

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра: Тракторы, автомобили и энергетические установки

Направление подготовки – 35.04.06 Агроинженерия

Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАКТОРА С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЕГО ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРУЕМЫЙ УРОЖАЙ

Магистрант _____ Мирзасалихов Р.Н.

Научный руководитель,
д. т. н., профессор _____ Хафизов К.А.

Обсуждена на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол №__ от _____ 2019 г.)

Руководитель магистерской программы,
д.т.н., профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2019 г.

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) Мирзасалихов Р.Н. на тему: «ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАКТОРА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЕГО ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРУЕМЫЙ УРОЖАЙ».

Выпускная квалификационная работа (диссертация) состоит из введения, пяти разделов, выводов и предложений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 87 страницах машинописного текста, содержит 12 рисунка и 12 таблицу. Список использованной литературы содержит 121 наименование.

В первом разделе пояснительной записки выпускной квалификационной работы проведено исследование существующих технологий в растениеводстве, проанализирована годовая нагрузка на трактор и энергообеспеченность пашни тракторной мощностью в разных странах.

Во втором разделе приводится математическая модель машинно-тракторных агрегатов.

В третьем разделе приводится программа и методика экспериментальных исследований.

В четвертом разделе проводятся результаты экспериментальных исследований.

В пятом разделе проведены вычислительные эксперименты, выявлено оптимальное значение годовой нагрузки различных марок тракторов, выявлена энергообеспеченность на технологии прямого посева. Рассчитана энергетическая и экономическая эффективность от перехода на оптимальную нагрузку тракторов

Пояснительная записка завершается выводами и списком литературы.

SUMMARY

To final qualification work (the master thesis) Mirzasalikhov R.N. subject: "JUSTIFICATION OF OPTIMUM ANNUAL LOADING OF THE TRACTOR TAKING INTO ACCOUNT INFLUENCE OF ITS PARAMETERS ON THE CREATED HARVEST".

Final qualification work (thesis) consists of introduction, five sections, conclusions and offers, the list of references and appendices. Work is stated on 87 pages of the typewritten text, contains the 12th drawing and the 12th table. The list of the used literature contains 121 names.

In the first section of the explanatory note final qualification works the research of the existing technologies in crop production is conducted, annual load of the tractor and power security of arable land with tractor power in the different countries is analyzed.

The mathematical model of machine and tractor units is given in the second section.

The program and technique of pilot studies is provided in the third section.

In the fourth section results of pilot studies are carried out.

In the fifth section computing experiments are made, optimum value of annual loading of different brands of tractors is revealed, power security on technology of direct crops is revealed. Power and economic efficiency from transition to optimum loading of tractors is calculated

The explanatory note comes to the end with conclusions and the list of references.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ | 8 |
| 1.1. Анализ применяемых технологий для возделывания зерновых культур в РТ, РФ и за рубежом..... | 8 |
| 1.2. Проблемы механизации технологических процессов в РФ в условиях ее вступления в ВТО и введения против нее экономических санкций..... | 13 |
| 1.3. Годовая нагрузка на трактор | 16 |
| 1.3.1. Энергообеспеченность и его связь с урожайностью и производительностью труда..... | 17 |
| 1.3.2. Методы определения потребности в тракторах их преимущества и недостатки | 19 |
| 1.4. Постановка цели и задач исследования..... | 21 |
| Выводы | 22 |
| 2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА..... | 23 |
| 2.1. Построение энергетической математической модели агрегатов для оптимизации годовой нагрузки трактора | 23 |
| 2.1.1 Определение составляющих суммарных энергетических затрат на изготовление, техническое обслуживание и ремонт тракторов и сельскохозяйственных машин..... | 24 |
| 2.1.2 Математическое описание подсистемы модели для расчета энергии урожая, потерянного из-за негативного воздействия двигателей трактора на почву..... | 26 |
| Выводы | 27 |
| 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 29 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований..... | 29 |
| 3.2 Агротехническая и энергетическая оценка агрегатов..... | 32 |
| 3.3 Методика эксплуатационно-технологических исследований агрегатов | 36 |
| 3.4 Методика обработки экспериментальных данных..... | 38 |
| Выводы | 40 |
| 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 41 |
| 4.1 Результаты агротехнической и энергетической оценки агрегатов..... | 41 |
| 4.2 Результаты эксплуатационно-технологических исследований агрегатов..... | 44 |
| 4.4 Проверка модулей системной энергетической математической модели на адекватность..... | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.1 Проверка на адекватность модуля расчета часовой производительности МТА | 44 |
| Выводы | 47 |
| 5 ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАКТОРА НА ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ К ПОСЕВУ И НА ПОСЕВЕ | 48 |
| 5.1 Оптимальная годовая нагрузка трактора по маркам на технологии нулевой обработки почвы | 48 |
| 5.2 Анализ результатов вычислительных экспериментов | 52 |
| 5.3 Энергетическая и экономическая эффективность реализации результатов исследования | 56 |
| Выводы..... | 57 |
| ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ | 59 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 62 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 74 |

ВВЕДЕНИЕ

Главным средством механизации производственных процессов в растениеводстве, являются тракторы.

От наличия тракторов зависит уровень механизации, энерговооруженность труда, энергообеспеченность единицы пашни.

В различных странах энергообеспеченность 1 га пашни различается. В связи с этим возникает вопрос – какова оптимальная нагрузка на один трактор (в га пашни) и от каких факторов среды и параметров трактора этот показатель зависит.

Для улучшения эффективности аграрного производства с целью повышения продуктивности и устойчивости производства [39], возникает необходимость использования системного подхода для изучения сложных объектов – агроценозов живущих по объективным законам природы.

Чтобы при изучении агроценоза получать объективную информацию необходимо выбрать объективный показатель ее эффективности. Таким показателем может явиться энергия и ее потоки. Энергетический показатель позволяет правильно оценить эффективность использования в агроценозе антропогенной (дополнительной, технической) энергии.

Данный критерий оптимизации показателей и параметров используемой техники можно связать с формируемым урожаем зерновых культур через потери урожая, на которые влияют параметры трактора и факторы среды.

Задача проведенных исследований – выявить оптимальную нагрузку на один физический трактор с целью снижения прямых и косвенных энергетических затрат, в том числе и энергии урожая зерновых культур.

Актуальность работы. Исследования, направленные на выявление оптимальной годовой нагрузки на трактор и машинно-тракторный агрегат на посевах с использованием объективного критерия оптимизации – суммарные энергетические затраты – является актуальной задачей.

Объект исследования – посевные машинно-тракторные агрегаты, применяемые на технологии – *no till*.

Цель работы – Улучшение эффективности использования тракторов, путем оптимизации годовой нагрузки трактора, определения рациональной энергообеспеченности аграрного производства.

В связи с этим в магистерской выпускной работе **ставятся задачи:**

1. Модернизировать математическую модель агрегатов для оптимизации годовой нагрузки трактора и определения рациональной энергообеспеченности аграрного производства;

2. Разработать программу, методику и провести экспериментальные исследования МТА при подготовке почвы к посеву и на прямом посеве по технологии *no till* для получения недостающей информации по работе агрегатов, накопления данных для верификации математической модели агрегатов;

3. Провести расчеты и определить оптимальную годовую нагрузку трактора на прямом посеве и рациональную энергообеспеченность аграрного производства;

4. Составить рекомендации для производства.

Апробация. Основные положения проведенных исследований одобрены и доложены: на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и студентов Казанского ГАУ — в 2018 - 2019 гг.;

Публикации. По результатам этого исследований опубликованы 2 статьи.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов и предложений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 88 страницах машинописного текста, содержит 12 рисунка и 12 таблицу.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ применяемых технологий для возделывания зерновых культур в РФ, РФ и за рубежом

Сегодня в аграрном секторе экономики, а именно в растениеводстве используются различные технологии, направленные на увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. Во всем мире рост урожайности сопровождается ростом энергетических затрат на единицу выращенной продукции.

Экономия энергетических затрат является важной составляющей современного аграрного производства. Поэтому появились технологии с минимальной обработкой почвы и даже технологии нулевой обработки почвы. Задача состоит в экономии топлива, однако переход на технологии с минимальной обработкой почвы ведет к снижению валового сбора продукции, а значит к потерям энергии, которая накапливается в зерне..

По уровню интенсивности, результативности, затратам ресурсов, количеству получаемой продукции – технологии делят на несколько групп [5, 84, 103]:

- *традиционные технологии* – когда управление продуктивностью культур осуществляется в условиях ограниченных ресурсов производства. В традиционных технологиях растения растут и развиваются за счет естественного плодородия почвы. В этих технологиях традиционно осуществляется механическая борьба с сорняками (боронование, предпосевная культивация и др.), широко используется глубокая обработка почвы. Используются однооперационные сельскохозяйственные машины. На этих технологиях: реализация биологического потенциала сорта составляет более 50%; оплата семян 10-12 кг зерна / кг семян; оплата топлива 2-3 кг зерна / кг топлива; затраты труда 6,5 чел.-ч/т зерна; отдача влаги 3-4 кг. зерна / 1 мм осадков; оплата удобрений 3,0 кг. зерна/ кг д. в. удобрений;

Таблица 1.1 – Классификация технологий растениеводства

| Показатель | Агротехнологии | | | | |
|---------------------------|---|--|---|---|---|
| | обычные | экологические | нормальные | интенсивные | точного земледелия |
| Техника | Отечественные трактора, комбайны и сельскохозяйственная техника | | | | Прецизионная |
| Обработка почвы | Обычная, многооперационная с использованием вспашки | Почвозащитная комбинированная | Почвозащитная комбинированная | Дифференцированно минимизированная | Оптимизированная к потребностям растений |
| Сорта | Толерантные | Без генной модификации | Пластичные | Интенсивные | С заданными параметрами |
| Минеральное удобрение | Нет | Нет (возможно применение калийных, фосфорных и микроэлементов) | Поддерживающее | Программированное на определенную урожайность | Дифференцированное, точное - по потребности растений |
| Защита растений | Механическая борьба с сорняками, эпизодическое применение химической защиты | Механическая борьба с сорняками, травяные севообороты | Ограниченное использование химической защиты, | Интегрированная | Дифференцированная, точная, экологически сбалансированная |
| Качество продуктов | Зависит от множества факторов – семян, почвы, погоды | Наименее вредное для живых организмов | Удовлетворительное | Неустойчиво плавающее | С запланированным качеством |
| Землеоценочная основа | Почвенные и почвенно-ландшафтные карты, карты известкования различного масштаба | | | | Цифровые карты полей по урожайности, содержанию элементов питания и др. показателям |
| Экологическое воздействие | Истощение, распыление, уплотнение почвы, водная, воздушная эрозия др. | Улучшение экологии, обогащение биологического содержания почвы | Частичная деградация почв | Нарушение экологического равновесия ее устойчивости | Возможность сохранения экологического равновесия |

- *экологические* созданы с целью получения качественной продукции не наносящей ущерб здоровью человека. В данных технологиях стараются меньше применять химические соединения, часто вредные для организма живых существ, продуктивность почвы поддерживается остатками растений (солома, стерня, корни) путем их заделки на глубину 2-3 см. В технологии возможно использование отечественных тракторов и сельхозмашины предназначенные выполнять работу на стерневом фоне по соломенным и другим растительным остаткам;

- *нормальные технологии* – здесь производство продукции ведется часто при ограниченных ресурсах производства: удобрений и пестицидов; минимальной обработкой почвы из-за недостатка техники и энергообеспеченности производства.

Применяется в основном российская оборудование, сельхозмашины в большинстве случаев предназначены для работы по стерневому фону и являются многооперационными;

- *интенсивные технологии* позволяют реализовать потенциал сорта более чем на 65% обеспечивая затраты труда менее 4,5 чел.-ч/т зерна. Данные технологии, гарантируют получение урожая в установленных размерах, можно вести речь о планировании количества урожая. В данных технологиях применяют интенсивных сорта зерновых культур. Они могут быть реализованы с использованием отечественных сортов, удобрений, но импортных пестицидов.

Применяемые тракторы российские либо иностранные, сельхозмашины предназначены для работы по стерне и соломенным остаткам, они также многооперационные;

- *технологии точного земледелия* - технологии опирающиеся на знания, позволяющие получать зерновую и другую продукцию нужного качества и в запланированных объемах, предусматривают использование информации на базе геоинформационных систем, основаны на современных достижениях научно-технического прогресса в области управления продукционным

процессом развития растений. Данные технологии обязаны использовать точную технику, дифференцированное внесение удобрений, ядохимикатов (посмотрите таблицу 1.1), эффективные химические и биологические препараты, цифровые карты полей с различной информацией. Эффективность данной технологии следующая: оплата израсходованного топлива 6-10 кг зерна / кг топлива; оплата минеральных удобрений 8-11 кг зерна/ кг д.в. удобрений; оплата семян 35-55 кг зерна / кг семян; отдача влаги 11-13 кг. зерна / 1 мм осадков.

Подобное представление технологий разделенных на 5 видов условное, как и любая классификация, и она приведена здесь для того, чтобы показать – используемая техника, ее свойства зависят от применяемых технологий. Кроме этого технологии определяют и рациональную энергообеспеченность производства – качество и число требуемых тракторов.

На большинстве приведенных технологий используется подготовка почвы к посеву. Сегодня можно выделить несколько технологий подготовки почвы (см. таблицу 1.2):

- **мульчирующая обработка** (mulch tillage) – почва перед посевом предварительно подвергается рыхлению с одновременным измельчением и сохранением на поверхности почвы растительных остатков пропашных и иных предшественников [58];

- **нулевая** (no tillage) посев осуществляется без предварительной подготовки к посеву. Посев осуществляется в узкие бороздки шириной 2,5-7,5 см при этом одновременно проводятся дополнительные операции (внесение удобрений, прикатывание почвы и др.). Для борьбы с вредителями широко используются пестициды и гербициды. При использовании такой технологии экономия ресурсов (топлива, затрат труда и др.) может достигать 70-80%. [58];

- **отвальная** предусматривает глубокую зяблевую вспашку;

Таблица 1.2 – Использование посевных машин и комплексов в зависимости от системы обработки почвы

| Тип рабочего органа сеялки | Пределы удельного сопротивления почвы, кН/м* | Рекомендуемая рабочая скорость, км/ч | Система обработка почвы | | | |
|--|--|--------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------|---------|
| | | | Отвальная | Мульчирующая | Комбинированная | Нулевая |
| 2-х дисковые (СЗ-3,6) (Агратор-Диск) | 1,00 – 2,12* | 5-15 | +++ | ++ | ++ | + |
| Анкерные (Хорш), (Агратор-Анкер) | 2,62 – 4,26* | 7-12 | + | +++ | +++ | +++ |
| Культиваторная лапа (СК-3,6, Флексикойл, John Deere 1830, Агратор, Агромастер) | 3,42 – 5,12(ДД) 2,46–3,84(Агратор) | 7-10 | + | +++ | +++ | +++ |
| Долотовидный (DMS) | 4,02 – 5,34* | 10,6 | + | ++ | ++ | +++ |
| Диск + Анкер (D-9) | 2,48 – 3,88* | 10,2 | +++ | ++ | ++ | + |
| Одно – дисковые (John Deere 1890) | 2,80 – 3,54* | 10 | ++ | +++ | +++ | +++ |
| Волнистые диски, двухдисковые сошники (Pronto 12 NT Хорш) | 4,02 – 4,95* | 12-15 | + | ++ | +++ | +++ |
| Вырезные диски (дискатор), анкерные сошники (МПП-6-Чародейка) | 5,57 – 7,98* | 14 | + | +++ | +++ | +++ |
| Агратор-комбидиск | 5,95 – 7,56* | 10-12 | ++ | + | ++ | + |

* – Из протоколов испытания сеялок [Протоколы испытания сеялок]

- **сокращенная обработка почвы** (reduced tillage) – технологии с меньшим воздействием рабочих органов на почву, чем обычно [75];

- **комбинированная** используют разноглубинную обработку почвы на севообороте в зависимости от природно-климатических, почвенных условий и возделываемых культур.

- **минимальная обработка** (minimum tillage) почвозащитная обработки кроме нулевой обработки.

Чтобы сформировать эффективные производственные технологии необходимо создать автоматизированную систему проектирования сельскохозяйственного производства, начиная от выбора культур, севооборотов, технологий производства и эффективной техники – тракторов, сельскохозяйственных машин их параметров и режимов работы. Эту работу сегодняшние специалисты сельхозпредприятий качественно выполнить не в состоянии. Необходимо создавать ИТ инструменты, что актуально в условиях перехода на цифровые технологии.

1.2 Проблемы механизации технологических процессов в РФ в условиях ее вступления в ВТО и введения против нее экономических санкций

При выполнении полевых технологических операций основным источником энергии сегодня остаются тракторы. На приведенных первых четырех видах технологий используются, в основном отечественные тракторы. Пятая технология требует использования зарубежных тракторов, что связано: с использованием электронных систем управления трактором, а также агрегатами; использованием бортовых компьютеров и приборов для навигации, использованием специальных компьютерных программ (программы обработки информации, цифровые карты полей и др.). Однако все технологии отличаются перечнем технологических операций, и эти

технологии в зависимости от энергоемкости требуют использования различных тракторов [41, 103, 104, 107].

Тракторы делятся на группы по тяговой мощности или номинальному тяговому усилию [93].

Таблица 1.3 – Типаж тракторов по тяговому усилию и тяговой мощности

| Категория трактора (по ISO 730-1) | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------|-----------|----------|------------------------|
| Максимальная тяговая мощность, кВт | 35 | 30...75 | 70...135 | 135... 300 |
| Значение мощности на ВОМ, измеренной по стандарту ИСО, кВт | До 48 | До 92 | 80...185 | 150...350 |
| Тяговый класс | 0,6/0,9 | 0,9/1,4/2 | 2/3/4 | 5/6/8 |
| Диапазон тягового усилия, кН | 1,8...12,6 | 12,6...27 | 27...45 | 45...108 |
| Диапазон мощности двигателя тракторов РФ, кВт | 24.6...33 | 33... 96 | 96...154 | 154...287 (280-335) |
| Масса трактора РФ, т | 1,8...2,7 | 2,7...6,5 | 6,5...9 | 9...17,5 |

Типаж тракторов включает 10 классов (первый тяговый класс в таблице не приведен). Большое число классов тракторов и наличие большого числа марок тракторов от разных производителей, создают проблемы поддержания техники в работоспособном состоянии.

В таблице 1.4 приведена структура тракторного парка РТ.

Количество физических тракторов в Татарстане постоянно снижается. Выбывают в основном гусеничные трактора ДТ, а среди колесных - ХТЗ. Количество всех тракторов МТЗ стабилизировалось имеется тенденция роста количества тракторов МТЗ-1221 и 1523.

В тракторном парке РТ количество импортных тракторов с 2012 выросло почти в 2 раза. В парке зарубежных тракторов имеются трактора различных марок примерно от 10 производителей, что создает трудности при эксплуатации техники в связи с ростом курса доллара в 2015 году в два раза.

Запад – основной поставщик тракторов в Россию объявил экономические санкции [90].

Таблица 1.4 – Структура тракторного парка Татарстана

| Тракторы по маркам | Количество тракторов по годам, шт. | | | | | | |
|--|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| К-700А, К-701 | 872 | 823 | 791 | 774 | 725 | 708 | 701 |
| К-744 | 117 | 124 | 134 | 134 | 134 | 139 | 145 |
| Т-150К, ХТЗ | 1 550 | 1494 | 1276 | 1169 | 1057 | 1032 | 1021 |
| ДТ-75, Т-4А, ДТ-175С, ВТ-100, 150 | 4575 | 4363 | 3596 | 3202 | 2632 | 2312 | 2015 |
| Т-70 | – | 238 | 234 | 233 | 233 | 230 | 213 |
| МТЗ-1221, МТЗ-1523 | 1966 | 2163 | 2154 | 2186 | 2406 | 2446 | 2498 |
| МТЗ-80/82, ЮМЗ, Т-40, ЛТЗ-55, 60, 155, Т- 16, 25, 30 | 7469 | 7436 | 7189 | 6949 | 7107 | 4106 | 7116 |
| КамАЗ Т-215 | – | 214 | 214 | 217 | 215 | 213 | 208 |
| Нью-Холланд | 160 | 172 | 195 | 225 | 299 | 298 | 311 |
| Джон-Дир | 42 | 42 | 44 | 43 | 41 | 42 | 42 |
| Бюллер | 23 | 23 | 24 | 27 | 61 | 68 | 69 |
| Арес, Агротрон | 43 | 44 | 46 | 37 | 56 | 55 | 58 |
| Массей Фергюсон | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 |
| Фендт | 81 | 82 | 87 | 82 | 83 | 85 | 89 |
| Фотон | – | – | – | 16 | 20 | 26 | 31 |
| Ландини | – | – | – | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Кейс | – | 8 | 16 | 12 | 11 | 15 | 15 |
| Прочие | – | 708 | 850 | 775 | 332 | 342 | 331 |
| Импортные, всего | 375 | 486 | 626 | 646 | 692 | 735 | 735 |
| Тракторы, всего | 18340 | 17944 | 16860 | 16102 | 15533 | 152231 | 14998 |

В сегодняшних неблагоприятных для РФ условиях на внешнем и внутреннем рынках важная задача, которую необходимо решить – выявить оптимальную годовую нагрузку на трактор по маркам и исследовать влияние различных факторов на ее величину.

Для решения этой проблемы необходимо составить энергетическую математическую модель различных агрегатов и вычислить на ее основе оптимальную годовую нагрузку на один трактор, выявить оптимальную энергообеспеченность единицы пашни.

Выпускная работа и есть поиск ответа на поставленный вопрос.

1.3. Годовая нагрузка на трактор

Годовая нагрузка на трактор в га пашни определяет интенсивность использования техники. В последние годы этот показатель для РФ постоянно увеличивается, что видно из рисунка 1.1 [80].



Рисунок 1.1 – Нагрузка пашни на один трактор в Российской Федерации по годам

Однако такой подход не вполне корректный, ибо мы не знаем, приведены или нет тракторы к одному знаменателю. Мы не знаем, нагрузка в га приведена на физический трактор или условный эталонный.

Здесь возникает путаница при ознакомлении с литературными источниками. Поэтому для характеристики уровня обеспеченности аграрного производства тракторами, основными средствами механизации аграрного производства – более корректным показателем является энергообеспеченности одного га пашни в л.с.

1.3.1. Энергообеспеченность и его связь с урожайностью и производительностью труда

Можно предположить или выдвинуть гипотезу о том, что чем больше энергообеспеченности 1 га пашни – тем больше производительность труда работников сельскохозяйственного производства и в более короткие сроки выполняются технологические операции, а значит, будет меньше потерь потенциального урожая.

На рисунках 2, 3, 4 приведена информация об энергообеспеченности в развитых странах, Индии и в Российской Федерации [122].

Как видно из рисунка 1.2 самая высокая энергообеспеченность в США – 8,5 л.с./га и в странах ЕС 5 л.с./га и, соответственно, в них самая высокая урожайность зерновых культур.

