

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА И АГРЕГАТА ДЛЯ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ ПОЧВЫ С УЧЕТОМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА УРОЖАЙ

Магистрант



Ибатуллин И.И.

Научный руководитель,
д. т. н., профессор



Хафизов К.А.

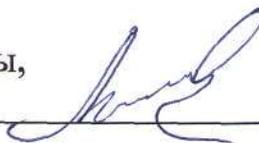
Рецензент, д. т. н., профессор



Галиев И.Г.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол № 7 от 06 02 2020 г.)

Руководитель магистерской программы,
д.т.н., профессор



Адигамов Н.Р.

Казань – 2020 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1. Технологии возделывания зерновых культур в РТ, РФ и за рубежом.....	8
1.1.1 Направления совершенствования агротехнологий в растениеводстве Республики Татарстан.....	12
1.2. Наличие парка техники в РТ.....	13
1.3. Обоснование необходимости глубокой обработки почвы при возделывании зерновых культур в Республике Татарстан.....	15
1.4. Постановка цели и задач исследования.....	19 20
Выводы	
2 УТОЧНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АГРЕГАТА ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ	21
2.1 Общие основы математической модели агрегата для глубокого рыхления почвы.....	21
2.2.1 Теоретические зависимости определения производительности	25
Выводы	32
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	34

3.1.	Программа экспериментальных исследований.....	34
3.2.	Энергетическая оценка глубокорыхлителей	37
3.3.	Методика эксплуатационно-технологических исследований агрегатов для глубокого рыхления почвы.....	41
3.4.	Методика обработки экспериментальных данных.....	43
	Выводы	45
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....		46
4.1	Результаты агротехнической и энергетической оценки агрегатов для глубокого рыхления почвы	46
4.2	Результаты эксплуатационно-технологических исследований агрегатов глубокорыхлителей.....	49
4.3	Проверка на адекватность модуля расчета часовой производительности посевных МТА.....	52
	Выводы	53
5 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРА И АГРЕГАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.....		55
5.1	Алгоритм и блок-схема алгоритма определения основных параметров трактора и глубокорыхлителя	55
5.2	Оптимизация основных параметров трактора, работающего в составе агрегатов для глубокой обработки почвы	57
5.3	Энергетическая и экономическая эффективность реализации результатов исследования.....	63
	Выводы.....	66

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	70
Приложения.....	78

ВВЕДЕНИЕ

Исследование энергетической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур и используемой при этом техники приобретает все большую актуальность в связи с увеличением дополнительных энергозатрат на единицу энергии, полученной через урожай культур, а также в связи с возможным истощением запасов ископаемого топлива.

В предлагаемой магистерской диссертации рассматривается наиболее энергоемкая технологическая операция – глубокое рыхление почвы и обосновываются основные параметры трактора и агрегата с целью снижения энергетических затрат, в том числе и за счет уменьшения количества урожая, которая теряется если параметры трактора и агрегата выбраны не правильно.

Для проведения оптимизационных расчетов выбран критерий оптимизации параметров и режимов работы трактора, сельскохозяйственной машины и агрегата в целом – суммарные энергетические затраты.

Выбранный критерий оптимизации учитывает потери урожая из-за неправильно выбранных параметров техники. Задача исследований – снизить как прямые и косвенные энергетические затраты, так и потери энергии через зерно.

Актуальность работы. Из-за использования технологий минимальной и нулевой обработки почвы в ней накапливается повышенная плотность и твердость, и почва не успевает за счет заморозения и оттаивания, вернуться в равновесное состояние.

Повышенная плотность и твердость почвы приводят к снижению урожайности зерновых и других культур. В связи с этим возникает необходимость периодического глубокого рыхления почвы с целью поддержания ее естественного плодородия.

Поэтому исследования, направленные на оптимизацию параметров и режимов работы тракторов и машинно-тракторных агрегатов при глубоком рыхлении почвы с учетом влияния параметров трактора и агрегата на конечный результат производства, является актуальной задачей.

Объект исследования – машинно-тракторные агрегаты для глубокого рыхления почвы.

Предмет исследования – качественные и количественные взаимосвязи между показателем эффективности – суммарные энергозатраты, параметрами трактора и машинно-тракторного агрегата, урожайностью сельскохозяйственных культур и факторами внешней среды, влияющими на эффективность работы агрегатов.

Цель работы – Повышение энергетической эффективности функционирования агрегатов используемых для глубокого рыхления почвы, за счет оптимизации основных параметров трактора, параметров и режимов работы машинно-тракторного агрегата (МТА).

В связи с этим в магистерской диссертации **поставлены следующие задачи:**

1. Изучить теоретические материалы по технической и производственной эксплуатации агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью создания его математической модели;
2. Разработать программу, методику и провести экспериментальные исследования тракторов и агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью получения недостающих зависимостей энергетической математической модели МТА;
3. Провести вычислительные эксперименты с целью определения оптимальных параметров трактора и агрегата для глубокого рыхления почвы;
4. Составить практические рекомендации по выбору параметров тракторов и сельскохозяйственных машин для глубокого рыхления почвы, определить эффективность их внедрения в производство.

Практическая ценность исследований заключается в том, что предлагаемый метод оптимизации параметров трактора, с учетом его влияния на формируемый урожай позволяет использовать его для подбора агрегатов глубокорыхлителей почвы. Практическое использование результатов исследования ведет к снижению суммарных энергетических затрат до 6000

МДж/га в зависимости от используемых тракторов, глубокорыхлителей и свойств почвы.

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

Публикации. По результатам исследований опубликованы 3 статьи.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов и предложений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 86 страницах, содержит 14 рисунков и 16 таблиц, 60 ссылок на литературу и 4-ех приложений.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Технологии возделывания зерновых культур в РТ, РФ и за рубежом

По затратам ресурсов, количеству и качеству получаемой продукции, уровню интенсивности – технологии (условно) можно разделить на пять категорий [1-6]:

- *обычные* – технологии управления продуктивностью при сильно ограниченных ресурсах производства. Это технологии, в которых растения развиваются за счет естественного плодородия почв, борьба с сорняками механическая, используется вспашка, применение удобрений и химическая защита растений эпизодическое. Техника отечественная, сельхозмашины однооперационные. Результативность данной технологии с максимальным использованием плодородия почвы и ресурсов агроландшафта, с реализацией биологического потенциала сорта более 50% и затратами труда 6,5 чел.-ч/т зерна: 2-3 кг зерна / кг топлива; 3 кг. зерна/ кг д. в. удобрений; 10-12 кг зерна / кг семян; 3-4 кг. зерна / 1 мм осадков;

- *экологические* – технологии управления продуктивностью растений и животных в благоприятных условиях производства. Это технологии, ориентированные на использование естественного плодородия почв, где более 15 лет не применялись химические удобрения и другие химические средства. Плодородие почвы повышается за счет растительных остатков (соломы, стерни, корневых остатков) и технологий их заделки на глубину 2-3 см. (здесь наиболее приемлемы элементы и техника энергосберегающих технологий, но без использования ядохимикатов). Техника отечественная, сельхозмашины для работы по стерне и соломенным остаткам. Главная задача не просто увеличение количества продукции, а получение продукции не вредной для человека, его здоровья;

Таблица 1.1 – Вариант классификации технологий, используемых в растениеводстве

Показатель	Агротехнологии				
	обычные (экстенсивные)	экологические	нормальные	интенсивные	точного земледелия
Техника	Отечественные трактора, комбайны и сельскохозяйственная техника				Прецизионная
Обработка почвы	Обычная, многооперационная с использованием вспашки	Почвозащитная, Комбинированная, разноглубинная	Почвозащитная Комбинированная, разноглубинная	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 и другие севообороты	Ограниченное использование химической защиты,	Интегрированная	Дифференцированная, точная, экологически Сбалансированная (биологическая)
Качество продуктов	Зависит от множества факторов – семян, почвы, погоды и др.	Наименее вредное для живых организмов, особенно – людей	Удовлетворительное	Неустойчиво - плавающее (малоконтролируемое)	С запланированным качеством для нужд отдельных категорий людей (детей, больных и др.)
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

- *нормальные* – технологии управления продуктивностью при ограниченных ресурсах производства. Это технологии минимально обеспеченные минеральными удобрениями и пестицидами, с минимальной обработкой почвы, со средним уровнем культуры земледелия, с удовлетворительным качеством продукции. Используемая техника отечественная, сельхозмашины для работы по стерне и соломенным остаткам, многооперационные;

- *интенсивные* – технологии обеспечивающие реализацию потенциала сорта более 65% и затраты труда менее 4,5 чел.-ч/т зерна, с управлением продуктивностью растений в благоприятных условиях производства. Это технологии, могут обеспечить получение урожая в заданных объемах. Интенсивные технологии предполагают применение интенсивных сортов. Эти технологии могут быть реализованы с использованием отечественных сортов, удобрений и импортных пестицидов. Техника отечественная, сельхозмашины для работы по стерне и соломенным остаткам, многооперационные;

- *технологии точного земледелия* - технологии нового поколения с высоким уровнем знаний, ресурсов интенсификации, использования информации на базе ГИС и on-line сканирования, основанные на современных достижениях научно-технического прогресса в области управления продукционным процессом развития растений, позволяющие выращивать продукцию заданного качества и в запланированных объемах. Эти технологии предполагают использование прецизионной техники, современных препаратов, цифровых карт полей с различной информацией, дифференцированное внесение удобрений, ядохимикатов (смотрите таблицу 1.1). Результативность технологии: 7-9 кг зерна / кг топлива; 7-10 кг. зерна/ кг. д.в удобрений; 40-60 кг зерна / кг семян; 10-12 кг. зерна / 1 мм осадков.

При посеве важна подготовка почвы к посеву. Сегодня выделяют ряд технологий подготовки почвы (таблица 1.2):

- **отвальная** с обязательной зяблевой вспашкой для зерновых культур;

Таблица 1.2 – Классификация систем основной обработки почвы в севообороте

Система почвообработки*	Тип	Подтип (по глубине обработке)	Глубина обработки, см	Орудия
Комбинированная система	глубокая	глубокая	более 24 см	плуги, почвоуглубители, глубококорыхлители
	разноглубинная	поверхностная, мелкая, обычная	от 8 до 24-26 см	глубококорыхлители, почвоуглубители, плуги, дискаторы и т.д.
	минимальная	мелкая	8-16 см	дискаторы, комбинированные орудия, культиваторы и т.д.
Плоскорезная (мульчирующая) система	глубокая	глубокая	более 24 см (по ГОСТу 16265-89)	стойки СибИМЭ, почвоуглубители, глубококорыхлители
	разноглубинная (чередование по глубине)	поверхностная мелкая, обычная,	Меньше 8 см от 8 до 16см от 24 до 26 см	стойки СибИМЭ, плоскорезы, СКП-2,1, чизельные плуги, глубококорыхлители
	минимальная	мелкая	8-16 см	Плоскорезы
Отвальная система	разноглубинная	обычная	18-24 см	Плуги
		мелкая	до 16 см	
	минимальная	мелкая	до 16 см	
Нулевая	-	-	-	-

- **нулевая** (no tillage) предусматривает в течение вегетационного периода лишь один контакт почвообрабатывающих орудий с почвой – во время посева. Посев производится, как правило, в узкие бороздки шириной 2,5-7,5 см одновременно с одной или несколькими дополнительными операциями. Для борьбы с сорняками интенсивно используются гербициды. При нулевой системе обработки экономия может достигать 70-80%. [3];

- **мульчирующая обработка** (mulch tillage) – перед посевом производится рыхление почвы с одновременным измельчением и сохранением на поверхности почвы крупностебельных остатков пропашных предшественников [3];

- **сокращенная обработка почвы** (reduced tillage) – технологии производства с использованием меньших воздействий почвообрабатывающих орудий, чем при обычном способе обработке. [3];

- **минимальная обработка** (minimum tillage) включает в себя все виды почвозащитной обработки за исключением нулевой.

- **комбинированная** с использованием разноглубинной обработки почвы различными почвообрабатывающими орудиями в зависимости от особенностей местного климата и почвенных условий [3].

1.1.1 Направления совершенствования агротехнологий в растениеводстве Республики Татарстан

Для успешного развития АПК РТ до 2020 года в области агротехнологий растениеводства необходимо:

–добиться оптимального соотношения между агротехнологиями различных технологических укладов (третьего (экстенсивные, базовые агротехнологии) – на площади не более 50%, четвертого (интенсивные) – не менее 35%, пятого (высокие) – не менее 10%, шестого (биотехнологические) – не менее 5%) с постепенным снижением доли более низких и увеличением высоких (пятого, шестого);

–предусмотреть разработку и формирование регионального реестра агротехнологий производства основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей Республики Татарстан, в том числе для целей их международной сертификации;

–расширить использование ресурсосберегающих агротехнологий, в том числе и с учетом повышения частоты проявления опасных агрометеорологических природных явлений;

–оставить базовыми принципами при проектировании агротехнологий накопления в почве влаги и оптимальное водопотребление растениями по той причине, что основным фактором, лимитирующим уровень урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Татарстана, остается дефицит воды;

–расширить использование в агротехнологиях приемов управления формированием урожая (управление посевами);

–усилить контроль качества выполнения технологических приемов (операций) в ходе реализации технологии [7-11];

1.2 Наличие парка техники в РТ

Энергообеспеченность аграрного производства в РФ и РТ постоянно снижается, что исходит из старения парка тракторов и не достаточного его обновления

Динамика изменения тракторного парка РТ приведена в таблице 1.3.

Из таблицы видно, что количественно парк тракторов в РТ с каждым годом снижается. Наиболее интенсивно выбывают гусеничные тракторы всех марок (в основном ДТ-75М), из колесных – ХТЗ. Не сильно меняется количество тракторов МТЗ при одновременном росте количества тракторов МТЗ-1221 и 1523.

Количество импортных тракторов с 2015 года по 2019 год стабилизировалось. При этом парк зарубежных тракторов представлен большим количеством производителей и число марок больше 10. Это создает

трудности в обслуживании тракторов в связи с тем, что курс доллара в 2015 году вырос почти в два раза, западные страны, поставляющие в Россию свои тракторы и запасные части к ним, объявили экономические санкции [12].

В связи с тем, что на одной и той же технологической операции используются трактора различных тяговых классов, возникает вопрос – Трактора с какими основными параметрами эффективнее на отдельных технологических операциях (в нашем случае – глубокое рыхление почвы). Магистерская диссертация посвящена поиску ответа именно на этот вопрос.

Таблица 1.3 – Динамика изменения тракторного парка РТ

Тракторы по маркам	Количество тракторов по годам, шт.			
	2009	2012	2015	2018
К-700А, К-701	1 092	823	725	652
К-744 разные (Р1,2,3,4,5)	–	124	134	156
Т-150К, ХТЗ	2390	1494	1057	965
ДТ-75, Т-4А, ДТ-175С, ВТ-100, 150	7012	4363	2632	2136
Т-70	–	238	233	211
МТЗ-1221, МТЗ-1523	1329	2163	2406	2096
МТЗ-80/82, ЮМЗ, Т-40, ЛТЗ-55, 60, 155, Т-16, 25, 30	8785	7436	7107	5552
КамАЗ Т-215	–	214	215	201
Нью-Холланд	103	172	299	309
Джон-Дир	18	42	41	45
Бюллер	5	23	61	68
Арес, Агротрон	38	44	56	52
Массей Фергюсон	4	10	10	9
Фендт	68	82	83	81
Фотон	–	–	20	25
Ландини	–	–	11	13
Кейс	–	8	11	12
Прочие	–	708	332	365
Импортные, всего	255	486	692	704
Тракторы, всего	22157	17944	15533	13652

В таблице 1.4 приведена информация о наличии в РТ почвообрабатывающих агрегатов.

Таблица 1.4 – Динамика изменения парка сельскохозяйственных машин для подготовки почвы к посеву в РТ

Сельскохозяйственные машины по маркам	Количество техники по годам, шт.		
	2007	2013	2018
КСТ-3,8	82	89	86
Компактор	91	86	84
Смарагд-400, 600, 800, 1000	42	37	35
КПИР-3,6 (к=4,34 кН/м)	135	138	142
КПС-4	6547	4923	4513
КПЭ-3,8, КТ-3,9Г (к=4,05 кН/м)	947	672	564
КТС-10	252	111	96
КБМ-10,5 и др.модиф. (к=2,46 кН/м)	135	85	82
ККШ-11,3	32	44	56
ВНИИСП	–	2549	2842
БД-10	20	47	67
БДТ-3	549	347	284
БДТ-7 (ГД-7)	739	290	219
БДМ-3х4	114	415	640
БДМ-4х4	124	227	365
БДМ-6х4	53	126	267
БДМ-8х4	–	59	89
Кивонь	19	29	39
Рубин-9 и модиф.	12	18	27
Sunflower (диск. Борона)	–	33	51
Плуги:	6490	3643	3125
В том числе 4 и 5 корпусные	5409	2744	2410
Плоскорезы:	185	110	98
<i>Глубокорыхлители</i>	134	142	163

1.3 Обоснование необходимости глубокой обработки почвы при возделывании зерновых культур в Республике Татарстан

В последние годы в земледелии Республики Татарстан складывалась тенденция перехода на энергосберегающие технологии: технологии

минимальной обработки почвы, и даже технологии no-till, также, как и, допустим, в Нижегородской области – см. таблицу 1.5 [13].

