

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный
аграрный университет»

**Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца,
А. Е. Слепенков, Е. С. Поликутина**

***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННО-
ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВ***

Монография

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2024

УДК 631.3
ББК 40.72
П42

Рецензенты:

*Виктор Вацлавович Самуйло, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта
транспортно-технологических машин и комплексов
Дальневосточного государственного аграрного университета*
*Вячеслав Ганнуэльевич Евдокимов, доктор технических наук, профессор
Дальневосточного высшего общевоинского командного училища
имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского*

*Рекомендовано к печати научно-техническим советом
Дальневосточного государственного аграрного университета*

**П42 Повышение эффективности использования машинно-тракторного
агрегата при подготовке почвы под посев : монография / Е. Е. Куз-**
нецов, С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца, А. Е. Слепенков, Е. С. Поликутина ;
Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ,
2024. – 164 с.

ISBN 978-5-9642-0597-5

В монографии рассмотрены вопросы повышения эффективности использования машинно-тракторного агрегата, состоящего из колесного трактора класса 1,4 и дисковой бороны БДТ-3 при подготовке почвы под посев. Проведен анализ способов обработки и подготовки почвы, предложены перспективные способы перераспределения сцепного веса в ходовой системе машинно-тракторного агрегата с целью повышения тягово-сцепных свойств энергетического средства и изменения вертикальной силовой нагрузки на секции бороны.

Монография предназначена для работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, специалистов агропромышленного комплекса, бакалавров, магистров и аспирантов, занимающихся вопросами механизации возделывания сельскохозяйственных культур.

УДК 631.3
ББК 40.72

ISBN 978-5-9642-0597-5

© Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Кривуца З. Ф.,
Слепенков А. Е., Поликутина Е. С., 2024
© ФГБОУ ВО Дальневосточный
государственный аграрный университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
1 Современное состояние вопроса и производственная необходимость повышения эффективности использования МТА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур.....	8
1.1 Анализ посевных площадей и сборов сельскохозяйственной продукции в регионе.....	8
1.2 Анализ наличия и качественного состояния средств механизации в Амурской области	18
1.3 Аналитический обзор научных исследований по повышению эффективности использования МТА	40
1.4 Аналитические исследования процесса боронования.....	46
1.5 Способы и пути адаптации машинно-тракторных агрегатов для подготовки почвы под посев.....	51
Выводы по разделу.....	59
2 Теоретические предпосылки исследований повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы.....	60
2.1 Теоретические исследования работы МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата	60
2.2 Определение сил, действующих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в нейтральном положении	62
2.3 Определение сил, возникающих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при поднятии навески трактора	65
2.4 Определение сил, возникающих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при опускании навески трактора	71
2.5 Влияние использования регулятора сцепного веса бороновального агрегата на эффективность МТА на бороновании.....	77
Выводы по разделу.....	79

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы	81
3.1 Программа проведения производственных испытаний	81
3.2 Объекты экспериментальных исследований и их характеристика.....	82
3.3 Измерение технологических параметров бороновального агрегата	87
3.4 Определение качественных показателей процесса боронования	91
3.5 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний	93
3.6 Методика математической обработки экспериментальных данных	95
3.7 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса на конструктивно-технологические параметры бороновального агрегата	99
3.7.1 Зависимость глубины обработки почвы от скорости движения, угла подъема и ширины захвата дисковой бороны	100
3.7.2 Зависимость скорости движения агрегата от глубины обработки почвы, угла подъема и ширины захвата дисковой бороны	105
3.7.3 Зависимость угла подъема навески трактора от скорости движения агрегата, глубины обработки почвы и ширины захвата дисковой бороны	110
3.7.4 Зависимость ширины захвата от скорости движения агрегата, глубины обработки почвы и угла подъема навески трактора	114
3.8 Результаты исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров МТА	118
3.9 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на глубину обработки почвы и скорость движения МТА	125
3.10 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на вертикальную нагрузку.....	131
3.11 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний.....	136

3.12 Результаты тяговых испытаний.....	137
3.13 Результаты определения качественных показателей экспериментального МТА на бороновании	139
Выводы по разделу.....	140
4 Экономическая и топливно-энергетическая оценка результатов проведенных исследований.....	142
Заключение	147
Список использованной литературы.....	149

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность производства любой сельскохозяйственной культуры во многом зависит от своевременного и качественного выполнения всех сельскохозяйственных работ, предусмотренных применяемой технологией. Вместе с тем, выпускаемые в настоящее время промышленностью средства механизации не всегда способны в полном объеме выполнять возложенные на них функции в связи с климатическими, производственными и прочими специфическими особенностями региона, тогда как предприятия нуждаются в полной реализации возможностей имеющихся в наличии машин и механизмов, в связи с чем возникает необходимость их модернизации и адаптации к зональным почвенно-климатическим и производственным условиям.

Реализация данного направления развития и использования техники должна основываться на проверенных и эффективных научных исследованиях процесса взаимодействия средств механизации и применяемых зональных технологий. Преимущественно это относится к условиям Амурской области и климатически схожим регионам, в которых проведение сельскохозяйственных работ во многом зависит от природно-климатических условий.

Например, такая операция, как уборка сои заканчивается тогда, когда подготовка почвы под посев на следующий год уже не всегда возможна или может быть проведена только в усеченном объеме. Особенность региона заключается в том, что этот этап сельскохозяйственных работ проходит в октябре, когда верхний слой почвы перенасыщен влагой вследствие затяжных дождей, при этом также в данный период возможно выпадение осадков в виде снега и появление первых заморозков.

В связи с этими факторами подготовка полей в регионе происходит весной, когда сроки выполнения работ также ограничены наличием мерзлотного

подстилающего слоя, который при повышении окружающей температуры воздуха начинает таять, снижая несущую способность поверхности движения. В рассматриваемых условиях необходимо максимально задействовать все имеющиеся средства механизации в короткие сроки. Особенно актуален этот вопрос для небольших личных подсобных и крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), где в качестве основного мобильного энергетического средства используются колесные тракторы класса 1,4–2.

Использование универсально-пропашных колесных тракторов моноблочной компоновочной схемы при подготовке почвы в Амурской области часто ограничено из-за высокого удельного давления их движителей на почву, так как они в ходе передвижения, при увеличении буксования в совокупности с вертикальной нагрузкой, продавливают верхний слой почвы до подстилающего уровня мерзлоты, снижают свои тягово-сцепные качества и скоростные характеристики, увеличивают эффект почвенного уплотнения, что, в целом, снижает эффективность их применения.

Наиболее отчетливо исследуемые факторы проявляются при использовании тракторов колесной ходовой системы на бороновании, где в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) используются дисковые бороны большой массы, с высоким тяговым сопротивлением.

В результате основным направлением представленных исследований является поиск оптимальных и наименее затратных способов повышения эффективности машинно-тракторных агрегатов в агропромышленном комплексе региона, так как обозначенная отраслевая задача на настоящем уровне развития экономики представляется актуальной и востребованной. Она может быть реализована применением перераспределения сцепного веса в звене «трактор – бороны» в ходе производственной эксплуатации машинно-тракторного агрегата при проведении полевых работ.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МТА В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

1.1 Анализ посевных площадей и сборов сельскохозяйственной продукции в регионе

Амурская область обладает большими земельными запасами плодородной почвы, а также имеет благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур. В последнее время площадь посевных площадей увеличивается примерно на 6,3 % в год. Наиболее пригодными для земледелия являются лугово-черноземовидные почвы. Они занимают около 660 тыс. га и распространены в южной и западной частях Зейско-Буреинской равнины. В Тамбовском, Константиновском и Ивановском районах на их долю приходится от 70 до 90 % площади пашни. Процентное распределение пахотных площадей по зонам земледелия представлено на рисунке 1.1.

Амурская область в силу своего географического расположения, наличия относительно благоприятных почвенных и климатических особенностей является основным сельскохозяйственным регионом Дальневосточного федерального округа (ДФО) Российской Федерации.

Увеличение посевных площадей позволило повысить валовое производство продукции растениеводства региона (рис. 1.2, 1.3, 1.4).

Несмотря на некоторый спад в 2015–2018 гг., что вызвано неблагоприятными природно-климатическими факторами, общий тренд показывает положительную тенденцию к увеличению валовых сборов продукции.