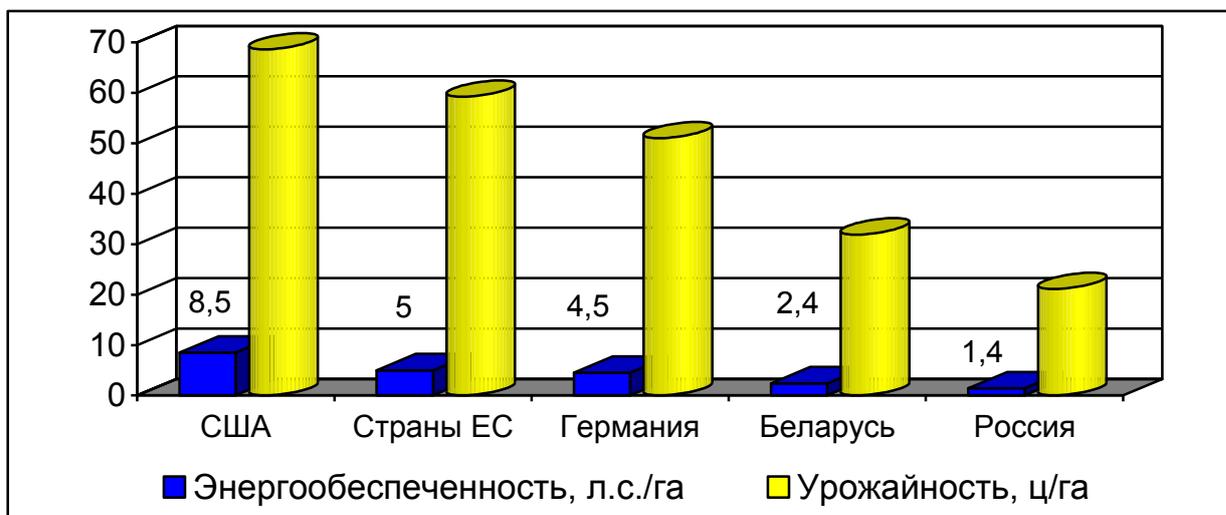


Рисунок 1.2 – Энергообеспеченность в странах ЕС, США и России и ее связь с урожайностью зерновых культур (в среднем за 5 лет)

Как видно из рисунка 1.3 энергообеспеченность сельского хозяйства в Индии постоянно растет, что приводит к стабильному росту урожайности. Энергообеспеченность в 2011 году достигла 1,75 л.с./га, что помогло Индии повысить урожайность до 17,8 ц/га.

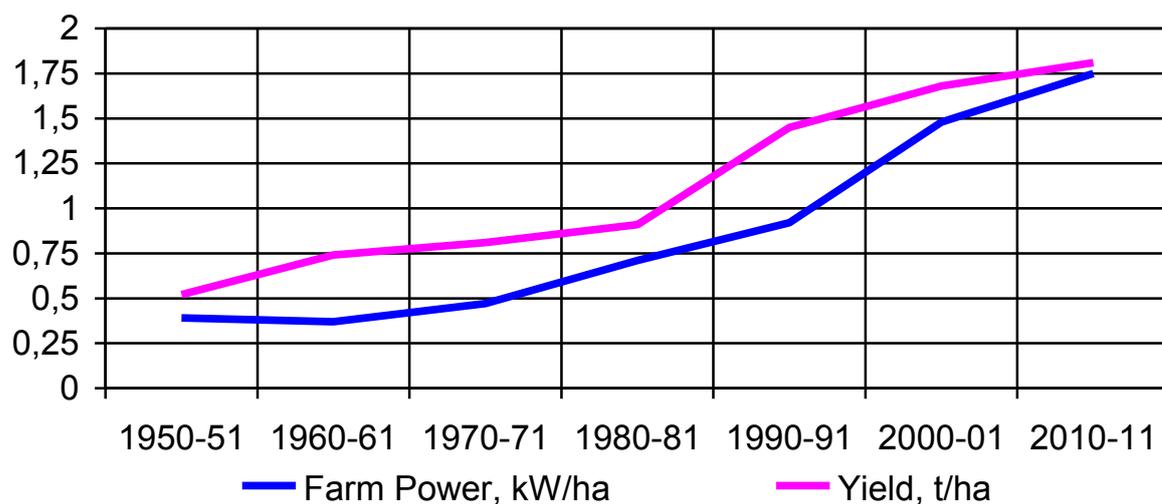


Рисунок 1.3 – Энергообеспеченность сельского хозяйства Индии по годам и ее связь с урожайностью зерновых культур

Чтобы удостовериться, что между энергообеспеченностью сельского хозяйства (растениеводства) и урожайностью зерновых культур имеется прямо пропорциональная зависимость, характерная и для России, на рисунке 1.4 приведена энергонасыщенность ряда ее регионов [80].

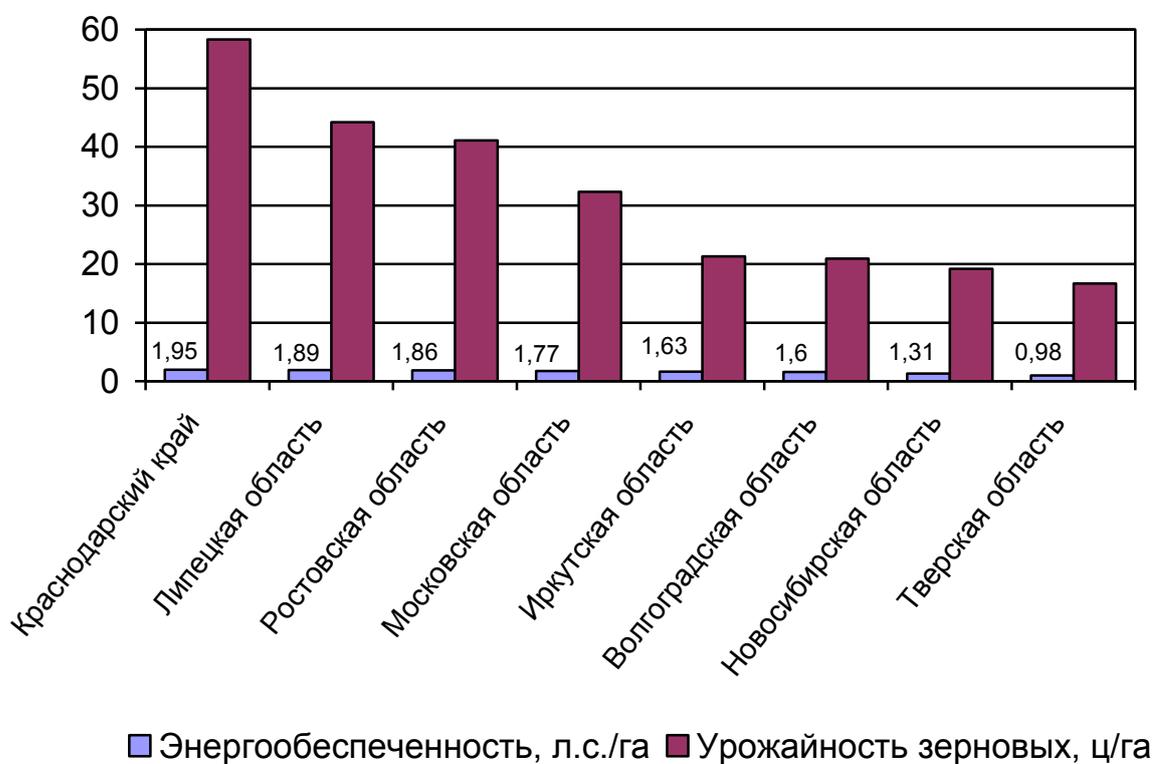


Рисунок 1.4 – Энергообеспеченность по некоторым регионам России и ее связь с урожайностью зерновых культур

Самый энергонасыщенный регион – Краснодарский край 1,95 л.с/га и здесь же самая высокая урожайность зерновых культур – 58,3 ц/га. В Тверской области урожайность зерновых составляет 16,7 ц/га при энергонасыщенности 0,982 л.с./га.

В связи с тем, что энергообеспеченность в разных странах, да и внутри регионов России сильно различается, возникает вопрос: Какова оптимальная энергообеспеченность сельского хозяйства, какова должна быть оптимальная нагрузка на один трактор, сколько тракторов необходимо конкретному хозяйству?

Решение задачи связано с оптимизацией машинно-тракторного парка или с определением количественного и качественного состава МТП (машинно-тракторного парка).

1.3.2 Методы определения потребности в тракторах их преимущества и недостатки

Оптимизация представляет собой процесс улучшения качественного и количественного состава машино-тракторного парка (МТП) для конкретных условий хозяйств, в результате которого выполнение сельскохозяйственных работ будет производиться в оптимальные агротехнические сроки, способствующие получению высоких и устойчивых урожаев с минимальными затратами ресурсов.

На сегодняшний день известны следующие методы оптимизации количественного и качественного состава МТП для сельскохозяйственного предприятия.

1. Нормативный [41].
2. Графоаналитический [41].
3. Использование экономико-математических моделей (ЭММ) [41-44].

Наиболее точные результаты можно получить на основе использования ЭММ.

Известные ЭММ отличаются:

1. Критерием оптимизации состава машино-тракторного парка;
2. Используемым математическим аппаратом.

Наиболее широко используются следующие критерии оптимизации:

- минимум энергомашин [42];
- минимум прямых эксплуатационных затрат [45];
- минимум приведённых затрат [44];
- минимума расхода топлива [43];
- минимум затрат труда [41].

Для созданий математических моделей машино-тракторного парка используют различные математические аппараты [13, 16, 19, 30, 32, 33, 36, 49]:

1. Линейное программирование;
2. Метод вариационного исчисления;
3. Статистические методы;
4. Динамическое программирование;
5. Теорию игр и другие.

Однако у всех этих моделей имеется недостаток – они используют экономический критерий для оптимизации состава МТП, а он является субъективным показателем.

Поэтому мы предлагаем в качестве критерия оптимизации состава МТА и МТП использовать объективный критерий определения годовой нагрузки тракторов – суммарные энергетические затраты [99].

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{и.тр}} + \mathcal{E}_{\text{и.схм}} + \mathcal{E}_{\text{и.пр}} + \mathcal{E}_{\text{рто}} + \mathcal{E}_{\text{с.р.}} + \mathcal{E}_{\text{упр}} + \mathcal{E}_{\text{тсм}} + \mathcal{E}_{\text{пот}} \rightarrow \min,$$

«где \mathcal{E} – удельные суммарные энергетические затраты, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{и}}$ – энергия, затраченная на изготовление трактора, орудия, прицепа, приходящаяся на 1 га, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{рто}}$ – энергия, затраченная на капитальный, текущий ремонт и техническое обслуживание трактора, прицепа и орудия, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{с.р.}}$ – энергия, затраченная на сборку и разборку агрегата, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{упр}}$ – энергия,

затраченная на управление трактором (переключение передач, повороты, остановку и трогание с места), МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{тсм}}$ - энергия, затраченная на выполнение агрегатом работы посредством сжигания топлива, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{пот}}$ - энергия урожая, потерянная из-за не оптимально выбранной марки трактора, параметров и режимов работы агрегата, МДж/га» [115].

На основе использования данного критерия оптимизации разработаны математические модели различных агрегатов на операциях подготовки почвы к посеву, посеве и основной обработке почвы [98-118].

При разработке или модернизации математической модели различных агрегатов с целью выявления оптимальной нагрузки на один трактор и определения рациональной энергообеспеченности производства мы воспользуемся данным показателем работы различных агрегатов, используя в качестве критерия оптимизации искомых показателей.

1.4 Постановка цели и задач исследования

Цель работы – Повышение эффективности использования тракторов, за счет оптимизации годовой нагрузки трактора, определения рациональной энергообеспеченности аграрного производства.

В магистерской выпускной работе **ставятся задачи:**

1. Модернизировать математическую модель агрегатов для оптимизации годовой нагрузки трактора и определения рациональной энергообеспеченности аграрного производства;

2. Разработать программу, обосновать методику и провести экспериментальные исследования МТА при подготовке почвы к посеву и на прямом посеве по технологии *no till* для получения недостающей информации по работе различных агрегатов, сбора данных для проверки математической модели агрегатов на адекватность;

3. Провести расчеты и определить оптимальную годовую нагрузку трактора на прямом посеве и рациональную энергообеспеченность аграрного производства;

4. Составить рекомендации для производства.

Выводы

1. В аграрном секторе экономики сегодня упор делается на импортозамещение техники. Важно снижать затраты на производство зерновых и других культур, повышать производительности труда, урожайности культур, что возможно на основе определения оптимальной нагрузки на трактор и энергообеспеченности производства.
2. Существующие методы выбора годовой нагрузки на трактор, не отвечают современным требованиям, сложившимся в аграрном производстве, кроме этого они никак не принимают во внимание параметров техники на формируемый урожай сельскохозяйственных культур.
3. В магистерской диссертационной работе установлены следующие задачи:
 - Модернизировать математическую модель агрегатов для оптимизации годовой нагрузки трактора и определения рациональной энергообеспеченности аграрного производства;
 - Разработать программу, обосновать методику и провести экспериментальные исследования МТА при подготовке почвы к посеву и на прямом посеве по технологии *no till* для получения недостающей информации по работе различных агрегатов, сбора данных для проверки математической модели агрегатов на адекватность;
 - Провести расчеты и определить оптимальную годовую нагрузку трактора на прямом посеве и рациональную энергообеспеченность аграрного производства;
 - Составить рекомендации для производства.

2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА

2.1 Построение энергетической математической модели агрегатов для оптимизации годовой нагрузки трактора

Критерий оптимизации годовой нагрузки трактора в составе посевного агрегата выглядит следующим образом:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{и.тр}} + \mathcal{E}_{\text{и.схм}} + \mathcal{E}_{\text{и.пр}} + \mathcal{E}_{\text{рто}} + \mathcal{E}_{\text{с.р.}} + \mathcal{E}_{\text{упр}} + \mathcal{E}_{\text{тсм}} + \mathcal{E}_{\text{агр}} + \mathcal{E}_{\text{упл}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

«где \mathcal{E} – удельные суммарные энергетические затраты, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{и.тр}}$, $\mathcal{E}_{\text{и.схм}}$, $\mathcal{E}_{\text{и.пр}}$ – энергия, затраченная соответственно на изготовление трактора, сельскохозяйственной машины, прицепа, приходящаяся на 1 га, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{рто}}$ – энергия, затраченная на все виды ремонта и техническое обслуживание трактора, прицепа и сельскохозяйственной машины, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{с.р.}}$ – энергия, затраченная на сборку и разборку посевного агрегата, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{упр}}$ – энергия, затраченная механизатором на управление трактором (повороты, остановку и трогание с места и переключение передач), МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{тсм}}$ – энергия, затраченного топлива, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{агр}}$ – энергия урожая, потерянного из-за нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции, МДж/га; $\mathcal{E}_{\text{упл}}$ – энергия урожая, потерянного из-за уплотнения почвы движителями трактора МДж/га» [116,113, 123-127].

Необходимо раскрыть каждую составляющую выбранного критерия оптимизации. Для этого составим математические модели различных расчетных модулей показателей агрегатов.

При построении энергетической математической модели работы агрегата находим зависимости каждой составляющей суммарных энергетических затрат от параметров агрегата и факторов внешней среды. В настоящий период отсутствуют методы расчета и соответствующие

математические модели для оптимизации годовой нагрузки трактора с учетом влияния его параметров на формируемый урожай.

2.1.1 Выявление составляющих суммарных энергетических затрат на изготовление, техническое обслуживание и ремонт техники

Математическое описание модуля для расчета энергетических затрат на изготовление техники, ее техническое обслуживание и ремонт приведено в работе [102].

«Энергию $\mathcal{E}_И$, затраченную на изготовление составных элементов МТА (трактора, сельхозмашины, прицепа), приходящуюся на 1 га обработанной площади, можно определить, используя зависимость:

$$\mathcal{E}_И = \frac{\mathcal{E}'_{изг}}{W T_{год} T_{сл}}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}'_{изг}$ – энергия, затраченная на изготовление составных элементов МТА (трактора, сельхозмашины, прицепа), МДж; W – сменная производительность агрегата, га/ч; $T_{год}$ – загрузка техники (трактора, сельхозмашины, прицепа) в часах в году, ч./год; $T_{сл}$ – срок службы техники (трактора, сельхозмашины, прицепа) в годах.

Срок амортизации техники определяемая в годах и годовая загрузка техники определяемая в часах являются нормативными показателями. Их значения приводятся в нормативных справочных пособиях» [102].

Энергию, затраченную на изготовление трактора, вычисляем по следующей формуле:

$$\mathcal{E}'_{изг} = \mathcal{E}_{газ} + \mathcal{E}_{ж} + \mathcal{E}_Т + \mathcal{E}_{эл} + \mathcal{E}_{тр} + \mathcal{E}_{мет} + \mathcal{E}_{обор} + \mathcal{E}_{зд} + \mathcal{E}_{быт} + \mathcal{E}_{см}, \quad (3)$$

где « $\mathcal{E}_{газ}$, $\mathcal{E}_Т$, $\mathcal{E}_{ж}$ – затраты энергии через газообразные, жидкие и твердые энергоносители, используемые при производстве тракторов,

МДж/шт; $\mathcal{E}_{эл}$ – затраты электрической энергии на изготовление трактора, МДж/шт; $\mathcal{E}_{тр}$ – затраты живой энергии работников завода, МДж/шт; $\mathcal{E}_{мет}$ – затраты энергии на добычу и производство металла, необходимого для изготовления одного трактора, МДж/шт; $\mathcal{E}_{обор}$ – энергия, заключенная в оборудовании завода и перенесенная на один трактор за весь срок её службы, МДж/шт; $\mathcal{E}_{зд}$ – затраты энергии, овеществленной в зданиях и сооружениях завода, перенесенные на один трактор, МДж/шт; $\mathcal{E}_{быт}$ – затраты энергии на бытовые нужды рабочих через электричество и тепло, идущие на изготовление одного трактора, МДж/шт; $\mathcal{E}_{см}$ – затраты энергии, понесенные заводами смежниками на изготовление комплектующих и их транспортировку в расчете на один трактор, МДж/шт.» [102].

Математические зависимости для расчета составляющих формулы (2.3) приведены в работе [102].

Так же рассчитываются затраты энергии на техническое обслуживание и ремонт техники [102].

В математической модели для расчета производительности посевных агрегатов W некоторые зависимости описать теоретически затруднительно, поэтому необходимо проведение экспериментальных исследований.

Влияние параметров техники на составляющие суммарных энергетических затрат прослеживается через энергозатраты на изготовление, сервис и восстановление трактора, которые тем больше, чем больше вес трактора и мощность его двигателя. С изменением мощности двигателя возрастает производительность посевного агрегата, что также влияет на величину энергии потерянному урожаю.

Энергия потерянному урожаю возрастает с увеличением массы трактора – из-за уплотнения почвы и ухудшения его физико-механических свойств. Оптимальная плотность для зерновых культур $1,1 - 1,3 \text{ г/см}^3$.

Математические зависимости для расчета составляющих суммарных энергетических затрат $\mathcal{E}_{и.тр.}$, $\mathcal{E}_{и.схм.}$, $\mathcal{E}_{и.пр.}$, $\mathcal{E}_{с.р.}$, $\mathcal{E}_{упр.}$, $\mathcal{E}_{тсм}$ приведена в работе [102].

2.1.2 Математическое описание подсистемы модели для расчета энергии урожая, потерянного из-за негативного воздействия движителей трактора на почву

Энергию урожая, потерянного из-за уплотнения почвы, можно рассчитать по известной формуле [52]:

$$\mathcal{E}_y = \frac{Y \cdot A \cdot Q \cdot U_T - [U]}{100}, \quad (4)$$

«где A – коэффициент определяющий процент потерянного урожая на единицу уплотняющего воздействия колес трактора, %·м/кН; U_T – показатель, характеризующий уплотняющее воздействие колес трактора на почву, кН/м; $[U]$ – допустимый уровень уплотняющего воздействия колес трактора на почву, ниже которой снижение урожайности культур не происходит $[U] = 75$ кН/м» [102].

Методика выявления U_T предложена в работе [52, 102].

Для наших расчётов используем следующие формулы:

$$U_T = \frac{B_1}{2B_P} \cdot \sum_{j=1}^n U_j + [U] \cdot \left(1 - \frac{n \cdot B_1}{2B_P} \right), \quad (5)$$

«где B_1 – ширина зоны влияния уплотняющего воздействия трактора на урожайность сельскохозяйственных культур на поле (в ориентировочных расчетах $B_1 = 10,8$ м); B_P – рабочая ширина МТА, включающего данный трактор, м; n – общее число следов движителей, оставляемых трактором на поле за один проход; U_j – уплотняющее воздействие движителей в j -м следе; $[U]$ – допустимая степень воздействия движителей на почву, равная 75 кН/м » [102].

При $U_j \leq [U]$ в расчетах принимается $U_j = 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

$$U_j = w b_k q_{\max}, \quad (6)$$

где w – коэффициент, зависящий от размеров и формы опорной поверхности движителей (в работе [52] экспериментально определено, что для колесного движителя $w = 1,25$); b_k – ширина профиля колеса, м; q_{\max} – максимальное давление каждого движителя на почву, кПа.

Выводы

1. Использование прикладного математического аппарата теории эксплуатации машинно-тракторных агрегатов, теории тракторов, и теории двигателей позволили выявить зависимости отдельных элементов критерия оптимизации суммарные энергетические затраты от основных параметров трактора, агрегата и факторов внешней среды и составить энергетическую математическую модель агрегатов на прямом посеве.
2. Для проведения вычислительных экспериментов близких к производственным условиям, необходимо определить пределы допустимой по требованиям агротехники на качество выполнения операций скорости посевных и почвообрабатывающих агрегатов.
3. Необходимо выявить экспериментально характер изменения удельного тягового сопротивления агрегатов при возрастании скорости в пределах допустимых по агротребованиям на качество выполнения технологических операций.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включает:

1) экспериментальное исследование посевных машинно-тракторных агрегатов и агрегатов для подготовки почвы к посеву для выявления недостающей информации, необходимой в ходе расчетов;

2) экспериментальные исследования для получения материала, с целью проведения верификации математической модели, используемой для расчетов.

По первой части программы исследований проводим:

1) агротехническую оценку для выявления допустимых пределов скорости агрегатов для подготовки почвы к посеву и посевных агрегатов;

2) измерение удельного сопротивления почвы рабочим органам почвообрабатывающих и посевных сельскохозяйственных машин и влияния скорости МТА на удельное сопротивление почвы $k = f(V_p)$, что необходимо для повышения точности расчетов по оптимизации параметров трактора;

Во второй части программы экспериментальных исследований предполагается:

3) осуществление экспериментов для получения материала, необходимого с целью контроля адекватности модуля математической модели МТА для расчета производительности;

Первые две задачи решаются проведением испытаний посевных и почвообрабатывающих агрегатов в поле. Для решения третьей задачи необходимо проведение эксплуатационно – технологических испытаний указанных агрегатов в условиях производства.

