПа – 0,196; 1,96; 4,9; 14,7-19,6. Возможно изменение давления в широком диапазоне.

Статическое разрежение, создаваемое в закрытой полости проверяемого изделия – 0,065 МПа;

Динамическое разрежение, создаваемое на выходе из проверяемого объекта – 25 Па (25 мм. вод. ст.)

Максимальный расход рабочего тела – 50 м<sup>3</sup>/ч;

Минимальный расход рабочего тела – 0,2 м<sup>3</sup>/ч;

Напряжение подводимого электропитания – 380/220 В;

Напряжение постоянного тока, подводимого к электромагнитным клапанам – 24, 12, 8 В;

Максимальная мощность электропитания, потребляемая стендом – 0,4 кВт;

Масса стенда – 200 кг;

Изготовитель – ЗАО «Автосистема»

Программное обеспечение «Тракторинжек» предназначено для настройки параметров и диагностики системы подачи газообразного топлива. Главное окно программы «Тракторинжек» представлено на рисунке 4.7.

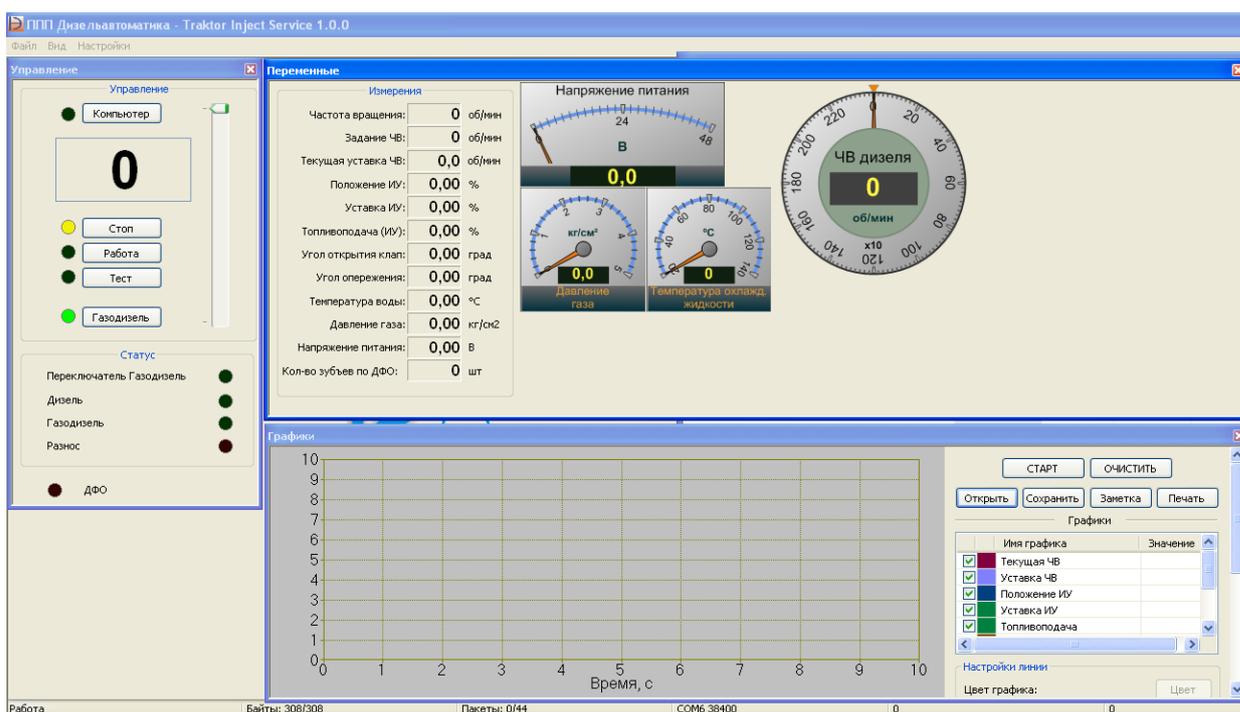


Рисунок 4.7 – Главное окно программы «Тракторинжек»

Техническая характеристика компонентов системы подачи газообразного топлива.

### Блок управления

Напряжение питания постоянного тока, В.....24±8

Количество комплексных выходов для управления ЭГК.....	8
Количество выходов для управления исполнительного устройства .....	1
Количество входных частотных каналов для определения частоты вращения коленчатого вала и положения коленчатого вала двигателя.....	2
Количество выходных дискретных каналов.....	2
Номинальный ток дискретных выходов, А.....	0,5
<u>Электромагнитная газовая форсунка</u>	
Давление газа на входе в электромагнитную газовую форсунку, кгс/см <sup>2</sup> .....	3±0,2
Номинальная цикловая подача газа (при частоте вращения 1900 мин <sup>-1</sup> ), нм <sup>3</sup> /цикл.....	0,9-10
Минимальная цикловая подача газа (при частоте вращения 700 мин <sup>-1</sup> холостого хода), нм <sup>3</sup> /цикл.....	1,5-10
<u>Исполнительное устройство</u>	
Конструктивный угол поворота выходного вала, град.....	35±2
Ток в длительном режиме работы, А, не более .....	5,4
Преобразователь частоты вращения.	
Модуль шестерни-модулятора, мм, не менее .....	2,5
Частота следования зубьев шестерни-модулятора, Гц, не менее.....	1200
Торцевой зазор между преобразователем частоты вращения и шестерней-модулятором, мм.....	1,0±0,2

#### **4.2 Определение экологических показателей работы двигателей**

Эксплуатационные исследования проводились в соответствии с ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний» и ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» в ООО «Горизонт-С» Саратовской области при выполнении основных

сельскохозяйственных операций: пахоты, культивации, посева, дискования. Для записи параметров работы двигателя был использован программный комплекс «Тракторинжект», разработанный ООО «ППП Дизельавтоматика».

В качестве сельскохозяйственных агрегатов были использованы:

- Культиватор-плоскорез широкозахватный КПШ-9 (рисунок 4.8)
- Сеялка-культиватор зернотуковая стерневая СЗС-2,1 в многосеялочном шеренговом агрегате, в количестве 5 штук с применением сцепок (рисунок 4.9);
- Борона дисковая БН-3,2 (рисунок 4.10);
- Плуг навесной ПЛН-8-35 (рисунок 4.11).



Рисунок 4.8 – Экспериментальный трактор в агрегате с культиватором КПШ-9

Культиватор-плоскорез широкозахватный КПШ-9 применяется в степных районах с недостаточным и неустойчивым увлажнением и почвами, склонными к ветровой эрозии в зонах 5-10, при уклонах поверхности поля не более  $8^\circ$ , при влажности почвы в пределах 12-25 % и твердости почвы не более 2,5 МПа. Плоскорез предназначен для паровой и осенней обработки почвы, а также предпосевной обработки почв, лёгких по механическому составу, с максимальным сохранением стерни и других пожнивных остатков на поверхности

поля после колосовых и пропашных предшественников. Плоскорез КПШ-9 агрегируется с тракторами тягового класса 5-6 т (К-700, К-701, К-700А, К-744Р, К-744Р1, К-744Р2, Т-404, Т-250).



Рисунок 4.9 – Экспериментальный трактор в агрегате с сеялками СЗС-2,1

Сеялка-культиватор зернотуковая стерневая СЗС-2,1 предназначена для рядкового посева зерновых, мелко и среднесеменных бобовых культур с одновременным подрезанием сорняков, внесением гранулированных удобрений и прикатыванием почвы в засеянных рядках на стерневых фонах в районах с почвами, подверженными ветровой эрозии. Для посева на обработанных фонах сеялка может быть оборудована наральниками. Сеялка обеспечивает качественный посев на почвах различного механического состава с относительной влажностью до 20 % с максимальным сохранением стерни после посева. Прикатывание почвы в засеянных рядках производится с целью создания плотного контакта между высеянными семенами и влажной почвой на дне борозд. Сеялка СЗС-2,1 в одиночном агрегате может работать с тракторами тягового класса 1,4 т (МТЗ-80/82/100). В многосеялочном шеренговом агрегате, с применением сцепок, сеялки могут работать с тракторами класса 3 и 5 т (ДТ-75, Т-4А, Т-402, Т-404, Т-150К, Т-150, ВТ-100, ВТ-150, К-700, К-700А, К-701, К-744Р, К-744Р1, К-744Р2).



Рисунок 4.10 – Экспериментальный трактор в агрегате с дисковой бороной БН-3,2

Борона дисковая БН-3,2 предназначена для минимальной, основной и предпосевной обработки почвы с измельчением и заделкой в нее органических остатков под зерновые, технические и кормовые культуры во всех агроклиматических зонах, в том числе подверженных ветровой и водной эрозии. Борона дисковая должна эксплуатироваться при твердости почвы до 3,0 МПа и абсолютной влажности почвы до 40 %; уклон поверхности поля не должен превышать 8°.



Рисунок 4.11 – Экспериментальный трактор в агрегате с плугом ПЛН-8-35

Параметры двигателя при эксплуатационных испытаниях определялись с помощью программного комплекса «Тракторинжент» (рисунки 4.12-4.15).

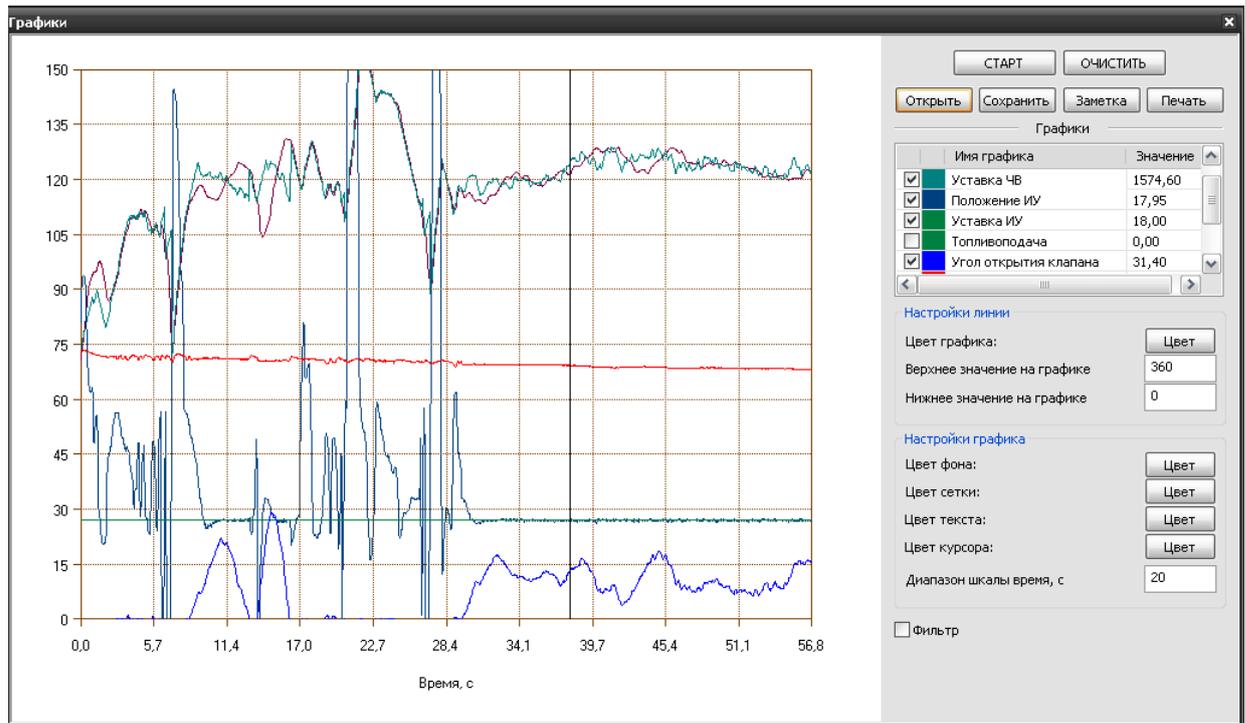


Рисунок 4.12 – Фрагмент записи параметров работы трактора К-700А в агрегате с культиватором-плоскорезом КПШ-9

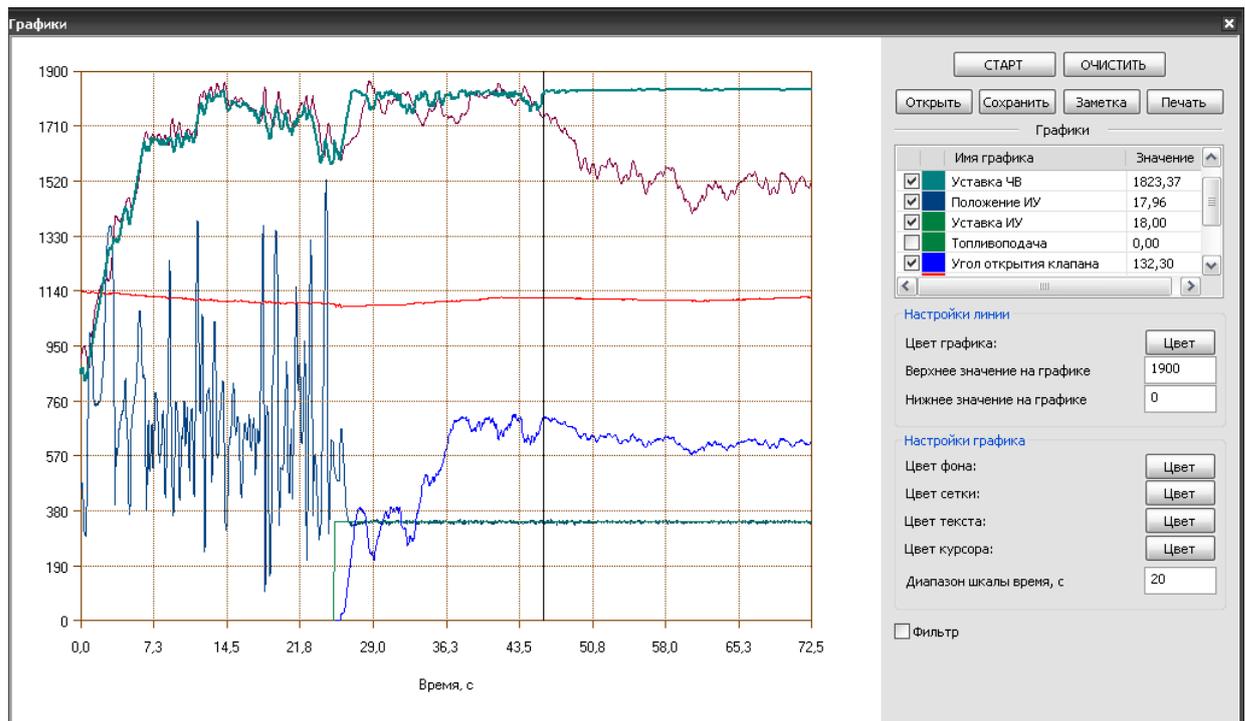


Рисунок 4.13 – Фрагмент записи параметров работы трактора К-700А в агрегате с сеялкой СЗС-2.1

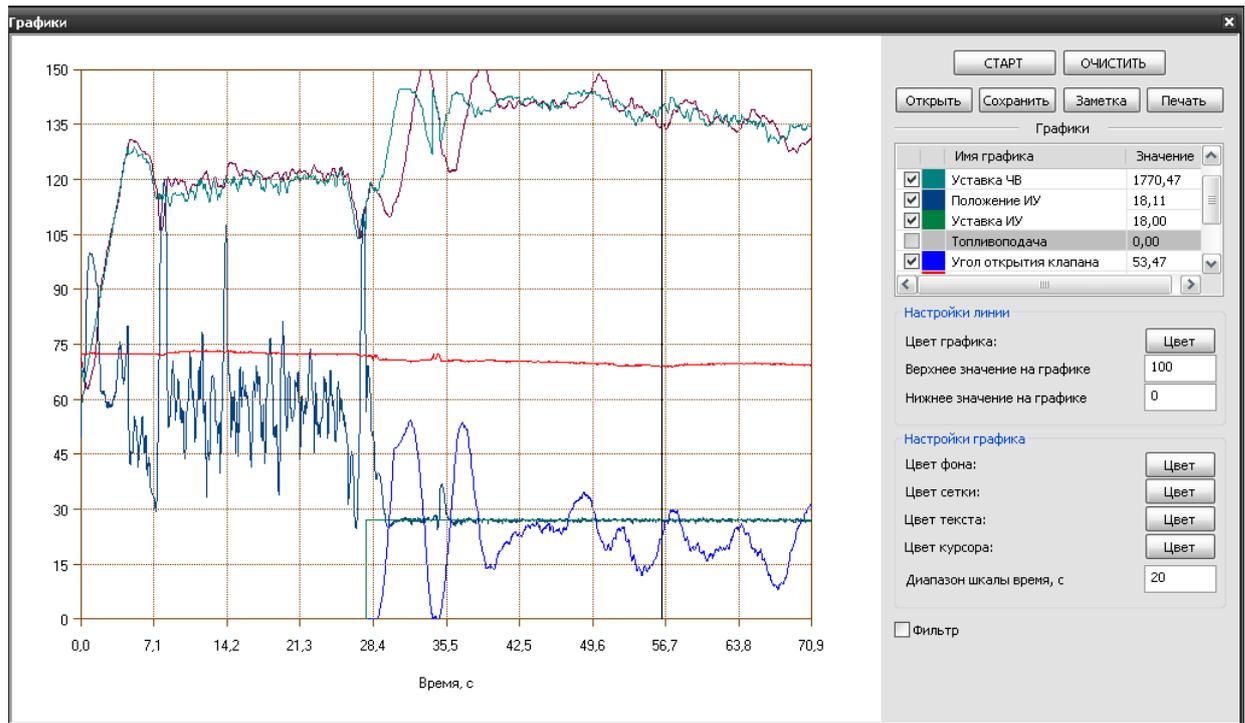


Рисунок 4.14 – Фрагмент записи параметров работы трактора К-700А в агрегате с бороной БН-3,2

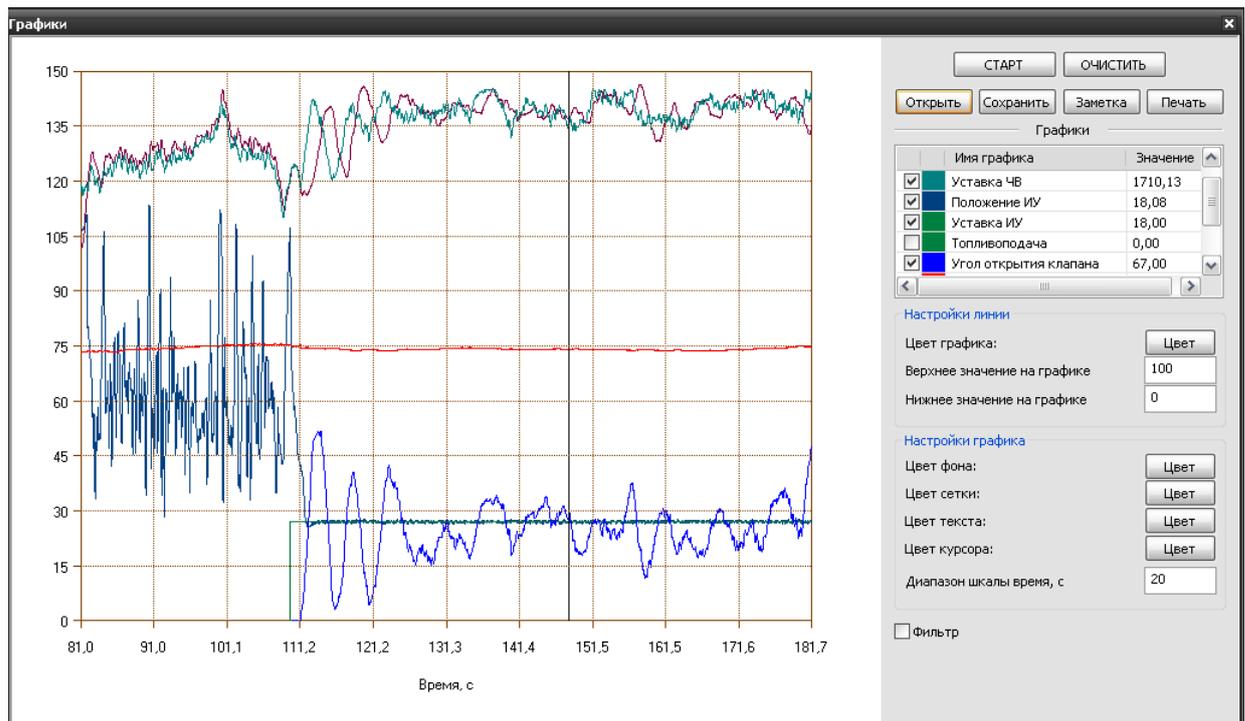


Рисунок 4.15 – Фрагмент записи параметров работы трактора К-700А в агрегате с плугом ПЛН-8-35

На базе фермерского хозяйства были проведены эксплуатационные исследования тракторов К-700А, один из которых был оснащен системой с центральной подачей газообразного топлива типа СЭРГ-500, а второй – системой

распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу для работы по газодизельному циклу. В ходе проведения экологических исследований концентрации основных токсичных элементов в отработанных газах двигателя трактора, которые определяли с помощью газоанализатора «АВТОТЕСТ-01.02». Исследования производились при выполнении основных сельскохозяйственных операций: пахоты, культивации, посева, дискования. Для получения объективных данных проводились измерения при работе трактора К-700А по дизельному и газодизельному циклу. Данная методика проведения экологических эксплуатационных исследований представлена на рисунке 4.16.