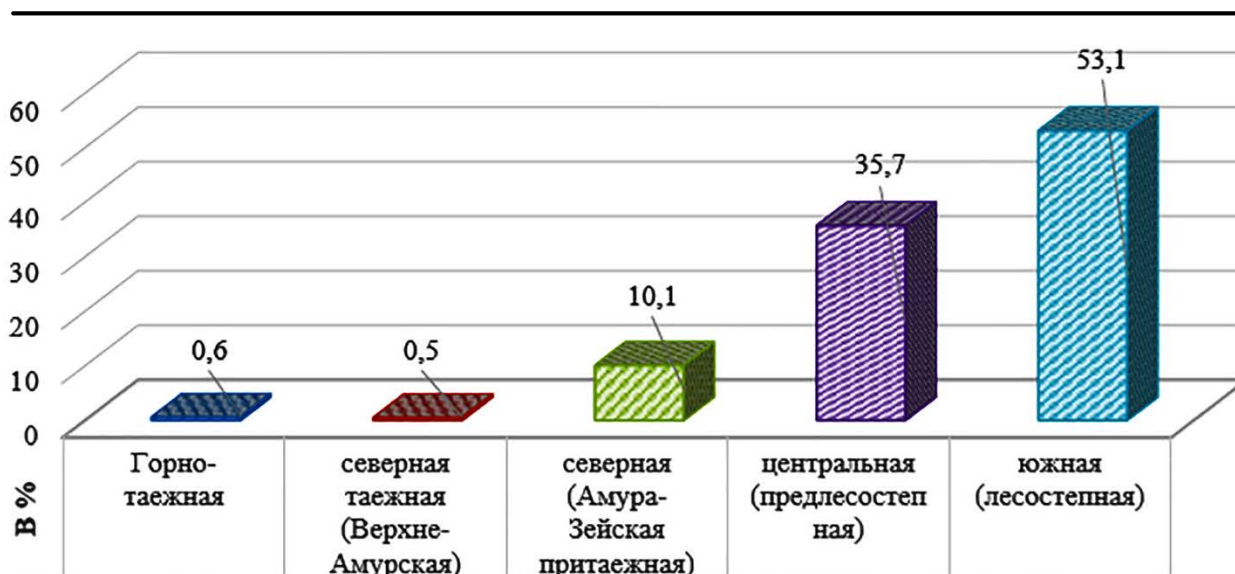


Рисунок 1.1 – Распределение пахотных площадей региона по зонам земледелия, %

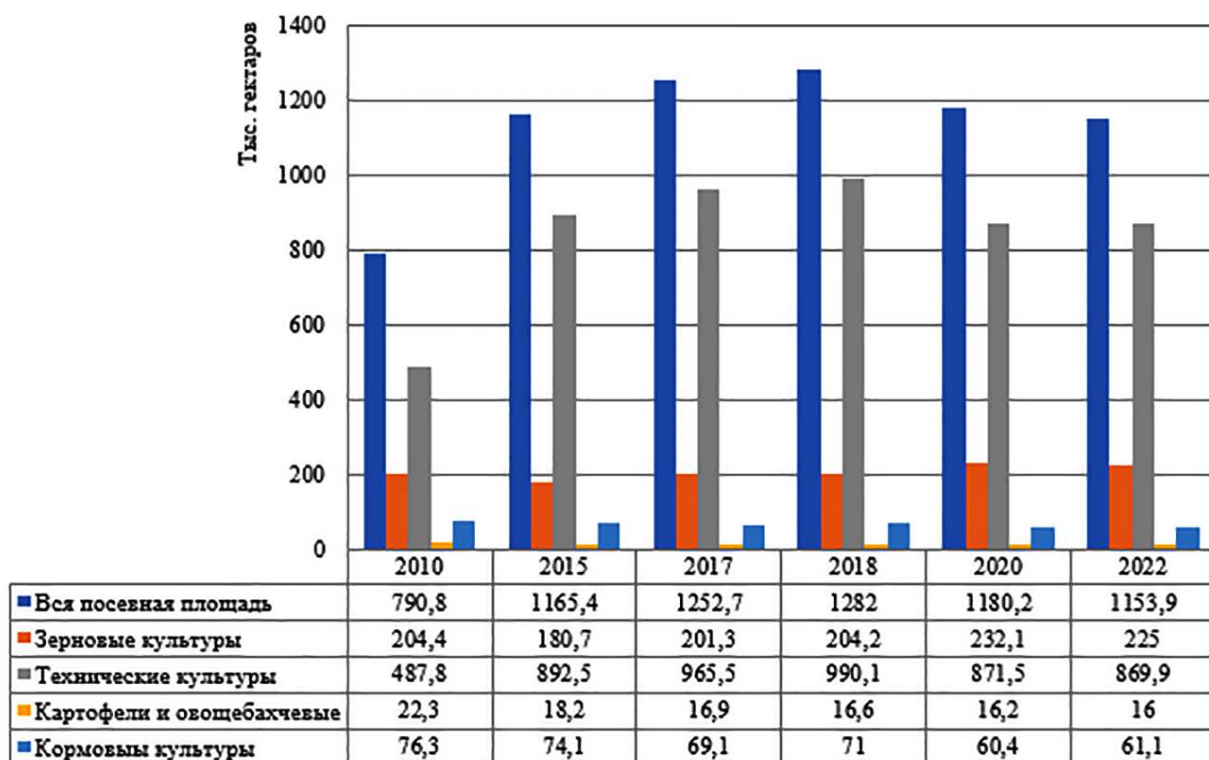


Рисунок 1.2 – Посевные площади сельскохозяйственных культур

Для того, чтобы качественно подготовить поле к посеву и посадке сельскохозяйственных культур, одной только вспашки плугом недостаточно. Поэтому одновременно со вспашкой или после ее проведения применяют поверхностную обработку почвы.

1 Современное состояние вопроса и производственная необходимость повышения эффективности использования МТА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур

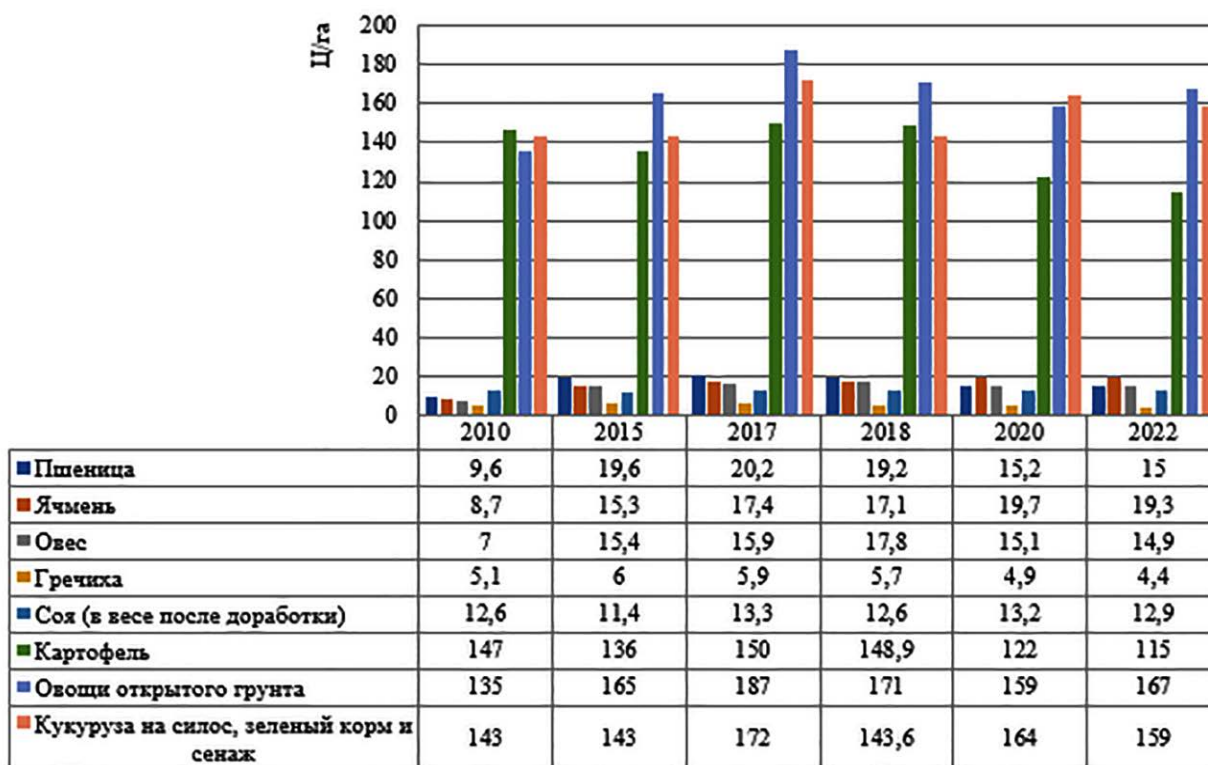


Рисунок 1.3 – Урожайность сельскохозяйственных культур

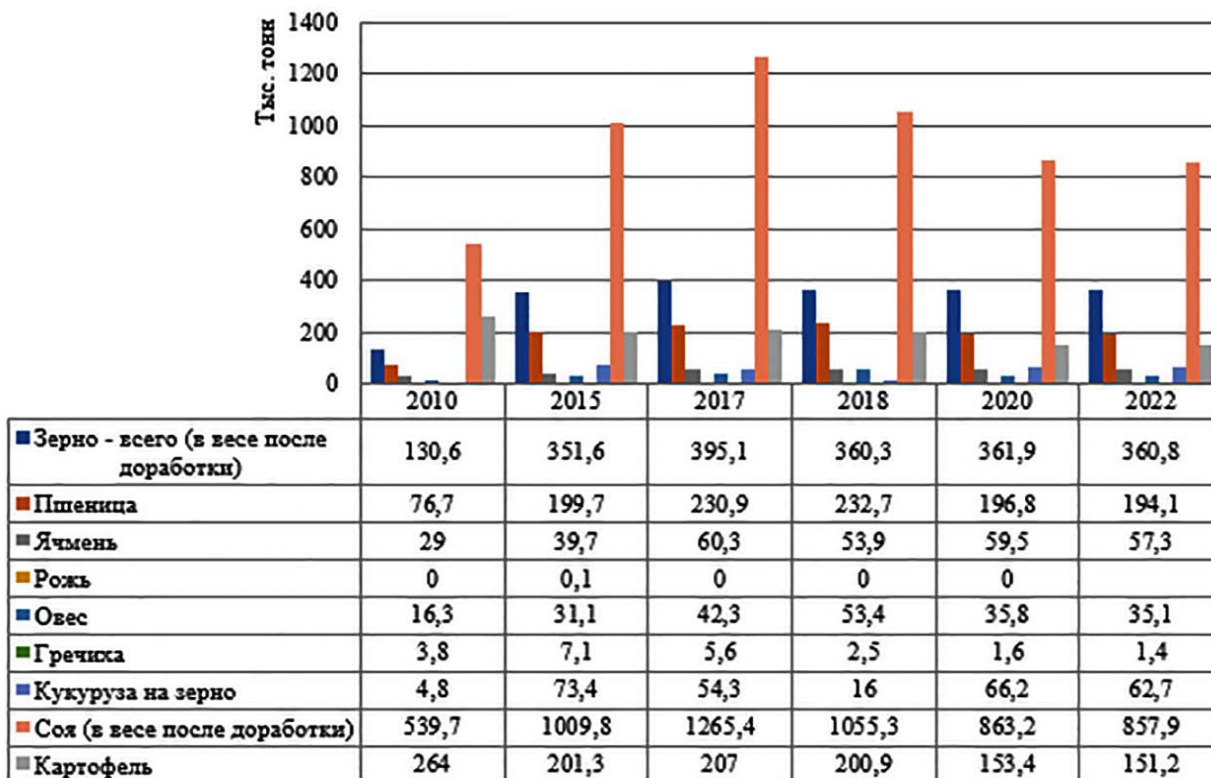


Рисунок 1.4 – Валовые сборы сельскохозяйственных культур

Поверхностная обработка – обработка почвы различными орудиями на глубину до 25 см. Этот способ обработки необходим для превращения почвы в рыхлое состояние, провокации и уничтожения пророста сорняков, предпосевной подготовки почвы и ухода за растениями, выравнивания поверхности поля с целью создания микрорельефа, оптимального для роста растений и для высококачественной уборки урожая.

К поверхностной обработке почвы относятся лущение, культивация, боронование, прикатывание, планировка поверхности поля, шлифование и некоторые другие способы механического воздействия на почву (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Основные операции обработки почвы

Боронование почвы – это механическая обработка почвы при помощи различных орудий. Обычно для этих целей используют зубовые или дисковые бороны, ротационные цапки. Все эти орудия используются для измельчения верхнего слоя почвы. Боронование считается самым доступным способом обработки. Глубина обработки при этом варьирует от 2 до 10 см, в зависимости от орудия.

Благодаря этому агротехническому мероприятию погибают сорняки, выравнивается верхний слой почвы. В результате образуется слой, который защищен от высыхания. Различают несколько видов боронования:

- 1) весеннее возделывание, которое проводится с целью предотвратить быстрое испарение влаги;
- 2) боронование озимых культур;
- 3) предпосевная обработка, которую нередко сочетают с культивацией;
- 4) послепосевное возделывание;
- 5) обработка паров.

Выделяют следующие способы боронования:

Загонное. При таком способе техника боронует землю дважды. Сперва нужно пройти по площади вдоль, а затем – поперек. Участок земли должен быть прямоугольным.