Объект исследования зависит от принятой технологии возделывания зерновых культур. Тракторы и сельскохозяйственные машины, применяемые на различных технологиях в Республике Татарстан, приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

При посеве и выборе типа сеялок решающую роль играет принятая технология подготовки почвы к посеву. Эти технологии и типы почвообрабатывающих машин и сеялок для них приведены в таблицах 1.2, 3.1 и 3.2.

Исходя из принятых технологий подготовки почвы и наличия техники на предприятиях РТ для проведения лабораторно-полевых опытов выбраны: тракторы (с учетом различия тяговых классов) – Т-215 КАМАЗ, ДжонДир-8430, К-744РЗ; сельскохозяйственные машины – сеялки (с учетом охвата всего предела удельного сопротивления сеялок – K_y и типа рабочего органа): Агромастер-7300 $K_y=2,45 - 3,86$ кН/м, с культиваторными рабочими органами; Lemken Solitair 9 $K_y=3,40 - 5,20$ кН/м, с однодисковыми рабочими органами. Сельскохозяйственные машины – для подготовки почвы (с учетом различия удельного сопротивления почвы рабочим органам машины – K_y): культиваторы разноглубинные с $K_y=2,4-7$ кН/м, типа КБМ-10,5; дисковые бороны, дискаторы с $K_y=7-7,8$ кН/м, типа БДМ-8х4.

Почвы лесные серые и дерново-подзолистые – наиболее типичные для предкамской зоны Республики Татарстан.

В момент эксплуатационно – технологических исследований агрегатов нужно выявить или рассчитать элементы коэффициента использования времени смены. Особенно важно измерить фактическую производительность агрегатов для проверки математической модели, предназначенной для ее расчета.

Таблица 3.1 – Агрегаты, используемые на различных по интенсивности технологиях в Республике Татарстан

| Техника | Агротехнологии | | | | |
|----------------------------|---|---|--|--|--|
| | обычные | экологические | нормальные | интенсивные | точного земледелия |
| Тракторы | Любые тракторы тягового класса от 20 до 60 кН | | | | Тракторы, оснащенные устройством для точного вождения, GPS навигацией, бортовым компьютером и др. |
| Обработка почвы | Отвальная, обычная многооперационная | Почвозащитная комбинированная | Почвозащитная комбинированная | Дифференцированно минимизированная | Оптимизированная к потребностям растений |
| Сеялки | СЗ-3,6, СЗП-3,6 | СЗ-3,6, СЗП-3,6 СЗС-2,1; СКП-2,1 СК-3,6 (Глазов) СЗРС-2,1 (Ижмаш) (x2) СУЗ-4,5 "Виктория" СС-6,0 "Бастер" | Amazone (механические) Солигер С 6-ПМ Обь-4-3Т СЗС-2,1; СКП-2,1 СК-3,6 (Глазов) СЗРС-2,1 (| Кузбасс ДКТ, ДМС-601, 602, Амазоне Джон Дир -1820 Lemken Solitair 9 Aqrator-4800 Aqrator-7300 Aqrator-8500 Aqrator-12200 Aqrator ancer 12200 | Джон Дир -1820 Моррис Флексикойл (Нью Холланд) Хатценбихлер Фармет Хорш АД Aqrator-7300 Aqrator-8500 Aqrator ancer 12200 |
| Почвообрабатывающие машины | БЗТС, КПС-4, ПЛН-5/35, КТС-10, КБМ-10,5 и др. модификации | БДМ-4х4, Агромаш КСУ-500, КПИР-3,6/7,2, Смарагд-400 | БДМ-4х4, Агромаш КСУ-500, КПИР-3,6/7,2, Смарагд-400 | БДМ-4х4, Агромаш КСУ-500, КПИР-3,6/7,2, Смарагд-400, КБМ-10,5 | БДМ-4х4, Агромаш КСУ-500, КПИР-3,6/7,2, Смарагд-400, КБМ-10,5 |

Таблица 3.2 – Наличие сеялок, посевных комплексов и почвообрабатывающих машин в РТ на 2018 год

| Тип рабочего органа сеялки (сошника) | Марки сеялок | Количество, шт |
|---|-----------------------------------|-----------------|
| Двухдисковые | СЗ-3,6 | 2581 |
| | СЗП-3,6 | 3246 |
| | Amazone D9-4000 | 65 |
| | Compact-solitaire 9/400hd | 12 |
| | С-6 ПМ | 37 |
| | Agrator Disk - 12000 | 7 |
| Долотообразные | DMC 9000 Amazone (стерневые) | 7 |
| | DMC -601, 602 Амозоне | 26 |
| | DMC -4500 | 8 |
| Культиваторные | СЗРС-2,1 (Ижмаш) | 31 |
| | JOHN DEERE 1820 | 35 |
| | BOURGAULT 8810-35 | 27 |
| | Агромастер - 7300 | 46 |
| | Agrator - 8500 | 24 |
| | Agrator - 11000 | 2 |
| Однодисковые | Lemken Solitaire 9 | 5 |
| Анкерные | «HORSCH—Агро-Союз» АТД 18.35 | 61 |
| | Agrator ancer 12200 | 11 |
| | СКП-2,1 Омичка и СТС-2 (СЗС-2,1). | 47 |
| Тип почвообрабатывающей машины | Марка почвообрабатывающей машины | Количество, шт. |
| Комбинированные сельскохозяйственные машины | Смарагд-400, 600, 800, 1000 | 35 |
| | КПИР-3,6/7,2 | 156 |
| | Компактор | 86 |
| | КОС-3 | 229 |
| | КСН-3 | 248 |
| | КСН-4 | 177 |
| Культиваторы разные | КПС-4 | 4523 |
| | КПЭ-3,8, КТ-3,9Г | 612 |
| | КТС-10 | 86 |
| | КБМ-10,5 и др.модиф. | 74 |
| | Агромаш КСУ-500 | 7 |
| Дисковые бороны, дискаторы | БДТ-3 | 322 |
| | БДТ-7 (ГД-7) | 264 |
| | БДМ-3х4 | 424 |
| | БДМ-4х4 | 249 |
| | БДМ-6х4 | 154 |
| | БДМ-8х4 | 97 |

При проверке адекватности модуля для расчета производительности в системной энергетической модели агрегатов будут сравниваться расчетные и фактические производительности одинаковых агрегатов, работающих в аналогичных условиях.

Для этого исследования выбраны агрегаты: Т-215 + КБМ-10,5; К-744РЗ + БДМ-8х4; Джон Дир 8430 + Lemken Solitair 9; Т-215 + Агромастер-7300.

Подготовка техники к экспериментальным исследованиям проводилась, согласно положений ГОСТ 28305-89 [21], ГОСТ 7057-2001[24], ГОСТ 31345-2007 и требованиям по эксплуатации техники [23].

3.2 Агротехническая и энергетическая оценка агрегатов

Агротехническая и энергетическая оценка работы почвообрабатывающих и посевных агрегатов проводилась согласно требованиям стандарта ГОСТ 31345-2007 «Сеялки тракторные. Методы испытаний» [23] и ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» [25]. В ходе экспериментов выявлялись пределы допустимой рабочей скорости агрегатов, по показателям: равномерность глубины высева семян, отклонение нормы высева семян.

При энергооценке агрегатов следует установить функциональную зависимость признака удельного сопротивления почвы рабочим органам сельскохозяйственной машины от скорости агрегата.

Скорость считается основным условием и контролируемым параметром, изменяемым по плану исследования. Помимо скорости на удельное сопротивление почвы рабочим органам сельскохозяйственной машины оказывают влияния прочие условия и важнейшие из них это – состав почвы, влажность и её твердость, рельеф поля и ее агрофон, поэтому они измеряются. В ходе экспериментов следует закреплять – влияния атмосферы, его температуру и влагосодержание.

При определении удельного сопротивления орудий – k_{op} измеряются следующие параметры: R_{op} – сопротивление почвы воздействию рабочих органов машины, кН; B_p – рабочая ширина захвата машины, м

$$k_{op} = R_{op} / B_p, \quad (28)$$

Достоверность замеров отвечает требованиям стандартов при тяговых испытаниях трактора и тракторных сеялок по ГОСТ 30745-2001 [22], ГОСТ 7057-2001 [24] и ГОСТ Р 52777-2007 [25]. Допуски и безусловные значимости погрешности величин, которые измеряются, приведены в таблице 3.3 и 3.4.

Согласно ГОСТ 20915-2011 [20] обеспечивается точность измерения показателей условий проведения опытов.

Таблица 3.3 –Требования и допуски к посеву

| Показатель | Допуск |
|--|----------------|
| Глубина заделки для 80 % семян | ±1 см |
| Норма высева семян | ±5% |
| Норма внесения удобрений | ±10% |
| Отклонение ширины стыковых междурядий: у смежных сеялок | ±2 см |
| у смежных проходов | ±5 см |
| Огрехи и незасеянные поворотные полосы | Не допускаются |

С целью установления влаги и плотности почвы применяется трехкамерный цилиндр – бур, аналитические весы ВЛКТ-500 и электрический сушильный шкаф с термометром ШСС-80. Твердость почвы определялась твердомером. Образцы почвы были взяты из пахотного слоя.

Для энергооценки агрегатов выбран малогабаритный прибор ЭМА-П (прибор энергооценки машинно-тракторных агрегатов). Этот прибор вводится непосредственно в кабине трактора.

Таблица 3.4 – Допустимые погрешности измерений при энергооценке агрегатов

| Измеряемый параметр и его размерность | Абсолютное значение погрешности не более |
|---|--|
| Масса трактора m , кг | $0,005m$ |
| Крутящий момент M , Н·м | $0,01 M$ |
| Частота вращения вала n_b , об/мин | $0,005n_b$ |
| Продолжительность опыта T , с | $0,2 T$ |
| Расход топлива за опыт G , кг (л.) | $0,02G$ |
| Тяговое усилие $P_{кр}$, Н | $0,01P_{кр}$ |
| Тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н | $0,025R_{op}$ |
| Путь, проделанный трактором за время | |
| Давление в шинах $P_{ш}$, кПа | $0,05 P_{ш}$ |
| Число оборотов двигателя за время опыта n_d , обор. | $0,2n_d$ |
| Ширина захвата B_p , м | $0,01B_p$ |
| Глубина обработки h , см. | $0,05h$ |

Аналоговых каналов шесть, они выдают обработанные за время опыта среднее значение измеряемого параметра. Всего дискретных каналов восемь. В конце каждого опыта информация с аналоговых и дискретных каналов выводится на цифровой экран и закрепляется в журнал наблюдений.

Достоверность измерения параметра дискретным датчиком можно гарантировать за счёт изменения продолжительности её съёма и интенсивности поступления информации. Период съёма данных может быть установлено – 7,5; 15; 30; 60; 120; 240 с.

Скорость трактора устанавливаем с поддержкой путеизмерительного колеса. С целью избежание ее буксования колесо прижимается к поверхности поля пружиной.

Определение тягового сопротивления сеялок различных марок выполняется кольцевым тензозвеном на 50 кН.

Количество повторов одного опыта подсчитываем по уравнению [15]:

$$n = \left(\frac{\delta_x^-}{\delta_{x-}^-} \right)^2, \quad (29)$$

где δ_x^- - среднеквадратическая (стандартная) ошибка величины;

δ_{x-}^- - допустимая ошибка среднего значения величины.

По данным [2, 95, 54], стандартная ошибка δ_R на посеве $\delta_R = 1760-1820$ Н.

Предельно допустимая ошибка измерения тягового усилия $[\delta_R]_{\text{lim}} = [\delta_M]_{\text{lim}} = 1\%$, а ошибка калибровки $\Delta_{\text{OR}} = 575$ Н.

Используем закон сложения случайных ошибок [15]:

$$\delta_{x\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2, \quad (30)$$

Тогда значения $\delta_{R\Sigma}$ на посеве:

$$\delta_{R\Sigma} = \sqrt{1760^2 + \left(\frac{575}{3} \right)^2} = 1770 \text{ Н.}$$

Допустимая ошибка среднего значения сопротивления сельскохозяйственной машины на крюке для посева:

$$[\delta_R] = \frac{\Delta_R}{3} = \frac{R_{\text{max}} \delta_R}{3} = \frac{20000 \cdot 0.01}{3} = 66,7 \text{ Н.} \quad (31)$$

Таким образом, число ординат, которые нужно измерить по осциллограмме на посеве:

$$n_R = \left(\frac{1770}{66.6} \right)^2 = 706.4.$$

Зная, что измерительный комплекс ЭМА-П за время опыта считывает 300 значений ординат осциллограммы, максимальное число повторностей каждого вида опыта:

$$n_{\text{повт}} = \frac{n_R}{300} = \frac{706,4}{300} = 2,35 \approx 3. \quad (32)$$

Датчики проверялись каждый раз перед основанием экспериментов. При выдаче датчиками подозрительных свидетельств они проверялись в ходе экспериментов. Велось ежесменное техническое обслуживание, как трактора, так и сельскохозяйственных машин. Давление в шинах трактора ставилось согласно инструкции по эксплуатации трактора, при необходимости согласно методике экспериментов.

Подготовительные работы включали выбор ровного поля, в отсутствии крупных уклонов, с однородной почвой, в отсутствии крупных камней и других препятствий. Перед проведением экспериментов: с посевным комплексом Lemken Solitair 9 подвергалось дискованию или (Agrator ancer 12200, Агромастер-7300) не обрабатывалось в зависимости от принятой технологии.

С целью установления глубины высева семян использовался глубиномер, рабочая ширина захвата агрегатов, радиус поворота и прочие линейные геометрические параметры измерялись рулеткой.

С целью тарировки датчика тягового сопротивления произведено приспособление, представленные на рисунке 3.1. Данные тарировки приведены в приложении А.

Тарировка тягового динамометра организована в соответствии с рекомендованным методикам [57, 18, 15] и требованиям инструкции измерительного комплекса ЭМА–П т.е. при 6–ти нагрузках и разгрузках с трехкратной повторностью (см. приложение А). Образцовым динамометром выбран динамометр – ДС-3.

3.3 Методика эксплуатационно-технологических исследований агрегатов

Для всех разновидностей агрегатов следует определить фактическую производительность агрегатов с целью проверки модуля расчета

производительности в системной энергетической модели агрегатов в соответствие.



Рисунок 3.1 – Приспособление для тарировки тягового тензозвена

Перечисленные задачи имеют все шансы являться решенными при использовании методов проведения эксплуатационно-технологической оценки агрегатов по ГОСТ Р 52778-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки» [26].

Для каждого агрегата должно быть проложено никак не меньше трех контрольных смен, продолжительностью каждой согласно ГОСТ Р 52778-2007 не менее 8 часов [26].

В ходе экспериментальных исследований измеряются следующие параметры и показатели.

Продолжительность смены обуславливается посредством времени её начала и конца. Продолжительности элементов операций исполняется последовательной регистрацией времени начала и конца каждого элемента

процедуры. Отдельные составляющие времени за смену группируются согласно методике определения баланса времени смены.

При измерении продолжительности времени смены разрешается погрешность 5 мин., а для отдельных операций в зависимости от их длительности: более 20 мин – 20 с.; от 1 до 20 мин. – 5 с.; от 10 с. до 1 мин. – 2с.; менее 10 с. – 0.02 с.

Длина участка измеряется дважды на противоположных сторонах участка в конце смены; ширина участка измеряется в двух поперечных сечениях на расстоянии 30-50 м от концов участка. Требуемая точность измерения составляет 1 %.

С правильностью 1 % обуславливается фактическая ширина захвата агрегата, которая измеряется несколько раз за смену путем деления ширины определённого обработанного участка на число проходов агрегата.

Средняя скорость движения трактора на пути никак не меньше чем 50 м определяется в начале, в середине, в конце смены при движении трактора с установившейся нагрузкой в прямом и обратном направлениях, путем деления пройденного расстояния на время прохождения пути.

Среднюю скорость поворота вычисляем делением длины поворота на время, необходимое на поворот.

Уклон поля никак не обязан быть выше 2 %, поле должно быть правильной формы, в отсутствии столбов, камней и иных преград. Тип почвы более популярный в республике Татарстан - серые лесные, по механическому составу - среднесуглинистые.

3.4 Методика обработки экспериментальных данных

Экспериментальные данные обрабатываются используя методы математической статистики.

По результатам агротехнической оценки агрегатов вычисляются коэффициенты вариации измеренных показателей, среднеквадратические

отклонения и рассчитываются их отклонения от нормативных величин. По отклонениям показателей от нормативных значений выявляем границы рабочей скорости агрегатов, допустимые по условиям обеспечения качества работы.

Для выявления зависимости удельного сопротивления сельскохозяйственной машины от скорости агрегата, проводим предварительную обработку экспериментальных данных. Эта работа включает в себя:

- 1) расчет эмпирических распределений;
- 2) проведение проверки выполнения гипотезы нормальности эмпирических распределений;
- 3) включая результаты всех повторностей, рассчитываем средние значения полученных показателей. Затем проводим перевод всех показателей через масштаб в натуральный вид и рассчитываем значения удельного сопротивления сельскохозяйственной машины, соответствующих каждому значению скорости агрегата.

Впоследствии используя метод наименьших квадратов, рассчитываем уравнения регрессии.

Алгоритм вычисления эмпирических распределений и проверка гипотезы нормальности представлен ниже [59, 65, 74]:

1. Расчет среднего квадратического величины \overline{X} :

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (33.6)$$

$$i = \overline{1, n}. \quad (34)$$

2. Рассчитываем дисперсию эмпирического распределения (несмещенная оценка):

$$\overline{S^2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n X_i - \overline{X}^2. \quad (35)$$

3. Выявляем выборочное среднеквадратическое отклонение величины:

$$\bar{S} = \sqrt{S^2}. \quad (36)$$

4. Рассчитываем размах варьирования:

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (37)$$

Так как опытных данных много, то для оценки нормальности распределения использован упрощенный метод, сокращающий время обработки. Подсчитывают отношение R/S и сопоставляют с критическими верхними и нижними границами этого отношения, приведенными в таблицах [59]. В случае если R/S меньше нижней или больше верхней границы, то нормальность распределения под вопросом. Важно, чтобы это условие соблюдалось при $p=0,10$ (10% уровень значимости). В случае отрицательного результата, гипотезу о нормальности распределения желательно проверить по χ^2 - критерию, для которого составлена программа расчёта с использованием компьютера.

Результаты эксплуатационно – технологических исследований агрегатов обрабатываем путем анализа наблюдательных листов и расчета производительности агрегатов за час времени смены, коэффициента использования времени смены.

Выводы

Методика экспериментальных исследований опирается на требования государственных стандартов и сводятся к следующим общим выводам.

1. Программой предусматривается: определение допустимых агротехникой пределов рабочей скорости по отклонениям показателей качества подготовки почвы и посева от заданных значений и сравнения с допустимым отклонением; проведение эксплуатационно – технологических исследований агрегатов для определения фактической производительности выбранных агрегатов.

2. Общее количество повторностей при проведении энергооценки агрегатов – шестикратная повторность, в остальных опытах не менее чем трехкратная.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты агротехнической и энергетической оценки агрегатов

Для выявления допустимых пределов рабочей скорости посевных и почвообрабатывающих агрегатов проведена их агротехническая оценка. При этом выявлялась соблюдение агротехнических требований на качество выполнения операций от изменения скорости работы агрегата.

На экспериментах с посевными агрегатами выявлялось отклонение от заданных агротехнических требований глубины посева и нормы высева семян яровой пшеницы. Скорость агрегата менялась от 5 до 14,2 км/ч, таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты агротехнической оценки агрегатов

| Джон Дир 8430 + Lemken Solitair 9 | | | | |
|--|----------------|-------|-------|-------|
| Показатели | Скорость, км/ч | | | |
| | 6,72 | 9,2 | 11,5 | 14,2 |
| Средняя глубина обработки (заделки 80% семян), см. | 5,67 | 5,65 | 5,54 | 5,21 |
| Среднее <u>квадратическое</u> отклонение, см. | ±0,67 | ±0,89 | ±0,97 | ±1,03 |
| Коэффициент вариации, % | 11,82 | 15,75 | 17,51 | 19,77 |
| Заданная норма высева семян, кг/га | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Средняя норма высева семян, кг/га | 200,6 | 199,7 | 199,8 | 199,6 |
| Отклонение от заданной нормы, % | +0,3 | -0,15 | -0,1 | -0,2 |
| Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м | 3,12 | 3,51 | 3,65 | 4,01 |
| Среднее <u>квадратическое</u> отклонение, кН/м | 0,33 | 0,35 | 0,42 | 0,53 |

Продолжение таблицы 4.1

| Т-215 + Агромастер-7300 | | | | | |
|--|----------------|---------|---------|---------|--------|
| Показатели | Скорость, км/ч | | | | |
| | 6,6 | 10,2 | 11,9 | 14,4 | |
| Средняя глубина обработки (заделки 80% семян), см. | 5,91 | 5,92 | 6,04 | 5,98 | |
| Среднее квадратическое отклонение, см. | 0,58 | 0,51 | 0,88 | 0,92 | |
| Коэффициент вариации, % | 9,81 | 8,61 | 14,57 | 15,38 | |
| Заданная норма высева семян, кг/га | 201,000 | 201,000 | 201,000 | 201,000 | |
| Средняя норма высева семян, кг/га | 200,200 | 198,300 | 196,500 | 197,300 | |
| Отклонение от заданной нормы % | -0,398 | -1,343 | -2,239 | -1,84 | |
| Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м | 3,25 | 3,83 | 4,13 | 4,86 | |
| Среднее квадратическое отклонение, кН/м | 0,422 | 0,454 | 0,571 | 0,693 | |
| Т-215 + ККШ-11,3АМ-П1 | | | | | |
| Показатели | Скорость, км/ч | | | | Допуск |
| | 5,3 | 8,4 | 11,6 | 14,8 | |
| Заданная глубина обработки, см | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | |
| Средняя глубина обработки, см. | 5,80 | 5,62 | 5,38 | 5,12 | ±1 см |
| Среднее квадратическое отклонение, см. | 0,54 | 0,58 | 0,88 | 1,12 | |
| Коэффициент вариации, % | 9,31 | 10,32 | 16,36 | 21,87 | |
| Гребнистость поверхности почвы, см | 2,12 | 2,03 | 1,98 | 1,94 | ±5 см |
| Подрезание сорной растительности, % | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Крошение почвы, % (размер комков от 1 до 25 мм) | 84,6 | 88,5 | 91,2 | 93,4 | 85±5% |
| Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м | 2,42 | 2,61 | 2,79 | 3,01 | – |
| Среднее квадратическое отклонение, кН/м | 0,41 | 0,36 | 0,44 | 0,55 | – |

| К-744РЗ + БДМ-8х4 | | | | | |
|--|----------------|------|-------|-------|--------|
| Показатели | Скорость, км/ч | | | | Допуск |
| | 5,6 | 8,6 | 12,3 | 14,9 | |
| Заданная глубина обработки, см | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | |
| Средняя глубина обработки, см. | 7,81 | 7,79 | 7,51 | 7,11 | ±1см |
| Среднее квадратическое отклонение, см. | 0,50 | 0,59 | 0,78 | 1,22 | |
| Коэффициент вариации, % | 6,40 | 7,57 | 10,39 | 17,16 | |
| Гребнистость поверхности почвы, см | 3,11 | 3,07 | 3,08 | 2,98 | ±5см |
| Подрезание сорной растительности, % | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Крошение почвы, % (размер комков от 1 до 25 мм) | 80,1 | 82,3 | 83,4 | 85,1 | 85±5% |
| Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м | 6,71 | 6,82 | 7,03 | 7,31 | – |
| Среднее квадратическое отклонение, кН/м | 0,39 | 0,43 | 0,46 | 0,54 | – |

Исходя из полученных значений показателей, можно сделать вывод, что допустимая скорость работы посевного комплекса Lemken Solitair 9 находится в пределах от 5 до 11,5 км/ч. При такой скорости обеспечивается устойчивость глубины заделки семян в пределах агротехнических требований, а отклонение от нормы высева находится в пределах допустимого - 5%.