Полученные результаты эксплуатационных экологических исследований показаны на рисунке 4.17.



Рисунок 4.16 – Проведение экологических исследований при эксплуатации трактора К-700А, оснащенного эжекционной системой подачи газообразного топлива

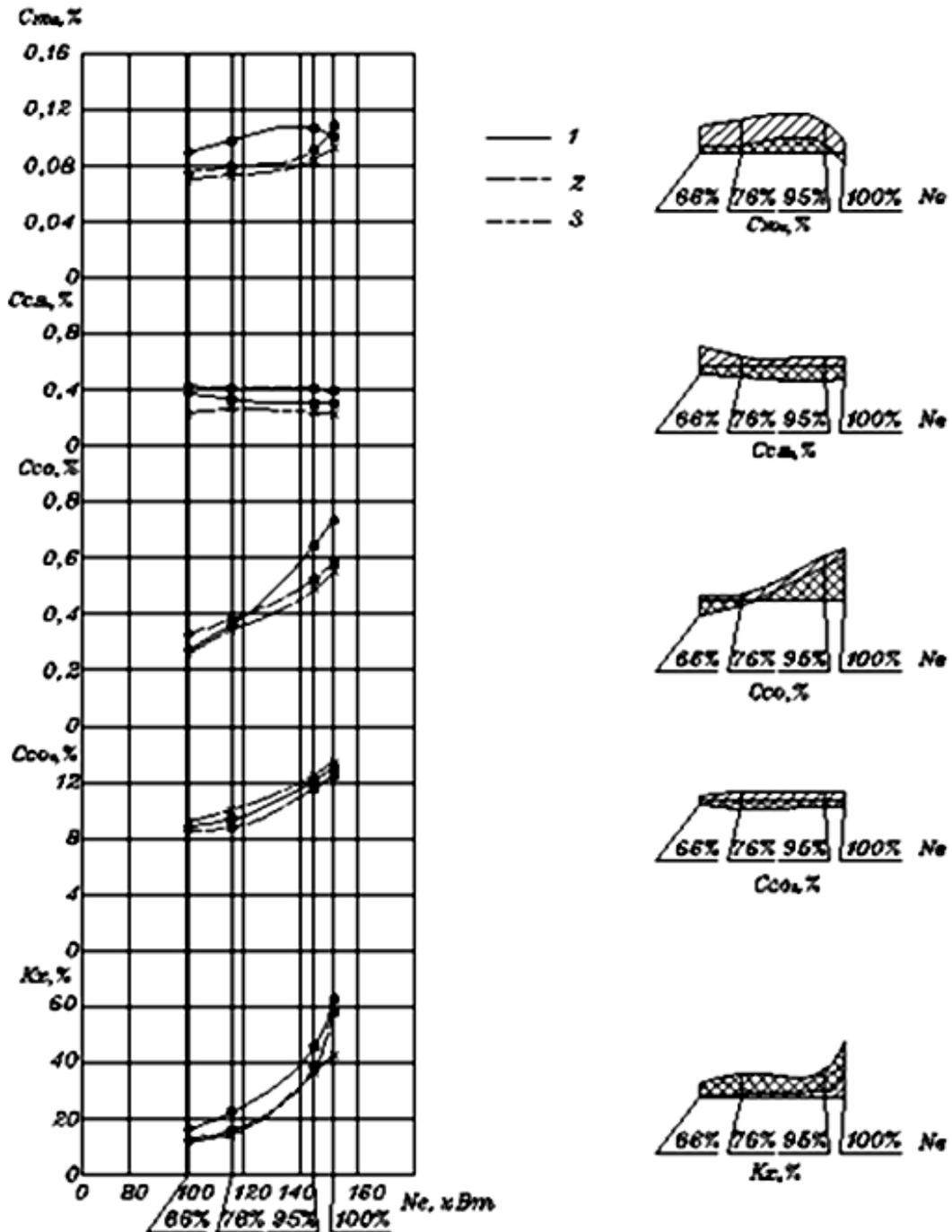


Рисунок 4.17 – Результаты эксплуатационных экологических исследований

Сплошная линия (1) – результаты исследования при работе по дизельному циклу; прерывистая линия (2) – результаты исследования при работе по газодизельному циклу под управлением системы с центральной подачей газа типа СЭРГ-500; двойная прерывистая линия (3) – результаты исследования при работе по газодизельному циклу под управлением разработанной системы с распределенной подачей газа по эжекционному принципу; справа от графика

представлены эпюры изменения экологических показателей, в зависимости от мощности.

При исследованиях отмечено улучшение основных показателей токсичности при переводе дизеля на газодизельный цикл. В первую очередь это относится к дымности ОГ, уменьшающейся во всем диапазоне нагрузочных режимов работы дизеля. Так, на режиме с  $N_e = 152$  кВт при  $n = 2100$  мин<sup>-1</sup> дымность снижается с 63 до 40 %. На номинальном режиме отмечается жесткое сгорание топлива и, как следствие, увеличение выброса оксидов азота. На других нагрузочных режимах работы газодизеля содержание  $\text{NO}_x$  в его ОГ меньше, чем у двигателя, работающего только на дизельном топливе. В то же время отмечено увеличение эмиссии углеводородов  $\text{CH}_x$  и монооксида углерода CO. Большие выбросы  $\text{CH}_x$  особенно характерны для режимов работы газодизеля с малыми нагрузками и большим коэффициентом избытка воздуха (рисунок 4.17). Это объясняется неполнотой сгорания газового топлива в газодизеле при работе на бедных смесях. На этих режимах отмечено и ухудшение топливной экономичности. Таким образом, результаты испытаний показали целесообразность перехода на дизельный цикл на режимах малых нагрузок и холостого хода с целью уменьшения выбросов углеводородов и расхода топлива. Исследования также показали, что для улучшения показателей работы двигателя по газодизельному циклу необходимы оптимизация состава горючей смеси на всех режимах, управление моментом впрыскивания (УОВТ) запальной дозы дизельного топлива, подбор и регулирование фаз газораспределения [22]. В результате анализа проведенных исследований можно сделать вывод, что экологическая эффективность разработанной системы с распределенной подачей газа по эжекционному принципу превышает экологическую эффективность системы с центральной подачей газа типа СЭРГ-500, по показателю  $\text{NO}_x$  на 20 %,  $\text{CH}_x$  на 30 %, CO на 10 %, а  $\text{CO}_2$  повысилось на 30 %, а коэффициент задымленности снизился на 15 %, за счет оптимизации процессов горения газообразного топлива. Данные значения показывают, что переход дизеля на работу по газодизельному циклу позволяет, по нормам выбросов токсичных газов

соответствовать стандарту ЕВРО-4, а по отдельным показателям соответствовать ЕВРО-5 (рисунок 4.18).

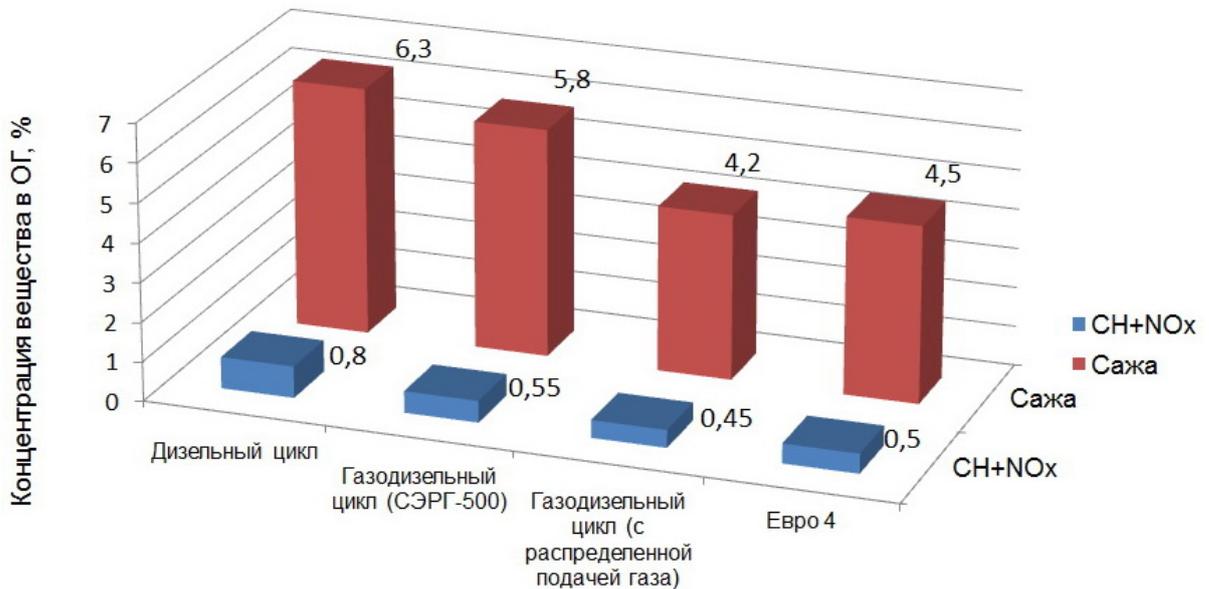


Рисунок 4.18 – Выбросы токсичных газов трактора К-700А

Измерение экологических показателей двигателя ЯМЗ-236, установленного на тракторе РТМ-160, производились газоанализатором ДАГ-16, который представляет собой портативный многофункциональный прибор со средствами отбора пробы, обработки данных и регистрацией результата на термобумаге и электронных носителях информации.

Прибор ДАГ-16 предназначен для контроля выбросов вредных веществ и оптимизации работы топливных установок путем контроля содержания в отработанных газах следующих компонентов: кислорода, угарного газа, окиси азота, двуокиси серы, двуокиси азота и сероводорода. В комплект прибора входит:

- газоанализатор в металлическом корпусе, включающий в себя все основные компоненты измерения, обработки и регистрации;
- зонд с термопарой, компенсационным проводом, газовым шлангом, конденсатоуловителем со встроенным фильтром очистки измеряемого газа;
- блок питания, обеспечивающий работу прибора и зарядку встроенного аккумулятора от сети;
- футляр для укладки комплекта газоанализатора в нерабочем состоянии.

После окончания автоматической калибровки и выбора вида топлива включаем насос. С помощью зонда забора газа отыскиваем середину потока по максимальной температуре выхлопных газов. При различных циклах работы двигателя (дизельный, газодизельный) и оборотах коленчатого вала производим замеры отработавших газов.

Из сравнительных характеристик работы двигателя ЯМЗ-236 (рисунок 4.19) по дизельному и газодизельному циклу видно уменьшение вредных выбросов в среднем: CO – на 71,16 ppm (21 %), NO – на 16 ppm (8,75 %), NO<sub>2</sub> – на 4,83 ppm (14 %), CO<sub>2</sub> – на 0,23 %, NO<sub>x</sub> – на 15,5 ppm (10,6 %), сажи – на 34,5 %.

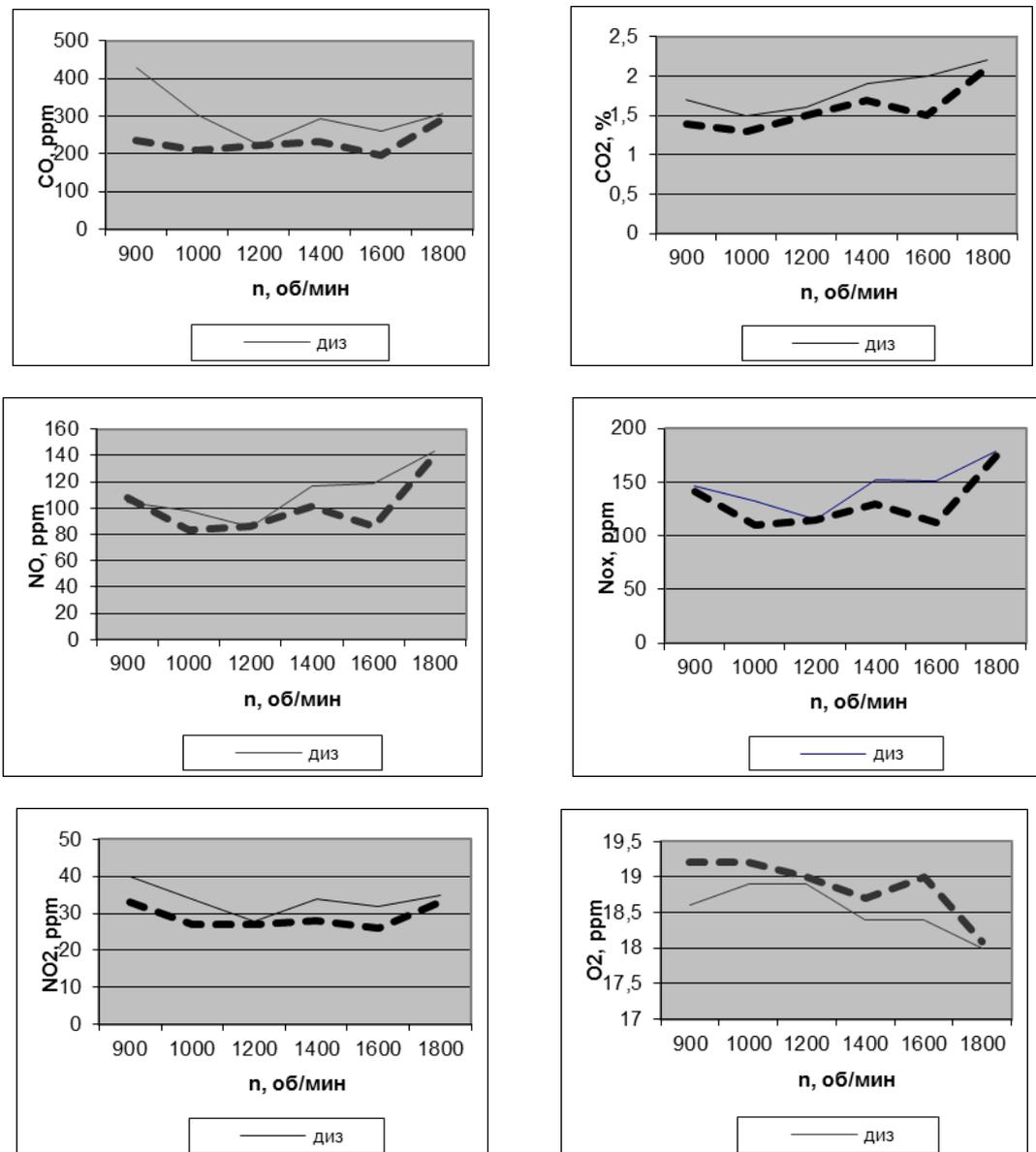


Рисунок 4.19 – Сравнительная характеристика экологических показателей двигателя ЯМЗ-236 при работе по дизельному и газодизельному циклу

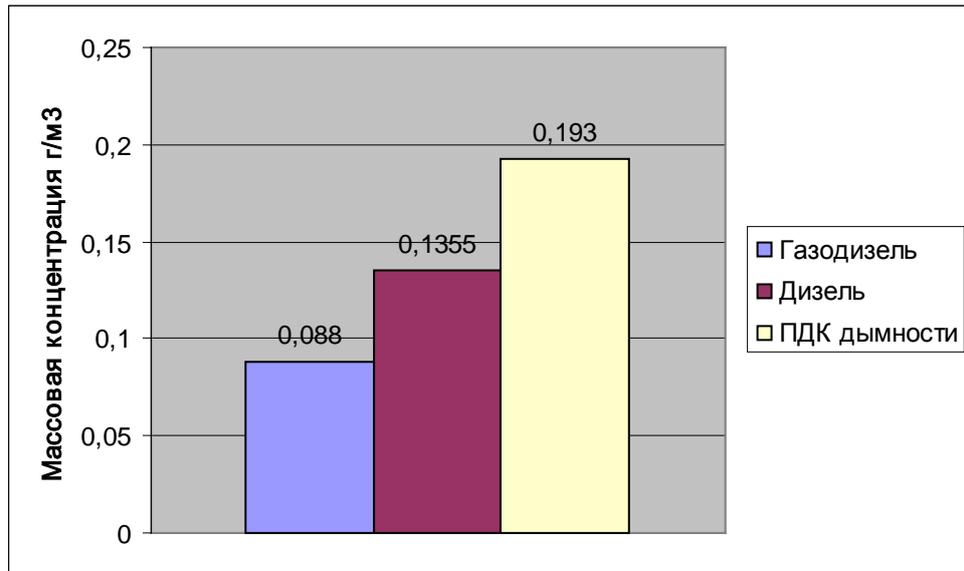


Рисунок 4.20 – Массовая концентрация сажи в режиме свободного ускорения двигателя ЯМЗ-236 при работе по дизельному и газодизельному циклу

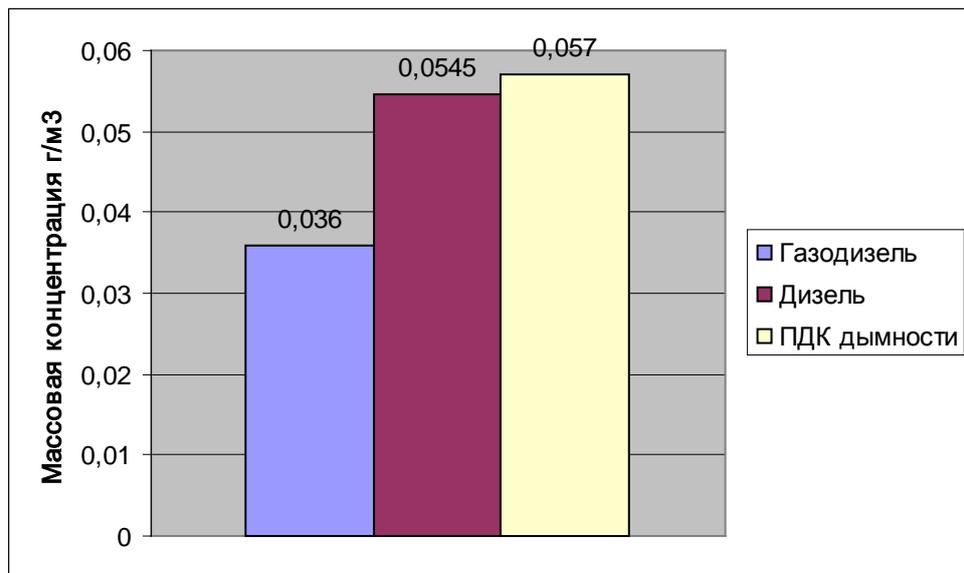


Рисунок 4.21 – Массовая концентрация сажи в режиме максимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя ЯМЗ-236 при работе по дизельному и газодизельному циклу

На основании изложенного можно сказать, что единственным быстрым, эффективным и относительно дешевым способом сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания

автотранспортных средств является массовый переход на использование в качестве моторного топлива природного газа.