Фигурное. При таком способе участок земли должен быть похож на квадрат. Он обрабатывается всплошную. При второй обработке (если она необходима) землю начинают обрабатывать по диагонали к первой.

Поперечно-диагональное. Этот способ является лучшим способом обработки. Направление движения аппарата параллельно направлению вспашки. Благодаря такой вспашке можно получить хороший результат.

Основные агротехнические требования к боронованию представлены на рисунке 1.6.

Лущение занимает ведущую роль в системе зяблевой обработки почвы. Основные цели лущения – борьба с засорением и засоренностью, сохранение запасов влаги, снижение энергетических затрат на последующую вспашку.

Сроки лущения зависят прежде всего от климатических условий. При ограниченных запасах влаги в засушливых зонах оно должно проводиться как

можно раньше, чтобы сохранить эти запасы. В более северных зонах срок лущения определяется с учетом температуры почвы, необходимой для прорастания сорняков, что также вызывает необходимость в более раннем его проведении. В условиях, где температура почвы недостаточна для прорастания сорняков, лущение как прием борьбы с сорными растениями отпадает. Основные агротехнические требования к лущению представлены на рисунке 1.7.

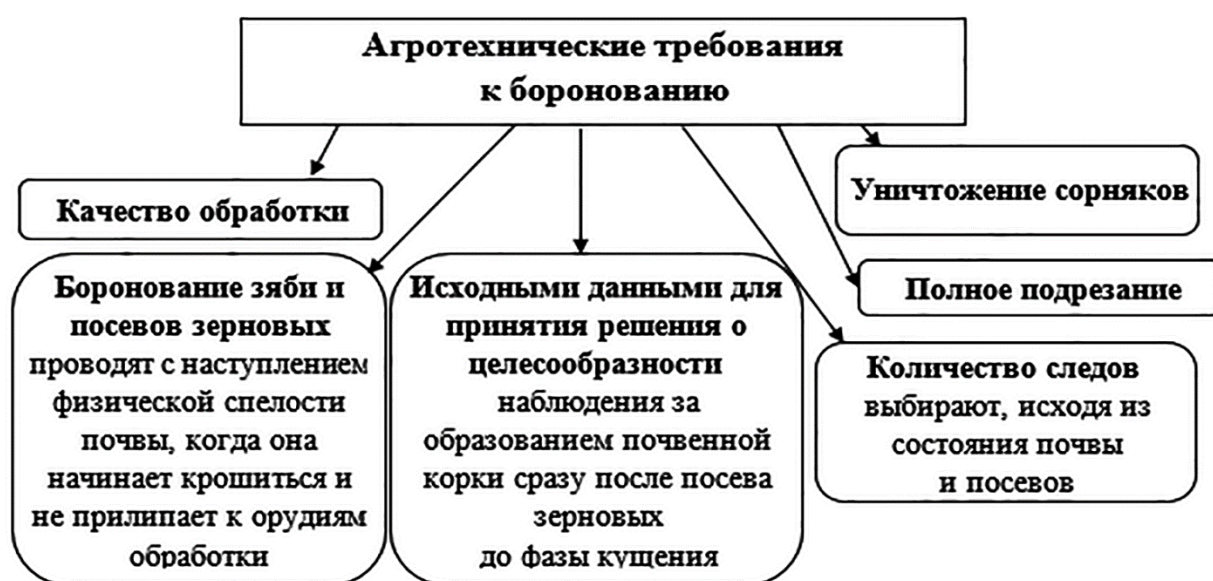


Рисунок 1.6 – Агротехнические требования к боронованию



Рисунок 1.7 – Агротехнические требования к лущению

Вспашка – основная полевая операция, от качества которой в значительной степени зависит эффективность возделывания сельскохозяйственных культур. Полное удовлетворение агротехнических требований к вспашке – обязательное условие высокой культуры производства.

Высокое качество вспашки достигается при ее проведении в состоянии технологической спелости почвы, зависящей от влажности. Поэтому важное значение имеет своевременность обработки. Основные агротехнические требования к вспашке представлены на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Агротехнические требования к вспашке

Безотвальная обработка плоскорезными орудиями (глубококорыхлителями-плоскорезами и культиваторами-плоскорезами) выступает основным способом обработки почвы в зоне ветровой эрозии. Обработка без оборота пласта позволяет сохранить на поверхности растительный покров, предотвращающий возможность ветровой эрозии, уменьшает испарение влаги.

Культивация – предпосевная обработка почвы, которая имеет целью предохранение почвы от испарения влаги, уничтожение сорной растительности, создание на поверхности разрыхленного слоя, благоприятствующего прорастанию семян, и некоторое выравнивание поверхности почвы. Основные технологические процессы предпосевной обработки почвы (боронование,

шлифование, культивация, дискование, прикатывание) могут применяться в различных сочетаниях и последовательности в зависимости от почвенно-климатических условий, культуры (для которой производится подготовка) и состояния поля перед обработкой. Основные агротехнические требования к культивации представлены на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Агротехнические требования к культивации

Фрезерование. В настоящее время первичная фрезерная обработка на торфяных почвах может применяться в двух случаях: 1) при освоении болот всех типов, лишенных лесо-кустарного покрова (или после его сведения) и не содержащих в обрабатываемом слое крупных древесных остатков; 2) при освоении некоторых типов и видов болот методом глубокого сплошного фрезерования машинами МПГ.

В первом случае, на переходных и верховых болотах, покрытых моховым покровом, слоем слабо разложившегося торфа и не содержащих древесных остатков в поверхностном слое, наилучшие результаты дает фрезерная обра-

ботка почвы прицепными или навесными фрезерными барабанами. Этот способ обработки с успехом применяют также при улучшении выродившихся лугов и пастбищ. Особенно высока эффективность фрезерной обработки на сильно кочковатых болотах и лугах. Основные агротехнические требования к фрезерованию представлены на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Агротехнические требования к фрезерованию

Прикатывание – процесс уплотнения грунта, который проводят с помощью специальных катков с целью измельчить крупные комки и глыбы и сделать поверхность поля более ровной. Посев семян предусматривает прикатывание земли с целью:

1) увеличения пропускной способности и контакта семян с грунтом (после посева усиливается доступ влаги к семенам в результате чего всходы появляются быстрее);

- 2) создания благоприятных условий для более качественного, равномерного посева и для предотвращения оседания земли после посева;
- 3) снижения испарений и проветривания, когда в почвенном слое (особенно летом) мало воды;
- 4) подготовки почвы к посеву озимых культур;
- 5) улучшения качества обработки, когда земля была вспахана неудовлетворительно и осталось много комков, глыб.

Также процесс прикатывания эффективен при опоздании с посевом и в засушливые годы, при этом укатывание почвы особенно в засушливых регионах снижает диффузное испарение воды. Основные агротехнические требования к прикатыванию представлены на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Агротехнические требования к прикатыванию

1.2 Анализ наличия и качественного состояния средств механизации в Амурской области

Для получения высокого качества работы необходимо правильно выбрать и составить шлейф машинно-тракторного агрегата; до выезда в поле отрегулировать рабочие органы машины, подготовить трактор к работе, выбрать направление и способ движения агрегата; подготовить поле; в процессе работы постоянно контролировать качество выполняемой операции.

Производственный опыт показывает, что проведение в положенные агротехнические сроки почвенной обработки, внесение удобрений и необходимых для питания растений элементов, химических средств для уничтожений сорных растений, своевременный посев и сбор урожая, его транспортировка и доработка напрямую зависят от автономной ресурсообеспеченности сельскохозяйственных организаций или потенциальной и низко затратной возможности привлечения ресурсов.

Большая роль для достижения данных целей отводится машинно-тракторному парку (МТП) организации.

Данные о наличии энергетических средств, основных средств механизации в хозяйствах региона, проведенный анализ динамики приобретения и списания тракторов представлены на рисунках 1.12 и 1.13.

Имеющиеся данные (списание энергетических средств выше количества покупаемых тракторов, снижение обеспеченности тракторами на единицу обрабатываемой площади) позволяют предположить, что объема принимаемых в данный период мер государственной поддержки недостаточно для полномасштабного оснащения хозяйств новой техникой в количестве, достаточном для увеличения продуктивности сельского хозяйства региона [121].

Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев

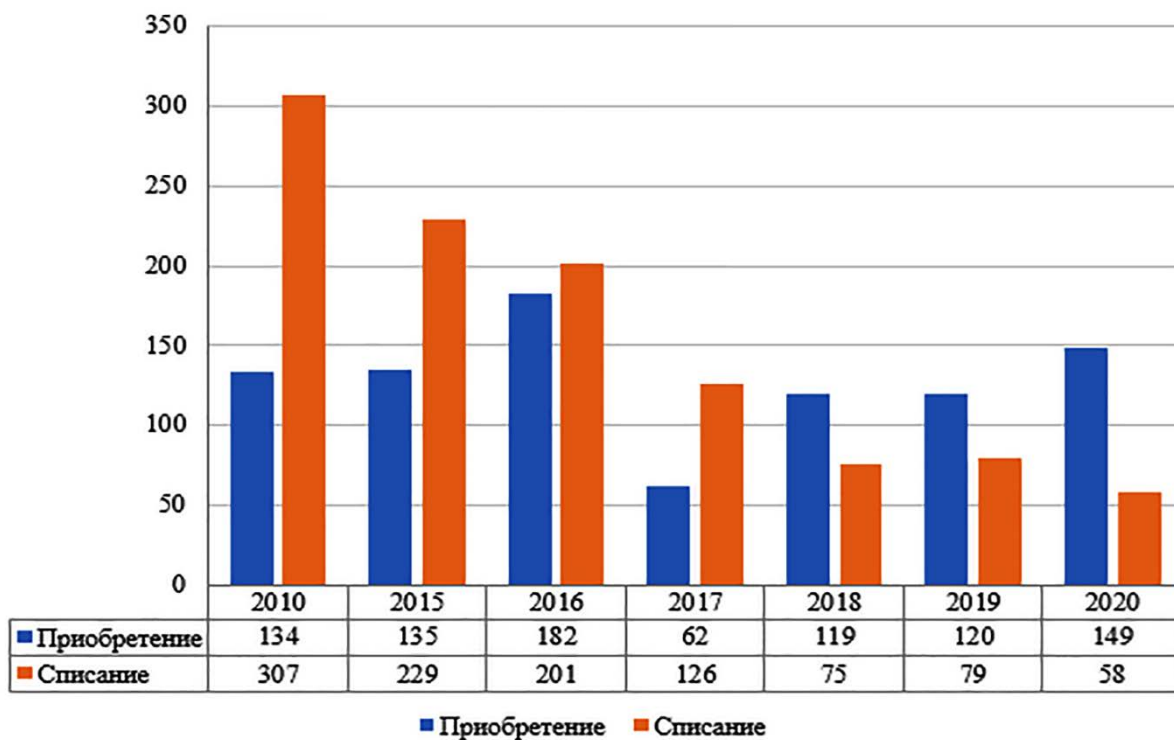


Рисунок 1.12 – Анализ приобретения и списания тракторов в Амурской области

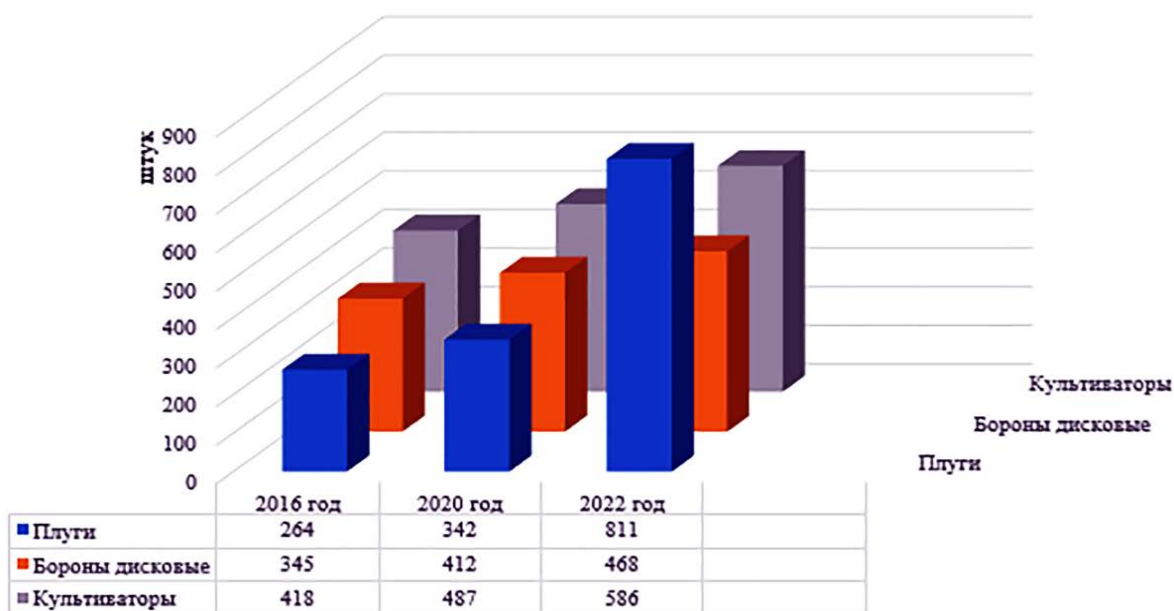


Рисунок 1.13 – Динамика количества основных средств механизации в хозяйствах Амурской области

1 Современное состояние вопроса и производственная необходимость повышения эффективности использования МТА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Анализ предложенных диаграмм показывает, что несмотря на обновление тракторного парка (более 1 214 штук с 2000 г.), из общего количества тракторов в 2 056 единиц (на 01.01.2020) более 41 % составляют тракторы со сроком использования свыше 10 лет, истекшими амортизационными и техническими ресурсами, требующими замены или капитально-восстановительного ремонта, а, следовательно, с высокими эксплуатационными издержками, дополнительно увеличивающими затратную часть при формировании себестоимости продукции.

Более подробно изменение марочного состава за последние пять лет приведено на рисунках 1.14, 1.15 и 1.16.

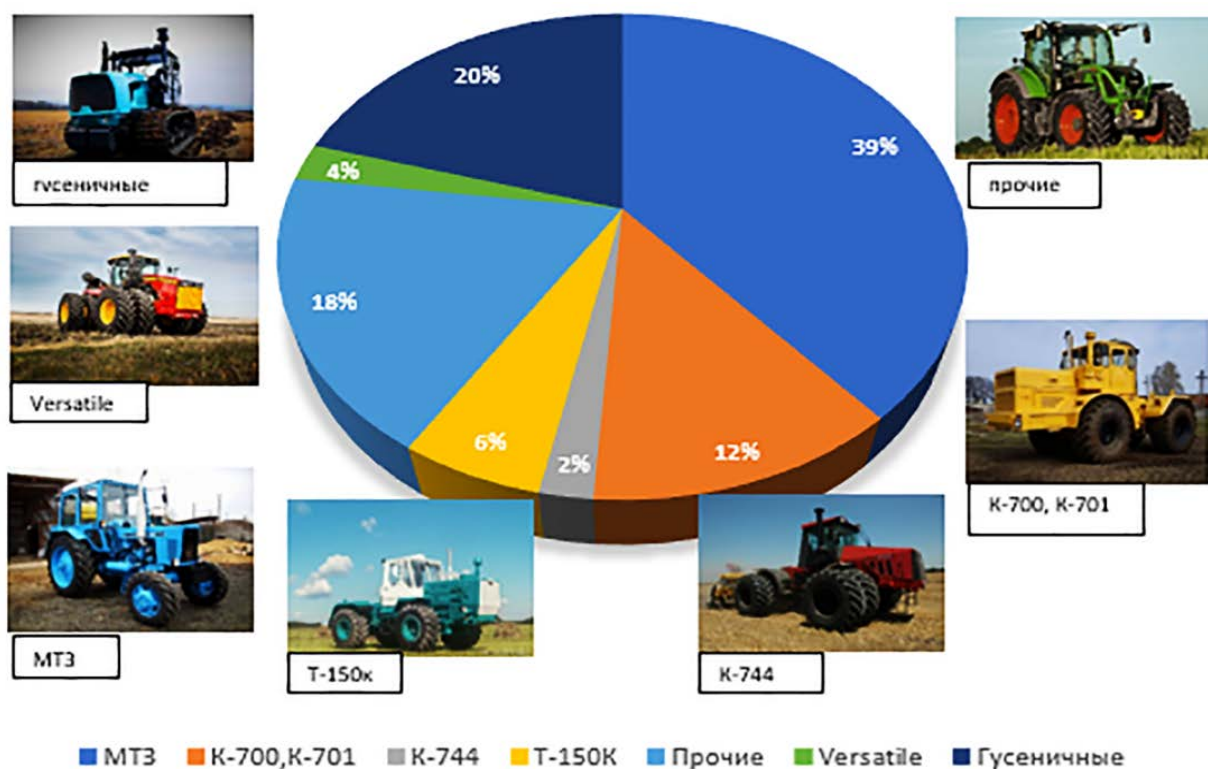


Рисунок 1.14 – Структура марочного состава тракторов парка в Амурской области на 2015 год, %

При этом, учитывая рекомендованные значения величины энергонасыщенности, которые должны находиться в диапазоне от 13,7 до 16,7 кВт/т для

Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев

колесных и от 11,8 до 15,7 кВт/т для гусеничных тракторов [98], наиболее энергонасыщенными, как и прежде, являются тракторы марки МТЗ.

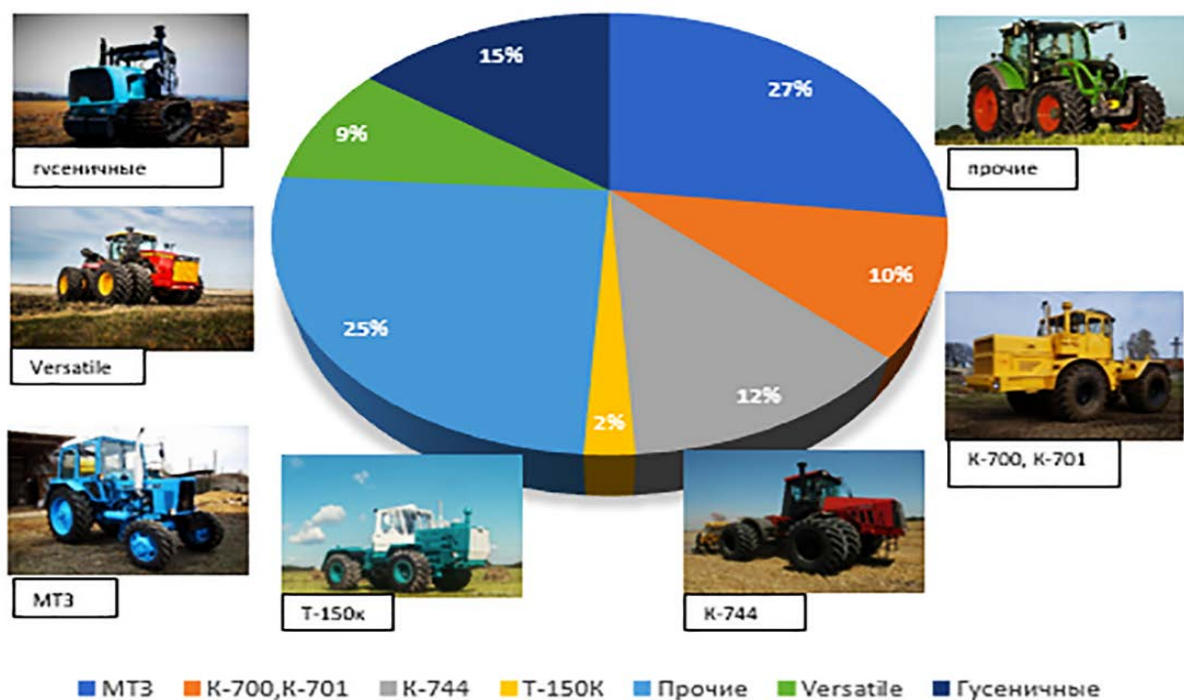


Рисунок 1.15 – Структура марочного состава тракторов парка в Амурской области на 2020 год, %

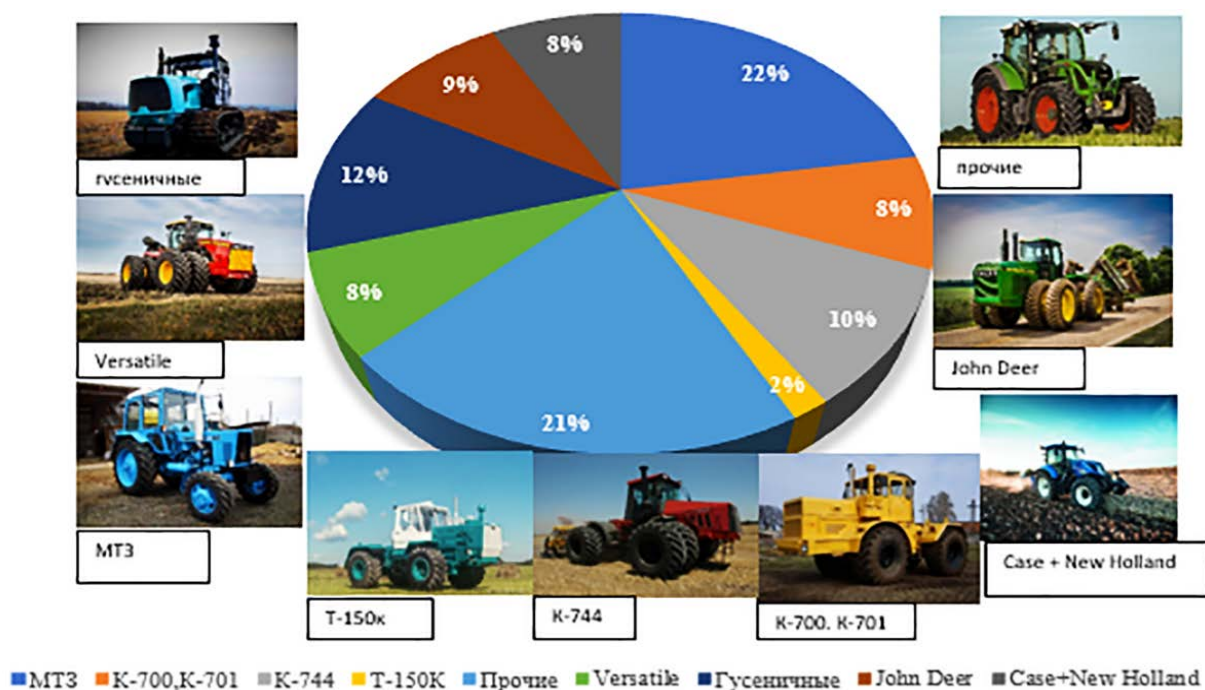


Рисунок 1.16 – Структура марочного состава тракторов парка в Амурской области на 2022 год, %