Таблица 1.5 – Технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нижегородской области

Показатель	Пашня в обработке, га	Традиционная обработка		Ресурсосберегающие технологии		в том числе, га	
		га	%	га	%	Mini-Till	No-Till
Пашня в обработке	1332007	936531	70,3	395476	29,7	316194	79282
Пары	212069	153943	72,6	58126	27,4	52860	5266
Посевная площадь, в т.ч:	1119938	782588	69,9	337350	30,1	263334	74016
- зерновые	617329	360892	58,5	256437	41,5	200794	55643
- яровые	406787	235550	57,9	171237	42,1	134167	37070
- озимые	210542	125342	59,5	85200	40,5	66627	18573

Были проведены [13] расчеты себестоимости продукции, выращенной по традиционной, минимальной и нулевой технологиям на основе научно обоснованных нормативов затрат ресурсов с учетом природно-климатических условий и особенностей модельного хозяйства. Для сопоставимости показателей выход продукции с одного гектара принят одинаковым (таблица 1.6).

Переход к другому составу технических средств, на всем производственном процессе приводит к экономии расхода топлива при минимальной технологии на 4 %, при нулевой – 48,4 %. Отчисления на амортизацию техники сократятся соответственно на 8,7 и 16,7 %.

Недостатком энергосберегающих технологий является рост затрат на защиту растений, отчего затраты на указанную технологическую операцию увеличиваются соответственно на 28,6 % и 58,7 %. В сумме себестоимость продукции снижается, а рентабельность производства растет.

Таблица 1.6 – Показатели экономической оценки технологий возделывания озимой пшеницы

Показатель	Традиционн ая	Минимальн ая	Нулевая	Абсолютный прирост (от показателей традиционной технологии)	
				Mini-Till	No-Till
Заработная плата с начислениями, тыс. руб.	549,6	432,4	349,2	-117,2	-200,3
Амортизация, тыс. руб.	1494,1	1363,4	1244,7	-130,7	-249,3
Текущий ремонт, тыс. руб.	1095,1	802,3	721,8	-292,8	-373,3
ГСМ (включая масла), тыс. руб.	1202,3	1164,6	620,8	-37,7	-581,5
Семена, тыс. руб.	1250,0	1250,0	1250,0	-	-
Арендная плата, земельный налог, тыс. руб.	79,8	79,8	79,8	-	-
Автотранспорт, тыс. руб.	460,0	460,0	490,0	-	30,0
Электроэнергия, тыс. руб.	29,3	29,3	29,3	-	-
Удобрения, тыс. руб.	1981,6	1981,6	1981,6	-	-
Средства защиты растений, тыс. руб.	826,2	1062,5	1311,1	236,2	484,8
Мелкий инвентарь, тыс. руб.	27,5	21,6	18,3	-5,9	-9,1
Общехозяйственные и общепроизводственные затраты, тыс. руб.	484,4	466,1	440,2	-18,3	-43,9
Прочие прямые затраты, тыс.	250,0	250,0	250,0	-	-
Всего затрат, тыс. руб.	9729,9	9363,7	8787,2	-366,2	-942,7
Затраты труда, чел.-дн.	4 519	3 452	3 046	-1 067	-1 473
Денежно-материальные затраты на 1 га, руб.	9729,9	9363,7	8787,2	-366	-943
Посевная площадь, га	1000	1000	1000	-	-
Урожайность, ц/га	30,0	30,0	30,0	-	-
Валовой сбор, ц	30000	30000	30000	-	-
Себестоимость 1 ц, руб.	324,3	312,1	292,9	-12	-31
Валовой сбор после доработки, ц	28500	28500	28500	-	-
Чистый валовой сбор (товарная продукция), ц	28250	28250	28250	-	-
Средняя цена реализации, руб./ц	410,3	410,3	410,3	-	-
Прибыль на 1 ц, руб.	86	98,2	117,4	12	31
Прибыль на 1 га, руб.	1861,1	2227,3	2803,8	366	943
Рентабельность производства, %	26,5	31,5	40,1	5	14
Производительность труда, ц	44,1	57,8	65,5	14	21

На основе этого сделан вывод: внедрение энергосберегающих технологий позволит добиться повышения экономической эффективности производства зерна [13].

Однако в расчетах по всем технологиям затраты закономерно снизились, а урожайность на всех технологиях осталась постоянной, хотя известно, что урожайность на практике снижается [14, 15].

Многие исследователи отмечают что: «Основной недостаток минимальной обработки почвы - существенное повышение засоренности посевов, причем увеличивающееся по мере роста срока использования. По усредненным оценкам ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, при систематическом применении минимальных обработок засоренность сорняками возрастает - в два и более раз и в целом за ротацию севооборота - в 4-8 и более раз. Причем, весьма нежелательным аспектом является то, что в видовом составе сорняков резко возрастает количество зимующих злаковых и однодольных многолетников [14]».

В этой же работе отмечается, что решающим фактором, успеха от применения данных технологий, является учет основных особенностей и свойств почв (физико-механических свойств и устойчивости к уплотнению, скважности, влажности, содержания гумуса и т.д.). Без этого ее применение может представлять значительный риск и дать отрицательные агрономические, экономические и экологические результаты [14].

Снижение урожайности зерновых в первый и последующие годы может быть вызвано из-за чрезмерного уплотнения почвы, повышения ее плотности и твердости. Поэтому содержание гумуса почвы на этих технологиях должно быть более 3-3,5%. Закономерно, при этом, возникает необходимость глубоких периодических безотвальных рыхлений [14].

«Снижение урожайности получается в результате не правильного управления посевами (недостаточного количества азота в грунте, переизбытка удобрений, ошибки использования гербицидов и др.)» [15].

«По данным Министерства сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области, минимальные и нулевые технологии, используемые на территории области, довольно часто приводят к снижению урожайности и качества зерна. Поэтому при применении ресурсосберегающих технологий необходимо проводить глубокое рыхление один раз в четыре года» [13].

Ко всему прочему: «Отсутствует какое-либо научное обоснование выбора машин и техники, оптимальных для конкретных агрозон и муниципальных районов региона. Поэтому в условиях рыночной экономики большинство товаропроизводителей выбирают технику, полагаясь на собственную интуицию и опыт коллег» [13].

Мы считаем, что обоснование выбора техники для самой энергоемкой операции – глубокого рыхления почвы, можно провести с использованием метода энергетического анализа использования техники, разработанного на кафедре «Тракторы, автомобили и энергетические установки» Казанского ГАУ [16, 17, 18, 19, 20].

Для этого необходимо уточнить математическую модель агрегата для обработки почвы применительно к глубокорыхлителям путем проведения изучения теоретического материала и проведения экспериментов для выявления недостающих связей между различными показателями работы агрегатов, параметрами агрегатов и факторами внешней среды (почвы, поля и т.д.).

1.4 Постановка цели и задач исследования

Цель исследования. Повышение энергетической эффективности функционирования агрегатов для глубокого рыхления почвы, за счет оптимизации основных параметров трактора, оптимизации параметров и режимов работы машинно-тракторного агрегата.

В связи с этим в диссертационной работе поставлены следующие задачи:

1. Изучить теоретические материалы по технической и производственной эксплуатации агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью создания его математической модели;

2. Разработать программу, методику и провести экспериментальные исследования тракторов и агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью получения недостающих зависимостей энергетической математической модели МТА;

3. Провести вычислительные эксперименты с целью определения оптимальных параметров трактора и агрегата для глубокого рыхления почвы;

4. Составить практические рекомендации по выбору параметров тракторов и сельскохозяйственных машин для глубокого рыхления почвы, определить эффективность их внедрения в производство.

Выводы

1. Анализ литературы и опыт аграрных товаропроизводителей показывает эффективность использования энергосберегающих технологий для снижения затрат на производство;

2. Однако практики и научные работники отмечают снижение урожайности зерновых культур при переходе на технологии минимальной и нулевой обработки почвы до 5 ц/га в первый и последующие годы.

3. И ученые и практики приходят к необходимости периодического проведения глубокого рыхления почвы при возделывании зерновых культур по современным энергосберегающим технологиям.

4. Необходимо научно обосновать выбор параметров и режимов работы агрегатов для глубокого рыхления почвы.

5. В связи с этим в магистерской диссертации поставлены следующие задачи:

– изучить теоретические материалы по технической и производственной эксплуатации агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью создания его математической модели;

– разработать программу, методику и провести экспериментальные исследования тракторов и агрегатов для глубокого рыхления почвы с целью получения недостающих зависимостей энергетической математической модели МТА;

– провести вычислительные эксперименты с целью определения оптимальных параметров трактора и агрегата для глубокого рыхления почвы;

– составить практические рекомендации по выбору параметров тракторов и сельскохозяйственных машин для глубокого рыхления почвы, определить эффективность их внедрения в производство.

2 УТОЧНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АГРЕГАТА ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

2.1 Общие основы математической модели агрегата для глубокого рыхления почвы

Математическая модель агрегата для глубокого рыхления почвы должна изучаться как сложная система с использованием методологии и методов системного анализа [16-21], см. рисунок 2.1.

Мы рассматриваем систему: трактор – орудие – оператор – поле – почва – урожай (ТООППУ) [22, 23].

Как видно из рисунка 2.1, чем сложнее рассматриваемая система, тем более комплексным, обобщающим, более системным должен быть показатель эффективности системы, чтобы вобрать в себя все частные показатели эффективности элементов и подсистем сложной системы.

Для рассматриваемой нами системы таких показателей всего два – это, либо интегральные затраты ($S_s + S_a + S_y$), как сумма эксплуатационных затрат и стоимости урожая, потерянного из-за нарушения агросрока выполнения операции и уплотнения почвы движителями техники, либо суммарные энергетические затраты, включающие энергию урожая, потерянного в связи с выбором не оптимальных параметров трактора и МТА [23-25].

Последний критерий оптимизации, в отличие от первого критерия, является – объективным критерием не зависящим от субъективных факторов финансового рынка.

Данный показатель не подвержен влиянию финансовых махинаций на фондовых рынках, остается стабильным в кризисных для экономики ситуациях, поэтому пригоден для прогнозных расчетов параметров техники.

Это тем более важно, что наши расчеты должны иметь стабильность на многие годы и не зависеть от конъюнктуры рынка.



Рисунок 2.1 – Возможные варианты изучаемых систем и показатели эффективности систем и их элементов

2.2 Выявление недостающих элементов энергетической математической модели агрегатов глубокорыхлителей

Критерий оптимизации параметров и режимов работы трактора с глубокорыхлителем описывается следующей зависимостью [23-27]:

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

«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 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» [26, 27].

С теоретической точки зрения нам необходимо, используя достигнутые результаты предшествующих ученых и исследователей, раскрыть методы расчета каждой составляющей выбранного критерия оптимизации [26, 27], отыскать из литературных данных недостающие параметры агрегата глубокорыхлителя.

Составим математические модели модулей для расчета различных показателей агрегатов глубокорыхлителей в зависимости от оптимизируемых параметров и режимов их работы.

Задача построения системной энергетической математической модели сводится к определению зависимости каждой составляющей суммарных энергетических затрат от основных параметров трактора и агрегата.

Методика расчета составляющих суммарных энергетических затрат $\mathcal{E}_{\text{и.тр}}, \mathcal{E}_{\text{и.схм}}, \mathcal{E}_{\text{и.пр}}, \mathcal{E}_{\text{рто}}, \mathcal{E}_{\text{с.р.}}, \mathcal{E}_{\text{упр}}, \mathcal{E}_{\text{тсм}}$ приведена в работе [23, 28].

Каждая составляющая модели является показателем, характеризующим удельные прямые или косвенные энергетические затраты, МДж/га.

Удельные энергетические затраты на капитальный ремонт, текущий ремонт и техническое обслуживание тракторов, сельхозмашин и прицепа можно подсчитать по формулам:

$$\mathcal{E}_{\text{кр}} = \frac{Q_{\text{кр}} n_{\text{кр}}}{T_{\text{сл}} \cdot W \cdot T_{\text{год}}}; \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{тр}} \cdot m_{\text{тр}}}{T_{\text{сл}} \cdot W \cdot T_{\text{год}}}; \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{\text{то}} = \frac{\sum_{I=1}^K Q_{\text{то}}}{T_{\text{сл}} \cdot W \cdot T_{\text{год}}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{кр}}, Q_{\text{тр}}, Q_{\text{то}}$ – энергия, затрачиваемая на один капитальный ремонт, текущий ремонт, на одну операцию технического обслуживания трактора, СХМ, прицепа, МДж;

$n_{\text{кр}} \cdot m_{\text{тр}}$ – число капитальных ремонтов и текущих ремонтов за весь срок службы трактора, СХМ, прицепа;

k – число операций технического обслуживания техники.

$T_{\text{сл}}$ – срок службы техники в годах;

W – производительность агрегата за час времени смены, га/ч.;

$T_{\text{год}}$ – загрузка техники в часах на I год, ч./год;

2.2.1 Теоретические зависимости определения производительности

Известна формула для определения производительности агрегатов [29]:

$$W = \prod_{i=1}^4 \alpha_i B_p V_p \tau \quad (5)$$

где: $\prod_{i=1}^4 \alpha_i$ - произведение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние на W - рельефа местности, каменистости, изрезанности, конфигурации поля (берутся из данных паспортизация полей в хозяйстве);

B_p - рабочая ширина захвата агрегата, м;

V_p - рабочая скорость агрегата, км/ч;

τ - коэффициент использования времени смены.

Коэффициент использования времени смены зависит от соотношения ширины захвата и скорости перемещения МТА. Для его определения в работе [23] использована зависимость:

$$\tau = \frac{1 - \tau_{nz} - \tau_{нк} - \tau_{к} - \tau_{от} - \tau_{o.m} - \tau_{o.m.}}{1 + (\tau'_{o.ag} + \tau'_{oc} + \tau'_{nep} + \tau'_{нов}) \cdot B_p \cdot V_p}, \quad (6)$$

где: $\tau_{nz} = \frac{T_{nz}}{T_{cm}}$ - коэффициент использования времени смены на подготовительные операции;

Время на подготовительно-заключительные операции T_{nz} (подготовка агрегата к переезду и его опробование, постановка трактора на место стоянки) равно 3 минутам за семичасовую смену [30];

$\tau_{нк} = \frac{T_{нк}}{T_{cm}}$ - коэффициент использования времени смены на переезды в начале и в конце смены;

По данным [31] если расстояние переезда не более 2 км, то время на переезды $T_{нк} = 16$ мин;

$\tau_{к} = \frac{T_{к}}{T_{cm}}$ - коэффициент использования времени смены на контроль качества работы.

Для большинства полевых работ $T_{к} = 6$ минут [31];

$\tau_{om.} = \frac{T_{om.}}{T_{cm}}$ - коэффициент использования времени смены на отдых и личные надобности.

По данным НИИ труда время на отдых за семичасовую смену $T_{o.m}$ составляет 20-40 мин;

$\tau_{o.m.}, \tau_{o..m.} = \frac{T_{o..m.}}{T_{cm}}$ - коэффициент использования времени смены на техническое обслуживание трактора и сельхозмашины.

Время на техническое обслуживание трактора и сельхозмашины нормируется. Затраты времени на техническое обслуживание по некоторым тракторам и сельскохозяйственным машинам приведены в таблице 2.1.

По остальной технике данные можно найти в справочной литературе [31].

Для расчета на ЭВМ параметров рыхлительного агрегата, например с трактором Т-150К, получаем:

Таблица 2.1 - Затраты времени на техобслуживание некоторых тракторов и сельскохозяйственных машин

Марка	Затраты времени ($T_{o.m.}, T_{o..m.}$), мин.
1	2
К-744	34
К-424	29
Т- 150К	27
КПГ-250	7
ПЛН-4-35	8
ПН-8-35	10

$$\tau_{o.m.} + \tau_{o.c.} = \frac{T_{om.} + T_{oc.}}{T_{cm}} = \frac{28 + 7 \cdot \frac{B_p}{4}}{420} = 0.052 + 0.004 \cdot B_p. \quad (7)$$

$$\tau'_{o.a2} = \frac{\tau_{o.a2}}{B_p \cdot V_p \cdot \tau} - \text{промежуточная величина при выкладках} \quad (8)$$

где $\tau_{o.a2}$ - коэффициент использования времени смены на вспомогательные операции и на заправку технологических емкостей агрегата. В нашем случае он равен нулю.