### 4.3 Методика и результаты экспериментальных исследований статических углов устойчивости трактора К-700А с навесным плугом

Для определения расположения координат центров тяжести каждой полурамы в отдельности нами была разработана специальная методика, которая базируется на положениях [39]. Схема испытания для определения координат центра тяжести передней полурамы приведена на рисунке 4.22, а.

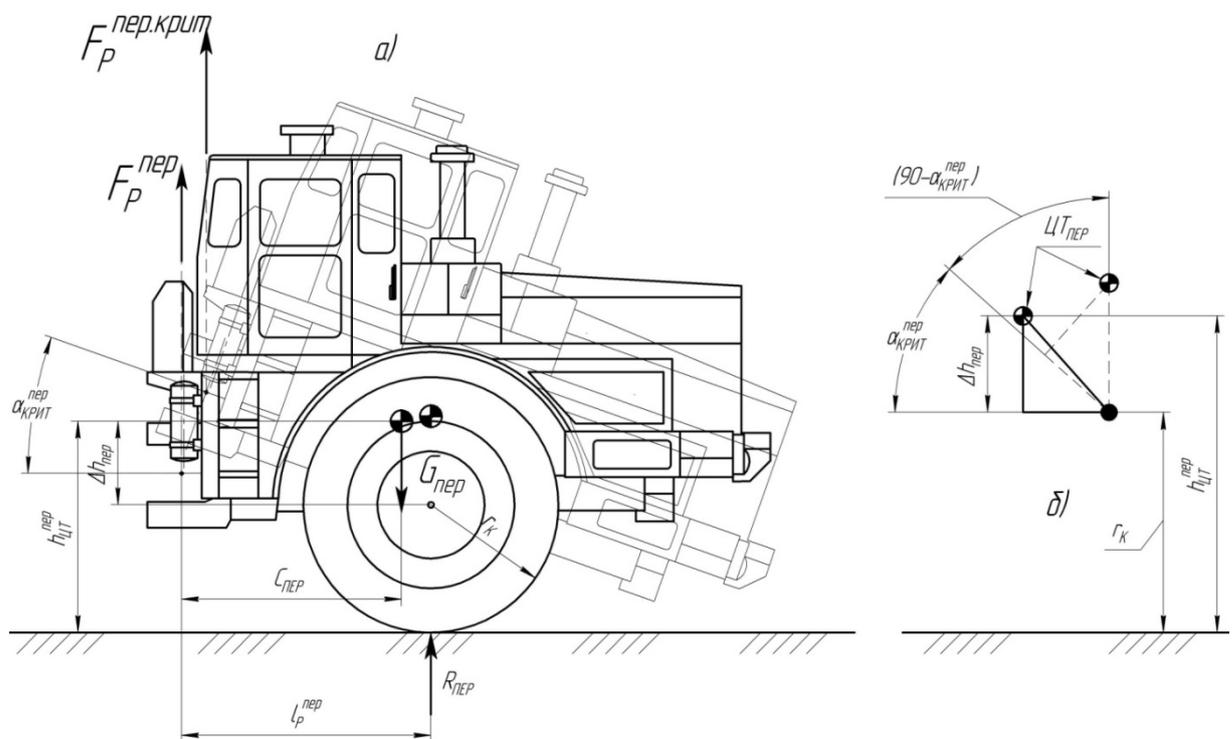


Рисунок 4.22 – Схема к определению центра тяжести передней полурамы: а – схема испытания; б – расчетная схема.

Для определения координат центра тяжести передней полурамы трактора колеса передней полурамы устанавливают на платформы переносных автомобильных весов. После этого место сочленения шарнира передней полурамы трактора подвешивают на стропах крана, фиксируя при этом усилие  $F_p^{\text{пер}}$  на этих стропах при помощи динамометра ДПУ-20-1 (рисунок 4.23). При этом горизонтальная координата расположения центра тяжести передней полурамы  $C_{\text{пер}}$  может быть определена из выражения:

$$C_{\text{пер}} = \frac{R_{\text{пер}} \cdot l_{\text{р}}^{\text{пер}}}{G_{\text{пер}}}, \quad (4.5)$$

где  $R_{\text{пер}}$  – реакция со стороны платформ весов на колеса передней полурамы трактора в горизонтальном положении, Н;

$$R_{\text{пер}} = m_{\text{в.п.}} \cdot g,$$

где  $m_{\text{в.п.}}$  – масса, приходящаяся на ведущий мост передней полурамы, кг (показания весов);

$l_{\text{р}}^{\text{зад}}$  – расстояние от оси заднего моста до оси шарнира поворота трактора, мм;

$G_{\text{пер}}$  – вес передней полурамы трактора, Н.

$$G_{\text{пер}} = m_{\text{пер}} \cdot g,$$

$m_{\text{пер}}$  – масса передней полурамы трактора, кг.



Рисунок 4.23 – Исследования по определению координат центра тяжести передней полурамы трактора К-700А

Для определения вертикальной координаты положения центра тяжести передней полурамы необходимо поднимать стропы крана (при этом будет происходить поворот полурамы относительно центра колес) до того момента,

пока показания динамометра не будут равны нулю. Полученный таким образом угол будет являться так называемым критическим углом наклона, при котором будет наблюдаться равновесное состояние. Положение вертикальной координаты центра тяжести передней полурамы трактора (рисунок 4.22, б) определится выражением:

$$h_{\text{ЦТ}}^{\text{пер}} = r_{\text{к}} + (l_{\text{п}}^{\text{пер}} - C_{\text{пер}}) \cdot \text{tg}(90 - \alpha_{\text{КРИТ}}^{\text{пер}}), \quad (4.6)$$

где  $r_{\text{к}}$  – статический радиус колеса, мм;

$\alpha_{\text{КРИТ}}^{\text{пер}}$  – критический угол наклона передней полурамы, при котором линия действия силы тяжести  $\bar{G}_{\text{ПЕР}}$  пересекается с передней осью трактора, град; при этом  $F_{\text{п}}^{\text{ПЕР.КРИТ.}} = 0$ .

Таким же образом можно получить координаты центра тяжести задней полурамы трактора согласно рисунка 4.24:

$$C_{\text{зад}} = \frac{R_{\text{зад}} \cdot l_{\text{п}}^{\text{зад}}}{G_{\text{зад}}}, \quad (4.7)$$

где  $R_{\text{зад}}$  – реакция со стороны платформ весов на колеса задней полурамы трактора в горизонтальном положении, Н;

$$R_{\text{зад}} = m_{\text{в.з}} \cdot g,$$

где  $m_{\text{в.з}}$  – масса, приходящаяся на задний ведущий мост задней полурамы, кг (показания весов);

$l_{\text{п}}^{\text{зад}}$  – расстояние от оси заднего моста до оси шарнира поворота трактора, мм;

$G_{\text{зад}}$  – вес задней полурамы трактора, Н.

$$G_{\text{зад}} = m_{\text{зад}} \cdot g,$$

$m_{\text{зад}}$  – масса задней полурамы трактора, кг.

Для определения вертикальной координаты положения центра тяжести задней полурамы поднимают стропы крана до того момента, пока показания динамометра не будут равны нулю. Положение вертикальной координаты центра тяжести задней полурамы трактора определится выражением:

$$h_{ЦТ}^{зад} = r_K + (l_P^{зад} - C_{зад}) \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha_{КРИТ}^{зад}), \quad (4.8)$$

где  $\alpha_{КРИТ}^{зад}$  – критический угол наклона задней полурамы, при котором линия действия силы тяжести  $\bar{G}_{зад}$  пересекается с передней осью трактора, град; при этом  $F_P^{зад.КРИТ.} = 0$ .

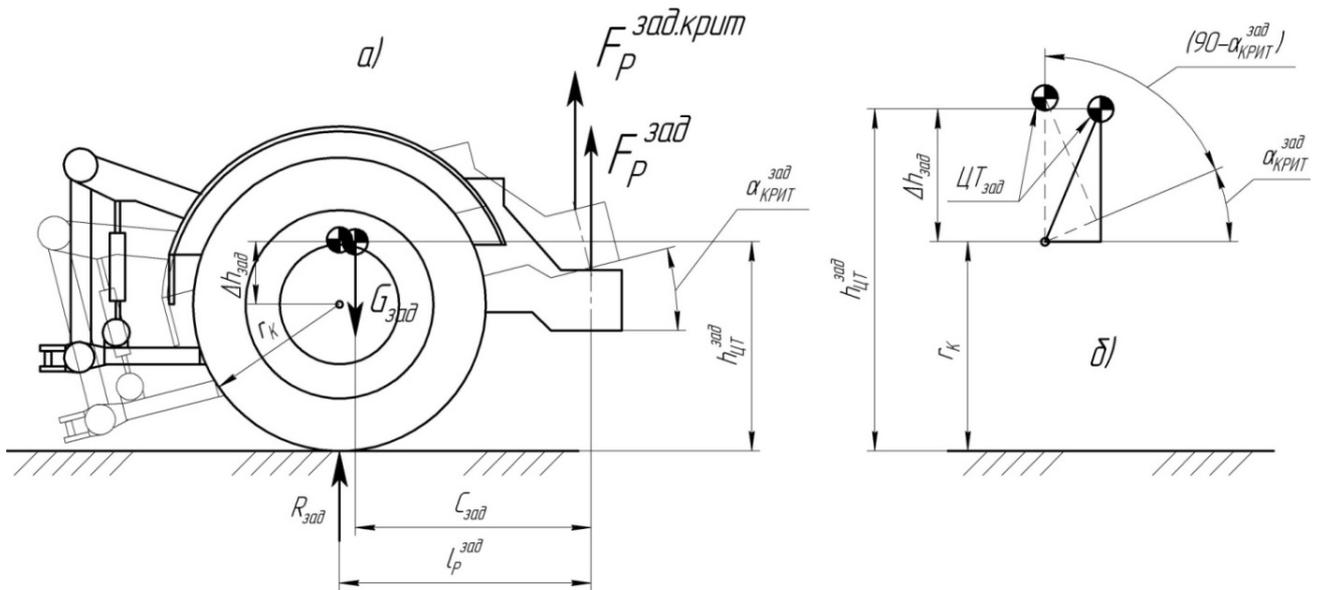


Рисунок 4.24 – Схема к определению центра тяжести задней полурамы: *а* – схема испытания; *б* – расчетная схема.

Таким образом, проведенный эксперимент позволил определить геометрическое расположение центров тяжести каждой полурамы в отдельности, что дало возможность рассматривать их при расчете устойчивости трактора на склонах как отдельные составляющие и учесть особенности конструкции трактора с ломающейся рамой.

Значения экспериментальных и расчетных данных по определению центров тяжести полурам трактора К-700А приведены в таблице 4.3.

Сельскохозяйственные тракторы должны быть сконструированы и изготовлены таким образом, чтобы сохранялась их устойчивость при соблюдении заданных условий эксплуатации. При этом они должны соответствовать требованиям по устойчивости, установленным соответствующими нормативными документами.

В процессе конструирования вся сельскохозяйственная техника проектируется таким образом, чтобы она соответствовала требованиям указанных выше документов.

Таблица 4.3 – Данные по определению координат центров тяжести полурам трактора К-700А

Наименование показателя	Значение показателя	
	передняя полурама	задняя полурама
<b><i>Экспериментальные данные</i></b>		
Расстояние от центра вращения шарнира до оси колес, мм	1600	1600
Показания весов в горизонтальном положении, кг	6812	4524
Показания динамометра в горизонтальном положении, кг	5620	2840
Показания весов при критическом значении угла наклона, кг	8132	4678
Значение критического угла $\alpha_{\text{КРИТ}}$ , град	14	28
<b><i>Расчетные данные</i></b>		
Горизонтальная координата расположения центра тяжести (согласно рисунков 4.1 и 4.3) $C$ , мм	1340	1547
Вертикальная координата расположения центра тяжести (согласно рисунков 4.1 и 4.3) $h_{\text{ЦТ}}$ , мм	1356	975

Так как топливная аппаратура, обеспечивающая работу трактора по газодизельному циклу, имеет значительную массу (около 2200 кг) и устанавливается довольно высоко (на высоте более 2<sup>х</sup> метров), ее установка может значительно повлиять на устойчивость трактора. При этом предельные углы опрокидывания могут не соответствовать установленным значениям [37].

В связи с этим в ходе исследований проводились испытания трактора, оснащенного газобаллонным оборудованием для работы по газодизельному циклу, в процессе которых определялись предельные углы продольной и поперечной устойчивости.

В основу этих исследований была положена методика, описанная в [1, 36, 41].

В момент опрокидывания трактора произойдет отрыв соответствующих колес трактора от платформы: при определении предельного угла подъема произойдет отрыв передних колес, предельного угла уклона – отрыв задних колес, предельного поперечного угла наклона – отрыв колес, противоположных стороне, в которую происходит наклон трактора.

Для оценки углов продольной и поперечной устойчивости использовалась металлическая платформа размером 8×4 метра, оснащенная проушинами по углам. Проушины предназначены для обеспечения возможности наклона платформы в продольном или поперечном направлениях при помощи кранового подвеса грузоподъемностью не менее 10 тонн; высота подъема – не менее девяти метров.

Перед проведением испытаний поверхность платформы была высушена и очищена от грязи. Скорость ветра во время проведения испытаний 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.

На сиденье трактора помещался груз массой  $75 \pm 5$  кг.

При испытании на тракторе был включен стояночный тормоз и низшая передача. Рычаг выключения заднего моста находился в положении «Включено».

Давление в шинах колес находилось в пределах 0,14...0,15 МПа. Сами колеса при этом были очищены от грязи.

Для предотвращения скольжения (поперечного сдвига) колес при поперечном наклоне трактора на платформе были закреплены четыре боковые опоры высотой  $h_{\text{ПО}} = 150$  мм каждая, устанавливаемые по наружным торцам шин колес в точках контакта их с платформой.

Для предотвращения скольжения трактора в продольном направлении напротив каждого из колес устанавливались противооткатные упоры высотой  $h_{ПРУ} = 400$  мм, жестко закрепленные на платформе.

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 в момент отрыва колес 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 оценивалось при помощи отвеса и деревянного щита размером  $400 \times 400$  мм, на котором делались отметки горизонтального положения, а также соответствующего предельного угла наклона платформы.

Перед началом испытаний трактор (МТА), подготовленный в соответствии с требованиями, указанными выше, устанавливался на платформе таким образом, чтобы продольная ось и направление движения колес были параллельны оси поперечного наклона платформы с отклонением не более  $1,5^\circ$ . После этого под колеса устанавливали противооткатные упоры и жестко фиксировали их на платформе. По торцам колес устанавливали боковые опоры и также жестко закрепляли их на платформе.

Для определения предельного статического угла подъема трактора на щите 7 (рисунок 4.25) по отвесу отмечалось горизонтальное положение платформы. После этого крановым подвесом 5 со стороны передней части трактора платформу 1 плавно поднимали, при этом постепенно ослабляли страховочный строп платформы 6, наблюдая при этом за колесами трактора. В момент отрыва

передних колес от платформы на щите с отвесом снова отмечали угловое положение платформы. Значение угла наклона платформы в момент отрыва передних колес трактора от платформы будет являться предельным статическим углом подъема трактора  $\alpha_{lim\text{ПОД}}$ . Эксперимент проводился три раза. За оценочный показатель принимали минимальный из учтенных углов наклона платформы относительно горизонтальной плоскости, при котором происходит отрыв передних колес от платформы.