При комплектовании почвообрабатывающих агрегатов стремятся максимально загрузить используемый трактор. Для этого при помощи сцепок С-11У, СП-11, СП-16, СГ-21 и СН-75 составляют агрегаты из нескольких однородных машин или нескольких машин различных по назначению, например, для культивации с боронованием.

Такую операцию, как лущение, проводят поперек направления движения уборочных агрегатов, а боронование, культивацию и прикатывание – поперек или под углом к направлению предыдущей обработки; предпосевное боронование – поперек или под углом к направлению предполагаемого посева. Послепосевное боронование рядовых посевов проводят челночным способом поперек рядков посева или в диагональном направлении, а прикатывание – поперек направления борозд и ложбин. Разбивку поля на загоны при работе лемешных лущильников выполняют также, как при подготовке поля для пахоты.

При организации работы агрегатов стремятся, чтобы фактическая производительность в большей мере соответствовала теоретической. Для этого максимально используют конструктивную ширину захвата, работают на повышенных скоростях и наилучшим образом используют время смены, а также организуют двух- и трехсменную работу агрегатов, особенно в напряженные периоды. Важное значение имеет своевременное проведение мероприятий по поддержанию надежного технического состояния машин; строгого соблюдения периодичности выполнения операций очистки, смазки; проверки состояния отдельных узлов, рабочих органов, передач и их предупредительных регулировок.

Агрегаты, используемые при бороновании. В настоящее время для выполнения процесса боронования применяются различные по конструкции и составу МТА. Это, в основном, зависит от наличия площадей, энергетических

средств, природно-климатических условий и других причин. Основные агрегаты, используемые при бороновании, представлены на рисунке 1.17.

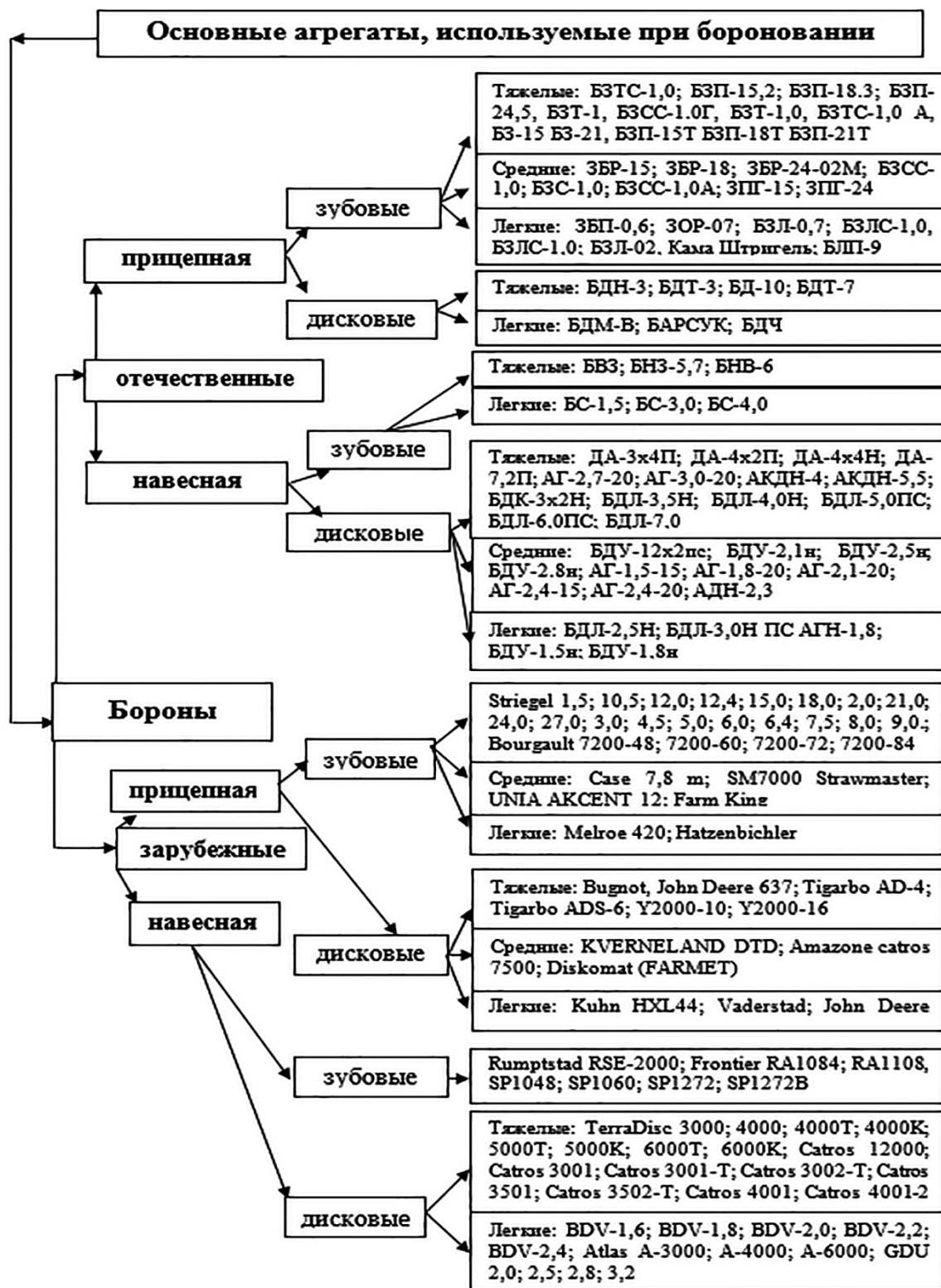


Рисунок 1.17 – Основные агрегаты, используемые при бороновании

Бороны применяют для рыхления верхнего слоя почвы, выравнивания поверхности поля, разрушения почвенной корки, крошения комьев почвы, уничтожения сорняков, заделки семян и удобрений. Бороны бывают зубовые и дисковые.

Зубовые бороны. Рабочий орган зубовых борон – зуб, работающий как двугранный клин: передним ребром раскалывает (разрезает) почву, а боковыми гранями раздвигает, сминает и перемешивает ее частицы; разрушает крупные комья почвы. Зубья закрепляют на жесткой или на шарнирной раме, составленной из отдельных, шарнирно соединенных между собой звеньев. Шарнирную раму имеют сетчатые и луговые бороны. Такие бороны хорошо приспособляются к микрорельефу поля и обеспечивают равномерное заглубление всех зубьев. По конструкции зубья бывают прямые, лапчатые и изогнутые с пружинящей стойкой. По форме сечения различают зубья с квадратным, круглым, овальным и прямоугольным сечением. Конец зуба с квадратным сечением имеет косой срез. Зубья, расположенные косым срезом в противоположную к направлению движения сторону, заглубляются больше, чем установленные косым срезом по ходу движения, так как во втором случае вертикальная составляющая реакции почвы возрастает и стремится вытолкнуть зуб из почвы. Зубовыми боронами обрабатывают почву на глубину 3–10 см. Диаметр комков после обработки не должен быть более 5 см, глубина борозд 3–4 см. Зубовыми и сетчатыми боронами весной обрабатывают посевы озимых культур – рыхлят верхний слой почвы и удаляют отмершие растения. Количество поврежденных растений при этом не должно превышать 3 %.

Луговые бороны. Луговыми боронами прочесывают травостой, разрезают дернину, измельчают и растаскивают кротовины на лугах и пастбищах.

Зубовая борона составлена из прямоугольных и корытообразных планок, на пересечении которых закреплены зубья. Зубья на раме располагают так,

чтобы каждый зуб проводил свою бороздку. Расстояние между бороздками зависит от типа бороны и изменяется от 22 до 49 мм. Чтобы бороны не забивались комками и растительными остатками, соседние зубья в одном ряду закрепляют на расстоянии не менее 15 см друг от друга. Квадратные зубья располагают ребрами по направлению движения, овальные – закругленной стороной, прямоугольные – узкой или широкой гранями. Агрегатируют бороны посредством сцепок СГ-21; С-18 и других с тракторами класса 9–60 кН или присоединяют к плугам, культиваторам и сеялкам. Каждая секция бороны снабжена прицепным устройством в виде крючков, к которым присоединяют поводки или цепи. Глубина обработки почвы зависит от длины соединительных поводков, а для борон с прямоугольными зубьями и от расположения косого среза зуба по отношению к направлению движения.

В зависимости от давления на один зуб, которое определяют делением веса звена на количество зубьев, различают тяжелые, средние и легкие бороны. Давление на один зуб тяжелой бороны 20–30 Н, средней – 10–20 Н, легкой – 5–10 Н.

Тяжелая зубовая бороны БЗТС-1,0 применяется для дробления глыб и рыхления пластов после вспашки, вычесывания сорняков, обработки лугов и пастбищ. Трехзвенная бороны зубовая, тяжелая, скоростная ЗБЗТС-1 имеет давление на один зуб 1,5–2 кгс. Она применяется для дробления глыб, рыхления почвы после вспашки, обработки лугов и пастбищ. Глубина обработки составляет до 10 см.

Каждый зуб средней бороны ЗБЗСС-1,0 давит на почву с усилием, достигающим 1,0–1,5 кгс. Она применяется для выравнивания поля, боронования всходов зерновых и технических культур, закрытия влаги. Глубина обработки составляет до 8 см. Легкая посевная бороны ЗБП-0,6 давит с меньшим усилием

на почву (0,5–1,0 кгс на один зуб). Ее используют для разрушения корки, боронования посевов.