Для определения τ'_{oc} используем зависимость

$$\tau'_{oc} = \frac{\tau_{oc}}{B_p \cdot v_p \cdot \tau} = \frac{0.1 \cdot t_o}{B_p \cdot l_o}, \quad (9)$$

где τ_{oc} - коэффициент использования времени смены при остановках агрегата из-за нарушения технологического процесса и на технический уход в борозде;

t_o - среднее время одной остановки на устранение нарушения технологического процесса, приходящееся на 1м захвата агрегата ч.;

l_o - средний путь, проходимый агрегатом между остановками для устранения нарушения технологического процесса, км.

Из экспериментальных данных [32]:

на глубоком рыхлении почвы

$$l_o = 2,8 \text{ км}; \quad t_o = 0,0061 \text{ ч./м.}$$

Для определения τ'_{nep} предлагается зависимость [32]

$$\tau'_{nep} = \frac{\tau_{nep}}{B_p \cdot v_p \cdot \tau} = \frac{0,1 \cdot l_{nep}}{v_{nep} \cdot F_{cp}} + \frac{0,2 t_{nc}}{F_{cp}}, \quad (10)$$

где τ_{nep} - коэффициент использования времени смены на подготовку агрегата к переезду и непосредственно на сам переезд внутри смены с поля на поле;

l_{nep} - среднее расстояние одного переезда, км;

$v_{пер}$ – средняя скорость переезда, км/ч;

$F_{сп}$ – площадь обрабатываемого поля, га;

t_{nc} – время перестроения МТА из транспортного положения в рабочее и наоборот, ч.

По экспериментальным данным [32] для рыхлительных агрегатов агрегатов:

$$t_{nc} = 0,129B_p - 0,601; \quad (11)$$

В таблице 2.2 приведена зависимость длины гона и расстояния переезда от площади поля.

Таблица 2.2 - Площадь участка и расстояние переезда в зависимости от длины гона

Класс длины гона (м)	Средняя площадь участка (га)	Расстояние переезда (км)
До 150	До 1,5	0,60
150—200	3,0	0,70
200—300	6,0	0,81
300—400	12,0	0,93
400—600	24,0	1,05
600—1000	60,0	1,25
Более 1000	Более 140,0	1,50

Определяем $\tau'_{нов}$ по уравнению

$$\tau'_{нов} = \frac{\tau_{нов}}{B_p \cdot V_p \cdot \tau} = \frac{l_n}{B_p \cdot V_n} \left(\frac{1}{l_z} + \frac{b_n}{5000 \cdot F_{сп}} \right), \quad (12)$$

где $\tau_{нов}$ - коэффициент использования времени смены на повороты;

l_n - длина одного поворота, км;

V_n - средняя скорость поворота, км/ч;

l_z - длина гона, км;

b_n - ширина поворотной полосы, м.

Для глубокорыхлительных агрегатов при челночном способе движения:

$$l_n = 5R + 2e; \quad (13)$$

$$R = 3,76 + 0,82 \cdot B; \quad (14)$$

$$e = 0,5 \cdot (l_m + l_{cu} + l_m) - \text{прицепных машин}; \quad (15)$$

$$e = 0,1 \cdot (l_m + l_m) - \text{навесных машин};$$

$$e_n = 2,5 \cdot R + e + d_k; \quad (16)$$

$$d_k = 0,5 \cdot B; \quad (17)$$

где R - радиус одного поворота, м;

e - длина выезда агрегата за границу поворотной полосы, м;

l_m, l_{cu}, l_m - кинематическая длина трактора, сцепки и сельскохозяйственной машины, м;

d_k - кинематическая ширина агрегата, м;

B - конструктивная ширина захвата агрегата, м.

Экспериментальными исследованиями [32] установлено, что радиус поворота зависит не только от ширины захвата агрегатов, но и скорости его поворота. Для выявления влияния скорости поворота на радиус поворота агрегата необходимо проведение экспериментальных исследований агрегатов глубокихрыхлителей.

Для использования приведенной модели расчета производительности на операции глубокого рыхления почвы необходимо уточнить ряд параметров существующих рыхлителей почвы (массу, кинематическую длину, удельное сопротивление и др.).

Для составления энергетической математической модели агрегатов для глубокой обработки почвы [33, 34, 35, 36] уточняем параметры сельскохозяйственной машины. Технические характеристики глубокихрыхлителей можно взять из сайтов производителей и из протоколов их испытания в Машино - испытательных станциях (МИС).

Такая поисковая работа была проведена и необходимые параметры глубокихрыхлителей по маркам, а также средние их значения приведены в таблице 2.3 [37, 38, 39, 40, 41, 42].

Таблица 2.3 – Параметры современных отечественных и зарубежных глубокорыхлителей, необходимые для оптимизационных расчетов

Марка	Масса, кг	Ширина захвата, м	Удельная масса, кг/м	Энергозатраты на изготовление/ТО, МДж	Удельные энергозатраты на изготовление/ТО, МДж/м	Удельное сопротивление машины, кН/м	Кинематическая длина машины, м	Допустимая скорость работы, км/ч	Глубина обработки, м
SSDR L 5	813	2	406	81000/19756	40500/9878	11,6	1,24	5-11	0,5
SSDR H 13	4020	6	670	402000/95700	67000/15950	16,5	1,32	5-11	0,5
Delta New	6120	6	1020	612000/145700	102000/24286	15,8	7	6-8	0,6/0,35
ПГП-7	2975	7,4	402	297500/70833	40200/9572	17,2	6,2	6,36-8,63	0,27
ГН-250	1120	2,5	448	112000/26667	44800/10667	16,0	2,2	5-8	До 0,62
КАМА ТГР 45.7-300	1480	3,0	493	148000/35238	49332/11746	14-18,5	2,5	6-8,5	0,45-0,65
ПГН-7	2023	7,4	273	202300/48165	27338/6509	17	2,0	До 10	0,15-0,30
Средние параметры для расчета	2030	2-7,4	530	264900/63080	53020/12620	12-18	1,8-6,6	5-11	0,3-0,65

Математическое описание подсистемы модели для расчета энергии урожая, потерянного из-за нарушения агросрока выполнения технологической операции и подсистемы модели для расчета энергии урожая, потерянного из-за негативного воздействия движителей трактора на почву приведены в работах [23, 26].

Для определения допустимых по агротехническим требованиям предельных значений скорости агрегатов необходимо проведение агротехнической оценки агрегатов для глубокого рыхления почвы.

Влияние основных параметров трактора на искомую составляющую суммарных энергетических затрат проявляется через изменение производительности агрегата. Чем больше масса трактора и мощность его двигателя, тем больше его производительность, меньше агротехнический срок выполнения операции, меньше теряется урожай, а значит меньше энергия потерянного урожая. Однако при этом увеличиваются потери урожая от уплотнения почвы колесами трактора. Задача исследований найти компромиссное решение, когда суммарные энергетические затраты будут минимальными.

Выводы

1. Выявлено, что изучение расширенной системы **трактор-орудие-оператор-поле-почва-урожай**, позволит получить новые знания об оптимальных параметрах трактора и агрегата для глубокого рыхления почвы.
2. Выбран наиболее объективный, комплексный показатель эффективности рассматриваемой системы – **суммарные энергетические затраты**, учитывающий энергию урожая, теряемого из-за неверно выбранных параметров трактора и агрегата.

3. Уточнена системная энергетическая математическая модель функционирования машинно-тракторного агрегата для глубокого рыхления почвы, в частности подсистема расчета производительности.
4. Выявлено, что большинство глубокорыхлителей являются навесными.
5. Удельная масса глубокорыхлителей находится в пределах 520-540 кг/м, удельные энергозатраты на изготовление/обслуживание глубокорыхлителей находятся в пределах 264900/63080 МДж/м, удельное сопротивление находится в пределах от 12 до 18 кН/м, кинематическая длина навесных рыхлителей находится в районе 1,8 м, допустимая по агротехническим требованиям скорость работы находится в пределах от 5 до 11 (чаще от 6 до 8,5) км/ч, глубина обработки находится в пределах от 0,3 до 0,65 м.
6. Установлено, что в модуле расчета производительности почвообрабатывающих агрегатов некоторые связи между производительностью, параметрами агрегатов и факторами среды описать чисто теоретически невозможно и необходимо проведение экспериментальных исследований. В частности, экспериментально необходимо определить: зависимости радиуса поворота, длины и ширины поворотной полосы от ширины захвата и скорости поворота для агрегатов глубокорыхлителей;

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований исходит из теоретических предпосылок исследования и состоит из двух частей:

1) экспериментальное исследование тракторов и машинно-тракторных агрегатов для выявления недостающих зависимостей отдельных модулей энергетической математической модели агрегатов для глубокого рыхления почвы, в частности модуля расчета производительности агрегата;

2) экспериментальные исследования для получения материала, необходимого для проверки модулей математической модели агрегата глубокорыхлителя на адекватность.

Первая часть экспериментальных исследований предполагает:

1) выявление допустимых пределов скорости агрегата по агротехническим требованиям;

2) экспериментальное определение уравнения регрессии радиуса поворота МТА от ширины захвата и скорости поворота – $R_n = f(B_p, V_p)$.

Во второй части экспериментальных исследований предполагается:

3) проведение экспериментов для получения материала, необходимого для проверки адекватности модуля математической модели МТА для расчета производительности.

Для решения первой задачи необходимо провести испытания почвообрабатывающих агрегатов с глубокорыхлителями в лабораторно – полевых условиях. Решение второй и третьей задач достигается проведением эксплуатационно – технологических испытаний указанных агрегатов в условиях производства [43].

Выбор объекта 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. Основная технология обработки почвы, принятая в Татарстане – *комбинированная, разноглубинная*.

При выборе типа почвообрабатывающей сельскохозяйственной машины важна принятая технология подготовки почвы к посеву. Технологии подготовки почвы к посеву и марки сельскохозяйственных машин для них приведены в таблицах 1.3, 3.1 и 3.2.

Исходя из этих требований, принятых технологий подготовки почвы и наличия техники на предприятиях РТ для проведения лабораторно-полевых опытов выбраны: тракторы ДжонДир-8430+ ГР-5,4.ШК, К-744Р4+ГР-6,3.ШК; Как видим из таблицы 2.3 удельное сопротивление рабочих органов у большинства агрегатов глубокорыхлителей колеблется в пределах 12-18 кН/м.

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

При организации эксплуатационно – технологических исследований необходимо определить элементы коэффициента использования времени смены, зависящие от особенностей сельскохозяйственной машины и трактора, а также фактическую производительность агрегатов. В связи с этим, для более полной проверки методики расчёта производительности на глубоком рыхлении почвы, объектами исследования выбраны трактора и сельскохозяйственные машины различных марок.

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

Таблица 3.1 – Сельскохозяйственные машины для обработки почвы, используемые на различных по интенсивности технологиях в Республике Татарстан

Техника	Агротехнологии				
	Обычные (экстенсивные)	Экологические (без азотных минеральных удобрений и СЗР)	нормальные	интенсивные	точного земледелия
Тракторы	Любые тракторы тягового класса от 20 до 80 кН				Тракторы, оснащенные устройством для точного вождения, GPS навигацией, бортовым компьютером и др.
Обработка почвы	Отвальная, обычная многооперационная	Почвозащитная, комбинированная, разноглубинная	Почвозащитная, комбинированная, разноглубинная	Дифференцированно минимизированная	Оптимизированная к потребностям растений
Сельскохозяйственные машины	Луцильники, плуги, бороны зубовые (игольчатые), культиваторы паровые, катки и др.	Луцильники, плуги, бороны зубовые (игольчатые), культиваторы паровые, катки, комбинированные агрегаты, дискаторы, культиваторы, плоскорезы, глубококорыхлители	Комбинированные агрегаты, дискаторы, культиваторы, плоскорезы, глубококорыхлители и др.	Комбинированные агрегаты, дискаторы, культиваторы, плоскорезы, глубококорыхлители и др.	Комбинированные агрегаты, дискаторы, культиваторы, глубококорыхлители и др.

Таблица 3.2 – Наличие глубокорыхлителей в РТ на 2018 год и удельное сопротивление почвы их рабочим органам

Тип сельскохозяйственной машины	Марка сельскохозяйственной машины	Количество, шт. (2018 г.)	Удельное сопротивление почвы рабочим органам, кН/м
Глубокорыхлители	КПГ-250	69	16
	SSDR Н 9	13	16,5
	ГН-250	26	15,7
	КАМА ТГР 45.7-300	22	14,8
	ПГН-7	18	16
	ГР-4,5 ШК	5	15,2
	ГР-5,4 ШК	5	15,2
	ГР-6,3 ШК	5	15,2

Тракторы и сельскохозяйственные машины готовились к экспериментальным исследованиям, согласно требованиям по эксплуатации техники, а также положений ГОСТ 28305-89 [44-49], ГОСТ 7057-2001[47], ГОСТ 31345-2007 [46].

3.2 Энергетическая оценка глубокорыхлителей

Энергетическая оценка работы агрегатов для глубокого рыхления почвы проводилась согласно ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» [48].

При энергетической оценке агрегатов глубокорыхлителей необходимо определить функциональную зависимость удельного сопротивления почвы рабочим органам сельскохозяйственной машины от скорости почвообрабатывающего агрегата.

Скорость является основным фактором и управляемым параметром, изменяемым по плану исследования. Тип и механический состав почвы на поле могут быть любыми, однако желательно однородными на всех ее участках, должны быть широко распространены в Республике Татарстан –

это исходит из поставленных задач исследования. Агрофон поля выбираем исходя из технологической операции – поле, со стерней зерновых культур. Необходимо нейтрализовать влияние уклона поля – для этого проводим замеры при движении агрегатов вверх и вниз по уклону.

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

$$k_{op} = R_{op} / (B_p), \quad (18)$$

Точность измерений соответствует требованиям стандартов при тяговых испытаниях трактора и машин для глубокой обработки почвы по ГОСТ 30745-2001 [45], ГОСТ 7057-2001 [47] и ГОСТ Р 52777-2007 [48], а также ТУ. Допуски и абсолютные значения погрешности величин, которые измеряются, приведены в таблице 3.3 и 3.4.

Согласно ГОСТ_33687-2015 [43] обеспечивается точность измерения показателей условий проведения опытов.

Таблица 3.3 –Требования и допуски к качеству подготовки почвы

Показатель	Допуск
Глубина обработки	±1,5см
Гребнистость поверхности почвы	±5см
Крошение почвы, % (размер комков от 1 до 25 мм)	85%
Огрехи и необработанные поворотные полосы	Не допускаются

Для определения влажности 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 ИС-302 (прибор энергооценки машинно-тракторных агрегатов), он устанавливается 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	$0,025R_{оп}$
Путь, проделанный трактором за время опыта S , м	$0,005S$
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.	$0,05h$

Точность измерения параметров дискретным датчиком можно обеспечить за счёт изменения продолжительности её съёма и интенсивности поступления информации. Время съёма информации может быть установлено – 7,5; 15; 30; 60; 120; 240 с.

Скорость трактора определяем с помощью путеизмерительного колеса. Для предотвращения ее буксования колесо прижимается к поверхности поля пружиной.

Измерение тягового сопротивления глубокихрыхлителей различных марок осуществляется кольцевым тензозвеном на 80 кН [50].

Датчик тарировался каждый раз перед началом экспериментов. При выдаче датчиками сомнительных показаний они тарировались в ходе

экспериментов. Проводились ежесменное техническое обслуживание, как трактора, так и сельскохозяйственных машин. Давление в шинах трактора устанавливалось согласно инструкции по эксплуатации трактора, при необходимости согласно методике экспериментов.

Опыты проводились на стерневом поле после уборки озимых. Подготовительные работы включали выбор ровного поля, без больших уклонов, с однородной почвой, без больших камней и других препятствий.

Для определения глубины обработки почвы применялся глубиномер, рабочая ширина захвата агрегатов, радиус поворота и другие линейные геометрические параметры измерялись рулеткой.

Тарировочное устройство для тягового датчика представлено на рисунке 3.1. Данные тарировки приведены в приложении А.



Рисунок 3.1 – Приспособление для тарировки тягового тензозвена и измерительное оборудование

Тарировка тягового динамометра организована согласно рекомендованным методикам [50, 51, 52] и требованиям инструкции измерительного комплекса ИС-302 т.е. при 6–ти нагрузках и разгрузках с трехкратной повторностью. Образцовым динамометром выбран динамометр – ДС-8.

3.3 Методика эксплуатационно-технологических исследований агрегатов для глубокого рыхления почвы

Одна из задач экспериментальных исследований – получить информацию в численном виде для выявления формул: радиуса поворота агрегатов – $R_n = f(B_p, V_n)$ от параметров агрегатов (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n). Для всех агрегатов глубокорыхлителей необходимо измерить фактическую производительность изучаемых агрегатов с целью проверки метода расчета производительности в системной энергетической модели агрегатов для глубокого рыхления почвы на адекватность.

Перечисленные задачи могут быть решены при использовании методов проведения эксплуатационно-технологической оценки агрегатов по ГОСТ 24055-2016 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки» [49].

Для каждого агрегата должно быть проведено не менее трех контрольных смен, продолжительностью каждой согласно ГОСТ 24055-2016 не менее 8 часов [49].