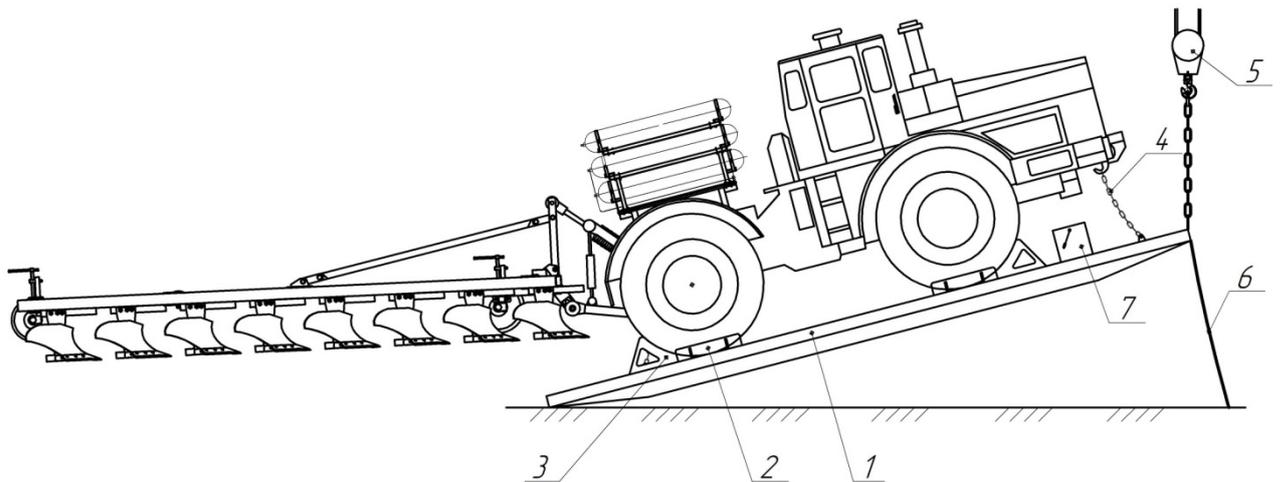


Рисунок 4.25 – Определение предельного угла подъема машинно-тракторного агрегата: 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом

Аналогично определяли значение предельного статического угла опрокидывания трактора на уклоне  $\alpha_{lim\text{УК}}$ . Отличие заключается в том, что подъем платформы осуществлялся со стороны задней части трактора. При этом подъем платформы осуществлялся до того момента, пока не произойдет отрыв задних колес трактора от платформы (рисунок 4.26).

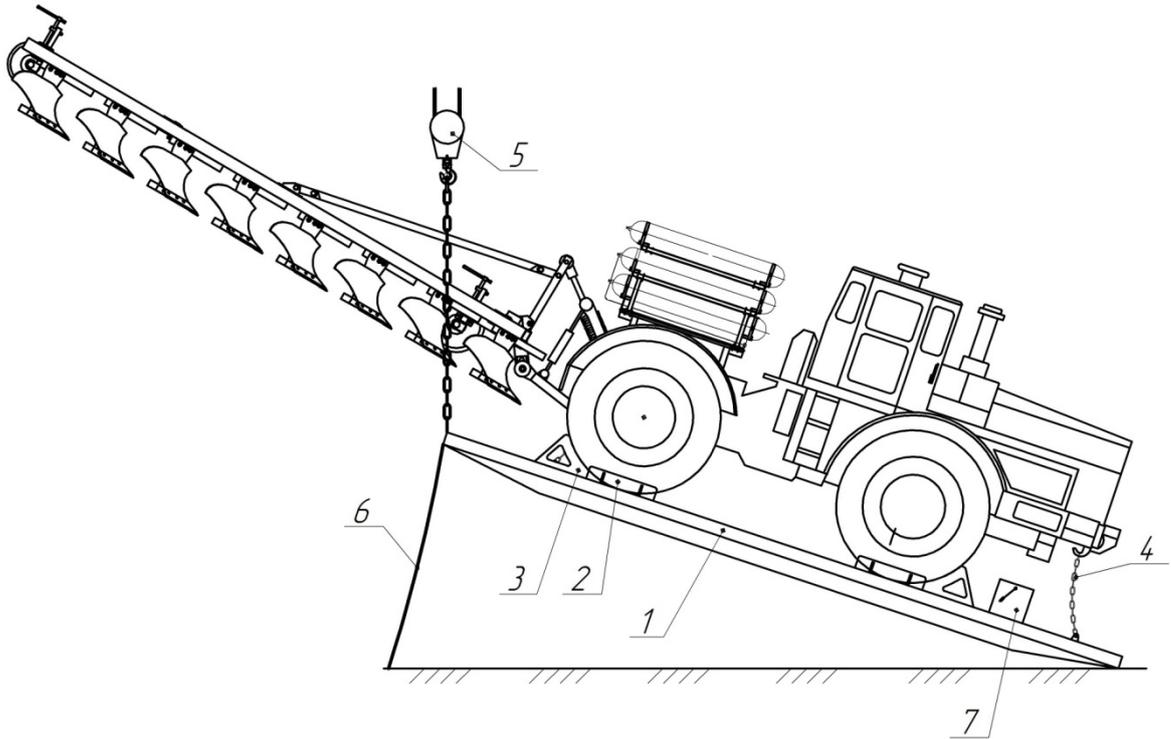


Рисунок 4.26 – Определение предельного статического угла уклона машинно-тракторного агрегата: 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом

Для определения предельного статического угла поперечной устойчивости  $\beta_{\text{limУК}}$  платформу поднимали с правой и с левой сторон трактора. Подъем осуществляли до тех пор, пока не произойдет отрыв обоих колес (переднего и заднего) от платформы (рисунок 4.27).

Так же, как и в случае определения углов продольной устойчивости, испытания проводились с трехкратной повторяемостью, а за оценочный показатель принимали минимальный угол наклона платформы.

Как показали проведенные эксперименты, первоначально происходит отрыв от платформы передних колес, и лишь после этого происходит отрыв заднего колеса от платформы. Результаты проведенных экспериментов в сравнении с теоретическими данными представим в виде таблицы 4.4.

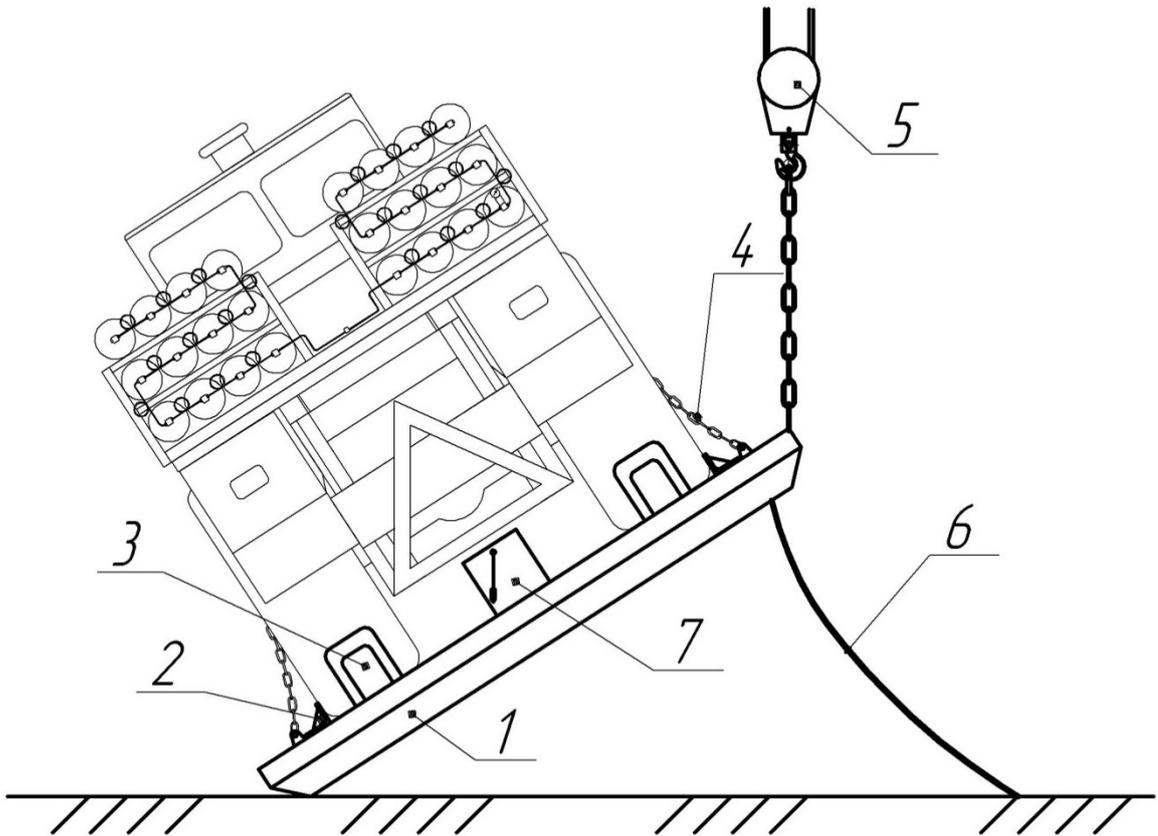


Рисунок 4.27 – Определение предельного статического угла уклона машинно-тракторного агрегата (пług не показан): 1 – платформа; 2 – боковая опора; 3 – противооткатный упор; 4 – страховочные цепи; 5 – крановый подвес; 6 – страховочный строп платформы; 7 – деревянный щит с отвесом.

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

$$\delta = \frac{|\alpha_{\text{ТЕОР}} - \alpha_{\text{ЭКСП}}|}{\alpha_{\text{ТЕОР}}} \cdot 100\% , \quad (4.9)$$

где  $\alpha_{\text{ТЕОР}}$  – теоретическое значение угла, град;

$\alpha_{\text{ЭКСП}}$  – экспериментальное значение угла, град.

Таблица 4.4 – Сводная таблица определения статических углов продольной и поперечной устойчивости трактора К-700А, оснащенного газобаллонным оборудованием в агрегате с плугом ПЛН-8-35

Комплектация		Предельный статический угол подъема $\alpha_{limПОД}$	Предельный статический угол уклона $\alpha_{limУК}$	Предельный статический угол поперечной устойчивости $\beta_{limУК}$
Трактор без плуга и газобаллонного оборудования	теорет., град	57,7	46,3	35,6
	экспер., град	56,0	46,0	35,0
	$\delta$ , %	2,9	0,6	1,7
Трактор, оснащенный газобаллонным оборудованием без плуга	теорет., град	50,5	47,6	33,0
	экспер., град	49,0	48,0	33,0
	$\delta$ , %	3,0	0,8	0
Трактор, оснащенный газобаллонным оборудованием, в агрегате с плугом	теорет., град	38,3	56,0	32,8
	экспер., град	37,0	54,0	32,0
	$\delta$ , %	3,4	3,6	2,4

Как показал проведенный эксперимент, значения предельных статических углов опрокидывания, полученные экспериментальным путем и посредством аналитических расчетов довольно близки. Расхождение не превышает 3,6 % (таблица 4.4). Это является подтверждением правильности проведенных теоретических расчетов.

#### **4.4 Рекомендации по совершенствованию техники безопасности и техническому обслуживанию**

При применении метана в качестве моторного топлива устанавливаются дополнительные требования пожарной безопасности к оборудованию, зданиям, сооружениям, открытым и закрытым стоянкам, постам технического обслуживания.

В соответствии с действующими нормативными документами [92, 102, 113] каждый баллон должен иметь вентиль с предохранительным устройством, при

этом необходимо регулярно проводить проверку герметичности газового оборудования. Транспортное средство должно быть оснащено сигнализацией утечки газа с выводом сигнала водителю.

Необходимо соблюдать минимальные расстояния от открытых стоянок хранения переоборудованных транспортных средств до зданий и сооружений. Покрытие стоянки должно быть выполнено с определенным видом и уклоном.

Особые требования предъявляются к объемно-планировочным решениям зданий. В зависимости от степени огнестойкости здания, количества подвижного состава и схемы технологического процесса (рисунок 4.28) необходимо принимать определенную площадь автостоянки и этажность здания.

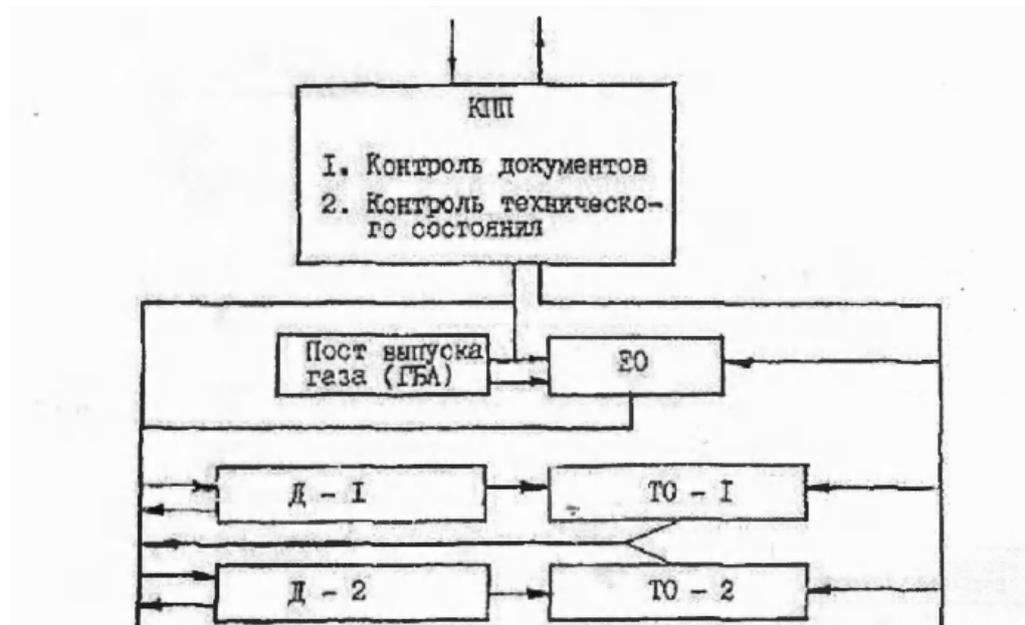


Рисунок 4.28 – Схема технологического процесса ТО и ТР газобаллонной аппаратуры

Необходимая площадь производственного участка ТО определяется по формуле [5]:

$$F_{\text{уч}} = \sum Z_{iy} \cdot f_{cij}, \quad (4.10)$$

где  $Z_{iy}$  – удельная годовая потребность в площади машины  $i$ -ой марки,  $\text{м}^2$ ; (для трактора К-700А –  $30\text{м}^2$  [5]);

$f_{cij}$  – фронт ремонта  $i$ -ой машины, как число машин  $j$ -ой марки, находящихся в ремонте (расчет производим на один пост).

$$F_{\text{уц}} = 30 \cdot 1 = 30 \text{ м}^2.$$

Трактор К-700А относится к IV категории подвижного состава [92]. В соответствии с нормами расстояний и категории для подвижного состава и оборудования определяем состав и габариты поста технического обслуживания (рисунок 4.29)

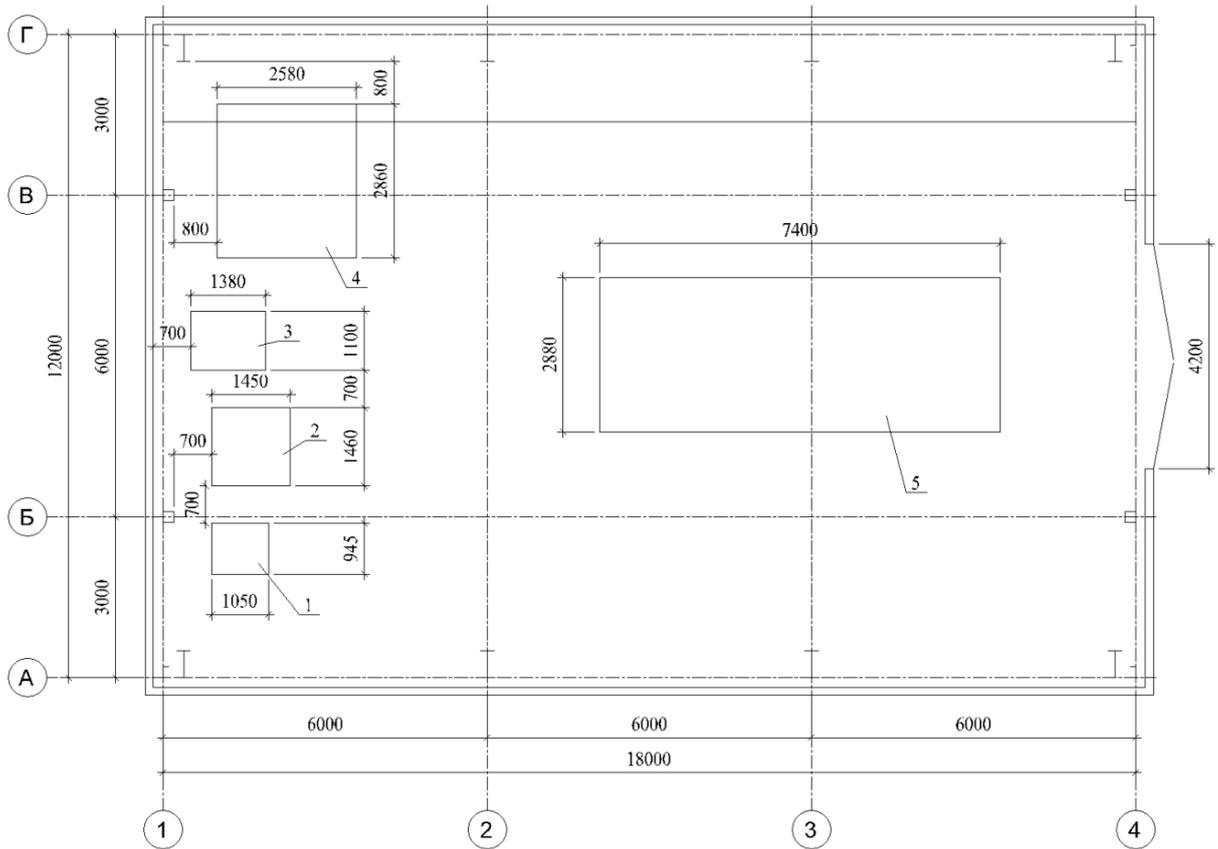


Рисунок 4.29 – План размещения оборудования поста технического обслуживания

В зависимости от габаритов поста технического обслуживания определим категорию помещения. Принадлежность помещения к той или иной категории по взрывопожарной и пожарной опасности определяется из соотношения свободного объема помещения  $V_0$  и допустимого объема  $[V]$ . Если для помещения выполняется соотношение  $V_0 > [V]$ , то это помещение относится к категории B2. Если же для помещения  $V_0 < [V]$ , то данное помещение следует отнести к категории A по взрывопожарной и пожарной опасности [113].

За аварийную ситуацию принимаем разгерметизацию одного баллона. Для этого определяем свободный объем помещения поста ТО по формуле [113]:

$$V_0 = 0,8 \cdot V_{\Sigma}, \quad (4.11)$$

где  $V_{\Sigma}$  – геометрически (строительный) объем помещения поста технического обслуживания, м<sup>3</sup>; согласно рисунка 4.29 при высоте потолков 6 м  $V_{\Sigma} = 1296$  м<sup>3</sup>.

$$V_0 = 0,8 \cdot 1296 = 1037 \text{ м}^3.$$

Величина допустимого объема помещения рассчитывается по формуле [113]:

$$[V] = 346,5 \cdot M_{\Gamma}, \quad (4.12)$$

где  $M_{\Gamma}$  – масса газа, поступившего в помещение в результате аварии, кг; согласно рисунка 4.29 при высоте потолков 6 м  $V_{\Sigma} = 1296$  м<sup>3</sup>.

В баллоне объемом 80 л (трактор РТМ-160) при давлении  $P = 19,6$  МПа (200 кг/см<sup>2</sup>) может содержаться максимальное количество газа  $M_{\Gamma} = 13,9$  кг.