В процессе работы необходимо обратить внимание на равномерность глубины обработки всеми зубьями и устойчивость хода борон по ширине захвата. Если заглубляются или выглубляются передние зубья, то необходимо укоротить или удлинить обе цепочки, соединяющие звенья борон с вагой. При перекосе (развороте) звеньев в горизонтальной плоскости расстояние между следами, оставляемыми зубьями на поле, более 5 см. В этом случае укорачивают или удлиняют одну из цепочек, соединяющую звено с вагой.

Средняя зубовая борона БЗСС-1,0 предназначена для рыхления и выравнивания поверхности поля, уничтожения всходов сорняков, разбивания комков, заделки удобрений, боронования всходов зерновых и технических культур. Легкие посевные трехзвенные бороны ЗБП-0,6 и ЗОР-07 служат для боронования посевов, разрушения поверхностной корки, заделки семян и минеральных удобрений, выравнивания поверхности поля перед посевом.

Навесная сетчатая борона БСО-4 предназначена для рыхления верхнего слоя почвы и уничтожения сорняков на посеве в период появления всходов, для боронования гребневых посадок картофеля. Секция бороны составлена из рамки, к которой цепями прикреплено сетчатое полотно. Поэтому рабочие органы БСО-4 (заостренные зубья – концы шарнирно соединенных зубовых звеньев) хорошо приспособляются к неровностям поля. Звенья изготавливают из круглых стальных прутков с заостренными или тупыми концами-зубьями.

Секции борон присоединяют к брусу навески НУБ-4,8 тягой, цепями. Цепи удерживают секции в поднятом положении. Брус нужно располагать так, чтобы передние и задние ряды зубьев бороны заглублялись одинаково. Цепи должны провисать, что позволяет секциям бороны копировать рельеф поля.

Шлейф-борону ШБ-2,5 применяют для весеннего боронования с целью закрытия влаги и разравнивания гребней на полях, вспаханных под зябь. Шлифование проводят под углом к свальным гребням.

Шарнирно-секционная навесная пружинная борона БП-8 предназначена для вычесывания сорняков и рыхления поверхностного слоя почвы, засоренной камнями. Она составлена из основной, двух боковых промежуточных и двух крайних секций. Боковые и крайние секции можно отъединять и изменять ширину захвата борона в пределах 8,4; 6; 3,6 и 3 м. Борона снабжена зубьями с пружинными стойками. Зубья закреплены на поперечных брусках рамы в четыре ряда. Для выравнивания поверхности поля к бороне дополнительно можно присоединять заравниватель, роторную и пружинную боронки.

Дисковые бороны бывают полевые, садовые (легкие) и болотные (тяжелые). Легкие полевые бороны применяют для обработки зяби, послепахотного рыхления задернелых пластов, лущения стерни, освежения слабо задернелых лугов. Садовые бороны применяют для обработки почвы в междурядьях садов. Глубина обработки до 10 см. Тяжелые бороны предназначены для разделки задернелых пластов после вспашки целинных и залежных земель, дискования заболоченных почв, обработки лугов и пастбищ, заделки удобрений и пожнивных остатков. Глубина обработки составляет до 20 см.

Рабочий орган легкой дисковой борона – стальной заостренный сферический диск диаметром 450 или 510 мм. Тяжелые дисковые бороны имеют вырезные диски, которые хорошо заглубляются в почву и интенсивно измельчают растительные остатки. При движении борона диски, сцепляясь с почвой, вращаются. Режущая кромка диска отрезает полоску почвы и поднимает ее на внутреннюю сферическую поверхность. Затем почва падает с некоторой высоты и отводится диском в сторону. В результате перемещения по диску и па-

дения почва крошится, частично оборачивается и перемешивается. С увеличением угла атаки диски глубже погружаются в почву, крошение ее возрастает. Глубину обработки регулируют изменением угла атаки и давления дисков на почву. Давление регулируют изменением массы балласта или силы сжатия нажимных пружин.

Дисковые бороны по сравнению с зубowymi меньше забиваются, перерезают тонкие корни и перекапываются через толстые: для работы на каменистых почвах диски непригодны, лезвия их выкрашиваются. Дисковые бороны бывают прицепные и навесные.

Навесная двухследная дисковая борона БДН-3 имеет четыре батареи с изменяемым числом дисков. Ширина захвата бороны 3 или 2 м. Для переоборудования бороны на ширину захвата 2 м боковые брусья сближают, смещая их по поперечным брусьям, и присоединяют батареи с меньшим числом дисков.

Прицепная дисковая борона БД-10 предназначена для послепахотного рыхления пластов, предпосевной обработки зяби, лушении стерни на глубину до 10 см, выравнивания поверхности поля на легких и средних почвах. Агрегируют ее с тракторами К-700; К-700А; К-70; Т-150 и Т-150К. Борона состоит из четырех секций, гребнереза, самоустанавливающихся колес и гидравлической системы. Батареи с десятью дисками диаметром 450 мм крепятся к четырем боковым секциям, расположенным симметрично под углом к продольным от оси бороны. Рамки секций шарнирно соединены с рамой; наружные концы их опираются на самоустанавливающиеся колеса, связанные параллелограммным механизмом с гидроцилиндром для перевода в транспортное или рабочее положение.

Агрегаты, используемые при лушении. Лушение – обработка почвы на небольшую глубину, предшествующая вспашке. Проводят его с целью рыхления почвы, сохранения влаги, заделки семян сорняков и пожнивных остатков,

борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений. Лушение снижает затраты механической энергии на вспашку.

Лушат почву дисковыми и лемешными луцильниками. Рабочий орган дисковых луцильников – сферический диск, лемешных – отвальный корпус шириной захвата 25 см. Диски луцильников располагают так, чтобы плоскость вращения дисков составляла с направлением движения угол атаки 30–35°. В таком положении диски хорошо подрезают и крошат пласты почвы, заделывают в верхний слой пожнивные остатки и семена сорняков. Дисковым луцильником лушат стерню зерновых культур на участках, засоренных преимущественно корневищными и другими многолетними сорняками. Уплотненную почву после уборки кукурузы и подсолнечника и участки, засоренные корнеотпрысковыми сорняками, обрабатывают лемешным луцильником. Лушение стерни дисковыми луцильниками проводят на глубину 4–10 см, лемешными – 6–12 см. Отклонение средней глубины обработки от заданной не должно превышать 2 см.

Верхний слой почвы после рыхления должен быть мелкокомковатым, а поверхность вылущенного и дискованного поля – слитной и ровной. Развальная борозда в стыке средних батарей дисковых орудий не должна превышать глубину обработки почвы. Сорные растения должны быть подрезаны полностью. Поля лушат поперек направления движения уборочных агрегатов на скорости не более 10 км/ч, так как с увеличением скорости агрегата глубина лушения уменьшается. Основные агрегаты, используемые при лушении, представлены на рисунке 1.18.

Промышленность выпускает серию унифицированных дисковых луцильников: ЛДГ-5; ЛДГ-10; ЛДГ-15; ЛДГ-20. Они имеют разную ширину захвата (5; 10; 15; 20 м), а конструктивно мало отличаются друг от друга.



Рисунок 1.18 – Основные агрегаты, используемые при лушении

Прицепной дисковый луцильщик ЛДГ-5 предназначен для лушения почвы после уборки зерновых культур, для ухода за парами, разделки пластов, размельчения глыб после вспашки. Луцильщик дисковый гидрофицированный ЛДГ-5 состоит из рамы, опирающейся на два колеса; боковых брусьев с колесами; раздвижных тяг; выносных гидроцилиндров для перевода рабочих органов в рабочее и транспортное положения и четырех батарей. Каждая батарея имеет девять сферических дисков диаметром 450 мм, смонтированных на квадратном валу так, что все диски повернуты выпуклостью к середине луцильников. Батареи вращаются на двух шариковых подшипниках. Глубина обработки и качество рыхления регулируются изменением угла атаки раздвижными тягами, перемещением передних концов рамки батарей при помощи винта понизителей и изменением сжатия пружин на штанге.

Равномерность глубины обработки дисками каждой батареи можно регулировать перестановкой рамок батарей в отверстиях понизителей. Установка

рамки в нижних отверстиях обеспечивает большее заглубление диска. Угол атаки можно установить в пределах 15–35°. Лушение стерни производится с углом атаки 30–35°, а при использовании луцильника в качестве бороны – 15–25°. Для подъема и принудительного заглубления дисков гидрофицированные луцильники оборудованы механизмом гидроуправления.

Такие луцильники могут быть укомплектованы сферическими или плоскими дисками. Сферические диски не рекомендуется применять в районах возникновения ветровой эрозии. Для закрытия влаги на стерневом поле применяют луцильники с плоскими дисками, меньше оборачивающими и распыляющими почву, чем сферические.

Полунавесной лемешный плуг-луцильник ППЛ-10-25 предназначен для лушения стерни на глубину до 12 см на полях, засоренных корнеотпрысковыми и корневищными сорняками, для предпосевной обработки почвы, для обработки парового поля на глубину 6–14 см и вспашки легких почв с удельным сопротивлением до 6 Н/см² на глубину 16–18 см. Агрегатируют плуг-луцильник трактором класса 30 кН. Он имеет корпуса для работы на скоростях 7–9 или 12 км/ч.

Агрегаты, используемые при вспашке. Процесс вспахивания земли представляет собой обработку верхнего почвенного пласта, чтобы он стал однородным и обеспечил хороший урожай. Вспашка решает большое количество важных задач:

1) избавляет от сорняков и вредителей; по ходу процесса вспашки многие корневые системы сорной травы, а вместе с ними и опасные вредители, отправляются в верхний слой и погибают при атмосферном и солнечном воздействии;

2) позволяет бороться с уплотнением почвы или эрозией; в данном случае нужно грамотно вспахивать землю, чтобы добиться хороших результатов.

1 Современное состояние вопроса и производственная необходимость повышения эффективности использования МТА в технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Оборот пласта – этот способ вспашки задействуют многие пользователи, владеющие собственными земельными участками. За счет подобного метода осуществляется полноценный переворот почвы. Пласт, который был срезан при помощи плуга, переворачивается на 180 градусов относительно горизонта.

Указанная разновидность пахоты чаще всего применяется при обработке болотистых или целинных участков.

Взмет пласта – разновидность обработки, при которой осуществляется переворот почвенного слоя в поперечной плоскости на 135 градусов относительно горизонта. При помощи этих действий между земельными слоями образуются воздушные пазухи в области заглубления плуга. Благодаря этому в них может накапливаться живительная влага. Основные агрегаты, используемые при вспашке, представлены на рисунке 1.19.



Рисунок 1.19 – Основные агрегаты, используемые при вспашке

Плуг трехкорпусной навесной ПЛН-3-35 предназначен для пахоты различных почв под зерновые и технические культуры на глубину до 30 см, незасоренных камнями, плитняком и другими препятствиями, с удельным сопротивлением до 0,09 Мпа (0,09 кг/см²).