В ходе экспериментальных исследований измеряются следующие параметры и показатели.

Продолжительность смены определяется путем регистрации времени её начала и конца. Продолжительности элементов операций осуществляется последовательной регистрацией времени начала и конца каждого элемента

операции. Отдельные составляющие времени за смену группируются согласно методики определения баланса времени смены.

При измерении продолжительности времени смены допускается 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.

По многочисленным измерениям в течение смены определяются радиус поворота, ширина поворотной полосы и длина поворота.

Длина обрабатываемого участка измеряется двукратно 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 точностью 1 % определяется фактическая ширина захвата агрегата, которая измеряется несколько раз за смену путем деления ширины определённого обработанного участка на число проходов агрегата.

Глубина обработки измеряется линейкой глубиномером в начале, середине и конце смены на расстоянии не менее 30 м от конца участка. Количество измерений на каждой стороне должно быть не менее 20, расстояние между точками измерений 1...2 м, погрешность 5 %.

Средняя скорость движения трактора на пути не менее 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.

Согласно требованиям ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» определяем твёрдость и влажность почвы [43].

Не менее чем в десятикратной повторности измеряется радиус поворота при различных значениях ширины захвата и скорости почвообрабатывающего агрегата.

Для измерений применяется 20 м рулетка с металлической лентой, глубиномер, изготовленный из металлической линейки, секундомер, вешки.

Обоснование комплекса показателей внешних условий, подвергаемых контролю, исходит из их влияния на работу агрегатов.

Уклон поля не должен превышать 2 %, поле должно быть правильной формы, без столбов, камней и других препятствий. Тип почвы наиболее распространенный в республике Татарстан - серые лесные, по механическому составу - среднесуглинистые.

3.4 Методика обработки экспериментальных данных

Обработка экспериментальных данных проводится методами математической статистики с использованием компьютерных программ.

При обработке результатов агротехнической оценки работы агрегатов для подготовки почвы к посеву вычисляем среднеквадратические отклонения, коэффициенты вариации измеренных показателей, а также рассчитываем их отклонения от заданной величины и сравниваем с нормативными значениями допустимых отклонений. По отклонениям показателей от нормативных значений находим допустимые пределы рабочей скорости агрегатов.

При определении эмпирических зависимостей k от скорости МТА, вначале проводится предварительная обработка экспериментальных данных, включающая:

- 1) вычисление характеристик эмпирических распределений;
- 2) проверка гипотезы нормальности распределений;
- 3) подсчет, по результатам всех повторностей, средних значений измеренных показателей, перевод показателей через масштаб в натуральный

вид и подсчет значений k , соответствующих каждому значению скорости и ширины захвата.

Только после этого методом наименьших квадратов определяются их корреляционно – регрессионные зависимости.

Вычисление эмпирических распределений и проверка гипотезы нормальности производится в следующей последовательности [53, 54, 55]:

1. Определение среднего квадратического \overline{X} :

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (19)$$

$$i = \overline{1, n}. \quad (20)$$

2. Определение дисперсии эмпирического распределения (несмещенная оценка):

$$\overline{S^2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X})^2. \quad (21)$$

3. Выборочное среднеквадратическое отклонение:

$$\overline{S} = \sqrt{\overline{S^2}}. \quad (22)$$

4. Размах варьирования:

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (23)$$

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 [53]. 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 на ЭВМ.

Обработка данных эксплуатационно – технологических исследований агрегатов заключается в обработке наблюдательных листов с целью определения средних значений $t_{пс}$, $t_{м}$ по результатам повторностей, а также для подсчета коэффициента использования времени смены и производительности агрегатов за час времени смены согласно требованиям, приведенным в литературе [51].

Кроме этого необходимо выявить эмпирические зависимости $R_{п}$ от ширины захвата и скорости поворота агрегата, а также зависимости $t_{пс}$, $t_{м}$ от ширины захвата агрегатов методом корреляционно-регрессионного анализа [53].

Выводы

Программа и методика экспериментальных исследований, исходят из теоретических исследований. Вопросы, рассмотренные в данной главе, можно свести в следующие общие выводы.

1. Программой предусматривается: определение допустимых агротехникой пределов рабочей скорости по отклонениям показателей качества почвообработки от заданных значений и сравнения с допустимым отклонением; проведение эксплуатационно – технологических исследований агрегатов для определения некоторых зависимостей математической модели МТА (радиуса поворота агрегата, длины поворота и ширины поворотной полосы в зависимости от ширины захвата и скорости агрегатов глубокихрыхлителей) и фактической производительности агрегатов;

2. Обосновано общее количество повторностей при проведении энергооценки агрегатов – шестикратная повторность, в остальных опытах повторность определена согласно требованиям стандартов на обеспечение точности результатов измерений, но не менее чем трехкратная.

3. Обоснована методика обработки экспериментальных данных.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты агротехнической и энергетической оценки агрегатов для глубокого рыхления почвы

Агротехническая оценка агрегатов для глубокой обработки почвы проведена с целью выявления допустимых пределов рабочей скорости агрегатов для глубокого рыхления почвы.



Рисунок 4.1 – Трактор Джон Дир 8430 с глубокорыхлителем

Допустимые пределы рабочей скорости агрегатов определялись по показателям агротехнических требований на качество выполнения операций.

На технологической операции выявлялось отклонение от заданных требований глубины обработки, гребнистости и степени крошения почвы при изменении скорости от 5 до 15 км/ч, таблица 4.1.



Рисунок 4.2 – Измерение характеристик почвы



Рисунок 4.3 – Трактор К-744Р4 с глубокорыхлителем

Таблица 4.1 - Основные агротехнические показатели работы агрегатов для глубокой обработки почвы

Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК					Допуск
Показатели	Скорость, км/ч				
	5,2	8,2	11,5	14,7	
Заданная глубина обработки, см	30,00	30,00	30,00	30,00	
Средняя глубина обработки, см.	29,43	28,64	28,41	27,81	
Среднее квадратическое отклонение, см.	2,2	2,1	2,5	2,9	3 см
Коэффициент вариации, %	7,47	7,33	8,79	10,42	
Гребнистость поверхности почвы, см	4,21	3,87	3,67	3,12	<5см
Подрезание сорной растительности, %	100%	100%	100%	100%	100%
Крошение почвы, % (размер комков от 1 до 25 мм)	87,2	90,01	90,98	92,15	85±5%
Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м	13,5	13,9	14,2	15,3	–
Среднее квадратическое отклонение, кН/м	0,45	0,48	0,51	0,54	–
К-744 + ГР-6,3 ШК					Допуск
Показатели	Скорость, км/ч				
	5,3	8,4	11,6	14,8	
Заданная глубина обработки, см	30	30	30	30	
Средняя глубина обработки, см.	29,88	29,43	28,97	28,78	
Среднее квадратическое отклонение, см.	1,89	2,01	2,23	2,45	3 см
Коэффициент вариации, %	6,33	6,83	7,69	8,51	
Гребнистость поверхности почвы, см	3,99	3,54	3,43	2,94	<5см
Подрезание сорной растительности, %	100%	100%	100%	100%	100%
Крошение почвы, % (размер комков от 1 до 25 мм)	85,3	87,5	90,0	92,9	85±5%
Удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м	12,8	13,1	14,2	14,9	–
Среднее квадратическое отклонение, кН/м	0,48	0,51	0,56	0,58	–

Исходя из полученных значений показателей, можно сделать вывод, что при работе агрегатов со скоростью от 5 до 13 км/ч обеспечивается

устойчивая глубина обработки почвы, и обеспечиваются требования к гребнистости поверхности поля и крошению почвы.

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

Из таблицы видно, что увеличение скорости агрегатов закономерно ведет к росту удельного сопротивления на всех вариантах опытов.

4.2 Результаты эксплуатационно-технологических исследований агрегатов глубокорыхлителей

Задачей исследований являлось получение не достающих в математической модели агрегатов зависимостей радиуса поворота агрегатов глубокорыхлителей – $R_{\text{т}} = f(B_p, V_{\text{т}})$, ширины поворотной полосы и длины поворота, времени на перестроение агрегата из рабочего положения в транспортное $t_{\text{тс}} = f(B)$ от параметров агрегатов (ширины захвата B_p , а также скорости поворота, при необходимости); выявление фактической производительности агрегатов глубокорыхлителей с целью проверки методики расчета производительности в энергетической математической модели агрегатов глубокорыхлителей на адекватность.

Результаты экспериментальных исследований приведены в приложении Г.

Путем корреляционно-регрессионного анализа получены следующие уравнения регрессии радиуса поворота R_n от параметров агрегата (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n) по агрегатам с различными тракторами:

1. Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК

$$R_n = 139.5667 + 0.0480V_n - 57.4565B_p + 0.0315(V_n)^2 - 0.0151V_nB_p + 5.4242(B_p)^2; \quad (24)$$

2. К-744РЗ + ГР-6,3 ШК

$$R_n = 14.1390 - 0.8210V_n - 2.5935B_p + 0.0611(V_n)^2 + 0.0454V_nB_p + 0.2003(B_p)^2; \quad (25)$$



Рисунок 4.4 – Измерение радиуса поворота агрегата

Определены зависимости ширины поворотной полосы C_n от параметров агрегата (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n):

1. Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК

$$C_n = -176.56 + 1.242V_n + 74.886B_p - 0.041(V_n)^2 + 0.1654V_nB_p - 6.5484(B_p)^2; \quad (26)$$

2. К-744РЗ + ГР-6,3 ШК

$$C_n = 54.6916 + 0.9217V_n - 19.001B_p - 0.0541(V_n)^2 + 0.2662V_nB_p + 1.83073(B_p)^2; \quad (27)$$

Выявлены зависимости длины поворота L_n от параметров агрегата (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n):

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

Состав агрегата	Влажность почвы в % по глубине 0-30	Плотность почвы, г/см ³	Глубина обработки, м	Длина гона, км	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
Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК	21,56	1530	0,294	0,68	8,46	5,68	0,696	5,21	8,16	3,07
	22,11	1680	0,291	0,62	8,94	5,71	0,694	5,32	8,23	3,30
	21,78	1590	0,299	0,63	8,89	5,68	0,675	5,11	8,42	3,07
К-744Р4 + ГР-6,3 ШК	22,64	1556	0,302	0,91	10,45	5,13	0,623	6,11	8,24	3,98
	21,95	1598	0,299	0,96	10,36	5,23	0,625	6,23	8,37	4,03
	20,89	1632	0,292	0,93	10,28	5,44	0,656	6,18	8,29	4,17

1. Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК

$$L_n = -742.542 + 2.586V_n + 311.873B_p - 0.0978(V_n)^2 + 0.491V_nB_p - 28.12(B_p)^2; \quad (28)$$

2. К-744РЗ + ГР-6,3 ШК

$$L_n = 279.69 + 1.07V_n - 95.88B_p - 0.104(V_n)^2 + 0.748V_nB_p + 8.2545(B_p)^2; \quad (29)$$

В таблице 4.2 приведена фактическая производительность агрегатов.

4.3 Проверка на адекватность модуля расчета часовой производительности посевных МТА

Для проверки адекватности математической модели расчета производительности агрегатов глубокорыхлителей проведем вычисления для тех же условий, для которых были проведены эксперименты. Результаты расчетов и сравнение с экспериментальными данными приведены в таблице 4.3, а также в приложении В.

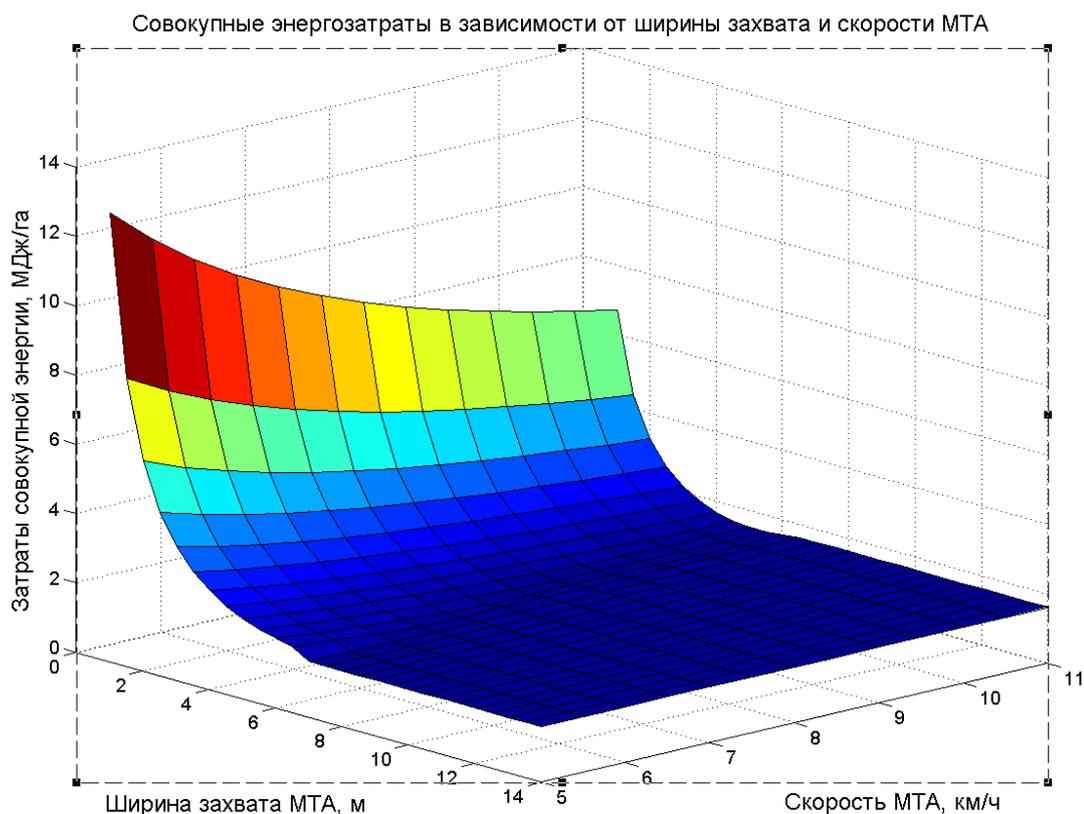


Рисунок 4.5 – Оптимальные параметры агрегата глубокорыхлителя с трактором ДД-8430

Как видно из таблицы максимальная разница расчетной и фактической производительности одних и тех же посевных МТА не превышает 9%, что допускается при нормировании производительности агрегатов. Таким образом, уточненные формулы для определения производительности посевных агрегатов пригодны для расчетов.

Таким образом, можно сделать вывод, что системная математическая модель посевных агрегатов адекватно отражает работу реальных агрегатов и пригодна для оптимизационных расчетов их параметров и режимов работы.

Выводы

2. Агротехнически допустимые пределы рабочей скорости различных агрегатов глубокихлителей по результатам экспериментальных исследований колеблются от 5 до 13 км/ч.
3. Увеличение скорости агрегатов глубокихлителей закономерно ведет к росту удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегатов на всех вариантах опытов.

По результатам экспериментов путем корреляционно-регрессионного анализа получены уравнения регрессии радиуса поворота R_n , ширины поворотной полосы C_n , длина поворотной полосы L_n , от параметров агрегата (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n) по агрегатам глубокихлителям с различными тракторами. Выявлена фактическая производительность агрегатов. Расхождение расчетной и экспериментально определенной производительности машинно-тракторных агрегатов находится в пределах 2-8 %, что допускается при нормировании производительности агрегатов.

Таблица 4.3 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений производительности посевных агрегатов

Состав агрегата	Влажность почвы в % на глубине 0-30	Плотность почвы кПа	Глубина обработки, м	Длина гона, км	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, %
Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК	21,56	1530	0,294	0,68	8,46	5,68	0,696	5,21	8,16	3,07	3,001	-2,24
	22,11	1680	0,291	0,62	8,94	5,71	0,694	5,32	8,23	3,30	3,456	+4,51
	21,78	1590	0,299	0,63	8,89	5,68	0,675	5,11	8,42	3,07	3,158	+2,78
К-744Р4 + ГР-6,3 ШК	22,64	1556	0,302	0,91	10,45	5,13	0,623	6,11	8,24	3,98	4,012	+0,79
	21,95	1598	0,299	0,96	10,36	5,23	0,625	6,23	8,37	4,03	4,125	+2,30
	20,89	1632	0,292	0,93	10,28	5,44	0,656	6,18	8,29	4,17	4,253	+1,95

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРА И АГРЕГАТА ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

5.1 Алгоритм и блок-схема алгоритма определения основных параметров трактора и глубокорыхлителя

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформировать энергетическую математическую модель посевного машинно-тракторного агрегата, позволяющую рассчитать оптимальные параметры агрегатов. Задача оптимизации основных параметров трактора – его массы, мощности его двигателя, а также ширины захвата и скорости почвообрабатывающего агрегата решается на ЭВМ и включает следующие операции (рисунок 5.1):

1. Ввод исходных данных, определение размера задачи, задание шага изменения массы трактора, мощности его двигателя, ширины захвата и скорости агрегата;
2. Определение коэффициента использования времени смены;
3. Определение удельного сопротивления сельхозмашины, буксования трактора, тягового КПД трактора, часового расхода топлива;
4. Сравнение расчетного буксования с допустимым буксованием;
5. Определение мощности двигателя, необходимой для работы агрегата с параметрами B и V_p ;
6. Сравнение требуемой мощности с номинальной мощностью двигателя трактора с заданными параметрами;
7. Подсчет производительности агрегата;
8. Подсчет косвенных энергетических затрат;
9. Подсчет прямых энергетических затрат труда и топливо-смазочных материалов;

11. Подсчет энергетических затрат с учетом урожая, потерянного от уплотнения почвы движителями трактора;

12. Выбор параметров M – массы трактора, кг, N – мощности двигателя трактора, кВт, B – ширины захвата посевного агрегата, м и V_p – рабочей скорости агрегата, определяющих минимальные суммарные энергетические затраты;

13. Вывод данных на печать.