Тогда значение допустимого объема равно:

$$[V] = 346,5 \cdot 13,9 = 4816 \text{ м}^3.$$

Таким образом, сравнение свободного и допустимого объема показывает, что  $V_0 < [V]$ , т. е. данное помещение следует отнести к категории А.

Определим минимальную кратность аварийной вентиляции, при которой заданное помещение можно отнести к категории В2.

Согласно хронометражу при обрыве трубопровода, соединяющего баллоны с двигателем время истечения газа из одного баллона объемом 80 л при начальном давлении  $P_n = 19,6$  МПа составит  $T = 0,06$  ч.

Требуемая кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, рассчитывается по формуле [113]:

$$[A] = \frac{1}{T} \cdot \left( 433 \cdot \frac{M_{\Gamma}}{V_{\Sigma}} - 1 \right), \quad (4.13)$$

где  $T$  – продолжительность поступления газа из баллона в объем помещения, час.

$$[A] = \frac{1}{0,06} \cdot \left( 433 \cdot \frac{13,9}{1037} - 1 \right) = 80 \text{ час}^{-1}.$$

Проведенный расчет показывает, что для того, чтобы данное помещение можно было бы отнести к категории *B2*, необходимо обеспечить кратность воздухообмена при помощи аварийной вентиляции не менее  $80 \text{ час}^{-1}$ , что практически невозможно. Таким образом окончательно принимаем принадлежность помещения к категории *A*.

В соответствии с нормативной документацией [113] для помещения категории *A* предусматриваем восьмикратный аварийный воздухообмен  $L_A$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$L_A = 8 \cdot V_{\Sigma}, \quad (4.14)$$

$$L_A = 8 \cdot 1296 = 10368 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Включение аварийной вентиляции следует предусматривать от приборов, сигнализирующих об опасной концентрации газа в воздухе в помещении, дублированных возможностью ручного пуска.

Общеобменная вентиляция предусматривается из расчета ассимиляции вредных выбросов [95]:

$$L = \frac{G}{q_i - q_{in}} = \frac{G}{\text{ПДК} - \text{ПДК} \cdot 0,1}, \quad (4.15)$$

где  $G$  – расход (количество) каждого из вредных или взрывоопасных веществ, поступающих в воздух помещения,  $\text{мг}/\text{ч}$ ;

$q_i$  – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемого из обслуживаемой зоны помещения,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$q_{in}$  – концентрация вредного или взрывоопасного вещества, поступающего в воздух помещения,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

ПДК – предельно допустимая концентрация соответствующего компонента,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Выделение вредных выбросов на 1 трактор [90]:

Прогрев двигателя:

- оксид углерода –  $11,2 \text{ г}/\text{ч}$  (ПДК =  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$ );
- углеводород –  $1,52 \text{ г}/\text{ч}$  (ПДК =  $300 \text{ мг}/\text{м}^3$ );
- диоксид азота –  $2,4 \text{ г}/\text{ч}$  (ПДК =  $5 \text{ мг}/\text{м}^3$ );
- сажа –  $0,12 \text{ г}/\text{ч}$  (ПДК =  $4 \text{ мг}/\text{м}^3$ );

– диоксид серы – 0,36 г/ч (ПДК = 10 мг/м<sup>3</sup>).

Пробеговый выброс при переезде от трактора:

(средний пробег – 10 м/час, топливо – дизельное)

– оксид углерода – 0,051 г/ч (ПДК = 20 мг/м<sup>3</sup>);

– углеводород – 0,009 г/ч (ПДК = 300 мг/м<sup>3</sup>);

– диоксид азота – 0,035 г/ч (ПДК = 5 мг/м<sup>3</sup>);

– сажа – 0,0025 г/ч (ПДК = 4 мг/м<sup>3</sup>);

– диоксид серы – 0,0045 г/ч (ПДК = 10 мг/м<sup>3</sup>).

Расход воздуха:

$$\text{– оксид углерода } L = \frac{(11,2 + 0,051) \cdot 1000}{20 - 0,1 \cdot 20} = 625 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{– углеводород } L = \frac{(1,52 + 0,009) \cdot 1000}{300 - 0,1 \cdot 300} = 5,66 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{– диоксид азота } L = \frac{(2,4 + 0,035) \cdot 1000}{5 - 0,1 \cdot 5} = 541 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{– сажа } L = \frac{(0,12 + 0,0025) \cdot 1000}{4 - 0,1 \cdot 4} = 34 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{– диоксид серы } L = \frac{(0,36 + 0,0045) \cdot 1000}{10 - 0,1 \cdot 10} = 40,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Эффектом суммации обладают диоксид азота и диоксид серы, т.е.:

$$L = 541 + 40,5 = 581,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

За расчетный воздухообмен предусматривается однократный, в связи с присутствием постоянных рабочих мест предусматривается система дымоудаления. Система автоматического контроля воздушной среды должна срабатывать при достижении в помещениях концентрации природного газа (по метану), составляющей 20 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени. Также необходимо оборудовать помещение легкобрасываемыми конструкциями.

На основании выше сказанного можно сделать вывод, что при обслуживании подвижного состава, работающего на газовом топливе помещение

относится к категории А. Инструменты нужно применять в искрозащищенном, а оборудование во взрывозащищенном исполнении. Предусматривать системы дымоудаления и аварийной вентиляции.

В эксплуатационной зоне предприятия должны быть расположены:

- пост (посты) проверки герметичности газобаллонного оборудования газобаллонных тракторов (ГБТ);
- пост выпуска КППГ и дегазации баллонов.

В эксплуатационной зоне также могут быть расположены:

- пост аккумуляирования КППГ;
- участок (участки) для хранения опорожненных дегазированных автомобильных баллонов для КППГ;
- посты мойки для ГБТ;
- открытые площадки для хранения ГБТ;
- площадки для размещения передвижных газозаправочных средств;
- площадки для размещения стационарных газозаправочных средств;
- площадка для складирования опорожненных дегазированных газовых баллонов.

Площадка поста проверки герметичности газобаллонного оборудования должна иметь твердое несгораемое покрытие и размеры, равные наибольшему размеру эксплуатируемых ГБТ плюс не менее одного метра в каждую сторону. Для проверки герметичности соединений газовых трубопроводов и вентильных устройств баллонов, расположенных выше зоны обслуживания подвижного состава, пост должен иметь стационарную или передвижную лестницу с технологической площадкой на уровне, достаточном для удобного обслуживания наибольшего по габаритам автотранспортного средства. Пост проверки газобаллонного оборудования на герметичность может быть организован непосредственно на участке технического обслуживания или на специально выделенной площадке. Площадка поста может иметь навес из несгораемых материалов, выполненный без ограждающих конструкций. Допускается

продуваемое ограждение с площадью постоянно открытых проемов не менее 35 % от площади каждой стороны ограждения.

Площадки постов выпуска и аккумуляирования газа (включая дегазацию баллонов) должны иметь размеры, обеспечивающие въезд наибольшего по габаритам газобаллонного транспорта плюс не менее одного метра с каждой стороны и быть проезжими. Площадки постов должны иметь сетчатую ограду, высотой не менее 1,5 м и навес, выполненный из негорючих или трудно горючих материалов, а также предупреждающие надписи «Осторожно. Газ», «Не курить». Площадки постов должны иметь твердое несгораемое покрытие. Посты выпуска и аккумуляирования газа должны иметь шкафные устройства для размещения не менее 2-х баллонов, снабженных редуцирующими устройствами. Труба для выпуска газа должна иметь устройство, препятствующее попаданию атмосферных осадков внутрь трубы. Посты выпуска и аккумуляирования газа должны иметь гибкие шланги с заправочными наконечниками и вентилями (трехходовыми кранами) для подключения автомобиля к сбросному трубопроводу, а также к баллонам с негорючим (инертным) газом для дегазации автомобильных баллонов.

Хранение опорожненных дегазированных автомобильных баллонов для КПП на территории предприятия может осуществляться в специальных помещениях. Допускается хранение опорожненных дегазированных автомобильных баллонов для КПП на открытых площадках (участках). Места хранения опорожненных дегазированных автомобильных баллонов могут быть расположены отдельно или совмещены с постом выпуска КПП. Открытые площадки (участки) хранения опорожненных дегазированных автомобильных баллонов должны иметь ограждение из металлической сетки по периметру, ограничивающее доступ к баллонам посторонних лиц.

Открытые площадки для хранения ГБА должны иметь твердое покрытие и уклоны – в продольном направлении оси автомобиля не более 1 %, в поперечном – не более 4 %.

Открытые площадки для хранения ГБА допускается оборудовать средствами беспламенного подогрева, в том числе с помощью инфракрасных

(беспламенных) газовых горелок, для облегчения запуска двигателей в холодное время (при температуре окружающего воздуха ниже минус 5 °С) при условии исключения нагрева газовых баллонов, установленных на ГБА.

При организации работ по ТО и ТР ГБА на КПП, а также их хранению в закрытых помещениях возможны две принципиально различные схемы [111]:

– СХЕМА 1, при которой ГБА поступают в зону ТО и ТР и на хранения с опорожненными от газа баллонами;

– СХЕМА 2, при которой ГБА поступают в зону ТО и ТР и на хранения без предварительного выпуска газа из баллонов тракторного при условии герметичности газотопливного оборудования.

СХЕМА 1 рекомендуется, когда свободный объем помещений ТО (ТР), или хранения ГБТ меньше допустимого  $V_0 < [V]$ .

В случае применения СХЕМЫ 1 должны соблюдаться лишь требования, предъявляемые к производственным помещениям по ТО и ТР предприятий по обслуживанию тракторов, работающих на нефтяном топливе, и каких-либо дополнительных мероприятий по реконструкции производственной зоны ТО (ТР), связанных с техническим обслуживанием ГБТ и их хранением, не требуется.

СХЕМА 2 рекомендуется, когда свободные объемы производственных помещений предприятия для ТО и (ТР) и хранения ГБА больше допустимых ( $V_0 > [V]$ ).

Выбор схемы организации ТО (ТР) ГБТ зависит от объема используемых баллонов, структуры и количественного состава парка ГБТ, имеющихся производственных помещений и их геометрических размеров, принятой технологии технического обслуживания ГБТ и их хранения, располагаемого объема капитальных вложений в строительство производственной базы предприятия.

Требования к технике безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании и операции технического обслуживания при ТО-1, ТО-2, СТО представлены в приложении А.

#### 4.5 Выводы по разделу

1. Для определения предельных статических углов устойчивости тракторов была разработана методика, которая базируется на положениях ГОСТ Р 51862 – 2002. В процессе исследований использовалась металлическая платформа размером 8×4 м. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предельные статические углы устойчивости близки к требованиям стандартов безопасности даже при использовании сельскохозяйственных орудий и поэтому никаких противопоказаний к установке газобаллонного оборудования на трактор нет.

2. Предложено использовать программный комплекс «Тракторинжект» для диагностирования основных параметров системы подачи газообразного топлива. На основе его использования разработаны алгоритм, технология и карта диагностирования тракторных двигателей, работающих по газодизельному циклу.

3. Сформулированы требования к оснащённости участка по техническому обслуживанию газобаллонных тракторов.

4. Установлено, что использование системы распределённой подачи газообразного и дизельного топлива по эжекционному принципу позволяет снизить содержание вредных выбросов в отработавших газах двигателя до требований, регламентируемых нормами ЕВРО-4.

## 5 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАКТОРА РТМ-160 ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

### 5.1 Оценка снижения ущерба окружающей среде при переходе на газообразное моторное топливо

Оценка снижения экологического ущерба осуществляется на основании методики изложенной в постановлении Правительства Российской Федерации от 12 июня 2003 г. № 344. В основу данной методики положены нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ передвижными источниками для различных видов топлива (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух  
загрязняющих веществ передвижными источниками (для различных  
видов топлива)

Вид топлива	Единица измерения	Нормативы платы за единицу измерения
1. Бензин неэтилированный	т	1,3
2. Дизельное топливо	т	2,5
3. Керосин	т	2,5
4. Сжатый природный газ	1000 м <sup>3</sup>	0,7
5. Сжиженный газ	т	0,9

Однако в 2005 году в вышеуказанное постановление были введены поправки, которые установили значения индексации нормативов платы за выбросы в зависимости от территорий экономических районов Российской Федерации.

Расчет платы производится по формуле (на основании приложения № 1 к постановлению Правительства Российской Федерации от 01 июля 2005 г. №410):

$$M = m \cdot W \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{доп}}, \quad (5.1)$$

где  $m$  – количество расходуемого топлива, т; .

$W$  – норматив платы за выброс одной тонны загрязняющих веществ, руб.;

$K_{\text{э}}$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние атмосферного воздуха), по территориям экономических районов Российской Федерации.

$K_{\text{доп}}$  – коэффициент для особо охраняемых природных территорий, в том числе лечебно-оздоровительных местностей и курортов, а также для районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, Байкальской природной территории и зон экологического бедствия.

Коэффициенты, учитывающие экологические факторы, представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Коэффициенты, учитывающие экологические факторы

Экологический район	Значение коэффициента	
	для атмосферного воздуха	для почвы
Северный	1,4	1,4
Северо-Западный	1,5	1,3
Центральный	1,9	1,6
Волго-Вятский	1,1	1,5
Центрально-Черноземный	1,5	2,0
Поволжский	1,9	1,9
Северо-Кавказский	1,6	1,9
Уральский	2,0	1,7
Западно-Сибирский	1,2	1,2
Восточно-Сибирский	1,4	1,1
Дальневосточный	1,0	1,1
Калининградская область	1,5	1,3

Размер годовой экономии  $\Delta M$ , руб., за счет снижения нормативной платы определяется по формуле:

$$\Delta M = M_1 - M_2, \quad (5.2)$$

где  $M_1$  – нормативная плата до проведения мероприятий, руб.;

$M_2$  – нормативная плата после проведения мероприятий, руб.

Результаты расчета нормативной платы в год за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ при использовании трактора К-700А при наработке 700 мото-часов в год представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормативная плата за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ трактором К-700А, руб.

Наименование	Агрегатирование			
	Плоскорез КПШ-9	Сеялка СЗС-2,1	Борона БН-3,2	Плуг ПЛН-8-35
Нормативная плата за выбросы загрязняющих веществ для дизельного топлива	48,6	60,8	106,4	123,6
Нормативная плата за выбросы загрязняющих веществ для газообразного и дизельного топлива (система распределенной подачи топлива)	31,1	36,0	48,1	55,3
Нормативная плата за выбросы загрязняющих веществ для газообразного и дизельного топлива (система СЭРГ-500)	33,6	39,0	54,3	60,5
Снижение нормативной платы за выбросы загрязняющих веществ при использовании системы с распределенной подачей, %	31,03	35,9	49,0	51,0
Снижение нормативной платы за выбросы загрязняющих веществ при использовании системы СЭРГ-500, %	36,0	40,8	54,8	55,3

## 5.2 Расчет годового экономического эффекта от использования газообразного топлива

Для расчета экономической эффективности применения основных видов альтернативных топлив выполним сравнение с базовыми характеристиками основных типов распространенных тракторов. Расчет производится по известной методике определений экономической эффективности использования новых сельскохозяйственных машин и агрегатов [42].

Часовую эксплуатационную производительность пахотных агрегатов  $W_{\text{ч}}$ , га/ч, рассчитываем по формуле:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 B_p \cdot v_p \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.1)$$

где 0,1 – коэффициент перевода квадратных метров в гектары;

$B_p$  – ширина захвата МТА, м;

$v_p$  – скорость движения МТА, км/ч;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент перехода от технической производительности МТА к эксплуатационной (0,7...0,9).

Затраты труда на единицу работы определяются по формуле:

$$T_p = \frac{\text{Ч}}{W_{\text{ч}}}, \quad (5.2)$$

где  $T_p$  – трудоемкость работы, чел.-ч/га;

Ч – количество рабочих, обслуживающих МТА, чел;

$W_{\text{ч}}$  – часовая производительность МТА, га/ч;

Удельный расход энергоресурсов  $\text{Э}_E$ , кг/га, (газообразное и дизельное топливо) рассчитывается по формуле:

$$\text{Э}_E = \frac{N \cdot q_{\text{уд}} \cdot K_{\text{д}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (5.3)$$

где  $N$  – мощность двигателя, кВт;

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход топлива, кг/кВт ч;  $q_{\text{уд}} = 0,22$  кг/кВт ч;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий степень использования двигателя по мощности и времени.

Расчет себестоимости единицы работы определяется по формуле:

$$C = C_3 + C_A + C_P + C_T + C_H, \quad (5.4)$$

где  $C_3$  – заработная плата обслуживающего персонала, руб./га;

$C_A$  – амортизационные отчисления, руб./га;

$C_P$  – затраты на ремонт, руб./га;

$C_T$  – затраты на топливо и смазочные материалы, руб./га;

$C_H$  – накладные расходы, руб./га;

$C_Э$  – себестоимость работы экспериментальной машины, руб./га;

$C_Б$  – себестоимость работы базовой машины, руб./га.

Зарботную плата обслуживающего персонала  $C_3$ , руб/га, определяют по формуле:

$$C_3 = \frac{C_ч \cdot Ч \cdot K_3}{W_ч}, \quad (5.5)$$

где  $C_ч$  – часовая тарифная ставка, руб.;  $C_ч = 51,7$  руб.;

$Ч$  – количество рабочих обслуживающих МТА, чел;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий различные виды доплат и начислений;  $K_3 = 1,5$ .

Амортизационные отчисления определяются как сумма по всем составляющим МТА:

$$C_A = \frac{B \cdot a_T}{100 \cdot T \cdot W_ч}, \quad (5.6)$$

где  $B$  – капитальные вложения, руб.;

$a_T$  – норма амортизационных отчислений для трактора, %;

$a_T = 12,5\%$

$T$  – годовая загрузка машины, ч;  $T = 500$  ч.

Затраты на топливо и смазочные материалы  $C_T$ , кг/га, рассчитываются по формуле:

$$C_T = \mathcal{E}_E \cdot Ц_T \cdot K_{CM}, \quad (5.7)$$

где  $\mathcal{E}_E$  – удельный расход дизельного топлива, кг/га;

$Ц_T$  – цена 1 кг дизельного топлива, руб.;

$K_{CM}$  – коэффициент, учитывающий затраты на смазочные материалы;  $K_{CM} = 1,15$ .

Так как в данной работе описывается трактор, работающий на двух видах топлива, то данная формула для подсчета затрат на энергоресурсы при работе трактора на газообразном и дизельном топливе примет вид:

$$C_T = (\mathcal{E}_E \cdot C_T + \mathcal{E}_{EG} \cdot C_{TG}) \cdot K_{CM}, \quad (5.8)$$

где  $\mathcal{E}_{EG}$  – удельный расход газа, м<sup>3</sup>/га;

$C_{TG}$  – цена 1 м<sup>3</sup> природного газа на автоматической газонаполнительной станции (АГНКС), руб./м<sup>3</sup>;  $C_{TG} = 8$  руб./м<sup>3</sup>.