Плуг двухкорпусный навесной Л-101 предназначен для пахоты почвы на мелкоконтурных участках садов и огородов коллективного или индивидуального пользования с удельным тяговым сопротивлением до 0,5 кг/см² во всех почвенно-климатических зонах.

Плуг Xcelsior CX характеризуется наличием модульной опоры грядиля и тяговой рамы, что позволяет равномерно распределить нагрузку по всей длине плуга. Поэтому он имеет прочную конструкцию с последовательной системой регулировки. Плуг изготовлен из высококачественной стали и подходит для работы в самых трудных условиях. Расстояние между корпусами, равное 90 и 100 см, а также достаточный клиренс под рамой позволяют установить нужные предплужники для качественной очистки почвы от сорняков и заправки соломой. Количество корпусов может достигать трех, четырех или пяти.

Двухкорпусный плуг польского производства Vomet – это высокий уровень прочности и производительности среди оборудования для тракторов. Данную модель используют для тракторов с трехточечной системой навеса, мощностью двигателя 24 л. с. и выше.

Плуги вспахивают почву с переворачиванием слоя, что дает грунту насытиться кислородом и влагой. Но глубокая вспашка изнашивает гумусовый слой, поэтому некоторые фермеры стремятся уменьшить заглубление плуга. Кроме того, глубина вспашки не должна быть больше расстояния между бороздой и колесом трактора, иначе стенка борозды деформируется и может обрушиться.

Агрегаты, используемые при культивации. Сплошная культивация применяется для уничтожения сорняков и рыхления почвы без ее оборачивания при уходе за парами и подготовке почвы к посеву. Рыхление почвы способствует накоплению и сохранению влаги и питательных веществ в форме, доступной для усвоения их растениями. Предпосевную культивацию проводят обычно на глубину заделки семян зерновых культур. Неравномерность глубины обработки не должна превышать 1 см.

После культивации верхний слой почвы должен быть мелкокомковатым, а сорные растения полностью подрезаны. Дно борозды и поверхность поля должны быть ровными. Высота гребней взрыхленного слоя не должна превышать 3–4 см. Поэтому культивацию часто проводят с одновременным боронованием. Рабочие органы культиватора не должны выносить на поверхность нижний слой почвы. Глубокое рыхление (до 30 см) почвы без ее перемешивания и вынесения нижних слоев на поверхность выполняют культиваторами-глубокорыхлителями.

Сплошную культивацию следует проводить поперек предыдущей обработки или под углом к ней на скорости 9–12 км/ч. С увеличением скорости улучшается выравнивание поверхности поля и создаются хорошие условия для работы посевных машин. Основные агрегаты, используемые при культивации, представлены на рисунке 1.20.

Прицепной культиватор гидрофицированный КПС-4 предназначен для сплошного предпосевного рыхления и подрезания сорняков с одновременным боронованием на скорости до 12 км/ч во всех почвенно-климатических зонах, кроме районов с каменистыми почвами и стерневыми фонами. Ширина захвата культиватора 4 м, глубина обработки 5–12 см. К культиватору прилагаются стрельчатые универсальные лапы с шириной захвата 270 и 330 мм и пружинные рыхлительные лапы с шириной захвата 50 мм.



Рисунок 1.20 – Основные агрегаты, используемые при культивации

Агрегаты, используемые при фрезеровании. Особенность фрезерной обработки и преимущество перед другими способами обработки целинных земель заключается в непосредственной, без применения каких-либо дополнительных приемов, подготовке почвы к посеву. Фрезерную обработку почвы выполняют специальными фрезервальными машинами с прицепными или навесными фрезерными барабанами к гусеничным тракторам.

Основные агрегаты, используемые при фрезеровании представлены на рисунке 1.21.

Основной частью болотной фрезы ФБ-1 служит барабан со сменными рабочими органами. Рама фрезы установлена на двух колесах с коленчатыми полуосями. Привод барабана осуществляется от вала отбора мощности трактора через соответствующие узлы – коробку передач и карданный вал. Барабан

фрезы состоит из 15 секций, свободно насаженных на общий вал в виде стальных дисков с жестко закрепленными на них ножами.



Рисунок 1.21 – Основные агрегаты, используемые при фрезеровании

Секции соединяются с валом барабана таким образом, что во время работы они вращаются вместе с валом, а при встрече с препятствиями могут проворачиваться, скользить вокруг своей оси, чем предупреждается поломка ножей. Это фрикционный способ крепления рабочих дисков. В каждой секции может быть установлено 8; 4 или 2 ножа, в зависимости от условий работы. Полоска почвы, находящаяся под корпусом конической передачи (между 6 и 7 секциями), не обрабатывается ножами; для ее обработки служит специальный сошник с отвальчиками. Сзади барабана на раму шарнирно подвешивается решетка из стальных прутьев, которая задерживает крупные куски дер-

нины и растительные остатки, но пропускает мелкие комочки почвы. Подъемный механизм служит для регулирования заглубления и выглубления рабочих органов.

Агрегаты, используемые при прикатывании. Почву уплотняют катками до и после посева. До посева прикатыванием выравнивают поверхность поля, разрушают глыбы; неосевшую, поздно обработанную почву. Прикатыванием после посева уплотняют верхний слой почвы; при этом контакт семян с почвой улучшается, увеличивается подток влаги из нижних горизонтов, и семена быстрее прорастают. В засушливых районах прикатыванием снижают потери влаги за счет конвекционно-диффузного тока (испарения), интенсивность которого больше при рыхлой почве и меньше при уплотненной.

На прикатанном поле повышается равномерность хода агрегатов, облегчается их вождение, рабочая скорость может быть больше. Основные агрегаты, используемые при прикатывании, представлены на рисунке 1.22.



Рисунок 1.22 – Основные агрегаты, используемые при прикатывании

Кольчато-шпоровый трехсекционный каток ЗККШ-6 применяют для рыхления верхнего и уплотнения подповерхностного слоя почвы; разрушения корки, комков и выравнивания вспаханного поля. Каждая секция катка составлена из двух расположенных друг за другом батарей с балластными ящиками. На ось передней батареи свободно надеты поочередно через промежуточные втулки шесть, а на ось задней батареи – семь стальных литых дисков со шпорами диаметром 520 мм. Диски задней батареи смещены на половину шага относительно дисков передней батареи, что облегчает самоочищение катка от налипшей между дисками почвы. Регулировкой массы балласта можно изменять удельное давление на 1 см захвата от 27 до 47 Н. Рабочая скорость катка составляет до 13 км/ч, ширина захвата трех секций – 6,1 м, одной – 2,09 м.

Кольчато-зубчатый каток ККН-2,8 предназначен для выравнивания поверхности поля, уплотнения на глубину до 7 см подповерхностного и рыхления на глубину 4 см поверхностного слоев почвы. Его можно применять в агрегате со свекловичными сеялками и культиваторами.

Каток борончатый навесной КБН-3 служит для разрушения почвенных комков и прикатывания почвы перед посевом с одновременным рыхлением поверхностного слоя, а также для разрушения почвенной корки на посевах.

На раме каждой из пяти секций крепятся подшипники для двух каточков. На цилиндрической поверхности каточка по винтовой линии расположены зубья диаметром 16 мм. Секции подвешивают к поперечному брусу на цепях в шахматном порядке. В переднем ряду три секции, в заднем – две. Рамки задних и передних секций соединены шарнирно. Ширина захвата – 3,25 м. Каток навешивают на тракторы класса 9–14 кН.

Водоналивной гладкий каток ЗКВГ-1,4 предназначен для уплотнения поверхностного слоя почвы до или после посева, прикатывания зеленых удобре-

ний перед запашкой. Каток трехсекционный; каждая секция имеет вращающийся гладкий пустотелый цилиндр диаметром 700 мм, длиной 1 400 мм и емкостью 500 л. Цилиндры заполняют водой. Изменением количества воды регулируют удельное давление катка на почву в пределах от 23 до 60 Н на каждый сантиметр ширины захвата катка. Для очистки цилиндров от прилипшей почвы служат чистики, прижимаемые к поверхности цилиндров пружинами. Ширина захвата катка составляет 4 м. Каток агрегатируют с тракторами класса 9–14 кН.

Кольчато-шпоровый каток ЗКК-6 состоит из трех секций. Каждая секция составлена из двух батарей, расположенных друг за другом. На оси батарей свободно вращаются зубчатые диски диаметром 520 мм, изготовленные из стального литья. Подшипники батарей закреплены на раме так, что диски задней батареи находятся между дисками передней батареи. Такая установка дисков обеспечивает самоочищение их от налипшей почвы. Давление катка на почву регулируется балластным грузом.

Водоналивной гладкий каток КВГ-1,4 преимущественно используется для прикатывания почвы перед посевом и после посева. Каток имеет три секции, рабочими органами которых служат гладкие пустотелые цилиндры диаметром 700 мм и длиной 1 400 мм. В каждый цилиндр можно заливать до 500 л воды. Изменением количества воды в цилиндре регулируется давление катка на почву, а, следовательно, и степень уплотнения почвы.

1.3 Аналитический обзор научных исследований по повышению эффективности использования МТА

Проблеме повышения эффективности использования энергетических средств, как важной составляющей агротехнологических процессов на полевых и транспортных работах в сельском хозяйстве при различных природно-климатических, ландшафтных условиях и состоянии опорной поверхности, посвящены исследования многих авторов.

Повышению эффективности использования мобильных энергетических средств на транспортных работах посвящены исследования Н. В. Алдошина [5, 6], А. Н. Баранского [11], Ю. А. Гуськова [44, 45], Ф. С. Завалишина [56], С. А. Иофинова [63], А. Ю. Измайлова [62], З. Ф. Кривуцы [70], А. И. Новожилова [87], Н. Ф. Скурятин [100], С. Д. Сметнева [116], И. И. Трепененкова [126], В. С. Филонова [128] и других [7, 10, 18, 85, 120].

Авторы многочисленных исследований [20, 24, 48, 54] пришли к выводу, что повысить эффективность функционирования транспортно-технологического и энергетического обеспечения агропромышленного комплекса возможно за счет сокращения номенклатурных видов грузов, объединения транспортных операций, что позволит снизить транспортные затраты и уменьшить потребность в транспорте.

Транспортно-технологические и полевые сельскохозяйственные работы в технологии производства сельскохозяйственной продукции составляют неотъемлемую часть всего технологического процесса, и на их выполнение расходуются значительные трудовые и энергетические ресурсы.

В настоящее время существенно снизился объем пополнения и обновления существующей техники. Это связано с мировыми кризисными явлениями

ями и существенным снижением покупательной способности внутренней государственной валюты, что напрямую повлияло на экономическую эффективность транспортных работ и снизило эксплуатационные показатели [4, 83].

Постоянное внедрение в сельскохозяйственное производство усовершенствованных современных систем машин и совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур обеспечивают оптимальное согласование смежных транспортных и технологических операций [4, 8, 15, 16, 21, 22, 47, 50, 57, 58, 74, 81, 95, 117, 122, 127, 129].