Из-за сложности расчетов и большого их количества необходимо использование электронно-вычислительной машины. Программа составлена с использованием системы компьютерной математики - МАТЛАБ. Блок-схема алгоритма решения задачи приведена на рисунке 5.1.

5.2 Оптимизация основных параметров трактора, работающего в составе агрегатов для глубокой обработки почвы

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить недостающие зависимости энергетической математической модели агрегатов для глубокого рыхления почвы.

Для достижения поставленных цели и задач исследования необходимо провести вычислительные эксперименты по выявлению оптимальных параметров и режимов работы агрегатов с выявлением оптимальных значений основных параметров трактора (массы трактора и мощности его двигателя), предназначенного для глубокого рыхления почвы [26]. Составлены программы расчетов [56, 57].

Периодическая глубокая обработка почвы улучшает культуру земледелия, т.к. приводит к повышению влагопроницаемости почвы и, соответственно, увеличивает накопление доступной для растений влаги. При этом снижается смыв верхнего плодородного слоя почвы из полей в овраги, реки и озера (ежегодно в мире за счет этого негативного процесса выводится из оборота пашни 3 территории, равные по площади территории Республики

Татарстан). Актуальность данной технологической операции для земледелия Республики Татарстан и Российской Федерации в целом не вызывает сомнения.

Не менее актуальной является проблема научного обоснования выбора техники и ее параметров для данной технологической операции.

Была уточнена энергетическая математическая модель агрегата, выполняющего данную операцию. Особенности используемой модели и его новизна заключаются в том, что критерием выбора техники и оптимизации его параметров является критерий – суммарные энергетические затраты, который учитывает влияние техники и его параметров на формируемый урожай [58-60].

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить недостающие зависимости энергетической математической модели агрегатов для глубокого рыхления почвы.

Результаты расчетов приведены на рисунках 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6.

Исходные данные для расчета:

Площадь поля, га. =100

Длина гона поля, км. =1

Расстояние переезда агрегата, км. =2

Плотность семян, кг/м³ =800

Коэффициент прочности несущей поверхности поля =0.9

Объем работы за сезон, га =500

Количество тракторов выполняющих операцию =1

Число часов работы агрегата в сутки =20

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

Давление в шинах (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 =0.7

Коэффициент сопротивления перекачиванию колес трактора =0.08

Результаты расчета:

$V_{opt} = 8$ м – оптимальная для условий расчета ширина захвата агрегата;
 $V_{opt} = 10$ км/ч - оптимальная для условий расчета скорость агрегата;
 $M_{tiopt} = 240$ кН - оптимальный для условий расчета вес трактора;
 $N_{eopt} = 600$ л.с. – номинальная мощность двигателя трактора;
 $N = 589.4$ л.с. – потребная оптимальная для условий расчета мощность двигателя;
 $E_{min} = 3992,3$ МДж/га – величина суммарных энергетических затрат.

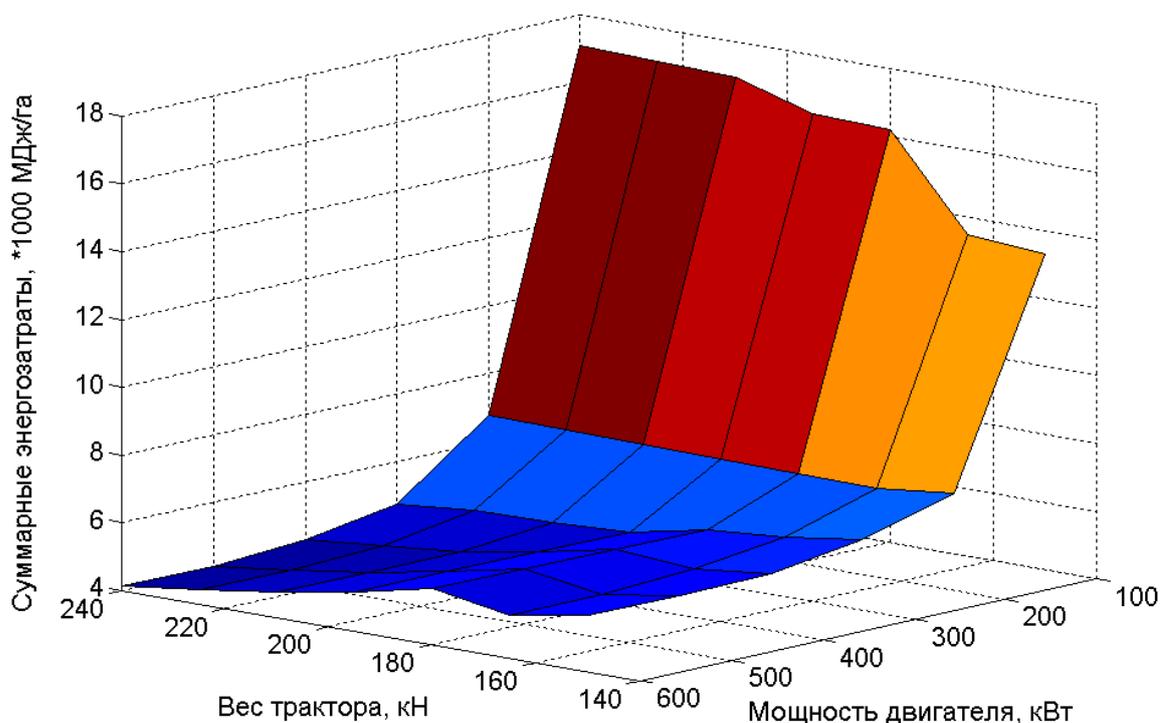


Рисунок 5.2 – График зависимости суммарных энергетических затрат в тыс. МДж/га от веса (кН) трактора и мощности его двигателя в кВт

Из рисунка 5.2 исходит, что имеется оптимальное сочетание массы трактора и мощности его двигателя, когда суммарные энергетические затраты агрегата на выполнение технологической операции минимальны. Величины основных параметров трактора соответствуют максимально возможным их значениям и ограничиваются допустимой массой трактора и мощностью его двигателя. Из практики мирового тракторостроения массу трактора мы ограничили 24 тоннами, а мощность его двигателя 600 л.с. При таких параметрах трактор должен работать с 8 – ми метровым глубокорыхлителем

на скорости 10 км/ч. На сегодня такие параметры имеют тракторы фирмы ДжонДир и НьюХолланд 9000-ой серии.

Закономерно возникает вопрос – Сохраняются ли эти расчетные параметры и режим работы агрегата при изменении условий работы?

Рассмотрим влияние некоторых, наиболее важных факторов внешней среды системы ТООППУ (трактор-оператор-орудие-поле-почва-урожай), на оптимальные значения параметров агрегата. На рисунке 2, представлены зависимости параметров и режимов работы агрегата для глубокого рыхления почвы от площади поля.

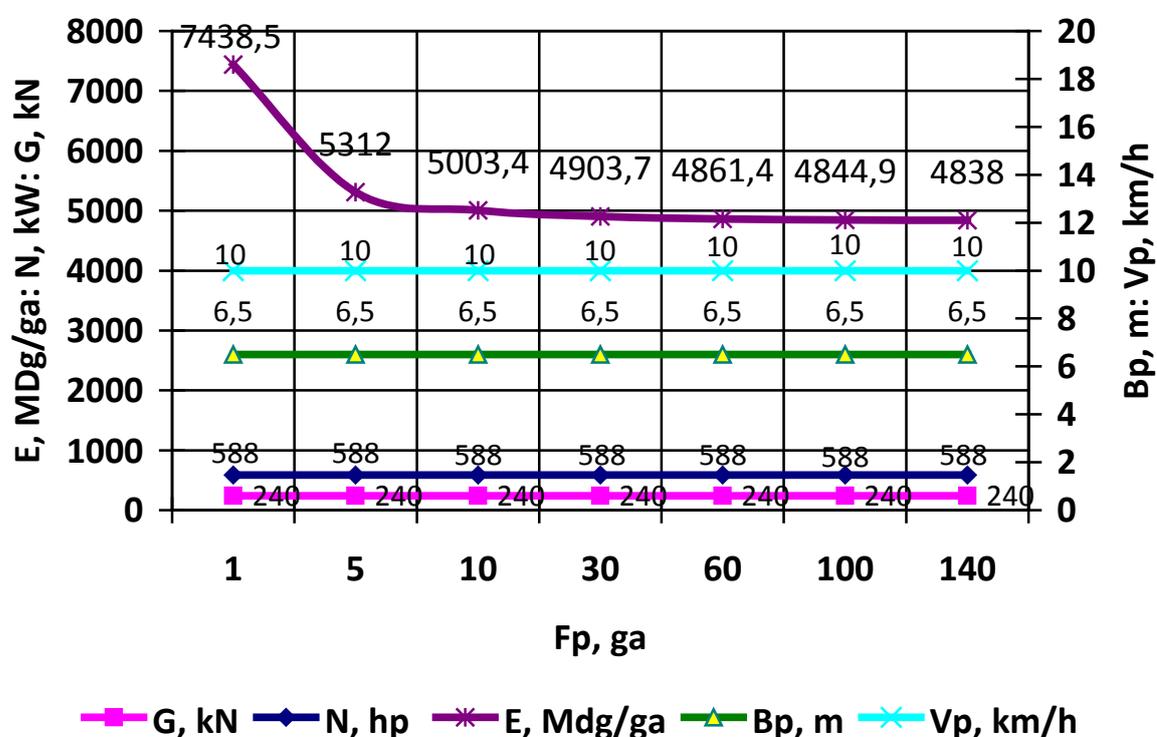


Рисунок 5.3 – Зависимость суммарных энергетических затрат, параметров и режимов работы агрегата от площади обрабатываемого поля

Как видно из рисунка 5.3 все рассчитанные параметры агрегата не зависят от размеров поля, однако суммарные энергетические затраты с уменьшением площади поля возрастают в гиперболической зависимости. На маленьких по размеру полях работать затратно.

Это объясняется снижением производительности агрегата (га/ч) на маленьких по размеру полях, что закономерно ведет к увеличению потерь энергии зерна от нарушения агротехнических сроков выполнения операции.

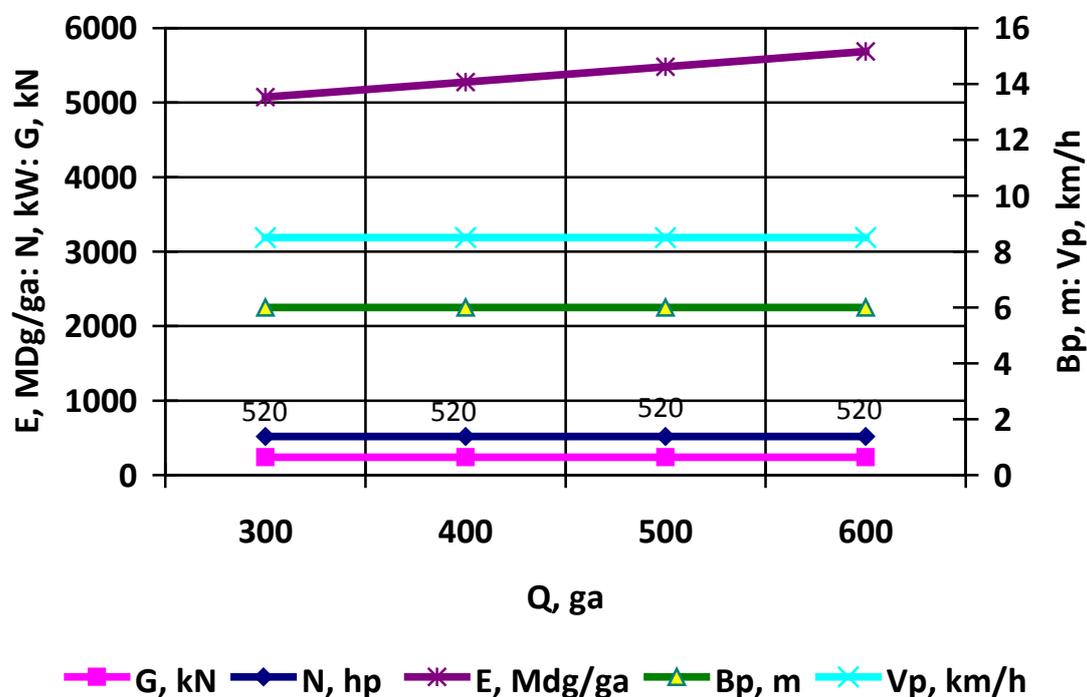


Рисунок 5.4 – Зависимость суммарных энергетических затрат, параметров и режимов работы агрегата от годовой нагрузки рыхлителя

Из рисунка 5.4 видно, что все параметры агрегата остаются постоянными при изменении сезонной нагрузки на агрегат в пределах от 300 до 600 га. При этом суммарные энергетические затраты с увеличением сезонной нагрузки на агрегат возрастают и это связано с увеличением срока выполнения технологической операции, а значит увеличением энергии теряемого урожая.

На рисунке 5.5 представлены зависимости суммарных энергетических затрат и параметров агрегата от удельного сопротивления глубокорыхлителя.

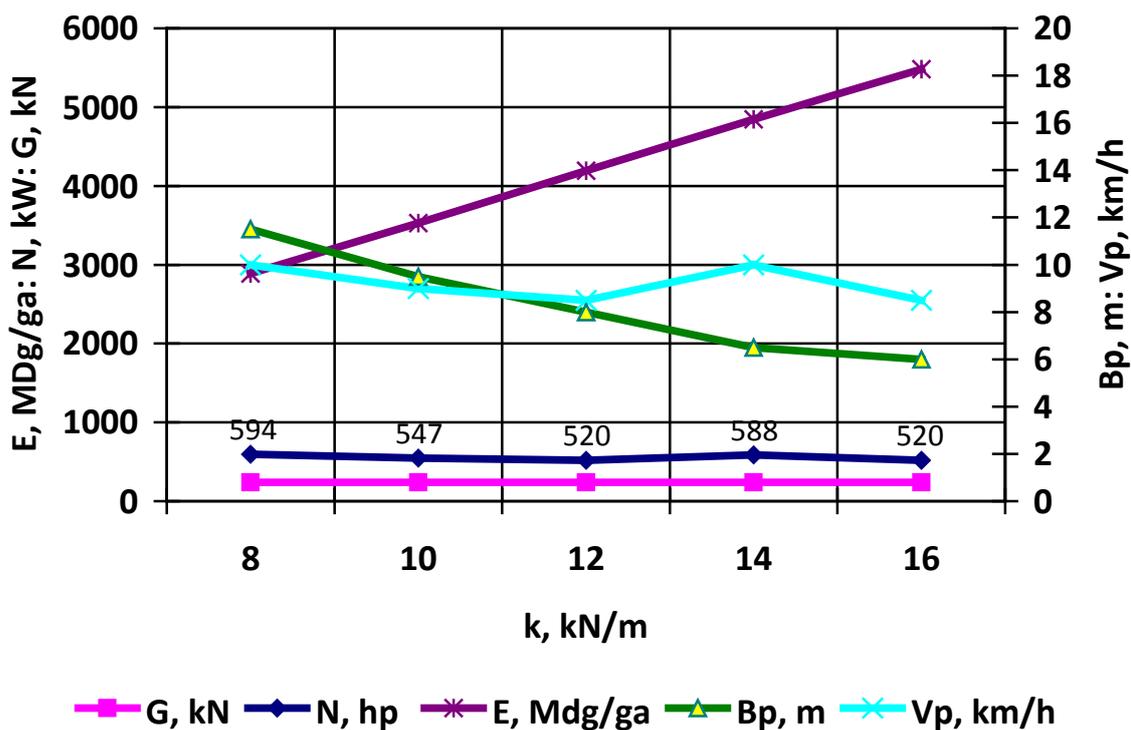


Рисунок 5.5 – Зависимость суммарных энергетических затрат, параметров и режимов работы агрегата от удельного сопротивления рыхлителя почвы

Как видно из рисунка, при постоянстве параметров самого трактора, ширина захвата агрегата и скорость выполнения технологической операции с возрастанием удельного сопротивления рыхлителя от 8 кН/м до 16 кН/м имеют тенденцию к снижению. При этом, ширина захвата агрегата снижается с 11,5 м до 6 м, почти в 2 раза, а оптимальное значение скорости агрегата колеблется в пределах от 8,5 до 10 км/ч. С возрастанием сопротивления рыхлителя в указанных пределах суммарные энергетические затраты увеличиваются почти в 2 раза от 2800 до 5400 МДж/га.