Затраты на ремонт  $C_P$ , руб./га, рассчитывается по формуле:

$$C_P = \frac{B \cdot a_1}{100 \cdot T \cdot W_q}, \quad (5.9)$$

где  $B$  – капитальные вложения, руб.;

$a_1$  – норма амортизационных отчислений на трактор, %;  $a_1 = 18,5\%$ .

Накладные расходы  $C_H$ , руб./га, определяли по формуле:

$$C_H = 0,05 \cdot (C_3 + C_A + C_P + C_T), \quad (5.10)$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат  $\mathcal{E}_G$ , руб.:

$$\mathcal{E}_G = (C_B - C_3) \cdot T_0 \cdot W_q, \quad (5.11)$$

где  $C_B$ ,  $C_3$  – себестоимость работы базовой и экспериментальной машины соответственно, руб./га;

$T_0$  – загрузка МТА на данной операции в течение года, ч.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений  $L_0$ , год, определяют по формуле:

$$L_0 = \frac{(B_L - B_X)}{\mathcal{E}_G}, \quad (5.12)$$

где  $B_L$  – балансовая стоимость более экономичного агрегата, руб.;

$B_X$  – балансовая стоимость менее экономичного агрегата, руб.

Результаты расчёта годовой экономии эксплуатационных затрат и срока окупаемости при переходе на альтернативные виды топлива представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет экономической эффективности работы трактора К-700А

Экономический показатель	Диз. топливо (ДЛ)	Природный газ	Нефтяной газ	Рапсовое масло	Смесь В20
Часовая эксплуатационная производительность $W_{\text{ч}}$ , га/ч	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24
Затраты труда на единицу работы $T_{\text{р}}$ , чел.-ч/га	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Удельный расход энергоресурсов $\text{Э}_{\text{е}}$ , кг/га	14,52	15,29	15,99	16,68	15,99
Амортизационные отчисления $C_{\text{а}}$ , руб.	178,6	249,3	184,15	179,24	178,57
Заработная плата $C_{\text{з}}$ , руб.	27,9	27,9	37,45	37,45	37,45
Затраты на топливо и смазочные материалы $C_{\text{т}}$ , руб.	510,0	210,1	276	384	478
Затраты на ремонт $C_{\text{р}}$ , руб.	369,0	409,3	273	265	264
Накладные расходы $C_{\text{н}}$ , руб.	55,7	46,2	38	43	48
Расчет себестоимости единицы работы $C$ , руб.	1141,2	942,8	808	909	1006
Годовая экономия эксплуатационных затрат $\text{Э}_{\text{г}}$ , руб.	-	138880	115695	65434	16786
Срок окупаемости $L_{\text{о}}$ , год		1,52	0,43	0,09*	0,00*

\* Расчет был произведен с условием, что производитель использует биотопливо собственного изготовления

## 6 ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований определены статические углы подъема трактора К-700А, оснащенного газобаллонным оборудованием с навесным плугом. Установлено, что предельные статические углы устойчивости обеспечивают безопасную эксплуатацию трактора. Разработаны алгоритм и технология диагностирования системы подачи газообразного топлива. Дополнены рекомендации по техническому обслуживанию.

2. Получены аналитические выражения, учитывающие особенности тракторов с шарнирно сочлененной рамой, позволяющие определить предельные статические углы устойчивости трактора К-700А, оснащенного газобаллонным оборудованием, с навесным плугом ПЛН-8-35; предельные статические углы подъема, уклона и поперечного уклона составили соответственно 38,3; 56,0; 32,8 град, что свидетельствует о том, что устойчивость трактора близка к требованиям стандарта безопасности. Для подтверждения аналитических данных разработана методика, которая базируется на положениях стандартной методики определения предельных статических углов устойчивости; результаты, полученные в ходе исследований по данной методике, имеют расхождение с аналитическими данными не более чем на 3,6 %, что свидетельствует о достоверности полученных данных. Для трактора РТМ-160 проведен анализ расположения газовых баллонов на крыше и над задней осью, который показал, что наиболее целесообразно для данного трактора газовые баллоны расположить над задней осью.

3. Разработаны алгоритм, технология и карта диагностирования тракторных двигателей, оснащенных газобаллонным оборудованием. Установлены допустимые предельные значения основных показателей: давление в газовом коллекторе 2,8-3,0 МПа; температурный режим работы 95-70 °С; затяжка гаек крепления газовых баллонов 50-62 Н·м.

Предложена методика использования программного обеспечения «Тракторинжект», позволяющего диагностировать следующие параметры: напряжение питания постоянного тока; давление газа на входе в

электромагнитную газовую форсунку; номинальную цикловую подачу газа; минимальную цикловую подачу газа.

4. Предложены рекомендации по совершенствованию техники безопасности и технического обслуживанию тракторов при использовании газобаллонного оборудования. Уточнены требования к участку технического обслуживания.

5. Эксплуатационными испытаниями подтверждено, что вредные выбросы тракторных дизелей, работающих по газодизельному циклу, значительно снижаются при использовании системы распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному принципу по сравнению с дизельным циклом и серийно выпускаемой системой с центральной подачей газа СЭРГ-500 установлено снижение содержания  $\text{NO}_x$  на 20 %,  $\text{CH}_x$  – на 30 %,  $\text{CO}$  – на 10 %, а содержание  $\text{CO}_2$  повысилось на 30 %, что в целом соответствует требованиям ЕВРО-4.

6. Проведенный технико-экономический анализ показал, что нормативные платы за выбросы загрязняющих веществ при использовании газомоторного топлива снижаются в 2 раза по сравнению на дизельном топливе, а за счет снижения расхода дизельного топлива (вследствие замещения его газом) годовой экономический эффект при эксплуатации трактора К-700А составляет 138880 руб.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Абрамов, С. В.** Методика определения устойчивости трактора [Текст] / С. В. Абрамов, И. Д. Нигматулин, В. В. Володин, Б. П. Загородских // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2014. – №1. – С. 48-50. – ISSN 1998-6548.
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: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов: «КУБиК». – 2012. – С. 13-16. ISSN 978-5-91818-273-4.
3. **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: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов. – 2012. – С. 13-16.
4. **Абрамова, Н. А.** Справочник химика: Том 2 «Основные свойства неорганических и органических соединений» [Текст] / Н. А. Абрамова, А. С. Воеводский, О. Ф. Гинзбург [и др.]; Под ред. Б. П. Никольского. – Л.: Химия, 1971. – 1168 с.
5. **Бабусенко, С. М.** Проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий [Текст] / С. М. Бабусенко. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 352 с.
6. **Бибенин, Е. В.** Совершенствование топливной системы тракторных дизелей для работы по газодизельному циклу на примере трактора РТМ-160 [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03: защищена 15.05.09 / Бибенин Евгений Викторович. – Саратов, 2009. – 136 с. – Библиогр.: с. 117-126.
7. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплопроводности жидкостей и газов [Текст] / Н. Б. Варгафтик, Л. П. Филиппов, А. А. Тарзиманов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 349 с.

8. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

9. **Васильев, Ю. Н.** Газозаправка транспорта [Текст] / Ю.Н. Васильев, А.И. Гриценко, К.Ю. Чириков. // – М.: Недра, 1995. – 447 с.

10. **Володин, В. В.** Автономное энергообеспечение в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции [Текст] / В. В. Володин, В. А. Глухарев, А. К. Тверской // Энергоресурсоэффективность, энергосбережение. Сб. науч. работ 9-го Международного симпозиума. – Казань, 2008. – С. 126–129.

11. **Володин, В. В.** Выбор и обоснование газо-воздушного смесителя двигателя внутреннего сгорания [Текст] / В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Грузовик и строительно-дорожные машины. – 2012. – №10. – С. 41-44.

12. **Володин, В. В.** Использование газообразного топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения [Текст] / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им Н.И. Вавилова. – 2012. – №12. – С. 408-410

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: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов.: «КУБиК». – 2012. – С. 53-56. – ISSN 978-5-91818-273-4.

14. **Володин, В. В.** Испытания газообразного топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения [Текст] / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Аграрная наука – основа успешного развития АПК и сохранения экосистем: матер. 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 [Текст] / 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 газозвушной смеси в в газовых и дизельных двигателях [Текст] / 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 газозвушного смесителя двигателя внутреннего сгорания [Текст] / В. В. Володин, Е. В. Бебенин, Н. В. Осовин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: матер. Междунар. науч. –техн. семинара им. В. В. Михайлова.– Саратов, 2012. – Вып. 25. – С.44-46.

18. **Володин, В. В.** Обоснование снижения неравномерности подачи газа в цилиндры двигателя при работе по газодизельному циклу [Текст] / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Научное обозрение. – 2012. – №5. – С. 41-43.

19. **Володин, В. В.** Обоснование экономической эффективности работы трактора на газообразном топливе [Текст] / В. В. Володин, Е. В. Бебенин, Н. В. Осовин // Научное обозрение. – 2011. – №1. – С. 57-63.

20. **Володин, В. В.** Особенности использования природного газа в качестве моторного топлива [Текст] / 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 [Текст] / В. В. Володин, Б. П. Загородских. – Саратов, 2012. – 20 с.

22. **Володин, В. В.** Повышение эффективности использования газобаллонных тракторов совершенствованием системы подачи газообразного топлива [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук : 05.20.03: защищена 19.04.13 / В. В. Володин. – Пенза, 2013. – 238 с. – Библиогр.: с. ...

23. **Володин, В. В.** Повышение эффективности использования газобаллонных тракторов совершенствованием системы подачи газообразного

топлива [Текст]: автореферат дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Володин Виктор Владимирович. – Пенза, 2013. – 42 с.

24. **Володин, В. В.** Повышение эффективности системы газодизелей [Текст] / В. В. Володин, Н. В. Осовин // Саратов-АГРО.2011: матер. науч.-практ. конф. 2-й специализир. выставки; Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С.151-153.

25. **Володин, В. В.** Результаты применения газообразного топлива при выполнении основных сельскохозяйственных работ [Текст] / В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сб. науч. тр. С-Петербургского ГАУ. – СПб, 2012. – С. 308-310.

26. **Володин, В. В.** Результаты эксплуатационных испытаний эжекционной системы распределенной подачи газообразного топлива в двигатель [Текст] / В. В. Володин // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов. – 2012. – С. 49-53.

27. **Володин, В. В.** Результаты эксплуатационных испытаний эжекционной системы распределенной подачи газообразного топлива в двигатель / В. В. Володин // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов. – 2012. – С. 49-53.

28. **Володин, В. В.** Создание системы для применения различных видов газообразного топлива [Текст] / В. В. Володин, Е. В. Бебенин // Саратов-АГРО.2011: матер. науч.-практ. конф. 2-й специализир. выставки; Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С. 125-127.

29. **Володин, В. В.** Теоретическое обоснование применения эффекта эжекции в системах подачи газообразного топлива в двигатель и моделирование параметров его работы [Текст] / В. В. Володин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им Н.И. Вавилова – 2012. – №11. – С. 48-50.

30. **Володин, В. В.** Эжекционная система распределенной подачи газообразного топлива в дизельный двигатель [Текст] / В. В. Володин,

Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2012. – №1(25). – С. 147-150.

31. **Володин, В. В.** Эжекционная система распределенной подачи газообразного топлива в дизель [Текст] / В. В. Володин, Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №5. – С. 13-15.

32. **Володин, В. В.** Энергоэлектросбережение предприятий АПК на основе автономных предприятий АПК на основе автономных источников энергии [Текст] / В. В. Володин, В. А. Глухарев, А. К. Тверской // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Международной науч.-практ. конф. ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2010. – С. 110-113.

33. **Гайнуллин, Ф. Г.** Природный газ как моторное топливо на транспорте [Текст] / Ф. Г. Гайнуллин, А. И. Гриценко, Ю. Н. Васильев [и др.]. – М.: Недра, 1986. – 255 с.

34. **Горбачев, С. П.** Оценка эффективности производства СПГ на газораспределительных станциях [Текст] / С. П. Горбачев // Технические газы. – 2005. – № 5. – С. 35-40.

35. **Горбачев, С. П.** Эффективность технологий производства СПГ на АГНКС [Текст] / С. П. Горбачев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 2. – С. 42-45.

36. **ГОСТ 12.2.002 – 91.** Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.2.002-81; введ. 1992.07.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 116 с.

37. **ГОСТ 12.2.019 – 2005.** Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности [Текст]. – Введ. 2010.07.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.

38. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1990.07.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 46 с.

39. **ГОСТ 30750-2001 (ИСО 789-6-82).** Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести [Текст]. – Введ. 2003.01.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 6 с.
40. **ГОСТ 7057-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2003.01.01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2002. – 13 с.
41. **ГОСТ Р 51862 – 2002.** Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Методы контроля требований безопасности [Текст]. – Введ. 2003.01.01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 19 с.
42. **ГОСТ Р 53056 – 2008.** Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст]. – Введ. 2009.01.01. М.: Госстандарт России: Стандартиформ, 2009. – 33 с.
43. **Грехов, Л. В.** Топливная аппаратура и системы управления дизелей [Текст] / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2004. – 344 с.
44. **Гуревич, Г. Р.** Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей [Текст] / Г. Р. Гуревич, А. И. Брусиловский. – М.: Недра, 1984. – 264 с.
45. **Гуськов, В. В.** Тракторы: Теория [Текст] / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение. – 1988. – 376 с.
46. **Долганов, К. Е.** Автомобильные газодизели [Текст] / К. Е. Долганов // Двигателестроение. – 1995. – №182 – С. 6-10.
47. **Долганов, К. Е.** Исследование топливной экономичности и токсичности отработавших газов газодизеля [Текст] / К. Е. Долганов, В. С. Вербовский, С. А. Ковалев и др. // Двигателестроение. – 1991. – № 8-9. - С. 6-9.
48. **Долганов, К. Е.** Разработка и исследование системы питания и регулирования газодизеля ЯМЗ-240Н1-ГД [Текст] / К. Е. Долганов, А. И.

Пятничко, В. С. Вербовский [и др.] // Химическая технология. – 1989. – № 6. – С. 45-47.

49. **Долганов, К. Е.** Система питания для газодизеля с двухрежимным регулятором частоты вращения [Текст] / К. Е. Долганов, А. А. Лисовал, А. П. Поляков // Двигателестроение. – 1995. – №182 – С. 6-10.

50. **Дубовкин, Н. Ф.** Легкие моторные топлива и их компоненты: Справочник [Текст] / Н. Ф. Дубовкин, Е. М. Брещенко – М.: Химия, 1999. – 480 с.

51. **Ерохов, В. И.** Газодизельные автомобили (конструкция, расчет, эксплуатация): Учебное пособие [Текст] / В. И. Ерохов, А. Л. Карунин. – М.: Изд-во «Граф-Пресс», 2005. – 560 с.

52. **Ефанов, Е. В.** Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01, 05.20.03: защищена 15.05.09 / Е. В. Ефанов. – Пенза, 2009. – 136 с.

53. **Ефимов, С. И.** Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин [и др.]; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

54. **Загородских, Б. П.** Диагностика работы топливной системы питания двигателей газообразным топливом при работе по газодизельному циклу на примере трактора РТМ-160 [Текст] / 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.

55. **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: матер. Междунар. научн. семинара. – Саратов, 2010. – Вып. 19 – С. 41-44.

56. **Загородских, Б. П.** Особенности техники безопасности и технического обслуживания тракторов, оснащенных газовым оборудованием [Текст] / Б. П.

Загородских, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Труды ГОСНИТИ; т. 107.4.1 – М.: 2011. – с. 105-109.

57. **Загородских, Б. П.** Перспективы развития газа [Текст] / Б. П. Загородских, И. Д. Нигматулин. // Актуальные проблемы проектирования и строительства объектов в АПК России. Сб. научных трудов ФГУП НИПИ Гипропромсельстрой. – Саратов, 2007. – С. 189-191.

58. **Загородских, Б. П.** Повышение эффективности применения газового топлива в тракторных двигателях сельскохозяйственного назначения, работающих по газодизельному циклу [Текст] / Б. П. Загородских, В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный аграрный университет им. В.П. Горячкина». – 2012. – №2(53). – С. 75-77.

59. **Загородских, Б. П.** Результаты эксплуатационных испытаний трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу [Текст] / Б. П. Загородских, В. В. Володин, Н. В. Осовин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2011. – №5. – С. 44-46.

60. **Загородских, Б. П.** Система подачи газа в двигатель [Текст] / Б. П. Загородских, В. В. Володин // Сельский механизатор. – 2012. – №2. – С. 4-5.

61. **Загородских, Б. П.** Сравнительные характеристики экологических показателей двигателя ЯМЗ-236Д при работе по дизельному и газодизельному циклу [Текст] / Б. П. Загородских, А. А. Жиздюк, И. Д. Нигматулин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – №3 – с 35-37.

62. **Загородских, Б. П.** Стендовые испытания системы эжекционной подачи подачи газообразного топлива в дизелях [Текст] / Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин, В. В. Володин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – №2(26). – С.17-19. – ISSN 2073-1329.

63. **Загородских, Б. П.** Техника безопасности системы трактора РТМ-160 переоборудованного для работы по газодизельному циклу [Текст] / Б. П. Загородских, А. А. Жиздюк, И. Д. Нигматулин. // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: матер. Междунар. научн. семинара. – Саратов, 2008. – Вып. 17 – С. 204-207.

64. **Загородских, Б. П.** Улучшение подачи компримированного газообразного топлива в тракторный двигатель [Текст] / Б. П. Загородских, Ю. А. Коцарь, В. В. Володин // Нива Поволжья. – 2012. – №1(22). – С. 68-73.

65. **Загородских, Б. П.** Устойчивость трактора РТМ-160 при работе в газодизельном цикле [Текст] / 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. – ISSN 2073-1329.

66. **Загородских, Б. П.** Экологические показатели трактора РТМ-160, работающему по дизельному и газодизельному циклам [Текст] / Б. П. Загородских, Е. В. Бебенин, И. Д. Нигматулин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2009. – №1 – с 47-49.

67. **Загорученко, В. А.** Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана [Текст] / В. А. Загорученко, А. М. Журавлев – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 236 с.

68. **Исамухамедов, В. С.** Влияние диффузионно-тепловых явлений при использовании метана в качестве топлива в ДВС [Текст]: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.17; 05.04.02 / Исамухамедов Васик Сабирович. – М., 2006. – 16 с.

69. **Истомин, В. А.** Термодинамика природного газа [Текст] / В. А. Истомин. – М.: Изд-во ВНИИГАЗ, 1999. – 105 с.

70. **Кадхем, Н. С.** Совершенствование системы впрыска жидкого топлива для газодизеля [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02: защищена 05.08.08 / Кадхем Нассер Сальман. – СПб., 2008. – 128 с.

71. **Кириллов, Н. Г.** Альтернативные моторные топлива XXI века [Текст] / Н. Г. Кириллов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 3. – С.58-63.

72. **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» [Текст] / Н. Г. Кириллов. – М.: ИРЦ «Газпром», 2002. – 63 с.