Агротехнические требования на качество выполнения посева комплексом Агромастер-7300 гарантируется на скорости агрегата от 6,6 до 14,4 км/ч.

При работе почвообрабатывающих агрегатов устойчивая глубина обработки почвы, требования к гребнистости поверхности поля и к крошению почвы обеспечиваются на скорости от 5 до 13 км/ч.

В таблице 4.1 приведены данные по влиянию скорости агрегатов на изменение удельного сопротивления почвы рабочим органам различных по конструкции сеялок.

Увеличение скорости посевных и почвообрабатывающих агрегатов закономерно ведет к росту удельного сопротивления на всех вариантах опытов. Для посевного комплекса с трактором Джон Дир 8430 + Lemken Solitair 9 выявлено квадратное уравнение регрессии удельного сопротивления почвы рабочим органам в виде:

$$k_v=2,18558+0,155369V-0,00198145V^2. \quad (38)$$

4.2 Результаты эксплуатационно-технологических исследований агрегатов

Эксплуатационно-технологические исследования проведены с целью получения экспериментальных данных о фактической производительности почвообрабатывающих и посевных агрегатов. Эти данные необходимы для проверки математической модели расчета производительности в энергетической математической модели различных агрегатов на адекватность.

В таблице 4.2 приведена фактическая производительность агрегатов.

4.3 Проверка модулей системной энергетической математической модели на адекватность

4.3.1 Проверка на адекватность модуля расчета часовой производительности МТА

С целью верификации математической модели, позволяющей рассчитывать производительность агрегатов, проведем вычислительные эксперименты для тех же условий, в которых были проведены натурные эксперименты.

Подсчитанные результаты производительности агрегатов и их сравнение с натурными экспериментальными данными приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.2 - Условия проведения эксплуатационно-технологических исследований и фактическая производительность агрегатов

| Состав агрегата | Влажность почвы в % по глубине 0-10 | Плотность почвы, кПа | Глубина посева, м | Длина гона, км | Норма высева семян, кг/га | Средняя скорость МТА, км/ч | Продолжительность чистой работы, час. | Коэффициент использования времени смены | Фактическая ширина захвата агрегата, м | Продолжительность смены, час | Фактическая производительность, га/час |
|--|-------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|--|------------------------------|--|
| John Deere-8430+ Lemken Solitair 9 | 20,15 | 0,061 | 0,061 | 0,56 | 200 | 10,86 | 4,75 | 0,5712 | 6 | 8,32 | 3,72 |
| | 20,01 | 0,056 | 0,059 | 0,51 | 200 | 10,55 | 5,12 | 0,5703 | 6 | 8,97 | 3,61 |
| | 18,89 | 0,014 | 0,060 | 0,60 | 200 | 10,59 | 5,00 | 0,5726 | 6 | 8,73 | 3,64 |
| Т-215 + Агромастер-7300 | 20,61 | 0,018 | 0,053 | 0,65 | 200 | 9,59 | 4,55 | 0,5564 | 7,3 | 8,18 | 3,92 |
| | 20,54 | 0,019 | 0,059 | 0,67 | 200 | 9,64 | 4,62 | 0,5545 | 7,3 | 8,33 | 3,90 |
| | 20,52 | 0,023 | 0,055 | 0,63 | 200 | 9,71 | 4,84 | 0,5528 | 7,3 | 8,75 | 3,92 |
| Т-215 + ККШ-11,3АМ-П1 | 20,61 | 1360 | 0,062 | 0,65 | – | 9,60 | 4,67 | 0,5775 | 11,24 | 8,1 | 6,88 |
| | 20,54 | 1450 | 0,059 | 0,64 | – | 9,59 | 4,88 | 0,5745 | 11,16 | 8,5 | 6,39 |
| | 20,52 | 1460 | 0,060 | 0,63 | – | 9,71 | 4,93 | 0,5728 | 11,22 | 8,6 | 6,24 |
| К-744Р3 + БДМ-8х4 | 21,91 | 1530 | 0,061 | 0,95 | – | 10,72 | 5,19 | 0,6409 | 7,69 | 8,1 | 5,28 |
| | 23,92 | 1490 | 0,062 | 0,92 | – | 10,54 | 5,47 | 0,6356 | 7,84 | 8,6 | 5,25 |
| | 19,95 | 1540 | 0,058 | 0,94 | – | 10,62 | 5,32 | 0,6411 | 7,80 | 8,3 | 5,31 |

Таблица 4.3 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений производительности агрегатов

| Состав агрегата | Влажность почвы в % | Плотность почвы кПа | Глубина посева, м | Длина гона, км | Норма высева семян, кг/га | Средняя скорость МТА, км/ч | Продолжительность чистой работы, час. | Коэффициент использования времени смены | Фактическая ширина захвата агрегата, м | Продолжительность смены, час | Фактическая производительность, га/час | Расчетная производительность, га/час | Разница, % |
|--|---------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|--|------------------------------|--|--------------------------------------|------------|
| | по глубине | | | | | | | | | | | | |
| | 0-10 | | | | | | | | | | | | |
| John Deere-8430+ Lemken Solitair 9 | 20,15 | 0,019 | 0,061 | 0,56 | 200 | 10,86 | 4,75 | 0,5712 | 6 | 8,32 | 3,72 | 3,81 | -2,4 |
| | 20,01 | 0,016 | 0,059 | 0,51 | 200 | 10,55 | 5,12 | 0,5703 | 6 | 8,97 | 3,61 | 3,75 | -3,87 |
| | 18,89 | 0,017 | 0,060 | 0,60 | 200 | 10,59 | 5,00 | 0,5726 | 6 | 8,73 | 3,64 | 3,76 | -3,29 |
| Т-215 + Агромастер-7300 | 20,61 | 0,018 | 0,053 | 0,65 | 200 | 9,59 | 4,55 | 0,5564 | 7,3 | 8,18 | 3,92 | 3,86 | +1,53 |
| | 20,54 | 0,019 | 0,059 | 0,67 | 200 | 9,64 | 4,62 | 0,5545 | 7,3 | 8,33 | 3,90 | 3,76 | +3,59 |
| | 20,52 | 0,023 | 0,055 | 0,63 | 200 | 9,71 | 4,84 | 0,5528 | 7,3 | 8,75 | 3,92 | 4,01 | -2,29 |
| Т-215 + ККШ-11,3АМ-П1 | 20,61 | 1360 | 0,062 | 0,65 | | 9,60 | 4,67 | 0,5775 | 11,24 | 8,1 | 6,88 | 6,9295 | -0,71 |
| | 20,54 | 1450 | 0,059 | 0,64 | | 9,59 | 4,88 | 0,5745 | 11,16 | 8,5 | 6,39 | 6,894 | -7,31 |
| | 20,52 | 1460 | 0,060 | 0,63 | | 9,71 | 4,93 | 0,5728 | 11,22 | 8,6 | 6,24 | 6,785 | -8,00 |
| К-744Р3 + БДМ-8х4 | 21,91 | 1530 | 0,161 | 0,95 | | 10,72 | 5,19 | 0,6409 | 7,69 | 8,1 | 5,28 | 5,640 | -6,38 |
| | 23,92 | 1490 | 0,162 | 0,92 | | 10,54 | 5,47 | 0,6356 | 7,84 | 8,6 | 5,25 | 5,583 | -5,96 |
| | 19,95 | 1540 | 0,158 | 0,94 | | 10,62 | 5,32 | 0,6411 | 7,80 | 8,3 | 5,31 | 5,596 | -5,11 |

Из таблицы видно, что максимальная разница расчетной и фактической производительности одних и тех же МТА не превышает 8%. Допустимое отклонение при нормировании производительности агрегатов 10%. Таким образом, используемые для расчетов формулы пригодны для выявления производительности агрегатов.

Выводы

1. Агротехнически допустимые пределы рабочей скорости колеблются на посевах: посевным комплексом Агромастер-7300 от 6,7 до 14,5 км/ч; посевным комплексом Lemken Solitair 9 от 6,72 до 12,0 км/ч; почвообрабатывающим агрегатам от 5 до 13 км/ч.
2. Увеличение скорости агрегатов закономерно ведет к росту удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегатов на всех вариантах опытов и оно колеблется, в разных вариантах опытов, от 2,4 кН/м (ККШ-11,3) до 7,1 кН/м (БДМ).
3. По результатам экспериментов выявлена фактическая производительность агрегатов. Расхождение расчетной и экспериментально определенной производительности машинно-тракторных агрегатов находится в пределах 8 %, что допускается при нормировании производительности агрегатов.

5 ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАКТОРА НА ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ К ПОСЕВУ И НА ПОСЕВЕ

5.1 Оптимальная годовая нагрузка трактора по маркам на технологии нулевой обработки почвы

На основе использования разработанной энергетической математической модели (см. приложение Б) машинно-тракторных агрегатов были проведены вычислительные эксперименты по определению оптимальной годовой нагрузки для тракторов различных производителей на технологии нулевой обработки почвы, приведенные на рисунке 5.1.

Исходные данные для расчета:

Площадь поля, га. =100

Длина гона, км. =1

Расстояние переезда, км. =3

Плотность семян, кг/м³ =800

Коэффициент прочности несущей поверхности =0.9

Объем работы, га =X

Количество тракторов выполняющих операцию =1

Число часов работы в сутки =16

Планируемая урожайность основной и побочной продукции, ц/га. =40

Давление в шинах колес трактора (от 0,08 до 0,2), МПа =0.16

Число колес на одном борту трактора (1 или 2 или 3 и т.д.) =1

Коэффициент сцепления колес с почвой =0.6

Коэффициент сопротивления перекачиванию колес трактора =0.16

Оптимальные расчетные параметры посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430, соответствующие минимальным суммарным энергетическим затратам: ширина захвата агрегата $V_{opt} = 16.2$ м; скорость агрегата $V_{opt} = 11$ км/ч; суммарные энергетические затраты $E_{min} = 17623$ МДж/га, получаются при годовой нагрузке на трактор 160 га, остальные данные см. в приложении В.

По остальным маркам тракторов оптимальное значение годовой нагрузки различается – рисунок 5.1 и таблица 5.1. Это наталкивает на мысль, что оптимальная нагрузка на трактор зависит от параметров трактора – его массы, мощности двигателя и др.

Таблица 5.1 – Оптимальные значения годовой нагрузки по отдельным маркам тракторов и энергообеспеченность пашни мощностью тракторов на технологии нулевой обработки почвы

| Технология возделывания зерновых культур | Мощность двигателя и оптимальная загрузка по маркам тракторов | | | | | Оптимальная энергообеспеченность 1 га пашни по маркам тракторов, л.с./га | | | | | Средняя энергообеспеченность п.с./га |
|--|---|-------------|-------------|------------|------------|--|------------|---------|-------|----------|--------------------------------------|
| | ДД-9430 | Бюллер-485 | К-744Р2 | Т-215 | МТЗ-1221 | ДД-9430 | Бюллер-485 | К-744Р2 | Т-215 | МТЗ-1221 | |
| Нулевая | 500/ 160 | 500/ 160 | 300/ 114 | 228/ 90 | 130/ 55 | 3,13 | 3,13 | 2,63 | 2,53 | 2,36 | 2,76 |

Проведем расчеты для выявления влияния различных факторов окружающей среды и параметров самого трактора на величину оптимальной годовой загрузки трактора Джон Дир – 9430 при выполнении посева и других технологических операций, различающихся своей энергоемкостью.

Рассмотрим влияние удельного сопротивления сельскохозяйственной машины. Данные расчетов приведены на рисунке 5.2.

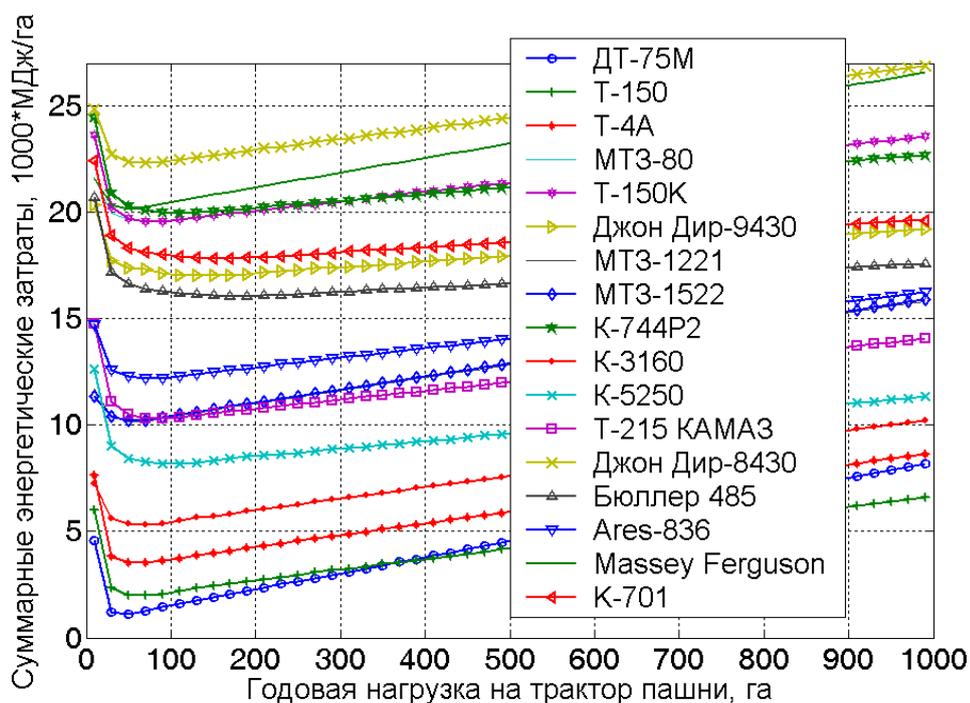


Рисунок 5.1 – Зависимость суммарных энергетических затрат (1000МДж/га от годовой нагрузки на тракторы различных производителей

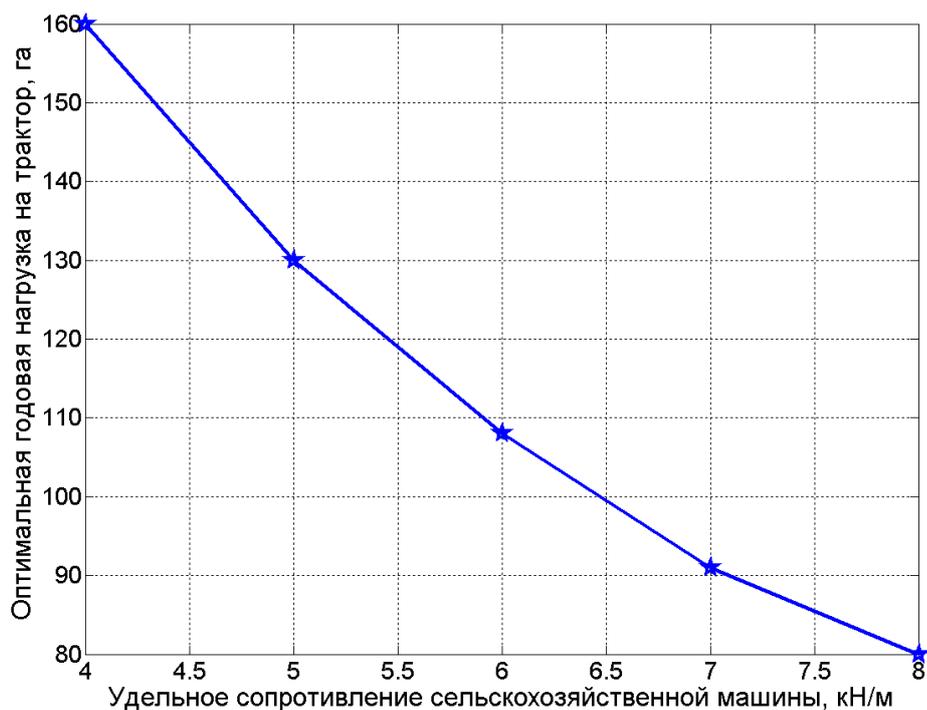


Рисунок 5.2 – Влияние удельного сопротивления сельскохозяйственной машины на оптимальное значение годовой нагрузки посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430

Влияние площади обрабатываемого поля на оптимальное значение годовой нагрузки посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430 показано на рисунке 5.3.

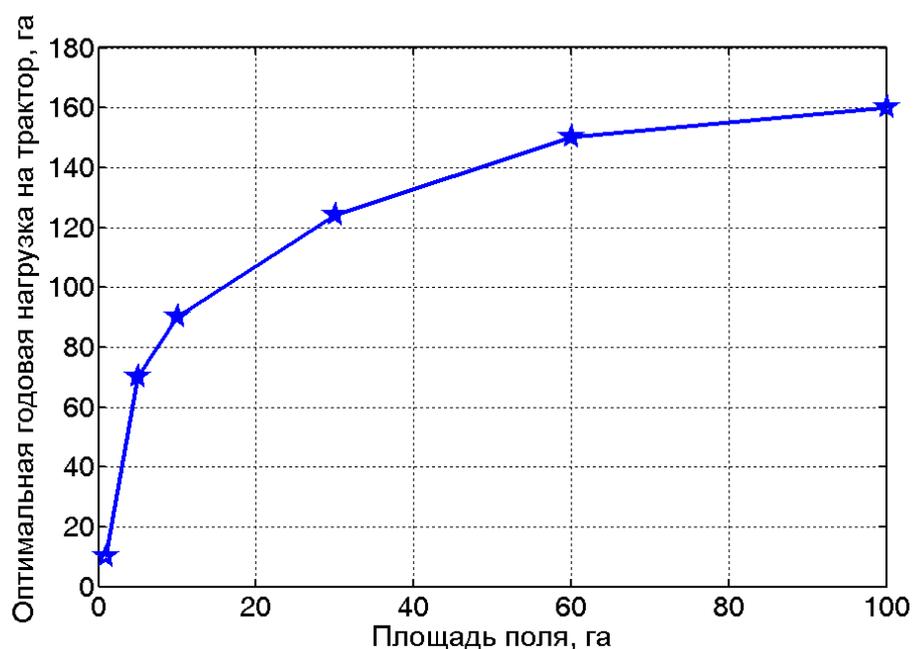


Рисунок 5.3 – Влияние площади обрабатываемого поля на оптимальное значение годовой нагрузки посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430

На рисунке 5.4 показано влияние на оптимальное значение годовой нагрузки посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430 мощности его двигателя.

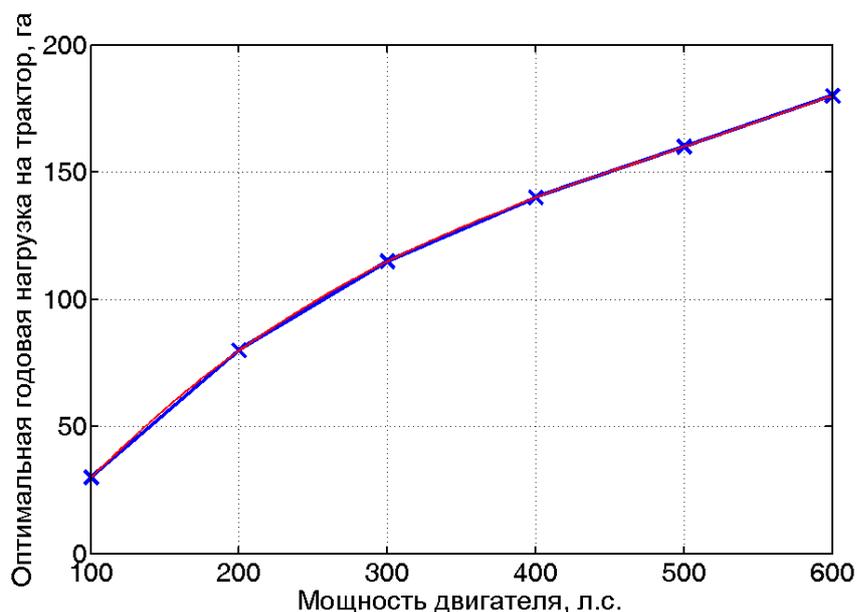


Рисунок 5.4 – Влияние мощности двигателя на оптимальное значение годовой нагрузки посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430

Значительным оказалось влияние ширины захвата посевного агрегата на оптимальную величину годовой нагрузки трактора Джон Дир – 9430, что видно из рисунка 5.5.

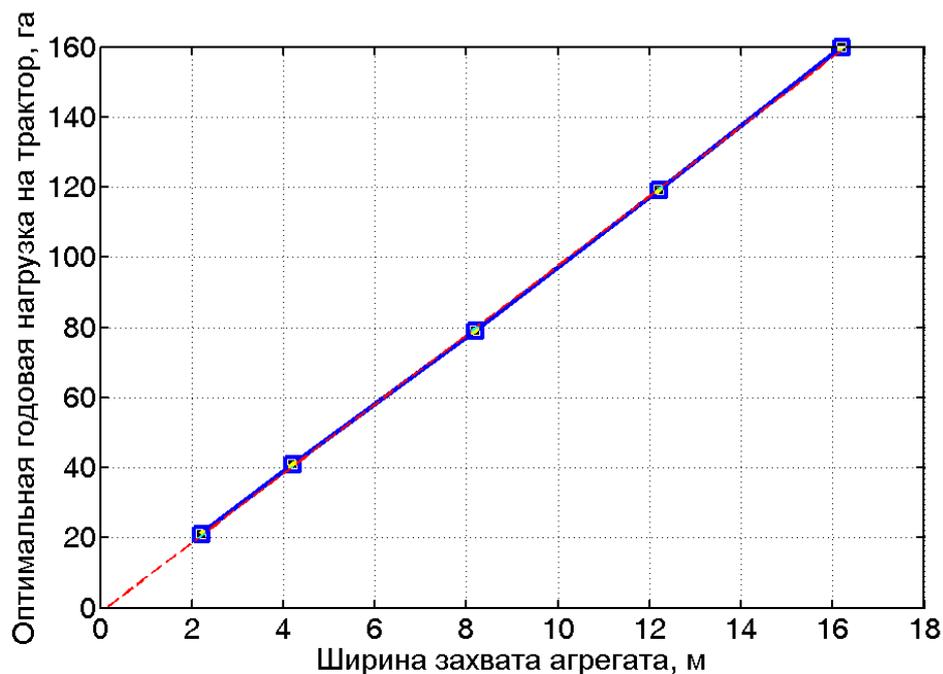


Рисунок 5.5 – Влияние ширины захвата посевного агрегата на оптимальное значение годовой нагрузки трактора Джон Дир – 9430

Из рисунка 5.6 видно, что чем больше скорость агрегата, которая ограничивается мощностью двигателя, тем больше оптимальное значение годовой нагрузки трактора Джон Дир – 9430.