С увеличением твердости почвы, что видно из рисунка 5.6, суммарные энергетические затраты растут, параметры трактора остаются стабильными, ширина захвата агрегата снижается от 6,5 до 5,5 м, скорость зависит от ширины захвата агрегата и колеблется в пределах от 8 до 10 км/ч.

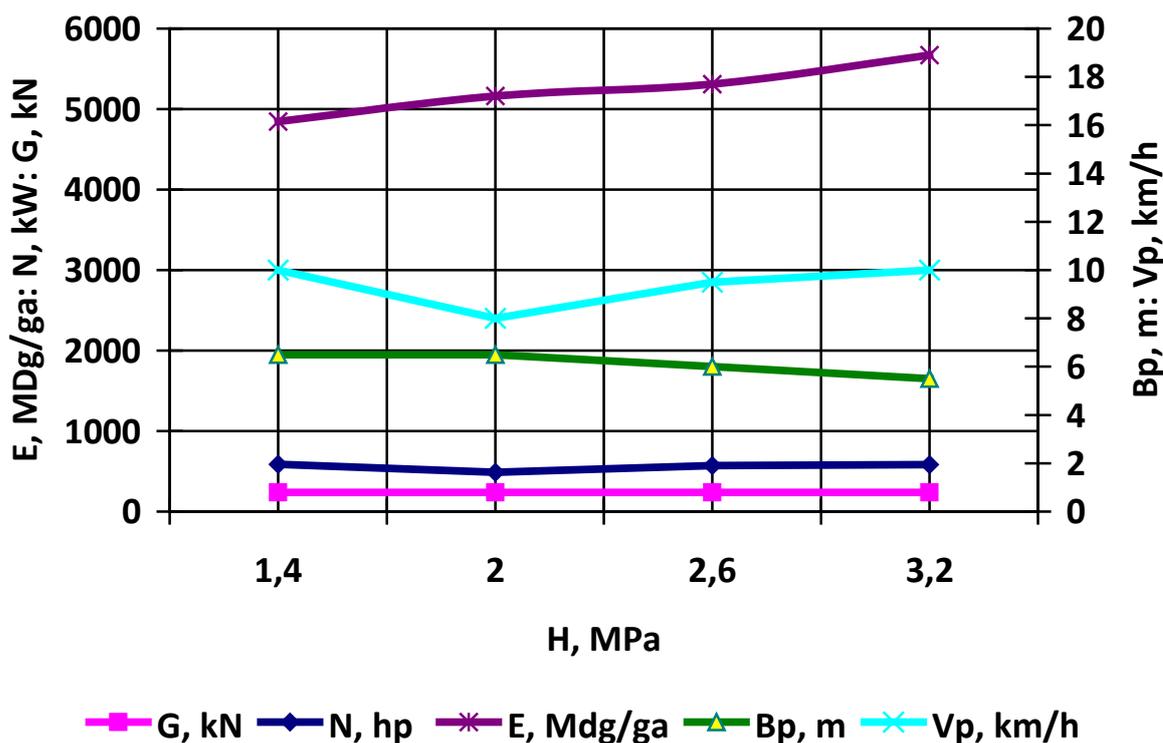
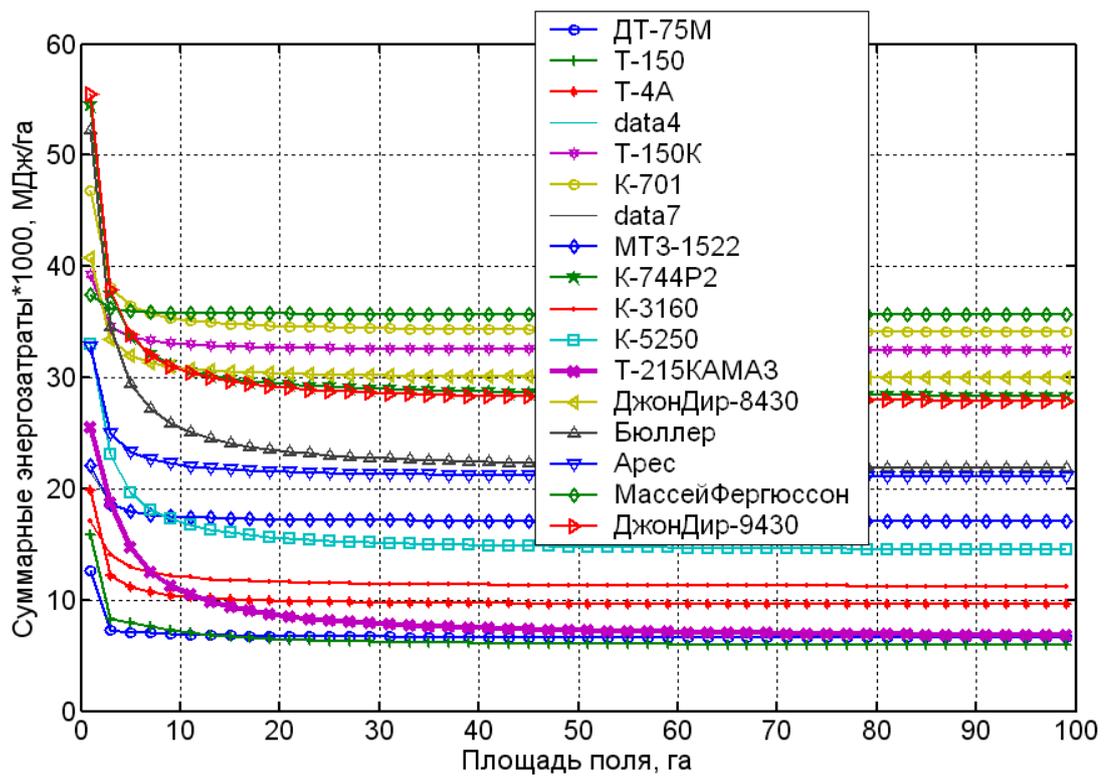


Рисунок 5.6 – Зависимость суммарных энергетических затрат, параметров и режимов работы агрегата от твердости почвы

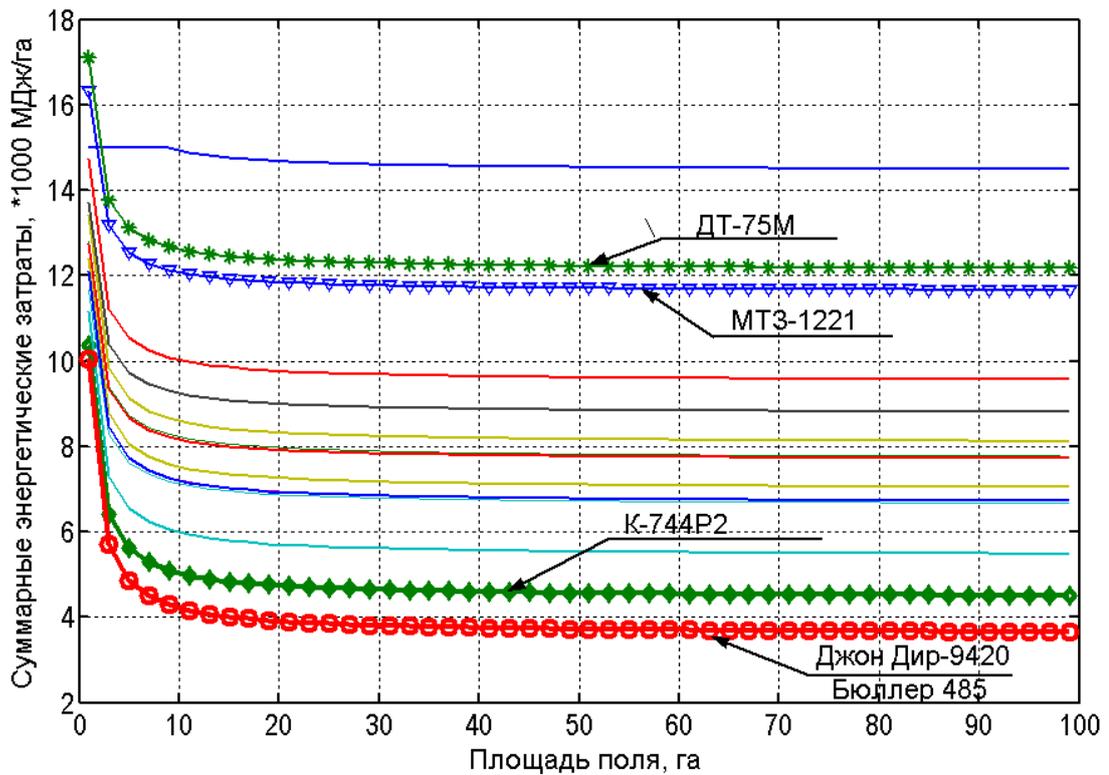
5.3 Энергетическая и экономическая эффективность реализации результатов исследования

Энергетическую эффективность от внедрения рекомендуемых основных параметров трактора, работающего в составе агрегатов для глубокого рыхления почвы, можно рассчитать путем сравнения энергетических затрат реальных тракторов широко используемых на производстве и трактора с оптимальными параметрами.

На рисунке 5.7 представлен график зависимости суммарных энергетических затрат агрегатов для глубокого рыхления почвы, составленных на базе различных марок реальных тракторов, в зависимости от площади поля.



а)



в)

Рисунок 5.7 – Изменение суммарных энергетических затрат посевных агрегатов с сеялкой Агромастер и агрегатов для глубокого рыхления почвы, составленных на базе реальных тракторов

Как видно из рисунка 5.7 минимальные суммарные энергетические затраты на посеве обеспечивают агрегаты, составленные на базе гусеничных тракторов. Из колесных тракторов минимальные суммарные энергетические затраты обеспечивает агрегат с трактором Т-215 КАМАЗ. Тракторы высокого тягового класса с большой массой и мощностью двигателя работают с большими энергозатратами (причина сильное уплотнение почвы и большие потери урожая).

На технологической операции – глубокое рыхление почвы эффективными становятся тракторы высокого тягового класса, т.к. важным становится выполнение операции в короткий срок, а значит нужно обеспечивать высокую часовую производительность и дневную выработку. Потери урожая от уплотнения почвы незначительны.

Из использованных при расчетах тракторов наиболее эффективен трактор Джон ДИР-9430. Масса трактора 24 т., Мощность двигателя 550 л.с., что соответствует расчетным данным в главе 5.2 (данные расчета в приложении Г).

Использование на данной технологической операции других тракторов ведет к повышению суммарных энергетических затрат. Разница колеблется в пределах от 860 (К-744Р2) до 10830 (ДТ-75М) МДж/га в зависимости от трактора, что и составляет энергетическую эффективность использования полученных нами рекомендаций.

В связи с тем, что основная экономия энергетических затрат от использования предлагаемых рекомендаций по подбору основных параметров трактора и рыхлительного агрегата получается за счет снижения энергии теряемого урожая, то можно подсчитать каковы пределы экономии затрат в денежном выражении. Для этого превратим сэкономленную энергию в массу зерна, допустим яровой пшеницы. Разделим сэкономленную энергию на энергоемкость 1 кг зерна, для пшеницы это 14,5 МДж/кг. Получится, что мы снижаем потери зерна от 59 до 747 кг/га или в рублях, исходя из закупочной стоимости зерна пшеницы 3-го класса 9 руб/кг (цена 2019 г.), от 531 до 6722

руб/га в зависимости от марки трактора, используемого на глубоком рыхлении почвы.

Выводы

1. Разработанная методика научного обоснования параметров и режимов работы агрегатов для глубокого рыхления почвы является работоспособной.

2. Вычислительные эксперименты по оптимизации параметров агрегата для глубокого рыхления почвы выдают результаты, сопоставимые с результатами, полученными на практике.

3. Оптимальные параметры трактора работающего в составе агрегата для глубокого рыхления почвы следующие: вес трактора 240 кН; номинальная мощность двигателя трактора 600 л.с. (тракторы ДжонДир и НьюХолланд 9000-ой серии). Ширина захвата агрегата зависит от факторов среды (твердости почвы, его удельного сопротивления и др.) и колеблется в пределах от 6 до 8 м (большее значение для легких почв). Скорость агрегата зависит от параметров трактора, ширины захвата агрегата и свойств почвы, она колеблется в пределах от 8 до 10 км/ч.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. В диссертационной работе уточнена системная энергетическая математическая модель функционирования машинно-тракторного агрегата для глубокого рыхления почвы, в частности подсистема расчета производительности. Выявлено, что большинство глубокорыхлителей являются навесными.

Удельная масса глубокорыхлителей находится в пределах 520-540 кг/м, удельные энергозатраты на изготовление/техническое обслуживание глубокорыхлителей находятся в пределах 264900/63080 МДж/м, удельное сопротивление находится в пределах от 12 до 18 кН/м, кинематическая длина навесных рыхлителей находится в районе 1,8 м, допустимая по агротехническим требованиям скорость работы находится в пределах от 5 до 11 (чаще от 6 до 8,5) км/ч, глубина обработки находится в пределах от 0,3 до 0,65 м.

Установлено, что в модуле расчета производительности почвообрабатывающих агрегатов некоторые связи между производительностью, параметрами агрегатов и факторами среды описать чисто теоретически невозможно и необходимо проведение экспериментальных исследований. В частности, экспериментально необходимо определить: зависимости радиуса поворота, длины и ширины поворотной полосы от ширины захвата и скорости поворота для агрегатов глубокорыхлителей;

2. Разработана программа и методика экспериментальных исследований, основные задачи которых исходят из теоретических исследований и необходимости проверки отдельных модулей системной энергетической математической модели на адекватность. Программой предусматривается: определение допустимых агротехникой пределов рабочей скорости по отклонениям показателей качества почвообработки от заданных значений и сравнения с допустимым отклонением;

проведение эксплуатационно – технологических исследований агрегатов для определения некоторых зависимостей математической модели МТА (радиуса поворота агрегата, длины поворота и ширины поворотной полосы в зависимости от ширины захвата и скорости агрегатов глубокорыхлителей) и фактической производительности агрегатов;

3. Экспериментально установлено, что агротехнически допустимые пределы рабочей скорости различных агрегатов глубокорыхлителей колеблются от 5 до 13 км/ч.

Увеличение скорости агрегатов глубокорыхлителей закономерно ведет к росту удельного сопротивления почвы рабочим органам агрегатов на всех вариантах опытов.

По результатам экспериментов путем корреляционно-регрессионного анализа получены уравнения регрессии радиуса поворота R_n , ширины поворотной полосы C_n , длина поворотной полосы L_n , от параметров агрегата (ширины захвата B_p , скорости поворота V_n) по агрегатам глубокорыхлителям с различными тракторами. Выявлена фактическая производительность агрегатов. Расхождение расчетной и экспериментально определенной производительности машинно-тракторных агрегатов находится в пределах 2-8 %, что допускается при нормировании производительности агрегатов.

4. Вычислительные эксперименты, проведенные с использованием уточненной энергетической математической модели агрегатов для глубокого рыхления почвы по оптимизации параметров агрегата, выдают результаты, сопоставимые с результатами, полученными на практике.

Оптимальные параметры трактора работающего в составе агрегата для глубокого рыхления почвы следующие: вес трактора 240 кН; номинальная мощность двигателя трактора 600 л.с. (тракторы ДжонДир и НьюХолланд 9000-ой серии). Ширина захвата агрегата зависит от

факторов среды (твердости почвы, его удельного сопротивления и др.) и колеблется в пределах от 6 до 8 м (большее значение для легких почв). Скорость агрегата зависит от параметров трактора, ширины захвата агрегата и свойств почвы, она колеблется в пределах от 8 до 10 км/ч.

5. Сравнение энергетических затрат реальных тракторов широко используемых на производстве и трактора с оптимальными параметрами при работе с прицепным орудием для глубокого рыхления почвы показало:

- Из использованных при расчетах тракторов наиболее эффективен трактор Джон ДИР-9430. Масса трактора 24 т., Мощность двигателя 550 л.с., что соответствуют расчетным значениям параметров, приведенным в главе 5.2.
- Использование на данной технологической операции других тракторов ведет к повышению суммарных энергетических затрат. Разница колеблется в пределах от 860 (К-744Р2) до 10830 (ДТ-75М) МДж/га в зависимости от трактора, что и составляет энергетическую эффективность использования полученных нами рекомендаций.
- В связи с тем, что основная экономия энергетических затрат от использования предлагаемых рекомендаций по подбору основных параметров трактора и глубокорыхлительного агрегата получается за счет снижения энергии теряемого урожая, то можно подсчитать каковы пределы экономии затрат в денежном выражении. Для этого превратим сэкономленную энергию в массу зерна, допустим яровой пшеницы. Разделим сэкономленную энергию на энергоемкость 1 кг зерна, для пшеницы это 14,5 МДж/кг. Получится, что мы снижаем потери зерна от 59 до 747 кг/га или в рублях, исходя из закупочной стоимости зерна пшеницы 3-го класса 9 руб/кг (цена 2019 г.), от 531 до 6722 руб/га в зависимости от марки трактора, используемого на глубоком рыхлении почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
2. 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.
3. Обработка почвы энергосберегающие технологии и технические средства.) Рекомендации. М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 104 с.
4. 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.
5. **Северов В. И.** Агроэнергетическая оценка производства кормов / В. И. Северов, К. Г. Калашников. – Кормопроизводство. – 1994. – № 2. – С. 5-7.
6. **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.
7. **Лобачевский Я.П.,** Колчина Л.М. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 116 с.
8. Reduced tillage for soll erosion control, Published 1978. <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/soils/reducedtillage.pdf> (дата обращения 10.11.19).