73. **Козлов, Б. А.** Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики [Текст] / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М.: «Советское радио», 1975. – 472 с.

74. **Коллеров, Л. К.** Газовые двигатели поршневого типа [Текст] / Л. К. Коллеров. – Л.: Машиностроение, 1968. – 248 с.

75. **Коллеров, Л. К.** Энергетические установки с газовыми поршневыми двигателями [Текст] / Л. К. Коллеров, М. Е. Нижник, А. А. Окунев [и др.]; Под ред. Л. К. Коллерова. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.

76. **Коцарь, Ю. А.** Определение компоновочной схемы трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу [Текст] / 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.

77. **Коцарь, Ю. А.** Расчет устойчивости трактора РТМ-160, работающего по газодизельному циклу [Текст] / Ю. А. Коцарь, Б. П. Загородских, В. В. Володин, И. Д. Нигматулин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: матер. межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, 2010. – С. 44-47.

78. **Кудряш, А. П.** Природный газ в двигателях [Текст] / А. П. Кудряш, В. В. Пашков, В. С. Маринин [и др.]. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 198 с.

79. **Лapidус, А. Л.** Природный газ как моторное топливо [Текст] / А. Л. Лapidус, И. Ф. Крылов, Б. П. Тонконогов // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 3, – С. 3-8.

80. **Левкин, Г. М.** Новый способ использования газового топлива в ДВС [Текст] / Г. М. Левкин, Ю. М. Карпенко // Двигателестроение. – 1991. – № 7. – С. 58-59.

81. **Левкин, Г. М.** Повышение эффективности применения газового топлива в транспортных ДВС: обзор [Текст] / Г. М. Левкин // Двигатели

внутреннего сгорания: Межведомств.сб. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1991. – Серия 4. – Вып. 2. – 40 с.

82. **Лиханов, В. А.** Снижение токсичности автотракторных дизелей [Текст] / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М.: Колос, 1994. – 224 с.

83. **Лыков, О. П.** Природный и попутный газ как моторное топливо [Текст] / О. П. Лыков // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 6. С. 3-7.

84. **Льотко, В. В.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / В. В. Льотко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

85. **Мазинг, М. В.** Законы управления топливоподачей [Текст] / М. В. Мазинг // Автомобильная промышленность. – 1994. – № 9. – С. 7-9.

86. **Мамедова, М. Д.** Транспортные двигатели на газе [Текст] / М. Д. Мамедова, Ю. Н. Васильев. – М.: Машиностроение, 1994. – 224 с.

87. **Марков, В. А.** Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей [Текст] / В. А. Марков, Е. В. Бебенин, Е. Ф. Поздняков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – №5(35). – С. 24-29. ISSN 2073-1329.

88. **Марков, В. А.** Токсичность отработавших газов дизелей [Текст] / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.

89. **Марков, В. А.** Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей [Текст] / В. А. Марков, С. И. Козлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с.

90. **Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом)** [Текст]: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации 28.10.1998: ввод в действие 01.01.1999. – М., 1998. – 31 с.

91. **Наумов, О. П.** Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на операциях обработки почвы газодизельными

энергосредствами: на примере трактора К-701 [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: защищена 18.05.10 / Наумов Олег Павлович. – Ставрополь, 2010. – 156 с.

92. **Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта** [Текст]: ОНТ-01-91: утв. протоколом №3 концерна «Росавтотранс» от 07.08.1991. – М., 1991. – 120 с.

93. **Орлин, А. С.** Двигатели внутреннего сгорания: Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / А. С. Орлин, Д. Н. Вырубов, В. И. Ивин [и др.]; под ред. А. С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.

94. **Осовин, Н. В.** Изменение плотности почвы после прохода трактора К-701 с газовым оборудованием [Текст] / Н. В. Осовин, В. В. Володин, А. В. Русинов // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Г. П. Шаронова. – Саратов. – 2012. – С. 135-138.

95. **Отопление, вентиляция и кондиционирование** [Текст]: СП60.13330.2012: утв. приказом № 279 Министерства регионального развития Рос. Федерации 30.06.12: ввод в действие с 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 91 с.

96. **Павлович, Н. В.** Справочник по теплофизическим свойствам природных газов и их компонентов [Текст] / Н. В. Павлович. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 119 с.

97. **Павлович, Н. В.** Экспериментальное исследование теплофизических свойств метана и природных газов [Текст]: автореферат дисс. ... д-ра. техн. наук: специальность 01.04.14 / Н. В. Павлович // - М.: Московский энергетический институт, 1959. - 41 с.

98. **Парсаданов, И. В.** Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно- экологического критерия [Текст] / И. В. Парсаданов. – Харьков: Изд-во Харьковского политехнического института, 2003. – 244 с.

99. 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.

100. Пат. 108491 Российская Федерация, МПК: F 02 B 43/00, F 02 M 31/00. Устройство эжекционной подачи топлива в двигатель / Володин В. В., Загородских 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.

101. Пат. 123847 Российская Федерация, МПК: F 02 M 43/00. Газовый коллектор / Володин В. В., Загородских Б. П., Осовин Н. В.; заявитель и патентообладатель Сарат. гос. аграрн. ун-т им. Н. И. Вавилова. – №2011140816/06; заявл. 07.10.11; опубл. 10.01.13, Бюл. №1 – 2 с.

102. **Предприятия по обслуживанию автомобилей. Ведомственные строительные нормы** [Текст]: ВСН 01-89. – М.: Минавтотранс РСФСР, 1990. – 27 с.

103. **Пронин, Е. Н.** В поисках ответов [Текст] / Е. Н. Пронин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 6. – С. 5-11.

104. **Равкинд, А. А.** Унифицированные газовые дизельные двигатели [Текст] / А. А. Равкинд. – М.: Недра, 1967. – 196 с.

105. **Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном газе** [Текст]: 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.

106. **Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе** [Текст]: 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.

107. **Савельев, Г. С.** Технологии и технические средства адаптации автотракторной техники к работе на альтернативных видах топлива [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01: защищена 05.10.10 / Савельев Геннадий Степанович. – Москва, 2010. – 315 с.

108. **Савельев, Н. С.** Руководство по организации и проведению переоборудования тракторов для работы на компримированном природном газе / Н. С. Савельев, В. В. Подосинников, А. Д. Шапкайц, И. М. Кауров [и др.]. – М.: ОАО «Газпром», Минсельхозпрод РФ, 2000. – 79 с.

109. **Сафин, А. В.** СПГ как моторное топливо для транспортных средств [Текст] / А. В. Сафин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 2. – С. 40-41.

110. **Сердюков, С. Г.** Сжиженный природный газ (СПГ) в Санкт-Петербурге и России. Экономические аспекты производства и использования [Текст] / С. Г. Сердюков, И. Л. Ходорков // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – № 2. – С. 59-63.

111. **Сжиженный природный газ. Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства: Справочник** [Текст] / Под ред. И. Л. Ходоркова. – СПб.: ЗАО «Крионорд». – Химиздат, 2003. – 64 с.

112. **Тракторы «Кировец» К-701 и К-700А** [Текст]: Инструкция по эксплуатации / – М.: В/о «Тракторэкспорт» – 1986. – 232 с.

113. **Требования пожарной безопасности для предприятий, эксплуатирующих автотранспортные средства на компримированном природном газе** [Текст]: РД 3112199-98: утв. М-вом транспорта Рос. Федерации 21.05.1998. – М.: Министерство транспорта РФ, 1998. – 27 с.

114. **Финько, В. Е.** Перспективы использования сжиженного природного газа [Текст] / В. Е. Финько // Газовая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 58-60.

115. **Хачиян, А. С.** Мир накануне резкого увеличения применения альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / А. С. Хачиян, В. Е. Кузнецов, И. Г. Шишлов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 1(25). – С. 34-35.

116. **Ходорков, И. Л.** Первый в России типовой мини-завод по производству сжиженного природного газа на АГНКС [Текст] / И. Л. Ходорков // Холодильный бизнес. – 2001. – № 4. – С. 12-13.

117. **Чириков, К. Ю.** Перспективы применения СПГ на транспорте [Текст] / К. Ю. Чириков, Е. Н. Пронин // Газовая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 28-29.

118. **Чулков, П. В.** Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология [Текст] / П. В. Чулков, И. П. Чулков. – М.: Политехника, 1996. – 304 с.

119. **Чумак, П. И.** Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов [Текст] / П. И. Чумак, В. Ф. Кривокрысенко. – М.: Патриот, 1991. – 238 с.: ил. – ISBN 5-7030-0224-9.

120. **Bach, C.** Diesel- und Erdgasmotorei für Schwere Nutzfahrzeuge: Emissionen, Verbrauch und Wirkungsgrad [Text] / C. Bach, J. Rutter, P. Soltic // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – № 5. – S. 394-402.

121. **Bartunek, B.** Direct Induction Natural Gas (DING): A Diesel-Derived Combustion System for Low Emissions and High Fuel Economy IISAE Technical Paper Series [Text] / B. Bartunek, U. Hilger // – 2001. – № 2000-01-2827. – P. 1-12.

122. **Beaty, K. D.** Development of a km Emission Volvo 9.GL Natural Gas Fueled Bus Engine [Text] / K. D. Beaty, R. Egnell, M. Ekelund // SAE Technical Paper Series. – 1992. – № 921554. – P. 1-12.

123. **Beroun, S.** The Development of Gas Engines for Buses and Trucks and Emissions and Cycle Variability Characteristics [Text] / S. Beroun, J. Martins // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01- 0144. – P. 1-9.

124. **Blank, D. A.** Methanol Combustion with Low Compression Ratio D.I.Engines Enabled by Sonex Ptikm Design [Text] / D. A. Blank, A. A. Pouring, J. Lu // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01- 1197. – P. 1-10.

125. **Chen, S. K.** Gas Engine Combustion Principles and Applications II SAE Technical Paper Series [Text] / S. K. Chen, N. J. Beck. – 2001. – №2001-01-2489. – P. 1-10.

126. **Dietrich, W. R.** Pollutacr Reduction on Stationary S.I. Engines from Motoren-WeAe Mannheim for Operation on Natural Gas Applying the Lean- Principle [Text] / W. R. Dietrich, W. Grundmann, G. Langeloth // MTZ. – 1986. – Jg. 47. – № 3. – S. 83-87.

127. **Diller, D. E.** Measurements of the Viscosity of CO<sub>2</sub>- pressed Gaseous and Liquid Methane [Text] / D. E. Diller // Physica A. – 1980. – Vol. 104 A. – №3. – P. 417-426.

128. **Douville, B.** Perfcrance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using fight Pressure Direct Injection of Natural Gas [Text] / B. Douville, P. Ouellette, A. Touchette [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1998. – № 981160. – P. 1-9.

129. **Dymond, J. H.** Second Virial Coefficients for  $\mu$ -Alkanes: Recommendations and Predctions [Text] / J. H. Dymond, J. A. Cholinski, A. Szafranski [et al.] // Fluid Phase Equilibria. – 1986. – Vol. 27. – Special Issue – P. 1-13.

130. **Einewall, P.** Combustion Chamber for Su $\pi$ -percharged Natural Gas Engines [Text] / P. Einewall, B. Johansson // SAE Technical Paper Series. – 1997. – № 970221. – P. 33-58.

131. **Finley B. E.** A Three Year Comparison of Natural Gas and Diesel Transit Buses [Text] / B. E. Finley, T. A. Daly // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999-01-3738. – P. 1-9.

132. **Fukuzawa, Y.** Development of High Efficiency Miller Cycle Gas Engine [Text] / Y. Fukuzawa, Y. Kakuhama, H. Shimoda [et al.] // Technical Review. – 2001. – Vol. 38. – №3. - P. 146-150.

133. **Funts, S.** Properties of Natural Gas of Physica [Text] / S. Funts, A. Bellemans. – 1956. – Vol. 22. – № 3. – P. 1-9.

134. **Golec, K.** Influence zf Spark Discharge Energy on the Combustion Process in the Engine Fuelled With Natural Gas [Text] / K. Golec, T. Papuga, M Makowski [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-1188. – P. 1-7.

135. **Harrington, J.** Direct Secion of Natural Gas in a Heavy-Duty Diesel Engine [Text] / J. Harrington, S. Munshi, C. Nedelcu [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 2002. – № 2002-01-1630. – P. 1-10.

136. **Heywood, J. B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. [Text] / J. B. Heywood. – N.-Y.: McGraw-Hill Inc., 1988. – 448 p.

137. **Johansson, B.** Influence of the Velocity Near the Spam Plug on Early Flame Development [Text] / B. Johansson // SAE Technical Paper Series. – 1993. – № 930481. – P. 1-8.

138. **Johansson, B.** Combustion Chamber for Natural Gas SI Engines. Part: Fluid Flow and Combustion 9 [Text] / B. Johansson, K. Olsson // SAE Technical Paper Series. – 1995. – № 950469. – P. 1-12.

139. **Kingston, J. M. G.** Nebula Combustion System for Lean Burn Spark Ignited Gas Engines [Text] / J. M. G. Kingston, M. D. Heaton // SAE Technical Paper Series. – 1989. – № 890211. – P. 1-9.

140. **Kubesh, J. T.** Development of an Electronically-Controlled Natural Gas-Fueled John Deere Power Tech 8.1 L Engine [Text] / J. T. Kubesh, D. J. Podnar, K. H. Guglielmo. [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1995. – № 951940. – P. 71-78.

141. **Lancaster, D. R.** Effects of Turbulence on Spark Ignition Engine Combustion [Text] / D. R. Lancaster, R. B. Krieges, S. C. Sorenson [et al.] // SAE Technical Paper Series. – 1976. – № 760160. – P. 1-10.

142. **Larsson, H.** Volvo THB 103-A Low Emission CNG Engine [Text] / H. Larsson, L. Jonsson, L. Karlsson [et al.] // The 3rd Biennial Int Cam

143. **Litzke, W.-L.** Natural Gas as a Future Fuel for Heavy-Duty Vehicles [Text] / W.-L. Litzke, J. Wegrzyn // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-2067. – P. 1-4.

144. **Mendera, K. Z.** Obliczenia parametrow stanu czynnika roboczego silnika spalinowego [Text] / K. Z. Mendera, M. Smereka, A. Spyra // Silnica gazowe. – 2003. – C. 479-489.

145. **Mendis, K. J. S.** Modeling and Measurements from a Natural Gas Fuelled Engine [Text] / K. J. S. Mendis, C. R. Stone, N. Ladommatos // SAE Technical Paper Series. – 1993. – № 930927. – P. 143-161.

146. **Olsson, K.** Combustion Chambers for Natural Gas SI Engines. Part2: Combustion and Emission [Text] / K. Olsson, B. Johansson // SAE Technical Paper Series. – 1995. – № 950517. – P. 1-13.

147. **Reid, R. C.** The Properties of Gases and Liquids[Text] / R. C. Reid, J. M. Prausnitz, T. K. Sherwoo. – N.-Y.: McGraw-Hill Inc., 1977. – 688 p.

148. **Ricklin, P. U.** The Effects of NO<sub>x</sub> Addition on the Auto Ignition Behavior of Natural Gas under HCCI Conditions [Text] / P. U. Ricklin, A. Kazakov, F. L. Dryer [et al.]. // SAE Technical Paper Series. – 2002. – № 2002-01-1746. – P. 1-11.

149. **Rosarius, H.** Antriebsalternative mit Zukunft [Text] / H. Rosarius // AMZ. – 2004. – Jg. 92. – № 6. – S. 30.

150. **Rubas, P. J.** Methane Jet Penetration in a Direct-Injection Natural Gas Engine [Text] / P. J. Rubas, M. A. Paul, G. C. Martin [et al.]. // SAE Technical Paper Series. – 1998. – № 980143. – P. 1-12.

151. **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. – № 2000-01-0004. – P. 1-5.

152. **Song, Y.** Knock Limitations of Methane-Air Mixtures in a Turbocharged Dual-Fuel Engine [Text] / Y. Song, G. Acker, W. Schaetzle // SAE Technical Paper Series. – 1987. – № 870794. – P. 10.

153. **Table of Contents, Cryogenic Data** [Text] // Cryogenics and Industrial Gases. – 1976. Vol. 11. – № 3. – P. 37-40.

154. **Thomas, D. G.** Essais de Moteurs Diesel Alimentes a Γ Huile Vegetale et au Gas Naturel [Text] / D. G. Thomas, J. Darque, P. Delval // Entropie. – 1985. – Vol. 21. – № 122. – P. 7-10.

155. **Umierski, M.** Low Emission and Fuel Consumption Natural Gas Engines with High Power Density for Stationary and Heavy-Duty Application [Text] / M. Umierski, T. Korfer, P. Stommel // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999-01-2896. – P. 1-7.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Требования к технике безопасности и операции по техническому обслуживанию при эксплуатации газобаллонных тракторов**

К эксплуатации и техническому обслуживанию тракторов на компримированном природном газе (КПГ) допускается персонал, прошедший специальное обучение и сдавший экзамен. После сдачи экзамена тракторист получает удостоверение на право вождения газобаллонных тракторов на КПГ, а слесари и механики - на право выполнения работ по ТО и ТР газовой аппаратуры. Обучение организуется администрацией предприятия, эксплуатирующего тракторы (в дальнейшем – предприятие).

Должностные лица, нарушающие указанные правила, несут ответственность независимо от того, привело ли это нарушение к аварии или несчастному случаю и могут быть привлечены к дисциплинарной, а также иной ответственности, предусмотренной действующим законодательством, в зависимости от характера нарушения и тяжести его последствий.

Обо всех авариях и несчастных случаях, связанных с использованием компримированного природного газа, а также сжатого воздуха администрация предприятия обязаны немедленно сообщать местному органу Ростехнадзора РФ.

Расследование аварий и несчастных случаев должно проводиться в соответствии с Положением о расследовании и учете несчастных случаев.

На основе «Правил по технике безопасности на автомобильном транспорте» администрация предприятия должна разработать инструкцию по охране труда для каждой отдельной профессии (вида работы) с учетом специфики производства, оборудования и утвердить руководством данного предприятия по согласованию с профсоюзными организациями.

#### **А.1 Требования техники безопасности для водителей газобаллонных тракторов**

К управлению газобаллонным трактором допускаются лица, прошедшие специальную подготовку и сдавшие экзамен по программе технического

минимума в объеме 40 ч. Программа предусматривает доведение до обучаемых необходимых сведений и данных об устройстве газобаллонных тракторов, правил по охране труда и технике безопасности.