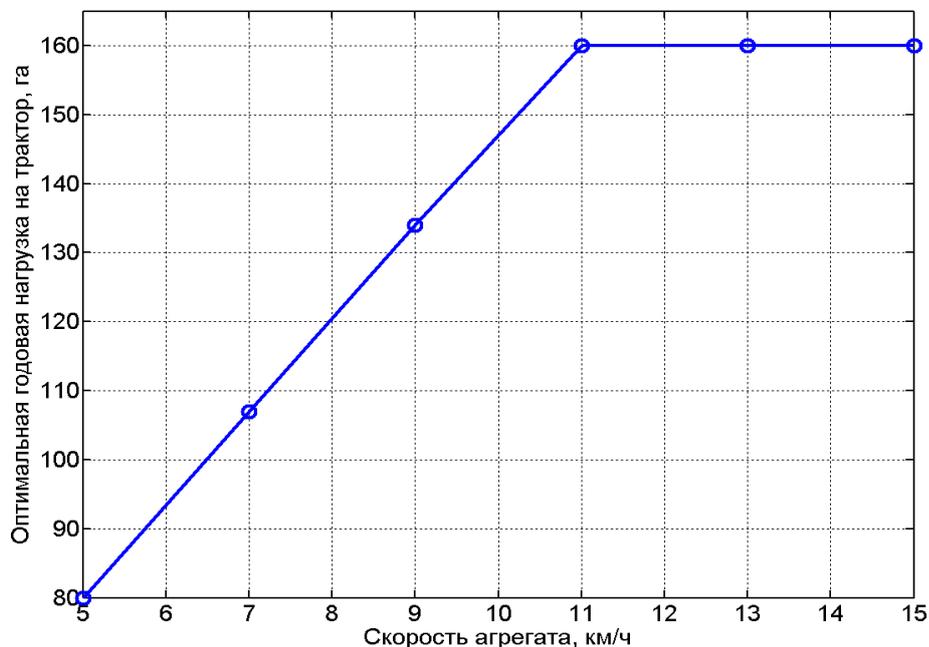


Рисунок 5.6 – Влияние скорости посевного агрегата на оптимальное значение годовой нагрузки трактора Джон Дир – 9430

5.2 Анализ результатов вычислительных экспериментов

При выполнении технологической операции, в частности на посеве, имеется оптимальное значения годовой нагрузки на трактор, которое различается по маркам тракторов. При оптимальной годовой нагрузке на трактор суммарные энергетические затрат в МДж/га будут минимальными. С уменьшением годовой нагрузки и с ее увеличением от оптимального значения суммарные энергетические затраты увеличиваются. Чем выше тяговый класс трактора, тем больше величина оптимальной годовой нагрузки на трактор, что видно из рисунка 5.1. Увеличение суммарных энергетических затрат при превышении оптимального значения годовой нагрузки на трактор в га, объясняется увеличением срока выполнения технологической операции, а значит увеличением величины энергии урожая, которая теряется из-за возрастания срока выполнения технологической операции. Увеличение

суммарных энергетических затрат при снижении годовой нагрузки ниже оптимальной величины, объясняется увеличением составляющих суммарных энергетических затрат идущих на амортизацию техники, ее техническое обслуживание и ремонт

В ходе вычислительных экспериментов выявлено, что оптимальная величина годовой нагрузки на трактор зависит от ряда факторов внешней среды и параметров трактора и агрегата.

Выявлено, что имеется нелинейная зависимость между удельным тяговым сопротивлением сельскохозяйственной машины и оптимальной годовой нагрузкой трактора – рисунок 5.2. Причем, чем больше тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, тем меньше должна быть годовая нагрузка трактора. Из энергетической математической модели агрегатов понятно, что чем больше тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, работающей в составе агрегата, тем меньше производительность агрегата за один час времени смены, а значит, увеличивается срок выполнения технологической операции и потери урожая возрастают из-за нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции. Отсюда и исходит снижение оптимальной годовой нагрузки на трактор, с увеличением удельного тягового сопротивления сельскохозяйственной машины, выраженной в кН/м.

На рисунке 5.3 приведены данные вычислительных экспериментов, показывающие влияние на величину оптимальной годовой нагрузки на трактор такого фактора внешней среды, как величина площади обрабатываемого поля. Из рисунка видно, что чем больше величина обрабатываемого поля, тем больше величина оптимальной годовой загрузки на один трактор. Причем зависимость оптимального значения годовой нагрузки на трактор от размера обрабатываемого участка нелинейная. Это говорит о том, что если по природно-климатическим условиям в регионе средние площади полей маленькие (это характерно для регионов Кавказа внутри Российской Федерации), то оптимальная годовая нагрузка на трактор

должна быть меньше и энергообеспеченность региона должна быть выше, нежели в регионах с большими площадями, обрабатываемых полей.

Объяснение этому явлению исходит из математической модели агрегатов – чем больше площадь обрабатываемого поля, тем больше производительность агрегата и, соответственно, меньше потери урожая из-за нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции.

Из рисунка 5,1 и, особенно из рисунка 5.4 явно видно, что чем больше тяговый класс трактора, а значит его масса и чем больше мощность двигателя трактора, тем больше величина оптимальной годовой нагрузки трактора.

Из рисунка 5.4 видно, что имеется предел насыщения трактора с определенной массой, сопровождаемой мощностью. Для трактора Джон Дир – 9430 максимальное значение мощности находится в пределах 600 л.с., за превышением которой оптимальная величина годовой нагрузки трактора перестает интенсивно расти. Дальнейшее увеличение мощности и оптимального значения годовой нагрузки на трактор должно сопровождаться увеличением массы трактора для реализации возросшей мощности через тягово-сцепные качества трактора.

Объяснение увеличения оптимального значения годовой нагрузки на трактор из-за увеличения мощности двигателя трактора объясняется увеличением производительности агрегата, из-за возросшей скорости работы агрегата. Увеличение производительности единичного агрегата – ведет к снижению потерь потенциально возможного урожая из-за нарушения агротехнических сроков выполнения технологической операции.

Как видно из рисунка 5.5 влияние на оптимальное значение годовой нагрузки трактора на посевах (также и на других технологических операциях, что подтверждается нашими расчетами) является линейной. Причем чем больше ширина захвата посевного агрегата с трактором Джон Дир – 9430, тем больше величина оптимальной годовой нагрузки на трактор, что свидетельствует о необходимости использования широкозахватных агрегатов,

как на посеве, так и на других технологических операциях в производственных процессах возделывания зерновых культур, как в РФ, так и за ее пределами.

Увеличение оптимального значения годовой нагрузки на один трактор при выполнении посева, а также на операциях подготовки почвы к посеву с увеличением ширины захвата агрегатов объясняется снижением энергии зерна, потерянного, как из-за уменьшения агросроков выполнения технологической операции, так и из-за меньшего уплотняющего воздействия движителей тракторов на почву. В последнем случае – с увеличением ширины захвата агрегата, снижается уплотняемая площадь обрабатываемого поля, а значит, снижается энергия урожая, теряемого из-за более плотной почвы на поле (за пределами оптимального значения плотности почвы для зерновых культур в Республике Татарстан - 1,1-1,3 г/см³).

Скорость, с которой выполняется технологическая операция, зависит от агротехнически допустимых пределов рабочей скорости агрегата, когда соблюдаются агротехнические требования на качество выполнения технологической операции (определяется стандартами). Для увеличения скорости выполнения технологической операции, в пределах допустимой скорости агрегата, необходимо увеличить мощность двигателя трактора. При этом увеличивается производительность агрегата, а значит, снижается время выполнения технологической операции, что, естественно, сопровождается снижением энергии потерянного урожая.

При выбранной ширине захвата агрегата выгодно работать на большей скорости агрегата. При этом суммарные энергетические затраты снижаются, а оптимальная годовая нагрузка на трактор растет, что видно из рисунка 5.6.

Средняя расчетная рациональная энергообеспеченность сельского хозяйства РФ при использовании технологии нулевой обработки почвы находится в пределах 2,76 л.с./га. На технологии минимальной обработки почвы рациональная энергообеспеченность увеличится примерно на 40-50 %,

из-за необходимости параллельного проведения подготовки почвы к посеву и сам посев.

5.3 Энергетическая и экономическая эффективность реализации результатов исследования

Энергетическую эффективность от внедрения рекомендуемой годовой нагрузки на трактор можно определить исходя из рисунка 5.7.

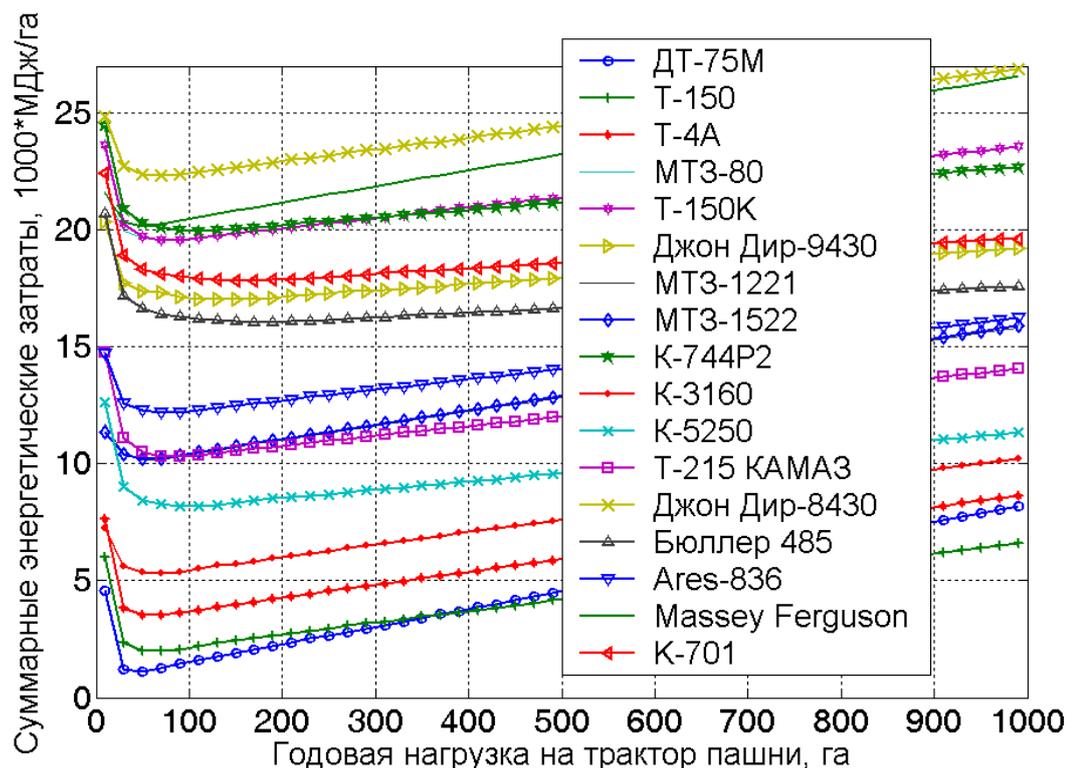


Рисунок 5.7 – Зависимость суммарных энергетических затрат (1000 МДж/га) от годовой нагрузки на тракторы различных производителей

При оптимальной годовой нагрузке на трактор суммарные энергетические затраты, рассчитанные с учетом влияния параметров трактора на формируемый урожай зерновых культур, будут минимальными. Величина оптимальной годовой нагрузки зависит от массы и мощности трактора, и чем выше тяговый класс трактора, тем больше величина оптимального значения годовой нагрузки трактора. Допустим оптимальные расчетные параметры агрегата для прямого посева с трактором Джон Дир – 9430, соответствующие

минимальным суммарным энергетическим затратам: ширина захвата агрегата $V_{opt} = 16.2$ м; скорость агрегата $V_{opt} = 11$ км/ч; суммарные энергетические затраты $E_{min} = 17623$ МДж/га, получаются при годовой нагрузке на трактор 160 га. В РФ, по данным статистических органов, годовая нагрузка на один трактор достигла 300 га, при этом суммарные энергетические затраты равны $E = 18100$ МДж/га (см. рисунок 5.7). Разница в суммарных энергетических затратах при этом составляет $\Delta E_{min} = 18100 - 17623 = 477$ МДж/га или 477000 МДж на 1000 га, что равносильно снижению денежных затрат в ценах на зерно:

$$(477000/16,5) \cdot 9 = 260182 \text{ рубля.}$$

Таким образом, нагружение тракторов оптимальной величиной годовой нагрузки ведет к значительному снижению суммарных энергетических затрат и значительной экономии денежных средств.

Выводы

1. Имеется оптимальная величина годовой нагрузки на трактор в га, которая различается по маркам тракторов.

2. Оптимальная величина годовой нагрузки на трактор зависит от параметров основного средства механизации производства – тягового класса трактора и параметров машинно-тракторного агрегата – ширины захвата и скорости перемещения.

3. Оптимальная годовая нагрузка на трактор тем больше, чем больше мощность двигателя и масса трактора, ширина захвата агрегата, скорость его работы.

4. Из анализа влияния мощности двигателя трактора на ее оптимальную годовую нагрузку исходит, что для природно- климатических условий Республики Татарстан, при использовании технологии нулевой обработки почвы для возделывания зерновых культур – оптимальная энергообеспеченность сельскохозяйственного производства находится в пределах 2,76 л.с/га. При переходе к технологиям минимальной обработки

почвы и к интенсивным технологиям, величина оптимальной энергообеспеченности будет возрастать из-за необходимости проведения нескольких технологических операций одновременно. К сожалению, энергообеспеченность аграрного производства в РТ на сегодняшний день находится в пределах – 1,54 л.с./га, что свидетельствует о недостаточной энергообеспеченности (тракторами) республики в сфере аграрного производства и наличии потенциала для роста производительности труда.

5. Нагружение тракторов оптимальной величиной годовой нагрузки ведет к значительному снижению суммарных энергетических затрат и значительной экономии денежных средств. Экономия денежных средств для трактора Джон Дир – 9430 на прямом посеве при переходе от нагрузки 300 га к нагрузке 160 га достигает 260182 рубля/1000 га.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Сегодня в сельском хозяйстве упор делается на импортозамещение, на снижение затрат при производстве сельскохозяйственных культур, повышение производительности труда, урожайности культур, что невозможно без разработки научно-обоснованных методов определения оптимальной нагрузки на трактор и энергообеспеченности производства.
2. Существующие методы обоснования годовой нагрузки на трактор, не отвечают сложившимся требованиям в сельскохозяйственном производстве, не учитывают влияние параметров техники на формируемый урожай сельскохозяйственных культур. Выдвинута **научная гипотеза**, что *включение в систему трактор-орудие-оператор-поле-почва, которая в науке об эксплуатации тракторов традиционно рассматривается и изучается, дополнительного элемента – урожайности, и изучение влияния параметров трактора на формируемый урожай позволит получить новые знания об оптимальной годовой нагрузке тракторов и оптимальной энергообеспеченности одного гектара пашни кВт/га (л.с./га).*
3. С использованием прикладной теории двигателей, теории тракторов, теории эксплуатации машинно-тракторных агрегатов выявлены зависимости составляющих суммарных энергетических затрат от основных параметров трактора, агрегата и факторов внешней среды.
4. Программой экспериментальных исследований предусматривается: определение допустимых агротехникой пределов рабочей скорости по отклонениям показателей качества подготовки почвы и посева от заданных значений и сравнения с допустимым отклонением; проведение эксплуатационно – технологических исследований агрегатов для определения фактической производительности выбранных агрегатов.
5. По результатам экспериментальных исследований выявлено, что агротехнические допустимые пределы рабочей скорости агрегатов

колеблются на посевах: посевным комплексом Агромастер-7300 от 6,7 до 14,5 км/ч; посевным комплексом Lemken Solitair 9 от 6,72 до 12,0 км/ч; почвообрабатывающим агрегатам от 5 до 13 км/ч. Увеличение скорости агрегатов закономерно ведет к росту удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегатов на всех вариантах опытов и оно колеблется, в разных вариантах опытов, от 2,4 кН/м (ККШ-11,3) до 7,1 кН/м (БДМ). Расхождение расчетной и экспериментально определенной производительности машинно-тракторных агрегатов находится в пределах 8 %, что допускается при нормировании производительности агрегатов.

6. Оптимальная величина годовой нагрузки на трактор зависит от параметров основного средства механизации производства – массы трактора, мощности его двигателя и параметров машинно-тракторного агрегата – ширины захвата и скорости перемещения. Оптимальная годовая нагрузка на трактор тем больше, чем больше масса и мощность двигателя трактора, ширина захвата агрегата, скорость его работы.
7. Из анализа влияния мощности двигателя трактора на ее оптимальную годовую нагрузку исходит, что для природно- климатических условий Республики Татарстан, при использовании технологии нулевой обработки почвы для возделывания зерновых культур – оптимальная энергообеспеченность сельскохозяйственного производства находится в пределах 2,76 л.с/га. При переходе к технологиям минимальной обработки почвы и к интенсивным технологиям, величина оптимальной энергообеспеченности будет возрастать из-за необходимости проведения нескольких технологических операций одновременно на 40-50%. К сожалению, энергообеспеченность аграрного производства в РТ на сегодняшний день находится в пределах – 1,54 л.с./га, что свидетельствует о недостаточной энергообеспеченности республики в сфере аграрного производства и наличии потенциала для роста производительности труда.

Нагружение тракторов оптимальной величиной годовой нагрузки ведет к значительному снижению суммарных энергетических затрат и значительной экономии денежных средств. Переход при прямом посеве от фактической нагрузки на трактор Джон Дир – 9430 – 300 га (средняя по РФ нагрузка на трактор) к оптимальной нагрузке 160 га приведет к снижению энергетических затрат 477 МДж/га или 477000 МДж на 1000 га, что равносильно снижению денежных затрат в ценах на зерно: $(477000/16,5) \cdot 9 = 260182$ рубля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агафонов К.П.** Метод приблизительной оценки оптимальной ширины захвата по максимальной производительности МТА//Тракторы и сельхозмашины.– 1978.– №10. – С. 15–19.
2. **Агеев Л.Е.** Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – Л.: Колос. Ленингр. отд. – 1982.–296 с.
3. **Артеменко Н.А.** Экономическая эффективность использования сельскохозяйственной техники.– М.: Агропромиздат, 1985.–208 с.
4. **Базаров Е.И. и др.** Агрозооэнергетика.– М.: Агропромиздат, 1987.– 155 с.
5. **Балакай Г.Т.** Энергосберегающие технологии получения высокоэнергетических, высокопитательных, сбалансированных кормов на орошаемых землях юга России для высокопородного поголовья скота / Г. Т. Балакай, С. А. Селицкий, О. В. Егорова. – Новочеркасск. – 2013. – 61 с.
6. **Барам Х.Г.** Научные основы технического нормирования механизированных полевых работ. – М.: Колос, 1970.– 440 с.
7. **Барам Х.Г.** Научные основы технического нормирования механизированных полевых работ: 05.20.01/ Барам Х.Г.; Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1970.– 66 с.
8. **Барам Х.Г., Потапков Н.Н., Бардина Е.П.** Оценка потерь от простоев агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.–1977.– №2.– С.4–6.
9. **Бейненсон В. Д., Курденков А. Г., Золотаревская Д. И., Захарченко А. Н., Джафари Наими Казем, и др** Оценка уплотняющего воздействия на почву и сопротивления движению трактора с резиноармированной гусеницей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 6. – С. 16-18.
10. **Бобровник А.И. и др.** Тракторы и автомобили./Учебное издание. – Минск: Изд-во Белорусского ГАТУ, 2008. – 192 с.
11. **Болтинский В.Н.** Перспективный типаж тракторов и его анализ // Механизация и электрификация сельского хозяйства.–1963, – №5.– С.7–12.

12. **Болтинский В.Н.** Результаты НИР по проблеме «Научные основы повышения рабочих скоростей движения машинно-тракторных агрегатов, выполненных в 1961 г. в ВИМе» // Повышение скорости машинно-тракторных агрегатов. – М.: БТИ ГОСНИТИ, 1962.– С.7–23
13. **Вайнруб В.И., Догановский М.Г.** Повышение эффективности использования энергонасыщенных тракторов в Нечерноземье. – М.: Колос. Ленингр. отд-е, 1982. – 224 с.
14. **Вайнруб В.И., Чеконин А.А.** О влиянии длины гона на оптимальные параметры плуга с регулируемой шириной захвата//Технология и механизация работ в полеводстве. - Л., Колос. Ленингр. отд-е, 1978.– С.32–34.
15. **Веденяпин Г.В.** Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. – М.: Колос, 1967.–159 с.
16. **Веденяпин Г.В., Киртбая Ю.К., Сергеев М.Н.** Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1968.–343 с.
17. Временные рекомендации по ограничению уровня воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву. – М.: Агропромиздат, 1985.–15 с.,
18. **Высоцкий А.А.** Динамометрирование сельскохозяйственных машин.– М.: Машиностроение, 1968.–290 с.
19. **Гаврилов Ф.И.** Методы анализа использования сельскохозяйственной техники.– М.: Колос, 1971.–263 с.
20. **ГОСТ 20915-2011.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2012. – 24 с.
21. **ГОСТ 28305-89.** Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки на испытания. – М: Изд-во стандартов, 1990. – 4 с.
22. **ГОСТ 30745-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. – М: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
23. **ГОСТ 31345-2007.** Сеялки тракторные. Методы испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 58 с.