9. **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.
10. Справочник инженера механика сельскохозяйственного производства: Учеб. Пособие: В 2 ч. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 492 с.
11. Система земледелия Республики Татарстан: ч. 2. Агротехнологии производства продукции растениеводства. – Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 292 с.
12. **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.
13. Н. А. ПОЛЯНСКАЯ. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ. <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-proizvodstva-zerna-na-osnove-resursosberegayuschih-tehnologiy/viewer>). (Дата обращения 29 ноября 2019 г.).
14. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур. <http://ppagromarket.com/pro-nas/stati/20->. (Дата обращения 29 ноября 2019 г.).
15. Нулевая технология обработки почвы: что это, плюсы и минусы. <https://plusminusi.ru/nulevaya-texnologiya-obrabotki-pochvy-cto-eto-plyusy-i-minusy/>. (Дата обращения 29 ноября 2019 г.).
16. OPTIMIZATION OF MAIN PARAMETERS OF TRACTOR WORKING WITH SOIL-PROCESSING IMPLEMENT / Nurmiev A., Khafizov C., Khafizov R., Ziganshin B. // В сборнике: Engineering for Rural Development Proceedings. 2018. С. 161-167.
17. OPTIMIZATION OF MAIN PARAMETERS OF TRACTOR AND UNIT FOR SEEDING CEREAL CROPS WITH REGARDS TO THEIR IMPACT

- ON CROP PRODUCTIVITY / Khafizov R., Khafizov C., Nurmiev A., Galiev I. // В сборнике: Engineering for Rural Development Proceedings. 2018. С. 168-175.
18. METHOD OF JUSTIFICATION FOR PARAMETERS OF TRACTOR-IMPLEMENT UNIT WITH REGARDS TO THEIR IMPACT ON CROP PRODUCTIVITY / Khafizov C., Nurmiev A., Khafizov R., Adigamov N. В сборнике: Engineering for Rural Development Proceedings. 2018. С. 176-185.
19. INCREASE OF EFFICIENCY OF TRACTORS USE IN AGRICULTURAL PRODUCTION / Galiev I., Khafizov C., Adigamov N., Khusainov R. В сборнике: Engineering for Rural Development Proceedings. 2018. С. 373-377.
20. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО КПД ТРАКТОРА / *Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А., Галиев И.Г.* // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. [№ 3 \(54\)](#). С. 116-121.
21. **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.
22. **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.

23. **Хафизов К.А.** Пути снижения энергетических затрат на производственных процессах в сельском хозяйстве – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. – 272 с.
24. **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.
25. **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.
26. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н.** Энергетический метод оптимизации основных параметров тракторов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2015. – № 1 (35). – С. 75 – 81.
27. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Капитонов Л.В.** Определение зависимостей диаметра, ширины профиля колеса и тягового коэффициента полезного действия от массы трактора // Материалы Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК». – Казань, 2013. – С. 179 – 182.
28. Методика ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе. – Курск: ИЦ ЮМЭКС, 1999. – 47 с.

29. **Фере Н.Э.** Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1978.–256 с.
30. **Хафизов К.А.** Оптимизация параметров посевных агрегатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №10. – С. 24–26.
31. **Мухаметгалиев Ф.Н. и др.** Организация и планирование производства на предприятиях АПК. – Казань: Дом печати, 2004. – 283 с.
32. **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.
33. Ramil Khafizov, Camill Khafizov, Azat Nurmiev, Bulat Ziganshin. Optimization of main parameters of tractor working with soil-processing implement / Contents of Proceedings of 17th International Scientific Conference Engineering for rural development. ”. Jelgava 2018, с.168-175. (Scopus, Web of Science).
34. Azat Nurmiev, Camill Khafizov, Ramil Khafizov, Ilgiz Galiev. Optimization of main parameters of tractor and unit for seeding cereal crops with regards to their impact on crop productivity / Contents of Proceedings of 17th International Scientific Conference Engineering for rural development. ”. Jelgava 2018, с.176-185. (Scopus, Web of Science).
35. Camill Khafizov, Azat Nurmiev, Ramil Khafizov, Nail Adigamov. Method of justification for parameters of tractor-implement unit with regards to their impact on crop productivity / Contents of Proceedings of 17th International Scientific Conference Engineering for rural development. ”. Jelgava 2018, с. 161-167. (Scopus, Web of Science).
36. Теоретические предпосылки создания математической модели тягового КПД трактора / Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А., Галиев И.Г. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 116-121.
37. Глубокорыхлитель SDDR Инструкция по эксплуатации/
www.quivogne.fr (Дата обращения 03.12.2019 г.).

38. Глубококорыхлитель “Delta New” Руководство по эксплуатации/
<http://www.hatzenbichler.ru> (Дата обращения 03.12.2019 г.).
39. Протокол испытаний № 01-57-18 (5010152) от 23.11.2018. Плоскорез-глубококорыхлитель полуприцепной ППП-7 // Алтайская государственная зональная машиноиспытательная станция.
40. Протокол испытаний № 14-56-2 от 2 декабря 2005 года. Глубококорыхлитель навесной ГН-250 // Центрально-Черноземная государственная зональная машиноиспытательная станция.
41. Глубококорыхлитель (Кама ТГР.) Источник: АгроБаза
https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_f7f861ee-404b-427c-a109-5f7d396ebe12. (Дата обращения 03.12.2019 г.).
42. Протокол испытаний № 01-50-15 (1010012) от 01 ноября 2015 года. Плоскорез-глубококорыхлитель // Алтайская государственная зональная машиноиспытательная станция.
43. **ГОСТ 20915-2011.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2012. – 24 с.
44. **ГОСТ 28305-89.** Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки на испытания. – М: Изд-во стандартов, 1990. – 4 с.
45. **ГОСТ 30745-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. – М: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
46. **ГОСТ 31345-2007.** Сеялки тракторные. Методы испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 58 с.
47. **ГОСТ 7057-2001.** Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – М: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
48. **ГОСТ Р 52777-2007.** Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
49. **ГОСТ Р 52778-2007.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М: Изд-во стандартов, 2008. – 24 с.

50. **Высоцкий А.А.** Динамометрирование сельскохозяйственных машин.– М.: Машиностроение, 1968.–290 с
51. **Веденяпин Г.В.** Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. – М.: Колос, 1967.–159 с.
52. **Лихачев В.С.** Испытания тракторов. - М.: Машиностроение, 1974. – 286с.
53. **Львовский Б.Н.** Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1982.–192 с.
54. **Мельников, С.В.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
55. **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.
56. **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.
57. **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.
58. [ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ УРОЖАЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СНИЖЕНИЯ ОТ УПЛОТНЕНИЯ ХОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПО УХОДУ ЗА РАСТЕНИЯМИ.](#) / *Фёдоров Р.Н., Хафизов К.А.*// [Вестник Казанского государственного аграрного университета.](#) 2009. Т. 4. № 4 (14). С. 152-155.

59. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО КПД ТРАКТОРА / Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А., Галиев И.Г. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 116-121.
60. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАКТОРОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ / Галиев И.Г., Мухаметшин А.А., Исхаков И.Р., Шамсутдинов А.Р. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2009. Т. 4. № 2 (12). С. 169-172.

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 $K_{п} = 2909 \text{ Н/В}$

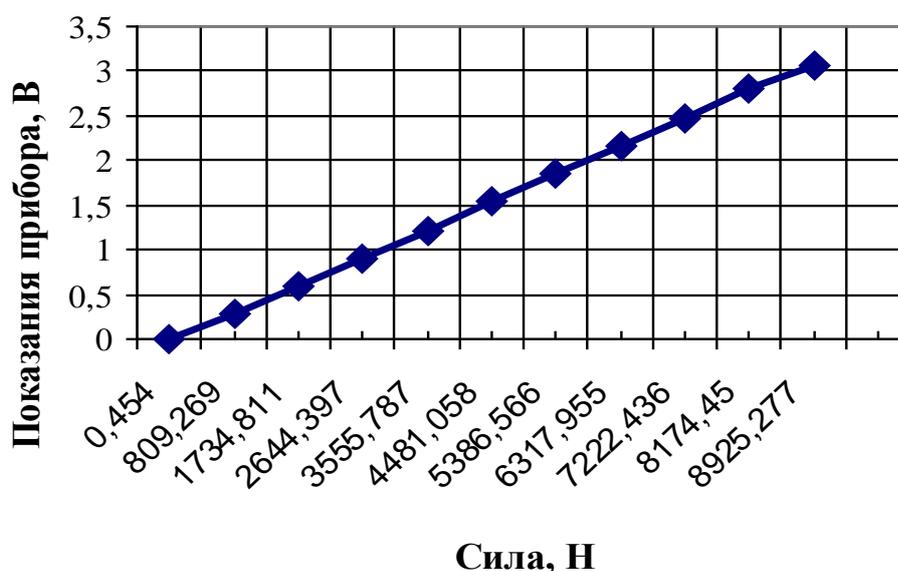


Рисунок А.1 – Тарировочный график тягового тензозвена

Таблица Б.1 – Радиус поворота агрегата в зависимости от ширины захвата и скорости поворота

Агрегат Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК				
Ширина захвата агрегата B_p , м	Радиус поворота, м при скорости поворота $V_{п}$, км/ч			
	$V_{п1}=5$	$V_{п2}=7$	$V_{п3}=9$	$V_{п4}=12$
3,6	$R_1=3,7$	$R_1=3,9$	$R_1=5,8$	$R_1=7,4$
	$R_2=3,9$	$R_2=4,1$	$R_2=5,9$	$R_2=7,5$
	$R_3=4,0$	$R_3=4,2$	$R_3=5,7$	$R_3=7,1$
7,2	$R_1=7,6$	$R_1=7,9$	$R_1=9,2$	$R_1=10,9$
	$R_2=7,8$	$R_2=8,2$	$R_2=9,5$	$R_2=11,0$
	$R_3=7,7$	$R_3=8,0$	$R_3=9,3$	$R_3=10,8$
Агрегат К-744Р4 + ГР-6,3 ШК				
Ширина захвата агрегата B_p , м	Радиус поворота, м при скорости поворота $V_{п}$, км/ч			
	$V_{п1}=5$	$V_{п2}=7$	$V_{п3}=9$	$V_{п4}=12$
4	$R_1=4,6$	$R_1=5,2$	$R_1=6,5$	$R_1=8,1$
	$R_2=4,7$	$R_2=5,7$	$R_2=6,8$	$R_2=8,4$
	$R_3=4,8$	$R_3=5,8$	$R_3=6,9$	$R_3=8,7$
8	$R_1=8,7$	$R_1=9,9$	$R_1=11,9$	$R_1=13,9$
	$R_2=9,0$	$R_2=9,7$	$R_2=11,5$	$R_2=13,8$
	$R_3=8,8$	$R_3=9,8$	$R_3=11,8$	$R_3=14,5$

Таблица Б.2 – Фактическая ширина поворотной полосы агрегатов в зависимости от ширины захвата и скорости поворота

Агрегат Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК				
Ширина захвата агрегата V_p , м	Ширина поворотной полосы агрегата C , м при скорости поворота V_{Π} , км/ч			
	$V_{\Pi 1}=5$	$V_{\Pi 2}=7$	$V_{\Pi 3}=9$	$V_{\Pi 4}=12$
3,6	$C_1=17$	$C_1=18,3$	$C_1=21$	$C_1=23,1$
	$C_2=15,6$	$C_2=19,5$	$C_2=23,6$	$C_2=24,5$
	$C_3=16,1$	$C_3=20,2$	$C_3=22,3$	$C_3=24$
7,2	$C_1=34$	$C_1=36,6$	$C_1=41,6$	$C_1=46,4$
	$C_2=36,6$	$C_2=35,7$	$C_2=40,5$	$C_2=47,8$
	$C_3=34$	$C_3=38$	$C_3=43,6$	$C_3=45,8$
Агрегат К-744Р4 + ГР-6,3 ШК				
Ширина захвата агрегата V_p , м	Ширина поворотной полосы агрегата C , м при скорости поворота V_{Π} , км/ч			
	$V_{\Pi 1}=5$	$V_{\Pi 2}=7$	$V_{\Pi 3}=9$	$V_{\Pi 4}=12$
4	$C_1=17,0$	$C_1=18,8$	$C_1=21,9$	$C_1=23,5$
	$C_2=16,6$	$C_2=19,0$	$C_2=23,0$	$C_2=24,0$
	$C_3=16,4$	$C_3=19,1$	$C_3=22,2$	$C_3=24,2$
8	$C_1=34,9$	$C_1=37,8$	$C_1=43,6$	$C_1=48,6$
	$C_2=35,5$	$C_2=39,6$	$C_2=44,4$	$C_2=49,2$
	$C_3=34,2$	$C_3=38,4$	$C_3=43,9$	$C_3=49,4$

Таблица Б.3 – Фактическая длина поворота агрегата в зависимости от ширины захвата и скорости поворота

Агрегат Джон Дир 8430 + ГР-5,4 ШК				
Ширина захвата агрегата V_p , м	Длина поворотной полосы агрегата L , м при скорости поворота $V_{п}$, км/ч			
	$V_{п1}=5$	$V_{п2}=7$	$V_{п3}=9$	$V_{п4}=12$
3,6	$L_1=36,2$	$L_1=39,7$	$L_1=46$	$L_1=51,6$
	$L_2=33$	$L_2=42,5$	$L_2=53$	$L_2=55,1$
	$L_3=34,1$	$L_3=44,6$	$L_3=49,5$	$L_3=53,7$
7,2	$L_1=73$	$L_1=79,3$	$L_1=91,9$	$L_1=103,8$
	$L_2=77,9$	$L_2=77,2$	$L_2=89,1$	$L_2=107,3$
	$L_3=72,3$	$L_3=82,8$	$L_3=95,4$	$L_3=102,4$
Агрегат К-744Р4 + ГР-6,3 ШК				
Ширина захвата агрегата V_p , м	Длина поворотной полосы агрегата L , м при скорости поворота $V_{п}$, км/ч			
	$V_{п1}=5$	$V_{п2}=7$	$V_{п3}=9$	$V_{п4}=12$
4	$L_1=42,6$	$L_1=46,8$	$L_1=53,8$	$L_1=61,5$
	$L_2=45,4$	$L_2=50,3$	$L_2=59,4$	$L_2=63,6$
	$L_3=46,8$	$L_3=52,3$	$L_3=55,2$	$L_3=59,5$
8	$L_1=75$	$L_1=82$	$L_1=96$	$L_1=108,6$
	$L_2=77,1$	$L_2=86,8$	$L_2=99,4$	$L_2=112,7$
	$L_3=72$	$L_3=84,1$	$L_3=97,4$	$L_3=110,7$

Таблица В1 – Расчет теоретической производительности агрегата глубокорыхлителя почвы с использованием математической модели ДД-8430 +ГР-5,4 ШК