#### ВОДИТЕЛЬ ОБЯЗАН:

1. Перед выездом на линию произвести осмотр трактора с целью обнаружения возможных неисправностей и утечек газа, проверить крепления газовой аппаратуры и баллонов;
2. При обнаружении утечки газа закрыть расходный и магистральный вентиль;
3. При появлении запаха газа во время движения остановить трактор, устранить, если возможно, неисправность или сообщить о происшедшем на МТП;
4. Производить сброс газа на специальной площадке при неработающем двигателе и отключенной бортовой электросети («массе») трактора; категорически запрещается сбрасывать газ в помещениях в непосредственной близости от места стоянки подвижного состава или вблизи от источников огня и места нахождения людей;
5. Обеспечить въезд и перемещение в помещении для ТО и ТР газобаллонного трактора только на дизельном топливе;
6. Пуск двигателя на КПП после длительной стоянки (более 3-х суток) производить при открытом капоте;
7. Отогревать газовую аппаратуру в зимнее время только горячей водой, паром, горячим воздухом или с применением инфракрасных беспламенных горелок; применение открытого огня недопустимо;
8. В случае пожара на тракторе выключить зажигание, закрыть расходный вентиль; тушить пожар огнетушителем, песком или струей распыленной воды; во избежание взрыва во время пожара газовый баллон следует интенсивно охлаждать холодной водой, не допуская повышения давления в нем; трактор должен быть, оборудован огнетушителем, кошмой и специнструментом.

**ВОДИТЕЛЬ НЕ ДОЛЖЕН:**

1. Эксплуатировать трактор, у которого истек срок очередного освидетельствования газового баллона;
2. Стоять около наполнительного шланга или баллонов во время наполнения баллонов газом, наклоняться к наполнительному вентилю, отсоединять наполнительный шланг, находящийся под давлением;
3. Подтягивать гайки или соединения, стучать металлическими предметами по аппаратуре и газопроводам, находящимися под давлением;
4. Производить какой-либо текущий ремонт или регулировку газовой системы питания на территории АГНКС или вблизи газозаправщика.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

1. Хранить трактор с неисправной газовой аппаратурой на открытых стоянках с газом в баллонах;
2. Переставлять и заменять баллон на тракторе без разрешения лица, ответственного за эксплуатацию транспортного средства;
3. Оставлять трактор при длительной стоянке с открытым вентилем на каком либо баллоне;

**А.2 Требования техники безопасности для технического персонала при обслуживании и ремонте газовой аппаратуры****ТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕРСОНАЛ ДОЛЖЕН:**

1. Проверить перед началом работы исправность инструмента и оборудования, включить вентиляцию;
2. Производить ремонт газовой аппаратуры на тракторе только при отсутствии давления газа в газопроводах;
3. Работы по ремонту газовой аппаратуры производить при неработающем двигателе;
4. Выполнять работы по снятию и установке газовой аппаратуры специальными инструментами, а не случайными подручными средствами. Агрегаты можно снимать только в остывшем состоянии;

5. Производить сварочные, окрасочные работы (включая горячую сушку), а также работы с электродрелью, абразивными и другими, дающими искрение, только при отсутствии газа в баллоне.

#### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

1. Производить ремонт газовой аппаратуры при наличии на тракторе горючих и легковоспламеняющихся предметов, а также при наличии людей в кабине трактора;
2. Запускать двигатель при наличии утечки газа;
3. Сбрасывать газ из баллона вне установленного для этого места;
4. Производить снятие и ремонт аппаратуры при наличии в ней газа;
5. Пользоваться нестандартным или неисправным инструментом;
6. Проверять пламенем герметичность соединений;
7. Применять дополнительные рычаги при открывании и закрывании вентилей;
8. Очищать краску и красить наполненные газом баллоны;
9. Пользоваться замасленными шлангами, скрученными и сплюснутыми резиновыми трубками.

При возникновении утечек газа на тракторе, находящемся в помещении, его необходимо отбуксировать на пост слива газа, а помещение проветрить.

### **А.3 Требования безопасности при заправке тракторов сжатым газом**

Заправка газобаллонных тракторов компримированным природным газом производится на автоматических газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) или от передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ), устанавливаемых на специально отведенной для этого площадке, оборудованной молниезащитными средствами.

Заправка тракторов газом должна проводиться только оператором АГНКС, который должен быть снабжен спецодеждой установленного образца, шланговым

противогазом, головным убором, перчатками, резиновым фартуком и защитными очками.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

1. Въезд на площадку без разрешения оператора;
2. Въезд со взрывоопасным или легковоспламеняющимися предметами, а также с пассажирами в кабине трактора;
3. В радиусе 15 м от АГНКС (ПАГЗ) курить или пользоваться открытым огнем, производить работы, дающие искрение, а также переключать двигатель с одного вида топлива на другой;

4. Сбрасывать или выпускать газ в атмосферу;

Заправке подлежат баллоны, предназначенные только для КПП. Баллон должен иметь клеймо завода-изготовителя и соответствующие обозначения.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

Наполнять газом баллоны у которых:

1. Истек срок периодического освидетельствования;
2. Отсутствует клеймо завода-изготовителя;
3. Неисправна запорно-предохранительная арматура;
4. Поврежден корпус баллона (трещины, сильная коррозия, глубокие вмятины);
5. Окраска баллона не соответствует данному газу.

Компримированный природный газ заправляют в баллоны трактора, установленного на горизонтальной площадке.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ во время заправки газобаллонного трактора:**

1. Производить работы, не относящиеся к заправке;
2. Присутствие посторонних лиц;
3. Прогревать или запускать двигатель;
4. Оставлять трактор без присмотра;
5. Заправлять баллоны газом через шланг, не имеющий заземления;
6. Регулировать и демонтировать газовую аппаратуру;

7. После прекращения заправки оставлять наполненную трубку, присоединенной к наполнительному вентилю баллона.

Разъединение шлангов, открытие и закрытие вентилей, подсоединение и отсоединение трубок следует производить без рывков и ударов во избежание резкого выхода газа.

Если во время заправки в газонаполнительном шланге появились трещины или разрывы, необходимо немедленно перекрыть наполнительный вентиль на баллоне трактора и выходной вентиль газонаполнительной станции.

Аварийные случаи, при которых необходимо немедленно прекратить заправку газом:

1. При утечке газа из какой-либо части станции или газозаправщика;
2. При вибрации насоса или явно слышимом стуке;
3. При резком повышении температуры баллонов или торцевого уплотнителя;
4. При давлении в напорной линии, превышающем 1,6 МПа.

#### **А.4 Заправка газобаллонного оборудования**

Заправка трактора газом осуществляется в следующей последовательности:

1. Остановить двигатель;
2. Затормозить трактор стояночным тормозом;
3. Открыть крышку вентиляционной коробки арматуры (при необходимости);
4. Отвернуть заглушку с наполнительного штуцера блока арматуры или пробку с заправочного устройства (если такое имеется в наличии) и вернуть переходник;
5. Подсоединить штуцер заправочного шланга газонаполнительной станции или передвижного газозаправщика к наполнительному вентилю;
6. Открыть наполнительный вентиль на блоке арматуры; открыть кран заправочного шланга и произвести заправку. Заправка контролируется по манометру и прекращается автоматически за счет срабатывания мультиклапана

при достижении предельного уровня в баллоне. При этом стрелка манометра должна показывать 20 МПа. Переполнение баллона газом не допускается.

После заправки необходимо:

1. Закрывать заправочный вентиль;
2. Сбросить давление из заправочного шланга;
3. Отсоединить штуцер заправочного шланга и навернуть заглушку или пробку на заправочный штуцер или устройство;
4. Закрывать вентиляционную коробку крышкой.

В целях безопасности при заправке трактора компримированным природным газом водитель обязан соблюдать требования правил газонаполнительной станции, а также:

- не стоять около наполнительного шланга во время наполнения баллонов;
- не подтягивать гайки и соединения газовой аппаратуры, находящейся под давлением;
- не производить регулировку и ремонт газовой аппаратуры.

#### **А.5 Совершенствование технологии технического обслуживания**

Периодичность технического обслуживания газового оборудования аналогична периодичности обслуживания серийного трактора.

Перед постановкой на пост необходимо ТО проверить герметичность трубопроводов газовой системы и арматуры баллонов. Тракторы, имеющие утечку газа, на пост ТО не допускаются. При обнаружении утечки её необходимо устранить, закрыть расходные вентили на баллонах, выработать газ из системы и перейти в дизельный режим работы. ТО проводится в специально оборудованном помещении или другом безопасном месте.

При организации участка ТО газобаллонных тракторов должна учитываться возможность выпуска газа в резервную емкость или атмосферу.

Перечень операций, проводимых при ежедневном техническом обслуживании, представлен в таблице А.1.

Таблица А.1 – Перечень операций, проводимых при ежедневном техническом обслуживании (ЕТО)

Содержание работ	Технические требования	Приборы, инструмент, принадлежности
<b>Контрольный осмотр перед выездом</b>		
Проверить крепление газовых баллонов и кронштейнов	Баллоны и кронштейны должны быть надежно закреплены	Ключи 17, 19 мм
<b>Уход за трактором по окончании работы</b>		
Очистить от пыли и грязи арматуру баллонов, агрегаты газового оборудования и составные части системы	Составные части газовой системы питания должны быть чистыми	Щетка
Проверить герметичность арматуры баллонов, трубопроводов и агрегатов газовой системы, особенно агрегатов расположенных под капотом	Утечки газа недопустимы	Мыльная эмульсия, кисточка
Поставить переключатель вида топлива в положение «Дизель», закрыть расходный вентиль, выключить питание.	Наличие давления газа в газовой системе не допускается	

Перечень операций, проводимых при первом техническом обслуживании, представлен в таблице А.2.

Таблица А.2 – Перечень операций, проводимых при первом техническом обслуживании (ТО-1)

Содержание работ	Технические требования	Приборы, инструмент, принадлежности
Провести операции ЕТО		
Выполнить все работы ТО-1 согласно руководства по эксплуатации базового трактора	См. руководство по эксплуатации базового трактора	Согласно руководства по эксплуатации базового трактора
Перед постановкой трактора на пост ТО проверить герметичность арматуры газовых баллонов и трубопроводов высокого давления	Тракторы, имеющие утечку газа через арматуру баллонов, на пост ТО не допускаются	Мыльная эмульсия, кисточка
Закрывать магистральные вентили на баллонах, выработать газ из системы и закрыть расходный вентиль. Перевести двигатель в дизельный режим.	Наличие давления газа в системе не допускается	Штатный манометр
Проверить состояние лакокрасочного покрытия баллонов и кронштейнов	Ослабленные соединения подтянуть, поврежденные места окраски подкрасить	Ключи 14, 17, 19 мм; эмаль красная
Проверить состояние и крепление всех агрегатов газовой системы	Ослабленные гайки и болты подтянуть, соединения трубопроводов надежно закрепить	Ключи 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 22 мм.
Проверить герметичность газовой системы. Воздух или инертный газ подавать через наполнительный вентиль	Утечка из соединений системы, повреждения трубопроводов не допускаются. Трубопроводы не должны иметь вмятин, скручивания и других деформаций	Мыльная эмульсия, кисточка

Перечень операций, проводимых при втором техническом обслуживании, представлен в таблице А.3.

Таблица А.3 – Перечень операций, проводимых при втором техническом обслуживании (ТО-2)

Содержание работ	Технические требования	Приборы, инструмент, принадлежности
Выполнить работы относящиеся к ТО-1.	См таблицу А.2	См таблицу А.2
Выполнить все работы ТО-2 согласно руководства по эксплуатации базового трактора	См. руководство по эксплуатации базового трактора	Согласно руководства по эксплуатации базового трактора
Проверить состояние фильтрующего элемента РВД, герметичность клапана редуцирующего узла и толкатель, при необходимости отрегулировать давление на выходе РВД	Фильтр промыть, продуть или заменить новым. Продавливание, забоины, царапины полиамидного уплотнения клапана не допускаются. Разбирать и регулировать клапан следует только в специализированной мастерской	Ключи 17, 19, 22 мм; растворитель № 646, ветошь
Проверить состояние фильтрующего элемента во входном штуцере редукторов-подогревателей	Фильтрующий элемент промыть, при необходимости заменить новым	Емкость с керосином, ветошь
Проверить работу указателя давления и его датчика	Сбросить давление и убедиться в том, что стрелка прибора совпадает с нулем. Неисправный прибор заменить	Мультиметр, плоская отвертка, ключ 14 мм
Проверить и, при необходимости, отрегулировать давление в первой и второй ступенях редукторов-подогревателей	Первая ступень – 1 МПа, Вторая ступень – 0,25МПа	Ключи 8, 14 штатные датчик и индикатор давления

Перечень операций, проводимых при сезонном техническом обслуживании, представлен в таблице А.4.

Таблица А.4 – Перечень операций, проводимых при сезонном обслуживании (СО) при подготовке трактора к зимней эксплуатации.

Содержание работ	Технические требования	Приборы, инструмент, принадлежности.
1	2	3
Выполнить работы относящиеся к ТО-1	См таблицу А.2	См таблицу А.2
Снять и разобрать РВД, все детали промыть и продуть сжатым воздухом, негодные детали заменить новыми. Собрать РВД, отрегулировать рабочее давление срабатывания предохранительного клапана, проверить на герметичность	Все операции с регулятором следует выполнять в специализированной мастерской	Ключи 14, 17, 22, 24, 36, 41 мм, ветошь, мыльная эмульсия, кисточка, отвертка, пассатижи, компрессор, манометры, ванна для мойки деталей
Снять с трактора газовый редуктор, разобрать, очистить, промыть. При необходимости заменить негодные детали, продуть сжатым воздухом, собрать, отрегулировать давление в первой и второй ступенях редуктора	Все операции с газовым редуктором выполняются в специализированной мастерской	Ключи 14, 17, 22, 24, 36, 41 мм, ветошь, мыльная эмульсия, кисточка, отвертка, пассатижи, компрессор, манометры, ванна для мойки деталей
Проверить работу электромагнитных клапанов	Перемещение сердечника с запорным устройством должно быть без заеданий в любых положениях при напряжении 10-15 В	Стенд для проверки электроагрегатов
Проверить газовый редуктор на герметичность	Утечки не допускаются	Компрессор, штатный манометр

1	2	3
Снять крышки магистральных, расходного и наполнительного вентилях (не вывертывая корпусов), осмотреть детали, негодные заменить	Перемещение всех подвижных деталей должно быть свободным, без заеданий	Ключ 10 мм
Смазать резьбы штоков	Вращение штоков в резьбе должно быть свободным, без заеданий	Графитная смазка
Продуть газопроводы сжатым воздухом или инертным газом	После установки всех узлов газовой системы опрессовать систему	Компрессор, мыльная эмульсия, кисточка
Снять ТНВД и форсунки с двигателя. Проверить и отрегулировать ТНВД	Установить на ТНВД штатный регулятор и провести регулировку в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации базового трактора	Стенд для испытания и настройки ТНВД

При обнаружении утечек газа необходимо закрыть расходный вентиль и выработать газ из соединительных трубопроводов. Запрещаются любые ремонтные работы на элементах системы подачи газа, находящихся под давлением.

При выходе из строя предпускового подогревателя возможен запуск двигателя при исправных аккумуляторных батареях при температуре до минус 25...30 °С без подогрева. Запуск двигателя при температуре ниже плюс 8 °С, без предварительного подогрева, может резко снизить ресурс газового редуктора или привести к его неисправности.



Утверждаю  
 Генеральный директор  
 НИИСХ «Юго-Восток»  
 Прянишников А.И.

### Акт

о проведении эксплуатационных испытаний трактора РТ-160М  
 с установленной системой подачи компримированного природного газа  
 для работы на газодизельном цикле.

Комиссия в составе представителей агроцентра ФГОУ ВПО СГАУ им. Н.И. Вавилова – зам. ген. директора Бреля В.К., механика Ерантаева Н.П. и представителей СГАУ – д.т.н., профессора Загородских Б.П., аспиранта Бебенина Е.В. и аспиранта Нигматулина И.Д. составила настоящий акт в том, что в соответствии с соглашением между кафедрой «Технология с/х машиностроения» СГАУ им. Н.И. Вавилова и НИИСХ «Юго-Восток» с 15.10.08 по 25.11.08 проводились эксплуатационные испытания трактора РТМ-160 (зав.№ 00037) с установленной системой подачи компримированного природного газа для работы на газодизельном цикле.

Испытания проходили при заправленных природным газом баллонах давлением 200 кг/см<sup>2</sup>.

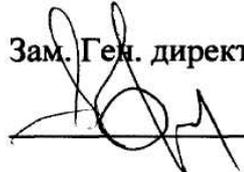
В результате анализа полученных результатов испытаний установлено, что система способна работать при различных нагрузках и выполнении различных типов работ.

Комиссия рекомендует продолжить испытания опытного образца.

Приложение: таблица с результатами полевых испытаний.

Представители агроцентра ФГОУ  
 ВПО СГАУ им. Н.И. Вавилова

Зам. Ген. директора

 Брель В.К.

Механик

 Ерантаев Н.П.

Представители агроцентра ФГОУ  
 ВПО СГАУ им. Н.И. Вавилова

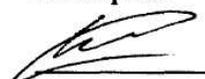
Д.т.н., профессор

 Загородских Б.П.

Аспирант

 Бебенин Е.В.

Аспирант

 Нигматулин И.Д.

## Приложение В

Утверждаю

Министр сельского хозяйства  
Саратовской области

Бабошкин И.А.

## Справка

В соответствии с « Планом комплексных мероприятий по переводу автомобильной, тракторной и сельскохозяйственной техники на природный газ на территории Саратовской области на 2011-2015 гг.». Утвержденный губернатором области. Саратовский Государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, принимал участие в организации распространения положительного опыта работы автотракторной техники на компримированном природном газе.

По заказу Министерства Сельского хозяйства, аграрным университетом были выполнены следующие хоздоговорные научно-исследовательские работы:

Исполнители: д.т.н., профессор Загородских Б.П., к.т.н. Володин В.В., к.т.н. Бебенин Е.В., инженер Осовин Н.В., инженер Нигматулин И.Д.

-разработка рекомендаций по организации использования газомоторного топлива в АПК и нормативных показателей по устойчивости тракторов, укомплектованных газобаллонным оборудованием.

Разработка руководства по техническому обслуживанию и технике безопасности системы топливоподачи трактора РТМ-160 при работе по газодизельному циклу

Разработка и исследование новой системы распределения газообразного топлива по эксплуатационному принципу двигателя К-700.

Результаты проведенных работ позволили следующее:

-переоборудование четырех тракторов К-700А для работы по газодизельному циклу, которые эксплуатируются в фермерском хозяйстве «ООО Горизонт-С» Марковского района, Саратовской области, при выполнении всех сельскохозяйственных работ

-разработать, изготовить и смонтировать на трактор К-700А новую систему распределенной подачи газообразного топлива по эжекционному

принципу, которая позволяет уменьшить эксплуатационный расход дизельного топлива до 80%, без снижения производительности трактора.

-предложенные рекомендации по проведению технического обслуживания и технике безопасности, использовать при эксплуатации тракторов оснащенных газобаллонным оборудованием,

-издать «Рекомендации производству:

«Альтернативное топливо сельскохозяйственной техники» Саратов 2009 с.24

-перевод тракторов для работы по газодизельному циклу Саратов 2012 с.

Начальник отдела

«Технической политики»

К.т.н.



П. В. Кузин