24. **ГОСТ 7057-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
25. **ГОСТ Р 52777-2007.** Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
26. **ГОСТ Р 52778-2007.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 24 с.
27. **Гуревич А.М., Лопарев А.А.** Исследование влияния ходовых систем тракторов на состояние дерново-подзолистых почв Кировской области // Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники, рабочих органов почвообрабатывающих машин / УСХА. – Ульяновск, 1982.– С. 91–97.
28. **Гухман А.А.** Введение в теорию подобия. 2-е изд. - М.: «Высшая школа», 1973. – 296 с.
29. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1968. – 336 с.
30. **Жукевич К.И.** Методы экономической оценки сельскохозяйственных машин и технологий. – Минск: Урожай, 1974. –300с.
31. **Жуков А. В.** Твердость дерново-литогенных почв на лесовидных суглинках / А. В. Жуков, О. М. Кунах // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011, № 1. – С. 63 – 69.
32. **Завалишин Ф.С.** Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. – М.: Колос, 1973.–319 с.
33. **Завалишин Ф.С.** Теоретические основы и методы проектирования на оптимум мобильных производственных операций и процессов в сельском хозяйстве: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1963.–51 с.
34. **Завалишин Ф.С., Мацнев М.Г.** Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства.– М.: Колос, 1982. –231 с.
35. **Задорожна Г.О.** Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011, № 1. – С. 70 – 76.

36. **Зангиев А.А.** Выбор высокоэффективных тяговых машинно-тракторных агрегатов с учетом зональных условий: На примере Нечерноземной зоны РСФСР/ Рекомендации. – М.: Россельхозиздат, 1985.–24 с.
37. **Зангиев А.А. и др.** Производственная эксплуатация машинно – тракторного парка.– М.: Колос, 1996.–320 с.
38. **Захарченко А. Н.,** Лядин В. П., Джафари Н. К. Экспериментальные исследования воздействия колеса трактора на деформации почвы // Доклады ТСХА М Изд-во МСХА, 2007. – Вып 279. – С 432-435.
39. **Зеркалов Д.В.** Устойчивое развитие и безопасность [Электронный ресурс] : Хрестоматия / Д. В. Зеркалов. – Электрон. дан. – К. : Основа, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. требования: Pentium; 512 Мб RAM; Windows 98/2000/XP; Acrobat Reader 7.0. – Название с тит. экрана.
40. **Золотаревская Д И,** Джафари Н. К , Лядин В. П. Изменение реологических свойств и уплотнение почвы при воздействии колесных движителей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 5. – С. 33-37.
41. **Иофинов С.А.** Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М: Колос, 1974. – 324 с.
42. **Иофинов С.А., Лышко Г.П.** Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1984.–351 с.
43. **Кацыгин В.В.** Основные принципы и теория выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин // Вопросы сельскохозяйственной механики. – Т.13.–Минск: Урожай, 1964.– С.89–121.
44. **Киртбая Ю.К.** Резервы в использовании машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1982.–329 с.
45. **Конкин Ю.А.** Экономический критерий повышения рабочих скоростей движения машинно-тракторных агрегатов и методика его определения// Повышение рабочих скоростей тракторов и сельскохозяйственных машин. – М.: ЦИНТИМАШ, 1963. – С.344–356.

46. **Кононов А.И., Ксенович И.П.** О воздействии ходовых систем тракторных агрегатов на почву // Тракторы и сельхозмашины.–1977.–№4.– С. 5–7.,
47. **Коптюг В. А., Матросов В. М., Левашов В. К., Демянко Ю. Г.** Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России. Проблемы формирования национальной стратегии. Владивосток: Дальнаука, 1997. – 87 с.
48. **Красовских В.С.** Основы расчета параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов: Учебное пособие. – Новосибирск: Ред.-полигр. объединение СО ВАСХНИЛ, 1982.–54 с.
49. **Ксенович И.П.** Об экономических аспектах обоснования типажа сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 1985.– №5.– С. 20–25.
50. **Ксенович И.П., Гуськов В.В., Скойбеда А.Г.** О системном методе прогнозирования параметров сельскохозяйственных агрегатов // Тракторы и сельхозмашины.– 1976.– №8. – С. 3–5.
51. **Ксенович И.П., Гуськов В.В., Скойбеда А.Г., и др.** Основы методики расчета параметров машинно-тракторного агрегата по критерию эффективности труда // Тракторы и сельхозмашины.–1979.– №2.–С.15–18.
52. **Ксенович И.П., Скотников В.А., Ляско М.И.** Ходовая система – почва – урожай. – М.: Агропромиздат, 1985.–304 с.,
53. **Кульбаков В.А., Иванова Н.М.** О необходимости компромиссных решений при обосновании оптимального агрегатирования тракторов/ НАТИ – М., 1975.– Вып.238.– С. 12–23.
54. **Кутьков Г.М.** Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: Колос, 2004. – 504с.:ил. – ISBN 5-9532-0099-4 – (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений)
55. **Кутьков Г.М.** Тяговая динамика тракторов. – М.: Машиностроение, 1980.–215 с.
56. **Линтварев Б.А.** Научные основы повышения производительности земледельческих агрегатов. – М.: БТИ ГОСНИИ, 1962.– 605 с.,

57. **Лихачев В.С.** Испытания тракторов. - М.: Машиностроение, 1974. – 286с.
58. **Лобачевский Я.П.,** Колчина Л.М. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 116 с.
59. **Львовский Б.Н.** Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1982.–192 с.
60. **Ляско М.И.** Уплотняющее воздействие сельскохозяйственных тракторов и машин на почву и методы ее оценки // Тракторы и сельхозмашины.–1982.– №10.–С. 7–11.
61. **Ляско М.И.,** Кутин Л.Н. Влияние ходовых систем сельскохозяйственных тракторов на уплотнение почвы и урожайность ячменя // Механизация и электрификация сельского хозяйства.–1979.– №12.– С.4–6.
62. **Мазитов Н.К.** Почва и машины. – Казань: Таткнигоиздат, 1988.–103 с.
63. **Махмутов М.М.,** Хафизов К.А., Макаров П.И. Оптимизация параметров колесного движителя // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. – №2. –С. 20 – 21.
64. **Медведев В.В.** Твердость почв. Харьков. Изд. КГ1 «Городская типография», 2009. – 152 с.
65. **Мельников, С.В.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
66. Методика ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе. – Курск: ИЦ ЮМЭКС, 1999. – 47 с.
67. **Мухамадьяров Ф.Ф.** Влияние ходовых систем тракторов на уплотнение дерново-подзолистой почвы при возделывании картофеля: Автореф. дис. ... канд–та техн. наук. – Казань, 1991.– 19 с.
68. **Мухаметгалиев Ф.Н. и др.** Организация и планирование производства на предприятиях АПК. – Казань: Дом печати, 2004. – 283 с.

69. **Николаев В.А.**, Беленков А.И. Влияние разных приемов обработки дерново-подзолистой почвы на ее сложение и урожайность ячменя / Известия ТСХА. – 2014. – № 5. – С. 103-107.
70. **Новосельцева В.И.** Теоретические основы системного анализа. Под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
71. Обработка почвы (энергосберегающие технологии и технические средства.) Рекомендации. М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 104 с.
72. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур / Карвовский Т., Касимов И., Клочков Б. и др.; Пер.с польск. Н.А.Чупаева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 248 с.
73. Обработка почвы энергосберегающие технологии и технические средства.) Рекомендации. М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 104 с.
74. **Опрышко В. Н.** Основы теории планирования и анализа методов обработки экспериментальных данных [Текст] : учебник / В. Н. Опрышко, В.В.Степанов, Н. В.Юдаев. - Саратов: Издательский центр «Наука», 2010. – 127 с.
75. Организация и особенности проектирования экологически безопасных агроландшафтов [Текст]: Учебное пособие для ВПО / Степанова Л.П. Коренькова Е.А. Степанова Е.И. Таракин А.В. Авторы: – ОрелГАУ, 2015. – 425 с.
76. **Орлов Н.М.** Методика выбора рациональных соотношений между скоростью шириной захвата и мощностью машинно-тракторных агрегатов. – М.: ОНТИ, 1963.–26 с.
77. **Орлов Н.М.** Определение оптимальной скорости движения и ширины захвата агрегатов.// Вестник сельскохозяйственной науки.–1961.–№ 4.–С. 102–104.
78. **Парфенов А.П.** Развитие системы классификации сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины.–1985.– №10. – С.9–13.
79. **Полканов И.П.** Теория и расчет машинно-тракторных агрегатов.– М.: Машиностроение, 1964.–255 с.

80. **Саакян Д.Н.** Научные основы системы показателей комплексной оценки сельскохозяйственных полевых агрегатов: Автореф. дис. ... док–ра техн. наук. – Ереван, 1966.–38 с.
81. **Саакян Д.Н.** Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов. – М.: Машиностроение, 1969.–253 с.
82. **Селиванов Н.И., Селиванов И.А., Шрайнер Э.Г.** Технологическая потребность в высокомоощных колесных тракторах // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 5. – С. 215-220.
83. **Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н.** Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
84. **Северов В. И.** Агроэнергетическая оценка производства кормов / В. И. Северов, К. Г. Калашников. – Кормопроизводство. – 1994. – № 2. – С. 5-7.
85. **Седов Л.И.** Методы подобия и размерности в механике. - М.: «Наука», 1977. – 440 с.
86. **Сергеева З.В., Химченко Г.Г.** Справочник нормировщика.–М.: Россельхозиздат, 1983. – 368 с.
87. **Скотников В.А.** Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В. А. Скотников, А. А. Машенский, А. С. Солонский. Под ред. В. А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
88. **Совин К.А.** Повышение эффективности использования культиваторных агрегатов с изменяемой шириной захвата: 05.20.01/ Совин Константин Александрович; Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Чебоксары, 2012. – 20 с.
89. Справочник инженера механика сельскохозяйственного производства: Учеб. Пособие: В 2 ч. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 492 с.
90. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю.Ф. Лачуга и др.; – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — 80 с

91. Теоретические основы системного анализа. Под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
92. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/И. П. Ксенович, В. В. Гуськов, Н. Ф. Бочаров и др.; Под общ. ред. И. П. Ксеновича. — М.: Машиностроение. 1991; —544 с: ил.
93. Тракторы. Ч. III. Конструирование и расчет: [Учеб. пособие для втузов по спец. «Автомобили и тракторы»]/В. В. Гуськов, И. П. Ксенович, Ю. Е. Атаманов, А. С. Солонский]; Под общ. ред. В. В. Гуськова.— Мн.: Выш. школа, 1981. – 383 с.
94. **Трепененков И.И.** Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. – М.: Машгиз, 1963. –271 с.
95. **Фере Н.Э.** Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1978.–256 с.
96. **Хабатов Р.Ш.** Научные основы и практические методы прогнозирования оптимальных параметров агрегатов и состава машинно-тракторного парка. – Киев: Госкомплан Совета Министров УССР ВЦ, 1970. –186 с.
97. **Хабатов Р.Ш.** Прогнозирование оптимальных параметров агрегатов и состава машинно-тракторного парка.– Киев: Вычислительный центр УкрНИИНТИ, 1969. – 147с.
98. **Хафизов К.А.** Методика расчета МТА по критерию «Совокупные энергозатраты». // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №3. – С. 46 - 51.
99. **Хафизов К.А.** Обоснование параметров и режимов работы тяговых машинно-тракторных агрегатов: 05.20.01, 05.20.03/ Хафизов Камиль Абдулхакович; Дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 1990.–253 с.
100. **Хафизов К.А.** Оптимизация параметров и режимов работы МТА на основе энергетического анализа // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №7. – С. 7–9.

101. **Хафизов К.А.** Оптимизация параметров посевных агрегатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №10. – С. 24–26.
102. **Хафизов К.А.** Пути снижения энергетических затрат на производственных процессах в сельском хозяйстве – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. – 272 с.
103. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Выбор технологий и их техническое обеспечение для устойчивого развития АПК Татарстана в условиях введения экономических санкций // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2014. - № 4 (34). – С. 88 – 94.
104. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Зависимость урожайности от параметров посевного комплекса // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №12. – С. 20 – 21.
105. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Метод определения оптимальных параметров трактора // Материалы Международной научно-практической конференции «Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники». – Уфа, 2013. – С. 395 – 404.
106. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Определение количества техники, необходимой для сельского хозяйства Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2015. – № 1 (35). – С. 82 – 88.
107. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Определение оптимальных параметров трактора для производства в Республике Татарстан // Наука в центральной России. – Тамбов, 2013. – №2. – С. 17 – 19.
108. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Повышения эффективности использования тракторов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №12. – С. 14 – 15.
109. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Программа оптимизации количества агрегатов на технологических операциях // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611128 от 30.11.2015.

110. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Программа оптимизации основных параметров трактора для выполнения комплекса операций // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611126 от 30.11.2015.
111. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Программа оптимизации параметров и режимов работы зерновых комбайнов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611125 от 30.11.2015.
112. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Программа оптимизации ширины захвата и рабочей скорости посевных комплексов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611127 от 30.11.2015.
113. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Энергетический метод оптимизации основных параметров тракторов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2015. – № 1 (35). – С. 75 – 81.
114. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Адигамов Н.Р.** Основные направления развития технического сервиса в АПК Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2014. - № 4 (34). – С. 95 – 102.
115. **Хафизов Р.Н.** Анализ показателей эффективности использования тракторов и агрегатов для выбора критерия оптимизации их параметров // «Научное сопровождение агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы» Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – С. 406 – 412.
116. **Хафизов Р.Н.** Метод расчета энергии урожая, потерянного из-за негативного воздействия движителей трактора на почву // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2015. – № 3 (37). – С. 81 – 85.
117. **Хафизов Р.Н.** Методика многофакторного эксперимента по определению зависимости давления движителей трактора на почву от параметров трактора, движителя и физико-механических свойств почвы //

Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2015. – № 3 (37). – С. 86 – 92.

118. **Хафизов Р.Н.,** Хафизов К.А. Обоснование пределов изучаемой системы – машинно-тракторный агрегат на посеве и выбор критерия оптимизации параметров тракторов // «Научное сопровождение агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы» Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию образования Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – С. 421 – 426.

119. **Шарипов В.М.** Конструирование и расчет тракторов: Учебник для студентов вузов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2009. -752 с: ил.

120. **Шаров Н.М.** Эксплуатационные свойства машинно-тракторных агрегатов. – М.: Колос, 1981.– 240 с.

121. Reduced tillage for soll erosion control, Published 1978. <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/soils/reducedtillage.pdf> (дата обращения 10.01.15).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица А.1 – Тарировочные данные тензодатчика

| Показания образцового динамометра | Сила, Н | Показания прибора СИ 302 | | |
|-----------------------------------|------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | | среднее за три нагрузки, В | среднее за три разгрузки, В | среднее в целом, В |
| 0 | 0,45441 | -0,00090 | -0,00285 | -0,001875 |
| 20 | 809,26925 | -0,24554 | -0,31085 | -0,278195 |
| 40 | 1734,81124 | -0,56052 | -0,6322 | -0,596360 |
| 60 | 2644,39736 | -0,86206 | -0,95602 | -0,909040 |
| 80 | 3555,78706 | -1,15420 | -1,29048 | -1,222340 |
| 100 | 4481,05786 | -1,47654 | -1,60428 | -1,540411 |
| 120 | 5386,56621 | -1,76890 | -1,93448 | -1,851690 |
| 140 | 6317,95528 | -2,08354 | -2,26019 | -2,171865 |
| 160 | 7222,43611 | -2,40199 | -2,56359 | -2,482790 |
| 180 | 8174,44999 | -2,71983 | -2,90028 | -2,810055 |
| 200 | 8925,27744 | -3,03409 | -3,10223 | -3,068160 |

Коэффициент перевода показаний прибора СИ 302 в силу $K_{п} = 2909 \text{ Н/В}$

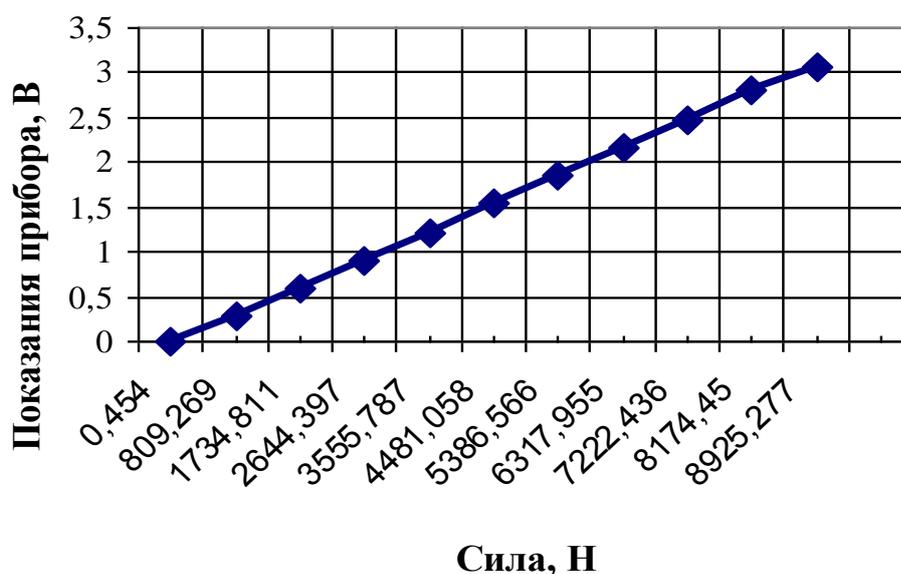


Рисунок А.1 – Тарировочный график тягового тензозвена

Программа оптимизации параметров трактора, параметров и режимов работы посевного агрегата

```

clc;
clear;
%РАСЧЕТ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРЯМОМ ПОСЕВЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГОДОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАКТОРА
Vpi=5;Vo=5;lkscl=2.6;
Fpolya=input('Введите площадь поля, га. =');
lgona=input('Введите длину гона, км. =');
lper=input('Введите расстояние переезда, км. =');
plotn_sem=input('Введите плотность семян, кг/м3 =');
Q1=input('Введите коэффициент прочности несущей поверхности =');
Q=input('Введите объем работы, га =');
Ntrakt=input('Введите количество тракторов выполняющих операцию =');
Tdnev=input('Введите число часов работы в сутки =');
YP=input('Введите планируемую урожайность основной и побочной  продукции, ц/га. =');
Pw=input('Введите давление в шинах (от 0,08 до 0,2), МПа =');
Zk=input('Введите число колес на одном борту трактора (1 или 2 или 3 и т.д.) =');
Kscer=input('Введите коэффициент сцепления колес с почвой =');
fperek=input('Введите коэффициент сопротивления перекачиванию колес трактора =');
Kscves=input('Введите коэффициент распределения сцепного веса колес =');
Ktr=2;%это коэффициент перевода чел./час в МДж.
Kzerna=1560;% это энергоемкость 1 ц. зерна в МДж.
Ktsm=50;% это коэффициент перевода 1кг. топлива в МДж.
plotn_sem=800;
kv=1.2;%эмпирический коэффициент для определения влияния скорости на уплотнение почвы
f=1;%формируем массив данных для построения графика энергозатрат от факторов
%for Fpolya=5:10:300;
%for Ntrakt=1:1:12;
%for YP=15:5:60;
%for Q=20:20:2000;

```

```

%for Nenom=50:50:500;
%for Mt=50:10:200;
%for Tgodt=200:20:1600;
%for K2=0.8:0.1:2.4;
%for Pw=0.06:0.01:0.2;
%for Bdvigit1=0.1:0.1:1;
%for (Mtr(t,9))=0.1:0.1:1;
%for Dk=30:5:90;
for t=17;
%for t=1:17;%это организация цикла расчетов по разным маркам тракторов
k=1;%это индекс для ввода данных по СХМ

if t==1; TRACTOR=' ДТ-75М ' end
if t==2; TRACTOR=' Т-150 ' end
if t==3; TRACTOR=' Т-4А ' end
if t==4; TRACTOR=' Т-150К ' end
if t==5; TRACTOR=' МТЗ-80' end
if t==6; TRACTOR=' К-701 ' end
if t==7; TRACTOR=' МТЗ-1522 ' end
if t==8; TRACTOR=' МТЗ-1221 ' end
if t==9; TRACTOR=' К-744Р2 ' end
if t==10; TRACTOR=' К-3160' end
if t==11; TRACTOR=' К-5250 ' end
if t==12; TRACTOR=' Т-215 КАМАЗ ' end
if t==13; TRACTOR=' Джон Дир-8430' end
if t==14; TRACTOR=' Бюллер 485 ' end
if t==15; TRACTOR=' Ares-836 ' end
if t==16; TRACTOR=' Massey Ferguson' end
if t==17; TRACTOR=' КТ-500' end
if t==18; TRACTOR=' Джон Дир-9430' end
%Mtr это матрица с данными тракторов
Mtr=[2941240 985123 933515 1310625 1450 8 14.5 2.5 0.39 1.71 120 76 90 2.1 24 4 0 5 5 5 5 1;...
2806304 804222 936111 1381223 1300 10 16.5 2.7 0.39 1.744 144 77 150 2.2 28 4 0 5 5 5 5 1;...