B_p	V_p	τ_{cm}	k	η	N	δ	W	G							
5	6.5	0.70179	8.1186	0.54263	198.39	13.134	2.2808	14.059	329.69	0.013333	0.87688	702.97	0.33595	0.55348	1.923
5	7	0.6971	8.1601	0.54186	215.05	13.276	2.4398	13.529	308.2	0.013333	0.81973	676.43	0.33595	0.51195	1.8334
5	7.5	0.69247	8.2025	0.54103	231.96	13.422	2.5968	13.074	289.58	0.013333	0.77019	653.72	0.33595	0.47202	1.752
5	8	0.6879	8.2457	0.54015	249.14	13.572	2.7516	12.683	273.28	0.013333	0.72685	634.13	0.33595	0.43532	1.6794
5	8.5	0.6834	8.2898	0.53921	266.58	13.726	2.9044	12.342	258.9	0.013333	0.6886	617.12	0.33595	0.40618	1.6188
5	9	0.67895	8.3346	0.53821	284.32	13.883	3.0553	12.045	246.12	0.013333	0.65461	602.27	0.33595	0.38326	1.5683
5	9.5	0.67456	8.3802	0.53716	302.35	14.044	3.2041	11.785	234.68	0.013333	0.62419	589.24	0.33595	0.35922	1.5197
5	10	0.67022	8.4266	0.53603	320.69	14.209	3.2041	12.085	234.68	0.013333	0.62419	604.26	0.33595	0.35922	1.5197
5	10.5	0.66594	8.4736	0.53485	339.36	14.377	3.2041	12.387	234.68	0.013333	0.62419	619.37	0.33595	0.35922	1.5197
5	11	0.66172	8.5213	0.53359	358.36	14.549	3.2041	12.691	234.68	0.013333	0.62419	634.55	0.33595	0.35922	1.5197
5.5	5	0.71268	8	0.54108	165.89	15.577	1.9599	15.474	397.39	0.014667	1.0205	773.72	0.30541	0.66657	2.1441
5.5	5.5	0.7075	8.0385	0.53966	183.84	15.736	2.1402	14.684	363.91	0.014667	0.9345	734.18	0.30541	0.60125	2.0057
5.5	6	0.70239	8.078	0.53817	202.1	15.901	2.3179	14.032	336.01	0.014667	0.86286	701.59	0.30541	0.54271	1.8866
5.5	6.5	0.69735	8.1186	0.53661	220.68	16.071	2.493	13.487	312.41	0.014667	0.80224	674.35	0.30541	0.5006	1.7936
5.5	7	0.69238	8.1601	0.53498	239.59	16.247	2.6657	13.027	292.17	0.014667	0.75028	651.33	0.30541	0.45472	1.7044
5.5	7.5	0.68749	8.2025	0.53328	258.87	16.427	2.8359	12.634	274.64	0.014667	0.70525	631.69	0.30541	0.41846	1.6309
5.5	8	0.68266	8.2457	0.5315	278.51	16.612	3.0037	12.296	259.29	0.014667	0.66584	614.81	0.30541	0.3905	1.5707
5.5	8.5	0.6779	8.2898	0.52963	298.54	16.801	3.1692	12.004	245.75	0.014667	0.63108	600.21	0.30541	0.36577	1.5178
5.5	9	0.67321	8.3346	0.52769	318.99	16.995	3.1692	12.355	245.75	0.014667	0.63108	617.77	0.30541	0.36577	1.5178
5.5	9.5	0.66858	8.3802	0.52566	339.86	17.194	3.1692	12.708	245.75	0.014667	0.63108	635.4	0.30541	0.36577	1.5178
5.5	10	0.66401	8.4266	0.52355	361.17	17.397	3.1692	13.062	245.75	0.014667	0.63108	653.08	0.30541	0.36577	1.5178
5.5	10.5	0.65951	8.4736	0.52135	382.96	17.605	3.1692	13.417	245.75	0.014667	0.63108	670.85	0.30541	0.36577	1.5178
5.5	11	0.65507	8.5213	0.51906	405.23	17.817	3.1692	13.774	245.75	0.014667	0.63108	688.69	0.30541	0.36577	1.5178
6	5	0.70905	8	0.52596	186.17	18.748	2.1271	15.032	378.78	0.016	0.94023	751.62	0.27996	0.60628	2.0176
6	5.5	0.70356	8.0385	0.52365	206.69	18.941	2.3217	14.314	347.03	0.016	0.86142	715.7	0.27996	0.54163	1.8852
6	6	0.69815	8.078	0.52124	227.63	19.141	2.5133	13.723	320.57	0.016	0.79575	686.16	0.27996	0.49524	1.7827
6	6.5	0.69283	8.1186	0.51873	249.04	19.347	2.702	13.23	298.19	0.016	0.74018	661.52	0.27996	0.44623	1.6866
6	7	0.68759	8.1601	0.51612	270.93	19.559	2.8879	12.815	279	0.016	0.69255	640.76	0.27996	0.40903	1.6095
6	7.5	0.68242	8.2025	0.51341	293.32	19.777	3.0709	12.462	262.37	0.016	0.65127	623.1	0.27996	0.38118	1.5473
6	8	0.67734	8.2457	0.5106	316.26	20	3.0709	12.873	262.37	0.016	0.65127	643.66	0.27996	0.38118	1.5473
6	8.5	0.67233	8.2898	0.50769	339.76	20.229	3.0709	13.285	262.37	0.016	0.65127	664.27	0.27996	0.38118	1.5473
6	9	0.66739	8.3346	0.50467	363.86	20.464	3.0709	13.699	262.37	0.016	0.65127	684.93	0.27996	0.38118	1.5473
6	9.5	0.66252	8.3802	0.50153	388.59	20.704	3.0709	14.113	262.37	0.016	0.65127	705.65	0.27996	0.38118	1.5473
6	10	0.65773	8.4266	0.49829	413.98	20.95	3.0709	14.528	262.37	0.016	0.65127	726.42	0.27996	0.38118	1.5473
6	10.5	0.653	8.4736	0.49493	440.07	21.201	3.0709	14.945	262.37	0.016	0.65127	747.27	0.27996	0.38118	1.5473
6	11	0.64834	8.5213	0.49146	466.9	21.457	3.0709	15.364	262.37	0.016	0.65127	768.19	0.27996	0.38118	1.5473
6.5	5	0.70534	8	0.49932	212.45	22.248	2.2924	14.915	363.2	0.017333	0.87247	745.76	0.25842	0.55005	1.9183

Таблица Г1 – Расчет оптимальных параметров агрегата для рыхления почвы с трактором Джон Дир-9430

B_p	V_p	τ_{cm}	k	η	N	δ	W	Gh	E	E_{per}	E_{upr}	E_{tsm}	$E_{up}/1000$	$E_{ua}/1000$	$ES/1000$
1	5	0.72862	14	0.31316	101.33	3.2132	0.32788	149.47	2897.5	0.0040812	0.65576	7473.7	0.029297	20.234	30.636
1	5.5	0.72611	14.067	0.31385	111.76	3.1914	0.35942	132.29	2643.2	0.0040812	0.71885	6614.7	0.029297	18.445	27.733
1	6	0.72361	14.137	0.31455	122.24	3.1691	0.39075	118.05	2431.3	0.0040812	0.7815	5902.6	0.029297	16.954	25.318
1	6.5	0.72113	14.207	0.31527	132.79	3.1463	0.42186	106.07	2252	0.0040812	0.84373	5303.5	0.029297	15.692	23.277
1	7	0.71867	14.28	0.316	143.4	3.1231	0.45276	95.865	2098.3	0.0040812	0.90552	4793.3	0.029297	14.61	21.532
1	7.5	0.71622	14.354	0.31674	154.08	3.0995	0.48345	87.082	1965.1	0.0040812	0.9669	4354.1	0.029297	13.673	20.022
1	8	0.71379	14.43	0.3175	164.83	3.0755	0.51393	79.455	1848.6	0.0040812	1.0279	3972.8	0.029297	12.853	18.704
1	8.5	0.71138	14.507	0.31827	175.64	3.0512	0.54421	72.781	1745.7	0.0040812	1.0884	3639	0.029297	12.129	17.544
1	9	0.70898	14.586	0.31906	186.52	3.0265	0.57428	66.9	1654.3	0.0040812	1.1486	3345	0.029297	11.485	16.515
1	9.5	0.7066	14.665	0.31985	197.47	3.0016	0.60415	61.688	1572.5	0.0040812	1.2083	3084.4	0.029297	10.91	15.598
1	10	0.70424	14.747	0.32065	208.48	2.9763	0.63381	57.046	1498.9	0.0040812	1.2676	2852.3	0.029297	10.392	14.774
2	5	0.70789	14	0.44066	144.03	0.45	0.6371	61.324	1575.5	0.0081624	1.2742	3066.2	0.014648	10.337	14.995
2	5.5	0.70501	14.067	0.44172	158.81	0.44064	0.69796	54.885	1438.2	0.0081624	1.3959	2744.2	0.014648	9.4224	13.621
2	6	0.70215	14.137	0.4428	173.67	0.43136	0.75832	49.564	1323.7	0.0081624	1.5166	2478.2	0.014648	8.6598	12.478
2	6.5	0.69931	14.207	0.4439	188.62	0.42221	0.81819	45.104	1226.8	0.0081624	1.6364	2255.2	0.014648	8.0146	11.513
2	7	0.69649	14.28	0.44502	203.65	0.41322	0.87758	41.321	1143.8	0.0081624	1.7552	2066.1	0.014648	7.4619	10.688
2	7.5	0.6937	14.354	0.44617	218.77	0.40443	0.93649	38.081	1071.9	0.0081624	1.873	1904.1	0.014648	6.9825	9.9749
2	8	0.69093	14.43	0.44733	233.98	0.39588	0.99494	35.282	1008.9	0.0081624	1.9899	1764.1	0.014648	6.5635	9.3531
2	8.5	0.68818	14.507	0.4485	249.28	0.38759	1.0529	32.847	953.34	0.0081624	2.1058	1642.4	0.014648	6.1929	8.8054
2	9	0.68545	14.586	0.4497	264.66	0.37959	1.1104	30.716	903.96	0.0081624	2.2209	1535.8	0.014648	5.8638	8.3205
2	9.5	0.68275	14.665	0.4509	280.14	0.37192	1.1675	28.84	859.78	0.0081624	2.335	1442	0.014648	5.5696	7.8884
2	10	0.68006	14.747	0.45212	295.72	0.36459	1.2241	27.182	820.01	0.0081624	2.4482	1359.1	0.014648	5.3056	7.5019
3	5	0.68743	14	0.53367	178.39	1.2332	0.92803	35.443	1139.6	0.012244	1.8561	1772.2	0.0097656	7.0477	9.9711
3	5.5	0.6842	14.067	0.53476	196.77	1.2705	1.016	32.296	1040.8	0.012244	2.0321	1614.8	0.0097656	6.4236	9.091
3	6	0.68101	14.137	0.53588	215.26	1.3096	1.1032	29.71	958.58	0.012244	2.2065	1485.5	0.0097656	5.9036	8.3596
3	6.5	0.67784	14.207	0.53701	233.88	1.3504	1.1896	27.556	888.97	0.012244	2.3792	1377.8	0.0097656	5.4639	7.7429
3	7	0.67471	14.28	0.53816	252.61	1.3931	1.2752	25.742	829.31	0.012244	2.5504	1287.1	0.0097656	5.0858	7.2145
3	7.5	0.6716	14.354	0.53933	271.48	1.4376	1.36	24.202	777.6	0.012244	2.72	1210.1	0.0097656	4.7587	6.7589
3	8	0.66852	14.43	0.5405	290.47	1.4839	1.444	22.883	732.36	0.012244	2.888	1144.2	0.0097656	4.4728	6.362
3	8.5	0.66547	14.507	0.54169	309.59	1.532	1.5273	21.748	692.44	0.012244	3.0545	1087.4	0.0097656	4.2213	6.0139

продолжение таблицы Г1

3	9	0.66245	14.586	0.5429	328.84	1.582	1.6098	20.766	656.95	0.012244	3.2195	1038.3	0.0097656	3.9959	5.7041
3	9.5	0.65946	14.665	0.5441	348.24	1.6338	1.6915	19.913	625.2	0.012244	3.383	995.64	0.0097656	3.7951	5.4292
3	10	0.65649	14.747	0.54532	367.77	1.6876	1.7725	19.17	596.63	0.012244	3.545	958.51	0.0097656	3.6149	5.1834
4	5	0.66723	14	0.59218	214.35	5.5629	1.201	25.112	925.29	0.016325	2.402	1255.6	0.0073242	5.4098	7.6005
4	5.5	0.66369	14.067	0.59298	236.6	5.681	1.3141	23.397	845.66	0.016325	2.6282	1169.9	0.0073242	4.9305	6.956
4	6	0.6602	14.137	0.59378	259.03	5.8037	1.426	22	779.29	0.016325	2.852	1100	0.0073242	4.5321	6.4216
4	6.5	0.65673	14.207	0.59459	281.64	5.931	1.5368	20.85	723.14	0.016325	3.0735	1042.5	0.0073242	4.194	5.97
4	7	0.65331	14.28	0.59541	304.43	6.0627	1.6463	19.893	675	0.016325	3.2927	994.64	0.0073242	3.9048	5.585
4	7.5	0.64992	14.354	0.59622	327.43	6.1989	1.7548	19.091	633.29	0.016325	3.5096	954.57	0.0073242	3.6524	5.2511
4	8	0.64657	14.43	0.59703	350.62	6.3395	1.8621	18.417	596.79	0.016325	3.7242	920.84	0.0073242	3.4343	4.963
4	8.5	0.64325	14.507	0.59784	374.02	6.4844	1.9683	17.847	564.58	0.016325	3.9367	892.35	0.0073242	3.2394	4.7076
4	9	0.63996	14.586	0.59865	397.62	6.6337	2.0735	17.365	535.95	0.016325	4.1469	868.25	0.0073242	3.0667	4.4824
4	9.5	0.63671	14.665	0.59945	421.45	6.7873	2.1775	16.957	510.34	0.016325	4.3551	847.85	0.0073242	2.9126	4.2825
4	10	0.63349	14.747	0.60025	445.49	6.9453	2.2806	16.612	487.29	0.016325	4.5611	830.62	0.0073242	2.7742	4.1041
5	5	0.64729	14	0.61619	257.5	13.439	1.4564	21	799.95	0.020406	2.9128	1050	0.0058593	4.4333	6.292
5	5.5	0.64347	14.067	0.61636	284.53	13.672	1.5926	19.972	731.54	0.020406	3.1852	998.62	0.0058593	4.0416	5.7808
5	6	0.6397	14.137	0.61651	311.84	13.914	1.7272	19.147	674.53	0.020406	3.4544	957.37	0.0058593	3.7139	5.3552
5	6.5	0.63597	14.207	0.61665	339.45	14.164	1.8602	18.479	626.29	0.020406	3.7204	923.94	0.0058593	3.4378	4.9976
5	7	0.63229	14.28	0.61676	367.37	14.422	1.9917	17.934	584.95	0.020406	3.9834	896.68	0.0058593	3.199	4.6905
5	7.5	0.62864	14.354	0.61685	395.6	14.688	2.1217	17.488	549.11	0.020406	4.2433	874.38	0.0058593	2.9939	4.4275
5	8	0.62504	14.43	0.61692	424.15	14.963	2.2502	17.122	517.76	0.020406	4.5003	856.12	0.0058593	2.8149	4.1991
5	8.5	0.62148	14.507	0.61695	453.04	15.245	2.3772	16.825	490.09	0.020406	4.7543	841.23	0.0058593	2.6562	3.9982
5	9	0.61796	14.586	0.61696	482.27	15.535	2.5028	16.583	465.5	0.020406	5.0055	829.14	0.0058593	2.5144	3.8199
5	9.5	0.61449	14.665	0.61695	511.87	15.832	2.6269	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
5	10	0.61104	14.747	0.6169	541.83	16.138	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	5	0.6276	14	0.60571	314.34	24.862	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	5.5	0.62353	14.067	0.60492	347.89	25.244	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	6	0.61951	14.137	0.60408	381.92	25.64	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	6.5	0.61554	14.207	0.60318	416.44	26.049	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	7	0.61162	14.28	0.60223	451.48	26.471	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	7.5	0.60776	14.354	0.60122	487.06	26.906	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611

продолжение таблицы Г1

6	8	0.60394	14.43	0.60015	523.2	27.354	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	8.5	0.60017	14.507	0.59902	559.92	27.813	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	9	0.59645	14.586	0.59784	597.25	28.285	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	9.5	0.59277	14.665	0.59659	635.2	28.769	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
6	10	0.58914	14.747	0.59528	673.81	29.265	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611

7	5	0.60816	14	0.56073	396.15	39.831	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	5.5	0.60386	14.067	0.55865	439.49	40.396	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	6	0.59962	14.137	0.55647	483.7	40.982	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	6.5	0.59544	14.207	0.55418	528.8	41.587	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	7	0.59132	14.28	0.5518	574.86	42.21	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	7.5	0.58725	14.354	0.54932	621.92	42.852	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	8	0.58325	14.43	0.54674	670.03	43.512	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	8.5	0.57929	14.507	0.54405	719.24	44.19	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	9	0.57539	14.586	0.54127	769.61	44.885	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	9.5	0.57154	14.665	0.53838	821.2	45.597	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
7	10	0.56774	14.747	0.53538	874.06	46.327	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	5	0.58896	14	0.48125	527.51	58.346	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	5.5	0.58446	14.067	0.47755	587.58	59.129	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	6	0.58002	14.137	0.47368	649.4	59.94	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	6.5	0.57566	14.207	0.46966	713.11	60.777	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	7	0.57136	14.28	0.46549	778.81	61.639	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	7.5	0.56712	14.354	0.46116	846.65	62.526	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	8	0.56295	14.43	0.45668	916.76	63.438	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	8.5	0.55883	14.507	0.45204	989.3	64.374	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	9	0.55478	14.586	0.44725	1064.4	65.334	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	9.5	0.55079	14.665	0.44231	1142.3	66.317	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611
8	10	0.54685	14.747	0.43722	1223.2	67.323	0.1	16.389	443.5	0.020406	5.2538	819.44	0.0058593	2.387	3.6611