```

```

bm=[1];
l=1;%это счетчик для создания матрицы выходных данных А.

    TABLICA=[' Mtr  Bp,   Vp,   tau_sm,  K,   KPD,   N,   Букс.,  W,   Gh,  Еам.кр.тр.то,  Eper,   E_upr,  Etsm,
Eup/1000, Eua/1000, ES/1000']
    %Bpi=3; DVP=1;
    '=====';
nMt=1;%это счетчик массы трактора для создания многомерного массива
while Mti<=Mt_max%это внешний цикл по массе трактора
    nNe=1;
    while Nenom<=Nenom_max%это внешний цикл по мощности двигателя
nB=1;%это счетчик ширины захвата для создания массива для трехмерных графиков
while Bpi<=Bp_max%это внешний цикл по ширине захвата
    nV=1;%это счетчик скорости для создания массива для трехмерных графиков
    while Vpi<=Vp_max%это внутренний цикл по скорости МТА
        if Bpi./DBP==1
            lksc=0;
        else
            lksc=lksc1;
        end
        lksc=0;

                Mt=Mti;
                Eizgt=Mt*12000;Eto=Eizgt/2.98;Etrt=Eizgt/3.1;Ekrt=Eizgt/2.25;
% 1.2 расчет длины поворота МТА, км.
%lpov=(5.*(3+0.81.*Bpi)+2.*(lktr+lkshm))./1000;%C3_3_6
%lpov=(5.*(2.1228-
0.1359*Vpov+0.07988*Bpi+0.00609*(Vpov^2)+0.09774*Vpov.*Bpi+0.05396*(Bpi^2))+2.*(lktr+lkshm))./1000;%Lemken Solitair9
%lpov1=(23.225-1.0292.*Vpov+0.50195.*Bpi+0.047036*(Vpov^2)+0.68209.*Vpov.*Bpi+0.38333.*(Bpi^2))/1000;%Lemken Solitair9
%lpov=(5.*(-18.834-0.27955*Vpov+6.1159*Bpi+0.028598*(Vpov^2)+0.058178*Vpov.*Bpi-
0.33835*(Bpi^2))+2.*(lktr+lkshm))./1000;%Agromaster
    lpov=(5.*(-5.037+0.64221*Vpov+1.3149*Bpi-0.02442*(Vpov^2)+0.070472*Vpov.*Bpi-
0.022591*(Bpi^2))+2.*(lktr+lkshm))./1000;%Agrator-ancer

```

```

% 1.3 ширина пов. полосы, м
% bpov=3.*(3+0.81.*Bpi)+(lktr+lkshm);%SZ_3_6
% bpov=3.*(2.1228-0.1359*Vpov+0.07988*Bpi+0.00609*(Vpov^2)+0.09774*Vpov.*Bpi+0.05396*(Bpi^2))+
(lktr+lkshm);%Lemken
Solitair9
% bpov=12.088-0.32623.*Vpov-0.18065.*Bpi+0.0087418*(Vpov^2)+0.28528.*Vpov.*Bpi+0.22187.*(Bpi^2);%Lemken Solitair9
% bpov=3.*(-18.834-0.27955*Vpov+6.1159*Bpi+0.028598*(Vpov^2)+0.058178*Vpov.*Bpi-0.33835*(Bpi^2))+
(lktr+lkshm);%Agromaster
bpov=3.*(-5.037+0.64221*Vpov+1.3149*Bpi-0.02442*(Vpov^2)+0.070472*Vpov.*Bpi-0.022591*(Bpi^2))+
(lktr+lkshm);%Agrator-ancer
% 1.4 величина загрузки агрегата семенами, удобрениями и ядами, ч.
% Tzagr=(1+0.8.*Bpi)/60;SZ_3_6
% if Bpi<=9; Tzagr=0.098; else Tzagr=0.25; end;%Lemken Solitair9
if Bpi<10; Tzagr=0.335; else Tzagr=0.527; end;%Agromaster%Agrator-ancer
% 1.5 время перестроения агрегата из рабочего положения в транспортное и наоборот, ч
% Tper=0.135.*Bpi-0.578;SZ_3_6
Tper=0.25;
% 1.7 расчет составляющих элементов коэф. исп. времени смены, ч.
tau2=(lprov/(Bpi*Vpov))*(1/lgon+bpov/(5000*Fpolya));
% 1.8
if Bpi<=8.5; Qgr=4.8; else Qgr=7.2; end;%Agromaster%Agrator-ancer
tau3=0.1.*H3.*(Tzagr)/(0.95.*plotn_sem.*Qgr.*Bpi);%0,127-это емкость бункера, приходящаяся на 1 м захвата агрегата, м3/м.
% 1.9
tau4=tau3*3;
% 1.10
tau5=0.1*lper/(Fpolya*Vper);
% 1.11
tau6=0.2.*Tper./Fpolya;
% 1.12
tau7=(0.1*Toch)/lost;
% 1.13 затраты времени на ТО МТА в борозде
tauТОmta=(Ttotr+Bpi*Ttoshm)/420;
% 1.14
tau8=1-1/7-tauТОmta;
% 1.15 коэф. исп. времени смены, ч.

```

```

tau_sm=tau8/(1+(tau2+ tau3+ tau4+ tau5+ tau6+ tau7)*Vpi*Vpi);
%Расчет КПД тягового
KPD_u_tyag=(Q1.*Vpi.*K*(1-Sigma))/(Vpi.*K+Mt.*fperek);
%Расчет часового расхода топлива при работе на регуляторной ветви
Gr=(Gnom*(nxx-ntek)+Ghh*(ntek-nnom))/(nxx-nnom);
if KPD_u_tyag>1;KPD_u_tyag=0.7;end;
% 1.18
                %KPD_u_tyag_f=KPD_u_tyag.*Q1;
% 1.19 Расчет мощности в л.с.
%N=(K.*Vpi.*Vpi)/(2.7.*KPD_u_tyag_f.*eudv);
%получим мощность в л.с.
N=1.35*(0.273*K.*Vpi.*Vpi)/(KPD_u_tyag.*eudv);
Pkr=Vpi.*K;
if t>8; Sigma=Sigma*100; end
%if t==12; Sigma=Sigma/100; end
W=0.1;
%if Sigma<Sigma_adm
% 1.23 расчет производительности, га/ч N=Nenom;
%if N>Nenom ;W=W; else W=0.1.*Vpi.*Vpi.*tau_sm; end
% 1.24 расчет удельных энергозатрат на изготовление, ТО,ТР,КР трактора 't'
if Sigma<Sigma_adm
% 1.23 расчет производительности, га/ч N=Nenom;
if N>Nenom ;W=W; else W=0.1.*Vpi.*Vpi.*tau_sm; end
%if Sigma>Sigma_adm
% W=W;
%if Sigma<Sigma_adm
% 1.23 расчет производительности, га/ч N=Nenom;
%elseif N>Nenom; W=W;
%else W=0.1.*Vpi.*Vpi.*tau_sm;
%end;
% 1.25 расчет удельных энергозатрат на изготовление, ТО, СХМ 's'

```

```

%n=Bpi/DBP;
EU_comt=((Eizgt+Eto+Etrt+Ekrt)*Ntrakt)/(W.*Tgodt.*Tslujbit);
Mcxm=-827.4660701305418+1533.3495749678086*Bpi-33.096534536363*Bpi^2;%масса схм в зависимости от Bp
Eizgs=80*Mcxm/Bpi; Etos=Eizgs/4.12;
EU_coms=(Ntrakt*Bpi*(Eizgs+Etos))/(W.*Tgodt.*Tslujbis);
% 1.26 расчет удельных энергозатрат на изготовление, ТО, сцепки СП-16'sc'
%Eizgsc=76800 ; Etosc=6000; Tgodsc=350; Tslujbisc=8;
EU_comsc=0;
% 1.27 расчет энергии на перестроение из рабочего положения в транспортное и обратно, МДж
n=0;
%Eper=(2.*(0.135.*Bpi-0.578).*(n+1)+Ktr)/Fpolya;
%для посевных комплексов
%Eper=(2.*(Bpi./60).*(n+1)*Ktr)/Fpolya;
Eper=(Ntrakt.*Q.*(2.*(Bpi./60).*(n+1)*Ktr))/Fpolya^2;
% где n - число СХМ в МТА
% 1.28 расчет энергии на управление МТА, МДж
n_meh=1;
n_vsp=0;
E_upr=(n_meh+n_vsp).*W.*Ktr.*Ntrakt;
% 1.29 часовой расход топлива под погрузку, кг
% 1.30 расчет энергозатрат выражаемых через топливо, МДж
Etsm=(Ktsm.*(Gp.*tau_sm+Ghol_per.*(tau5+tau2).*tau_sm+Ghh.*((tau3+tau4).*tau_sm+0.72)))/W;
% 1.31 расчет расхода топлива на 1ч работы, кг/ч
Gh=Etsm/Ktsm;
% 1.32 расчет энергозатрат потерянных с урожаем из-за воздействия движителей трактора
if t<=3
%Bdvigit=Bdvigit1;
X8=N2-1;

```

```

Ea=0;
    for B6=1:X8,
        if N2>1
            N2=N2-1;
        end
    end
    N2=N2-1;
    Ez=Ea+W.*N2.*X8.*Ntrakt.*Tdnev.*E2;
Eua=Ez/Q;
% 1.35 расчет совокупных энергозатрат, МДж/га
    if Sigma>Sigma_adm
        %ES=ES1;
        ES=ES;
        %ES=10000000;
    elseif N>Nenom; %ES=ES1;
        ES=ES;
    else ES=EU_comt+EU_coms+EU_comsc+Eper+Eup+E_upr+Etsm+Eua;
    end;
    E= EU_comt+EU_coms+EU_comsc;
end
    Vp=Vpi; Bp=Bpi;
    % if N>Nenom
% Vpi=Vp_max;
%else
%Формирование 3-х мерного массива выходных данных
    BVF(nMt,nNe,nB,nV,:)= [Mti,Nenom,Bp,Vp,tau_sm,K,KPD_u_tyag,N,Sigma,W,Gh,E,Eper,E_upr,Etsm,Eup/1000,Eua/1000,ES/1000];
%Формирование двумерного массива выходных данных
    A(1,:)= [Mti,Bp,Vp,tau_sm,K,KPD_u_tyag,N,Sigma,Pkr,W,Gh,E,Eper,E_upr,Etsm,Eup/1000,Eua/1000,ES/1000,Nenom];
l=l+1;%это счетчик двумерного массива

```

```

Vpi=Vpi+DVP;
  nV=nV+1;
end
Bpi=Bpi+DBP;
nB=nB+1;
Vpi=Vo;
'*****',
end
Nenom=Nenom+DNP;
  nNe=nNe+1;
  Bpi=CXM(k,9);
end
Mti=Mti+DMP;
  nMt=nMt+1;
  Nenom=Nenomi;
end

```

Пример расчета оптимальных параметров и режимов работы МТА годовой нагрузки трактора

Исходные данные для расчета:

- Введите площадь поля, га. =100
- Введите длину гона, км. =1
- Введите расстояние переезда, км. =3
- Введите плотность семян, кг/м³ =800
- Введите коэффициент прочности несущей поверхности =0.95
- Введите объем работы, га =1000
- Введите количество тракторов выполняющих операцию =1
- Введите число часов работы в сутки =14
- Введите планируемую урожайность основной и побочной продукции, ц/га. =40
- Введите давление в шинах (от 0,08 до 0,2), МПа =0.16
- Введите число колес на одном борту трактора (1 или 2 или 3 и т.д.) =1
- Введите коэффициент сцепления колес с почвой =0.6
- Введите коэффициент сопротивления перекачиванию колес трактора =0.17
- Введите коэффициент распределения сцепного веса колес =0.95
- TRACTOR = Проектируемый

Результаты расчетов:

| Mtr | Vp, | Vp, | tau_sm, K, | KPD, | N, | Букс., | W, | Gh, | Еам.кр.тр.то, | Eper, | E_upr, | Etsm, Eup/1000, Eua/1000, ES/1000, Nenom |
|-----|-----|-----|----------------|---------|--------|--------|--------|-----|---------------|--------|--------------|--|
| 100 | 9 | 12 | 0.54666 4.275 | 0.59728 | 284.89 | 9.3488 | 38.475 | 0.1 | 405.04 | 6519.8 | 0.06 0.2 | 20252 22.819 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 5 | 0.61878 4 | 0.60168 | 122.51 | 9.7475 | 40 | 0.1 | 313.43 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 15671 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 6 | 0.60267 4.0347 | 0.60262 | 148.05 | 9.8394 | 40.347 | 0.1 | 327.62 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 16381 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 7 | 0.58737 4.0711 | 0.60357 | 174.01 | 9.9366 | 40.711 | 0.1 | 341.6 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 17080 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 8 | 0.57283 4.1092 | 0.60453 | 200.41 | 10.039 | 41.092 | 0.1 | 355.41 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 17770 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 9 | 0.55899 4.1487 | 0.6055 | 227.27 | 10.145 | 41.487 | 0.1 | 369.1 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 18455 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 10 | 0.5458 4.1896 | 0.60647 | 254.6 | 10.257 | 41.896 | 0.1 | 382.7 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 19135 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 11 | 0.53323 4.2317 | 0.60744 | 282.42 | 10.372 | 42.317 | 0.1 | 396.27 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 19813 20.537 244.8 40.717 100 |
| 100 | 10 | 12 | 0.52122 4.275 | 0.60839 | 310.76 | 10.492 | 42.75 | 0.1 | 409.83 | 6928.6 | 0.066667 0.2 | 20491 20.537 244.8 40.717 100 |

Приложение В. Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 100 | 11 | 5 | 0.60994 | 4 | 0.61093 | 132.72 | 10.845 | 44 | 0.1 | 318.4 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 15920 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 6 | 0.59332 | 4.0347 | 0.61164 | 160.45 | 10.955 | 44.381 | 0.1 | 333.64 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 16682 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 7 | 0.57758 | 4.0711 | 0.61236 | 188.67 | 11.072 | 44.783 | 0.1 | 348.66 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 17433 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 8 | 0.56265 | 4.1092 | 0.61307 | 217.38 | 11.195 | 45.201 | 0.1 | 363.51 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 18175 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 9 | 0.54848 | 4.1487 | 0.61378 | 246.62 | 11.325 | 45.636 | 0.1 | 378.24 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 18912 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 10 | 0.535 | 4.1896 | 0.61446 | 276.42 | 11.461 | 46.085 | 0.1 | 392.9 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 19645 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 100 | 11 | 11 | 0.52217 | 4.2317 | 0.61513 | 306.78 | 11.602 | 46.549 | 0.1 | 407.54 | 7307.4 | 0.073333 | 0.2 | 20377 | 18.67 | 244.8 | 40.717 | 100 |
| 130 | 6 | 5 | 0.65766 | 4 | 0.47259 | 93.581 | 4.4447 | 24 | 1.973 | 15.318 | 287.63 | 0.04 | 3.946 | 765.9 | 42.89 | 12.08 | 56.028 | 400 |
| 130 | 6 | 6 | 0.64422 | 4.0347 | 0.47436 | 112.85 | 4.4832 | 24.208 | 2.3192 | 13.531 | 244.69 | 0.04 | 4.6384 | 676.54 | 42.89 | 10.225 | 54.041 | 400 |
| 130 | 6 | 7 | 0.63131 | 4.0711 | 0.47619 | 132.34 | 4.5238 | 24.427 | 2.6515 | 12.265 | 214.02 | 0.04 | 5.303 | 613.26 | 42.89 | 8.9015 | 52.624 | 400 |
| 130 | 6 | 8 | 0.61891 | 4.1092 | 0.47809 | 152.05 | 4.5661 | 24.655 | 2.9708 | 11.326 | 191.02 | 0.04 | 5.9415 | 566.29 | 42.89 | 7.908 | 51.562 | 400 |
| 130 | 6 | 9 | 0.60699 | 4.1487 | 0.48003 | 172 | 4.61 | 24.892 | 3.2777 | 10.605 | 173.13 | 0.04 | 6.5555 | 530.23 | 42.89 | 7.1332 | 50.733 | 400 |
| 130 | 6 | 10 | 0.59552 | 4.1896 | 0.48201 | 192.2 | 4.6555 | 25.138 | 3.5731 | 10.036 | 158.82 | 0.04 | 7.1462 | 501.81 | 42.89 | 6.5174 | 50.075 | 400 |
| 130 | 6 | 11 | 0.58447 | 4.2317 | 0.48403 | 212.66 | 4.7023 | 25.39 | 3.8575 | 9.5797 | 147.11 | 0.04 | 7.715 | 478.98 | 42.89 | 6.0071 | 49.531 | 400 |
| 130 | 6 | 12 | 0.57383 | 4.275 | 0.48607 | 233.38 | 4.7504 | 25.65 | 4.1316 | 9.2072 | 137.35 | 0.04 | 8.2631 | 460.36 | 42.89 | 5.5861 | 49.082 | 400 |
| 130 | 7 | 5 | 0.64779 | 4 | 0.5034 | 102.5 | 5.186 | 28 | 2.2673 | 13.521 | 272.28 | 0.046667 | 4.5345 | 676.03 | 36.763 | 10.466 | 48.182 | 400 |
| 130 | 7 | 6 | 0.63363 | 4.0347 | 0.50508 | 123.65 | 5.231 | 28.243 | 2.6612 | 11.989 | 231.97 | 0.046667 | 5.3225 | 599.47 | 36.763 | 8.8667 | 46.467 | 400 |
| 130 | 7 | 7 | 0.62008 | 4.0711 | 0.50682 | 145.06 | 5.2784 | 28.498 | 3.0384 | 10.907 | 203.18 | 0.046667 | 6.0767 | 545.34 | 36.763 | 7.7214 | 45.239 | 400 |
| 130 | 7 | 8 | 0.60709 | 4.1092 | 0.50861 | 166.75 | 5.3278 | 28.764 | 3.3997 | 10.105 | 181.58 | 0.046667 | 6.7994 | 505.25 | 36.763 | 6.8674 | 44.324 | 400 |
| 130 | 7 | 9 | 0.59463 | 4.1487 | 0.51045 | 188.71 | 5.3791 | 29.041 | 3.7462 | 9.4912 | 164.79 | 0.046667 | 7.4924 | 474.56 | 36.763 | 6.1995 | 43.609 | 400 |
| 130 | 7 | 10 | 0.58268 | 4.1896 | 0.51232 | 210.97 | 5.4322 | 29.327 | 4.0788 | 9.0092 | 151.35 | 0.046667 | 8.1575 | 450.46 | 36.763 | 5.6621 | 43.035 | 400 |
| 130 | 7 | 11 | 0.5712 | 4.2317 | 0.51423 | 233.53 | 5.4868 | 29.622 | 4.3982 | 8.6235 | 140.36 | 0.046667 | 8.7964 | 431.18 | 36.763 | 5.2266 | 42.57 | 400 |
| 130 | 7 | 12 | 0.56016 | 4.275 | 0.51615 | 256.41 | 5.5431 | 29.925 | 4.7053 | 8.3105 | 131.2 | 0.046667 | 9.4107 | 415.53 | 36.763 | 4.8634 | 42.183 | 400 |
| 130 | 8 | 5 | 0.63819 | 4 | 0.52861 | 111.55 | 5.9283 | 32 | 2.5528 | 12.179 | 260.18 | 0.053333 | 5.1055 | 608.93 | 32.168 | 9.2596 | 42.302 | 400 |
| 130 | 8 | 6 | 0.62337 | 4.0347 | 0.53018 | 134.62 | 5.9799 | 32.277 | 2.9922 | 10.839 | 221.98 | 0.053333 | 5.9843 | 541.97 | 32.168 | 7.848 | 40.786 | 400 |
| 130 | 8 | 7 | 0.60922 | 4.0711 | 0.53181 | 157.99 | 6.0341 | 32.569 | 3.4116 | 9.8944 | 194.68 | 0.053333 | 6.8233 | 494.72 | 32.168 | 6.8413 | 39.705 | 400 |
| 130 | 8 | 8 | 0.5957 | 4.1092 | 0.53349 | 181.68 | 6.0907 | 32.874 | 3.8125 | 9.1963 | 174.21 | 0.053333 | 7.625 | 459.81 | 32.168 | 6.0832 | 38.893 | 400 |
| 130 | 8 | 9 | 0.58277 | 4.1487 | 0.5352 | 205.7 | 6.1495 | 33.19 | 4.1959 | 8.6634 | 158.29 | 0.053333 | 8.3919 | 433.17 | 32.168 | 5.4987 | 38.266 | 400 |
| 130 | 8 | 10 | 0.57039 | 4.1896 | 0.53695 | 230.05 | 6.2103 | 33.517 | 4.5631 | 8.2466 | 145.56 | 0.053333 | 9.1262 | 412.33 | 32.168 | 5.0241 | 37.759 | 400 |
| 130 | 8 | 11 | 0.55852 | 4.2317 | 0.53872 | 254.76 | 6.273 | 33.854 | 4.915 | 7.9146 | 135.14 | 0.053333 | 9.8299 | 395.73 | 32.168 | 4.6386 | 37.347 | 400 |
| 130 | 8 | 12 | 0.54714 | 4.275 | 0.54051 | 279.83 | 6.3374 | 34.2 | 5.2525 | 7.6468 | 126.45 | 0.053333 | 10.505 | 382.34 | 32.168 | 4.3179 | 37.005 | 400 |
| 130 | 9 | 5 | 0.63565 | 4 | 0.54936 | 120.76 | 6.6729 | 36 | 2.8604 | 11.094 | 247.54 | 0.06 | 5.7208 | 554.7 | 28.593 | 8.2266 | 37.628 | 400 |
| 130 | 9 | 6 | 0.6212 | 4.0347 | 0.55082 | 145.78 | 6.7311 | 36.312 | 3.3545 | 9.9047 | 211.08 | 0.06 | 6.709 | 495.24 | 28.593 | 6.9614 | 36.268 | 400 |
| 130 | 9 | 7 | 0.6074 | 4.0711 | 0.55233 | 171.14 | 6.7924 | 36.64 | 3.8266 | 9.0672 | 185.03 | 0.06 | 7.6532 | 453.36 | 28.593 | 6.059 | 35.299 | 400 |
| 130 | 9 | 8 | 0.59419 | 4.1092 | 0.55388 | 196.87 | 6.8564 | 36.983 | 4.2782 | 8.4502 | 165.5 | 0.06 | 8.5564 | 422.51 | 28.593 | 5.3825 | 34.573 | 400 |
| 130 | 9 | 9 | 0.58155 | 4.1487 | 0.55546 | 222.97 | 6.9229 | 37.339 | 4.7106 | 7.9808 | 150.31 | 0.06 | 9.4211 | 399.04 | 28.593 | 4.8578 | 34.01 | 400 |
| 130 | 9 | 10 | 0.56943 | 4.1896 | 0.55707 | 249.46 | 6.9917 | 37.706 | 5.1249 | 7.6152 | 138.16 | 0.06 | 10.25 | 380.76 | 28.593 | 4.4387 | 33.561 | 400 |

Приложение В. Продолжение

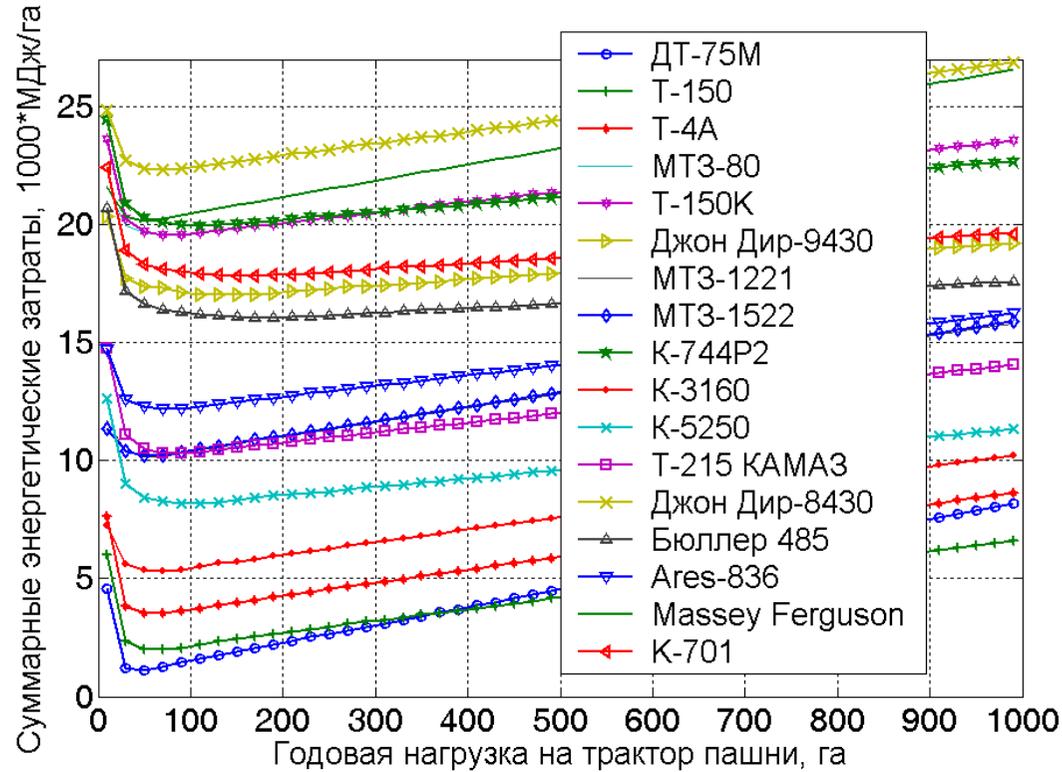
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 130 | 10 | 10 | 0.5458 | 4.1896 | 0.57355 | 269.21 | 7.7794 | 41.896 | 5.458 | 7.2047 | 137.22 | 0.066667 | 10.916 | 360.23 | 25.734 | 4.1461 | 30.389 | 400 |
| 130 | 10 | 11 | 0.53323 | 4.2317 | 0.57503 | 298.34 | 7.8591 | 42.317 | 5.8655 | 6.9494 | 127.68 | 0.066667 | 11.731 | 347.47 | 25.734 | 3.8321 | 30.053 | 400 |
| 130 | 10 | 12 | 0.52122 | 4.275 | 0.57652 | 327.94 | 7.9412 | 42.75 | 6.2546 | 6.7465 | 119.74 | 0.066667 | 12.509 | 337.32 | 25.734 | 3.5689 | 29.773 | 400 |
| 130 | 11 | 5 | 0.60994 | 4 | 0.58065 | 139.64 | 8.1791 | 44 | 3.3547 | 9.6487 | 234.54 | 0.073333 | 6.7093 | 482.43 | 23.395 | 6.961 | 31.079 | 400 |
| 130 | 11 | 6 | 0.59332 | 4.0347 | 0.58186 | 168.67 | 8.252 | 44.381 | 3.9159 | 8.6777 | 200.93 | 0.073333 | 7.8318 | 433.89 | 23.395 | 5.9136 | 29.951 | 400 |
| 130 | 11 | 7 | 0.57758 | 4.0711 | 0.58311 | 198.13 | 8.3287 | 44.783 | 4.4473 | 7.9972 | 176.92 | 0.073333 | 8.8947 | 399.86 | 23.395 | 5.1677 | 29.148 | 400 |
| 130 | 11 | 8 | 0.56265 | 4.1092 | 0.58439 | 228.05 | 8.409 | 45.201 | 4.9513 | 7.4989 | 158.91 | 0.073333 | 9.9027 | 374.94 | 23.395 | 4.602 | 28.541 | 400 |
| 130 | 11 | 9 | 0.54848 | 4.1487 | 0.58569 | 258.45 | 8.4926 | 45.636 | 5.4299 | 7.1228 | 144.9 | 0.073333 | 10.86 | 356.14 | 23.395 | 4.168 | 28.075 | 400 |
| 130 | 11 | 10 | 0.535 | 4.1896 | 0.587 | 289.35 | 8.5792 | 46.085 | 5.885 | 6.8329 | 133.7 | 0.073333 | 11.77 | 341.65 | 23.395 | 3.819 | 27.701 | 400 |
| 130 | 11 | 11 | 0.52217 | 4.2317 | 0.58833 | 320.76 | 8.6687 | 46.549 | 6.3183 | 6.6064 | 124.53 | 0.073333 | 12.637 | 330.32 | 23.395 | 3.5303 | 27.393 | 400 |
| 130 | 11 | 12 | 0.50994 | 4.275 | 0.58965 | 352.7 | 8.761 | 47.025 | 6.7312 | 6.4279 | 116.89 | 0.073333 | 13.462 | 321.4 | 23.395 | 3.291 | 27.137 | 400 |
| 130 | 12 | 5 | 0.60132 | 4 | 0.59227 | 149.34 | 8.951 | 48 | 3.6079 | 9.0939 | 227.75 | 0.08 | 7.2158 | 454.69 | 21.445 | 6.4486 | 28.583 | 400 |
| 130 | 12 | 6 | 0.58424 | 4.0347 | 0.59335 | 180.44 | 9.0325 | 48.416 | 4.2065 | 8.2053 | 195.34 | 0.08 | 8.413 | 410.27 | 21.445 | 5.4841 | 27.543 | 400 |
| 130 | 12 | 7 | 0.5681 | 4.0711 | 0.59446 | 212.02 | 9.1185 | 48.854 | 4.772 | 7.5842 | 172.19 | 0.08 | 9.544 | 379.21 | 21.445 | 4.7932 | 26.799 | 400 |
| 130 | 12 | 8 | 0.55283 | 4.1092 | 0.59559 | 244.11 | 9.2086 | 49.31 | 5.3071 | 7.1311 | 154.83 | 0.08 | 10.614 | 356.56 | 21.445 | 4.2696 | 26.237 | 400 |
| 130 | 12 | 9 | 0.53835 | 4.1487 | 0.59673 | 276.73 | 9.3026 | 49.785 | 5.8142 | 6.7908 | 141.33 | 0.08 | 11.628 | 339.54 | 21.445 | 3.8674 | 25.805 | 400 |
| 130 | 12 | 10 | 0.52462 | 4.1896 | 0.59788 | 309.91 | 9.4002 | 50.275 | 6.2954 | 6.5301 | 130.52 | 0.08 | 12.591 | 326.5 | 21.445 | 3.5439 | 25.459 | 400 |
| 130 | 12 | 11 | 0.51157 | 4.2317 | 0.59903 | 343.66 | 9.5012 | 50.78 | 6.7527 | 6.328 | 121.68 | 0.08 | 13.505 | 316.4 | 21.445 | 3.2792 | 25.176 | 400 |
| 130 | 12 | 12 | 0.49915 | 4.275 | 0.60019 | 378.01 | 9.6057 | 51.3 | 7.1878 | 6.1707 | 114.32 | 0.08 | 14.376 | 308.53 | 21.445 | 3.0653 | 24.948 | 400 |
| 130 | 13 | 5 | 0.59292 | 4 | 0.60168 | 159.26 | 9.7475 | 52 | 3.854 | 8.6294 | 221.49 | 0.086667 | 7.7079 | 431.47 | 19.795 | 6.013 | 26.469 | 400 |
| 130 | 13 | 6 | 0.57541 | 4.0347 | 0.60262 | 192.47 | 9.8394 | 52.451 | 4.4882 | 7.8109 | 190.19 | 0.086667 | 8.9764 | 390.55 | 19.795 | 5.117 | 25.502 | 400 |
| 130 | 13 | 7 | 0.55891 | 4.0711 | 0.60357 | 226.22 | 9.9366 | 52.925 | 5.0861 | 7.2405 | 167.83 | 0.086667 | 10.172 | 362.03 | 19.795 | 4.4756 | 24.811 | 400 |
| 130 | 13 | 8 | 0.54333 | 4.1092 | 0.60453 | 260.54 | 10.039 | 53.42 | 5.6506 | 6.8261 | 151.06 | 0.086667 | 11.301 | 341.31 | 19.795 | 3.9889 | 24.288 | 400 |
| 130 | 13 | 9 | 0.52859 | 4.1487 | 0.6055 | 295.45 | 10.145 | 53.933 | 6.1846 | 6.5166 | 138.02 | 0.086667 | 12.369 | 325.83 | 19.795 | 3.6132 | 23.885 | 400 |
| 130 | 13 | 10 | 0.51464 | 4.1896 | 0.60647 | 330.98 | 10.257 | 54.465 | 6.6903 | 6.2812 | 127.59 | 0.086667 | 13.381 | 314.06 | 19.795 | 3.3139 | 23.565 | 400 |
| 130 | 13 | 11 | 0.5014 | 4.2317 | 0.60744 | 367.15 | 10.372 | 55.012 | 7.17 | 6.1006 | 119.05 | 0.086667 | 14.34 | 305.03 | 19.795 | 3.0746 | 23.309 | 400 |
| 130 | 13 | 12 | 0.48882 | 4.275 | 0.60839 | 403.99 | 10.492 | 55.575 | 0.1 | 454.63 | 8536.1 | 0.086667 | 0.2 | 22732 | 19.795 | 244.8 | 23.309 | 400 |
| 130 | 14 | 5 | 0.58472 | 4 | 0.60909 | 169.42 | 10.584 | 56 | 4.0931 | 8.2368 | 215.61 | 0.093333 | 8.1861 | 411.84 | 18.382 | 5.6411 | 24.658 | 400 |
| 130 | 14 | 6 | 0.56683 | 4.0347 | 0.60985 | 204.81 | 10.689 | 56.485 | 4.7614 | 7.4787 | 185.35 | 0.093333 | 9.5228 | 373.94 | 18.382 | 4.8053 | 23.756 | 400 |
| 130 | 14 | 7 | 0.55001 | 4.0711 | 0.61063 | 240.8 | 10.8 | 56.996 | 5.3901 | 6.9523 | 163.73 | 0.093333 | 10.78 | 347.62 | 18.382 | 4.2 | 23.104 | 400 |
| 130 | 14 | 8 | 0.53415 | 4.1092 | 0.61141 | 277.42 | 10.918 | 57.529 | 5.9825 | 6.5716 | 147.52 | 0.093333 | 11.965 | 328.58 | 18.382 | 3.7528 | 22.623 | 400 |
| 130 | 14 | 9 | 0.51918 | 4.1487 | 0.61218 | 314.71 | 11.041 | 58.082 | 6.5417 | 6.2891 | 134.91 | 0.093333 | 13.083 | 314.45 | 18.382 | 3.4019 | 22.246 | 400 |
| 130 | 14 | 10 | 0.50503 | 4.1896 | 0.61293 | 352.68 | 11.171 | 58.654 | 7.0704 | 6.0762 | 124.82 | 0.093333 | 14.141 | 303.81 | 18.382 | 3.1208 | 21.945 | 400 |
| 130 | 14 | 11 | 0.49163 | 4.2317 | 0.61367 | 391.38 | 11.306 | 59.244 | 7.5711 | 5.9148 | 116.56 | 0.093333 | 15.142 | 295.74 | 18.382 | 2.8858 | 21.695 | 400 |
| 130 | 14 | 12 | 0.47892 | 4.275 | 0.61439 | 430.82 | 11.446 | 59.85 | 0.1 | 466.1 | 8825.2 | 0.093333 | 0.2 | 23305 | 18.382 | 244.8 | 21.695 | 400 |
| 130 | 15 | 5 | 0.57673 | 4 | 0.61456 | 179.91 | 11.481 | 60 | 4.3255 | 7.9027 | 210.02 | 0.1 | 8.651 | 395.13 | 17.156 | 5.319 | 23.089 | 400 |
| 130 | 15 | 6 | 0.55849 | 4.0347 | 0.61513 | 217.56 | 11.604 | 60.52 | 5.0264 | 7.1976 | 180.73 | 0.1 | 10.053 | 359.88 | 17.156 | 4.5299 | 22.237 | 400 |

Приложение В. Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 130 | 11 | 9 | 0.54848 | 4.1487 | 0.58569 | 258.45 | 8.4926 | 45.636 | 5.4299 | 7.1228 | 144.9 | 0.073333 | 10.86 | 356.14 | 23.395 | 4.168 | 28.075 | 500 |
| 130 | 11 | 10 | 0.535 | 4.1896 | 0.587 | 289.35 | 8.5792 | 46.085 | 5.885 | 6.8329 | 133.7 | 0.073333 | 11.77 | 341.65 | 23.395 | 3.819 | 27.701 | 500 |
| 130 | 11 | 11 | 0.52217 | 4.2317 | 0.58833 | 320.76 | 8.6687 | 46.549 | 6.3183 | 6.6064 | 124.53 | 0.073333 | 12.637 | 330.32 | 23.395 | 3.5303 | 27.393 | 500 |
| 130 | 11 | 12 | 0.50994 | 4.275 | 0.58965 | 352.7 | 8.761 | 47.025 | 6.7312 | 6.4279 | 116.89 | 0.073333 | 13.462 | 321.4 | 23.395 | 3.291 | 27.137 | 500 |
| 130 | 12 | 5 | 0.60132 | 4 | 0.59227 | 149.34 | 8.951 | 48 | 3.6079 | 9.0939 | 227.75 | 0.08 | 7.2158 | 454.69 | 21.445 | 6.4486 | 28.583 | 500 |
| 130 | 12 | 6 | 0.58424 | 4.0347 | 0.59335 | 180.44 | 9.0325 | 48.416 | 4.2065 | 8.2053 | 195.34 | 0.08 | 8.413 | 410.27 | 21.445 | 5.4841 | 27.543 | 500 |
| 130 | 12 | 7 | 0.5681 | 4.0711 | 0.59446 | 212.02 | 9.1185 | 48.854 | 4.772 | 7.5842 | 172.19 | 0.08 | 9.544 | 379.21 | 21.445 | 4.7932 | 26.799 | 500 |
| 130 | 12 | 8 | 0.55283 | 4.1092 | 0.59559 | 244.11 | 9.2086 | 49.31 | 5.3071 | 7.1311 | 154.83 | 0.08 | 10.614 | 356.56 | 21.445 | 4.2696 | 26.237 | 500 |
| 130 | 12 | 9 | 0.53835 | 4.1487 | 0.59673 | 276.73 | 9.3026 | 49.785 | 5.8142 | 6.7908 | 141.33 | 0.08 | 11.628 | 339.54 | 21.445 | 3.8674 | 25.805 | 500 |
| 130 | 12 | 10 | 0.52462 | 4.1896 | 0.59788 | 309.91 | 9.4002 | 50.275 | 6.2954 | 6.5301 | 130.52 | 0.08 | 12.591 | 326.5 | 21.445 | 3.5439 | 25.459 | 500 |
| 130 | 12 | 11 | 0.51157 | 4.2317 | 0.59903 | 343.66 | 9.5012 | 50.78 | 6.7527 | 6.328 | 121.68 | 0.08 | 13.505 | 316.4 | 21.445 | 3.2792 | 25.176 | 500 |
| 130 | 12 | 12 | 0.49915 | 4.275 | 0.60019 | 378.01 | 9.6057 | 51.3 | 7.1878 | 6.1707 | 114.32 | 0.08 | 14.376 | 308.53 | 21.445 | 3.0653 | 24.948 | 500 |
| 130 | 13 | 5 | 0.59292 | 4 | 0.60168 | 159.26 | 9.7475 | 52 | 3.854 | 8.6294 | 221.49 | 0.086667 | 7.7079 | 431.47 | 19.795 | 6.013 | 26.469 | 500 |
| 130 | 13 | 6 | 0.57541 | 4.0347 | 0.60262 | 192.47 | 9.8394 | 52.451 | 4.4882 | 7.8109 | 190.19 | 0.086667 | 8.9764 | 390.55 | 19.795 | 5.117 | 25.502 | 500 |
| 130 | 13 | 7 | 0.55891 | 4.0711 | 0.60357 | 226.22 | 9.9366 | 52.925 | 5.0861 | 7.2405 | 167.83 | 0.086667 | 10.172 | 362.03 | 19.795 | 4.4756 | 24.811 | 500 |
| 130 | 13 | 8 | 0.54333 | 4.1092 | 0.60453 | 260.54 | 10.039 | 53.42 | 5.6506 | 6.8261 | 151.06 | 0.086667 | 11.301 | 341.31 | 19.795 | 3.9889 | 24.288 | 500 |
| 130 | 13 | 9 | 0.52859 | 4.1487 | 0.6055 | 295.45 | 10.145 | 53.933 | 6.1846 | 6.5166 | 138.02 | 0.086667 | 12.369 | 325.83 | 19.795 | 3.6132 | 23.885 | 500 |
| 130 | 13 | 10 | 0.51464 | 4.1896 | 0.60647 | 330.98 | 10.257 | 54.465 | 6.6903 | 6.2812 | 127.59 | 0.086667 | 13.381 | 314.06 | 19.795 | 3.3139 | 23.565 | 500 |
| 130 | 13 | 11 | 0.5014 | 4.2317 | 0.60744 | 367.15 | 10.372 | 55.012 | 7.17 | 6.1006 | 119.05 | 0.086667 | 14.34 | 305.03 | 19.795 | 3.0746 | 23.309 | 500 |
| 130 | 13 | 12 | 0.48882 | 4.275 | 0.60839 | 403.99 | 10.492 | 55.575 | 7.6256 | 5.9619 | 111.94 | 0.086667 | 15.251 | 298.1 | 19.795 | 2.863 | 23.084 | 500 |
| 130 | 14 | 5 | 0.58472 | 4 | 0.60909 | 169.42 | 10.584 | 56 | 4.0931 | 8.2368 | 215.61 | 0.093333 | 8.1861 | 411.84 | 18.382 | 5.6411 | 24.658 | 500 |
| 130 | 14 | 6 | 0.56683 | 4.0347 | 0.60985 | 204.81 | 10.689 | 56.485 | 4.7614 | 7.4787 | 185.35 | 0.093333 | 9.5228 | 373.94 | 18.382 | 4.8053 | 23.756 | 500 |
| 130 | 14 | 7 | 0.55001 | 4.0711 | 0.61063 | 240.8 | 10.8 | 56.996 | 5.3901 | 6.9523 | 163.73 | 0.093333 | 10.78 | 347.62 | 18.382 | 4.2 | 23.104 | 500 |
| 130 | 14 | 8 | 0.53415 | 4.1092 | 0.61141 | 277.42 | 10.918 | 57.529 | 5.9825 | 6.5716 | 147.52 | 0.093333 | 11.965 | 328.58 | 18.382 | 3.7528 | 22.623 | 500 |
| 130 | 14 | 9 | 0.51918 | 4.1487 | 0.61218 | 314.71 | 11.041 | 58.082 | 6.5417 | 6.2891 | 134.91 | 0.093333 | 13.083 | 314.45 | 18.382 | 3.4019 | 22.246 | 500 |
| 130 | 14 | 10 | 0.50503 | 4.1896 | 0.61293 | 352.68 | 11.171 | 58.654 | 7.0704 | 6.0762 | 124.82 | 0.093333 | 14.141 | 303.81 | 18.382 | 3.1208 | 21.945 | 500 |
| 130 | 14 | 11 | 0.49163 | 4.2317 | 0.61367 | 391.38 | 11.306 | 59.244 | 7.5711 | 5.9148 | 116.56 | 0.093333 | 15.142 | 295.74 | 18.382 | 2.8858 | 21.695 | 500 |
| 130 | 14 | 12 | 0.47892 | 4.275 | 0.61439 | 430.82 | 11.446 | 59.85 | 8.0458 | 5.7931 | 109.69 | 0.093333 | 16.092 | 289.65 | 18.382 | 2.6995 | 21.497 | 500 |
| 130 | 15 | 5 | 0.57673 | 4 | 0.61456 | 179.91 | 11.481 | 60 | 4.3255 | 7.9027 | 210.02 | 0.1 | 8.651 | 395.13 | 17.156 | 5.319 | 23.089 | 500 |
| 130 | 15 | 6 | 0.55849 | 4.0347 | 0.61513 | 217.56 | 11.604 | 60.52 | 5.0264 | 7.1976 | 180.73 | 0.1 | 10.053 | 359.88 | 17.156 | 4.5299 | 22.237 | 500 |
| 130 | 15 | 7 | 0.54137 | 4.0711 | 0.6157 | 255.88 | 11.735 | 61.067 | 5.6844 | 6.7099 | 159.81 | 0.1 | 11.369 | 335.49 | 17.156 | 3.9626 | 21.626 | 500 |
| 130 | 15 | 8 | 0.52527 | 4.1092 | 0.61625 | 294.9 | 11.874 | 61.638 | 6.3032 | 6.3592 | 144.12 | 0.1 | 12.606 | 317.96 | 17.156 | 3.5392 | 21.17 | 500 |
| 130 | 15 | 9 | 0.5101 | 4.1487 | 0.61678 | 334.67 | 12.02 | 62.231 | 6.8863 | 6.1009 | 131.92 | 0.1 | 13.773 | 305.04 | 17.156 | 3.2089 | 20.816 | 500 |
| 130 | 15 | 10 | 0.49578 | 4.1896 | 0.61727 | 375.22 | 12.174 | 62.844 | 7.4366 | 5.9083 | 122.16 | 0.1 | 14.873 | 295.42 | 17.156 | 2.9447 | 20.533 | 500 |
| 130 | 15 | 11 | 0.48224 | 4.2317 | 0.61774 | 416.57 | 12.336 | 63.475 | 7.9569 | 5.7647 | 114.17 | 0.1 | 15.914 | 288.24 | 17.156 | 2.7368 | 20.311 | 500 |
| 130 | 15 | 12 | 0.46942 | 4.275 | 0.61816 | 458.78 | 12.505 | 64.125 | 8.4495 | 5.6589 | 107.51 | 0.1 | 16.899 | 282.95 | 17.156 | 2.548 | 20.112 | 500 |
| 130 | 16 | 5 | 0.56893 | 4 | 0.61808 | 190.81 | 12.472 | 64 | 4.5514 | 7.6179 | 204.63 | 0.10667 | 9.1029 | 380.9 | 16.084 | 5.0382 | 21.717 | 500 |

Приложение В. Продолжение

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 130 | 16 | 6 | 0.55037 | 4.0347 | 0.61841 | 230.84 | 12.619 | 64.555 | 5.2836 | 6.9598 | 176.27 | 0.10667 | 10.567 | 347.99 | 16.084 | 4.2902 | 20.909 | 500 |
| 130 | 16 | 7 | 0.53299 | 4.0711 | 0.6187 | 271.61 | 12.777 | 65.138 | 5.9695 | 6.5068 | 156.02 | 0.10667 | 11.939 | 325.34 | 16.084 | 3.7624 | 20.34 | 500 |
| 130 | 16 | 8 | 0.51667 | 4.1092 | 0.61897 | 313.18 | 12.945 | 65.747 | 6.6134 | 6.1832 | 140.83 | 0.10667 | 13.227 | 309.16 | 16.084 | 3.3585 | 19.906 | 500 |
| 130 | 16 | 9 | 0.50132 | 4.1487 | 0.61918 | 355.59 | 13.123 | 66.38 | 7.219 | 5.9472 | 129.01 | 0.10667 | 14.438 | 297.36 | 16.084 | 3.0493 | 19.574 | 500 |
| 130 | 16 | 10 | 0.48686 | 4.1896 | 0.61934 | 398.89 | 13.312 | 67.033 | 7.7897 | 5.7737 | 119.56 | 0.10667 | 15.579 | 288.69 | 16.084 | 2.7985 | 19.306 | 500 |
| 130 | 16 | 11 | 0.47321 | 4.2317 | 0.61945 | 443.12 | 13.512 | 67.707 | 8.3284 | 5.6471 | 111.83 | 0.10667 | 16.657 | 282.35 | 16.084 | 2.5905 | 19.085 | 500 |
| 130 | 16 | 12 | 0.4603 | 4.275 | 0.61948 | 488.32 | 13.723 | 68.4 | 8.8377 | 5.5569 | 105.38 | 0.10667 | 17.675 | 277.85 | 16.084 | 2.4274 | 18.912 | 500 |



Ответ:

$V_{opt} = 16.2$ м

$V_{opt} = 11$ км/ч

$E_{min} = 17623$ МДж/га

при годовой нагрузке на трактор DD-9430 160 га.