В работе [61] при расчете эффективности использования тракторного парка автор предлагает принимать зависимость производительности и приведенных затрат по формуле (1.1):

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{э}} + l_1 \cdot k_1 \cdot W \quad (1.1)$$

где $C_{\text{э}}$ – прямые эксплуатационные издержки тракторного поезда за час работы, руб.;

l_1 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

k_1 – размер капитальных вложений в тракторный поезд, руб.;

W – часовая производительность, т/ч или т·км/ч.

Вопросам повышения эффективности использования мобильных энергетических средств на транспортных работах за счет повышения их тягово-сцепных свойств и улучшения эксплуатационных показателей посвящены исследования [3, 28, 64, 70, 71, 73, 91, 97, 99, 134].

Для увеличения грузоподъемности транспортного средства и снижения величины буксования производится увеличение сцепного веса методом догружения заднего моста трактора [2, 11, 17, 24, 30, 31, 53, 74, 86].

Повышение сцепного веса задних колес можно обеспечить путем применения седельного полуприцепа или добавлением балластных грузов в заднюю часть трактора [29, 80, 96, 130, 133].

В работе [46] показана связь между энергонасыщенностью мобильного энергетического средства, агрегата и коэффициентом сцепной массы:

$$\frac{\mathcal{E}_T}{\mathcal{E}_a} = \frac{\lambda_{\text{сц.а}}}{k_{\text{сц.а}}}, \quad (1.2)$$
$$\mathcal{E}_a = \frac{N_{\text{е.н.}}}{m_a}; \quad \lambda_{\text{сц.а}} = \frac{m_{\text{сц.а}}}{m_a}$$

где $\mathcal{E}_T, \mathcal{E}_a$ – энергонасыщенность (удельная мощность, энерговооруженность) соответственно мобильного энергетического средства, агрегата;

$N_{\text{е.н.}}$ – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;

m_a – сцепная (активная) масса агрегата, т;

$\lambda_{\text{сц.а}}, k_{\text{сц.а}}$ – коэффициенты сцепной (активной) массы агрегата, выраженные в долях массы соответственно трактора, агрегата.

Для повышения проходимости, снижения величины буксования и тягового сопротивления навесных машин и прицепов; снижения расхода топлива и соответственно увеличения производительности предлагается увеличивать величину вертикальных нагрузок на ведущие колеса трактора [64, 116].

Значение касательной силы тяги трактора ограничивается условием (1.3), приведенным в работах [64, 116]:

$$P_{k\varphi_{\text{max}}} = \varphi_{\text{сц}} \cdot Y_k \quad (1.3)$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления;

Y_k – нормальная реакция дороги (почвы) на движители мобильного энергетического средства, Н.

Вопросу повышения эксплуатационных показателей и тягово-сцепных свойств колесных тракторов посвящены работы [66, 69, 72, 84, 92]. В них авторы высказывают мнение и обосновывают возможности повышения эффективности использования трактора на транспортных работах.

От параметров шин, сцепного веса и буксования движителей зависит коэффициент сцепления на переувлажненных почвах, что нашло подтверждение в результатах, полученных в работах [9, 12, 14, 45, 78].

Вопросы тяговой динамики, повышения проходимости и агроэкологические свойства транспортного агрегата в зависимости от конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы при различных крюковых нагрузках рассмотрены в работах [70, 118, 126, 127, 132].

В работе [26] тягово-сцепные свойства предлагается оценивать по запасу проходимости:

$$\Pi = \frac{\varphi_{\text{доп}} K_z \lambda_k}{K_m \left[\Psi \pm \left(\frac{\delta_{\text{вр}}}{g} \right) \frac{d_v}{d_t} \right]} \quad (1.4)$$

где $\varphi_{\text{доп}}$ – коэффициент использования сцепления, соответствующий допустимому буксованию ведущих колес;

K_z – коэффициент запаса сцепления;

λ_k – коэффициент вертикальной нагрузки ведущих колес;

Ψ – коэффициент сопротивления;

$\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\frac{d_v}{d_t}$ – линейное ускорение агрегата.

Из формулы видно, что запас проходимости во многом зависит от дорожных условий. Повысить величину проходимости можно за счет увеличения величины вертикальной нагрузки, приходящейся на ведущие колеса [27, 52, 64, 82, 100, 125]. Это позволяет во время движения, в зависимости от фактических дорожно-транспортных условий, регулировать догрузку задних ведущих колес трактора [82].

В работах [25, 51, 53, 66, 76, 77, 79, 114] рассмотрены вопросы тяговой динамики, повышения проходимости и агроэкологические свойства транспортного агрегата, в зависимости от конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы при различных крюковых нагрузках.

В исследованиях [1, 7, 12, 13, 17] отмечается, что для обеспечения максимальной силы тяги трактора необходимо автоматически поддерживать буксование за счет регулирования сцепного веса трактора. Исследования [59, 60, 115, 117, 132] показали, что доля тракторов класса 1,4 повышается, а, следовательно, необходимо изыскивать дальнейшие пути повышения эффективности их использования.

Для увеличения значения коэффициента использования сцепного веса трактора используют метод распределения веса по ведущим колесам [17, 64, 99, 115]. Предлагается оценивать коэффициенты нагрузки γ_1 и γ_2 :

$$\gamma_1 = \frac{Y_1}{Q}, \quad (1.5)$$

$$\gamma_2 = \frac{Y_2}{Q} \quad (1.6)$$

где γ_1 – коэффициент нагрузки ведомых колес;

γ_2 – коэффициент нагрузки ведущих колес;

Y_1, Y_2 , – реакции грунта соответственно на ведомые и ведущие колеса мобильного энергетического средства;

Q – общая нагрузка, приходящаяся на ведущую ось трактора.

В работах [70, 132] отмечается, что при автоматическом поддержании буксования трактора, за счет регулирования сцепного веса обеспечивается его максимальная сила тяги.

Как известно, тягово-сцепные свойства мобильного энергетического средства зависят от физических характеристик почвы, конструктивных параметров, сцепного веса колесной формулы трактора, размеров движителей, давления воздуха в шинах, рабочей скорости и прочих факторов.

Взаимодействие движителей с грунтом не только определяет динамику трактора и его производительность, но и влияет на агротехнику возделывания данной культуры. Уплотнение почвы и образование на ней углубления (следа)

сказываются на развитии растения и последующих технологических операциях – междурядной обработке, уборке, а, в конечном итоге, и на урожайности выращиваемой культуры [65].

Для увеличения сцепного веса трактора в составе МТА применяют балласт и догружатели ведущих колес. В качестве балласта обычно используют металлические грузы, воду или незамерзающий раствор, заливаемый в шины, что позволяет увеличить тяговое усилие трактора на 15–20 % [23, 64, 96, 135, 136]. Однако применение балластирования влечет за собой увеличение массы трактора, что повышает и без того высокое нормальное давление на почву. Это способствует продавливанию верхнего слоя почвы до подстилающего слоя в виде мерзлоты, потере проходимости на ранневесенних полевых работах, увеличению сопротивления движению трактора; влечет потери мощности на качение; уменьшает коэффициент полезного действия.

Одним из способов повышения тягово-сцепных свойств мобильного энергетического средства является увеличение числа ведущих колес. Примером может служить применение колесной формулой 4К4, что дает возможность реализации для сцепления с почвой практически всего веса мобильного энергетического средства, в то время как при использовании двух ведущих колес для этой цели может быть использована только часть веса.

Максимальная реализация тягово-сцепных свойств мобильных энергетических средства достигается при 10-процентном буксовании, так как в данном случае происходит срез почвы [131, 132]. Тяговая динамика мобильного энергетического средства с компоновкой 4К4 во многом зависит от того, как осуществляется привод к ведущим осям. В настоящее время применяются два основных типа приводов – блокирование и дифференциальный.

В работах [26, 64, 77] отмечается, что одним из способов увеличения тягово-сцепных свойств и снижения техногенного воздействия на почву является увеличение сцепного веса агрегата за счет применения дополнительного ведущего моста.

1.4 Аналитические исследования процесса боронования

Как известно, качество работы почвообрабатывающих агрегатов во многом зависит как от конструктивно-технологических параметров, так и от условий их эксплуатации. В работе [3] установлено, что до 20 % в формировании урожайности приходится на качество подготовки почвы. Даже при выполнении одной и той же операции качество обработки будет во многом зависеть как от культуры, которая возделывалась на этом поле, так и от состояния самого поля. Исходя из этого, большинство исследований, направленных на изучение работы дисковых борон, связаны с определением влияния физико-механических свойств почвы на ее конструктивно-технологические параметры. В целом физико-механические свойства почвы – это комплекс сложных обоснованию показателей, так как во многом определяются естественно-климатическими условиями региона.

При проведении работ, связанных с применением дисковых борон, одним из показателей является твердость почвы, которая, в свою очередь, тесно связана с влажностью. Исследования, проведенные в работе [1], показали, что на преодоление сил трения, возникающих при обработке почвы почвообрабатывающими орудиями, расходуется до 40 % тяговой мощности энергетического средства. Поэтому вопрос совершенствования работы почвообрабатывающих машин (дисковые бороны) преимущественно направлен на обоснование кон-

структивно-технологических параметров, способствующих снижению сил сопротивления. Достичь это возможно за счет уменьшения площади контакта диска с почвой [87].

В работе [73] получена аналитическая зависимость между диаметром диска и глубиной колеи (1.7):

$$D = k\alpha \quad (1.7)$$

где D – диаметр диска бороны;

k – коэффициент, учитывающий склонность к забиванию междискового пространства (равен от 4 до 6);

α – глубина обработки.

С целью исключения забивания почвой и остатками растительностью предлагается выдерживать определенное расстояние между дисками:

$$b \geq 1,5\alpha \quad (1.8)$$

Качество работы дисковых борон во многом определяет надежность вращения диска. В работе [132] для этих целей предлагает сделать ассиметричные вырезы, которые обеспечат резание со скольжением.

Расчету параметров сферических дисков посвящены работы [73, 87, 132].

Обоснована взаимосвязь радиуса кривизны диска и его диаметра в работах [73, 87] с использованием выражения (1.9):

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi} \quad (1.9)$$

На величину тягового сопротивления большое влияние оказывает поступательная скорость движения. В работе [9] отмечается, что рост тягового сопротивления отстает от роста скорости движения. Так, при повышении скорости движения в 1,86 раза, тяговое сопротивление возрастает на 25–30 %.

Одной из проблем при проведении работ сферическими дисками является залипание их почвой. Для ее устранения в работе [20] предлагается использовать сферический диск с прорезями. Автор объясняет это тем, что за счет уменьшения площади контакта с почвой возрастает удельное давление, благодаря чему улучшается процесс очистки рабочего органа.

Для снижения забивания дисков почвой в работе [57] предлагается обеспечивать вращение соседних дисков с разными угловыми скоростями.

Одним из главных требований, предъявляемых к дисковым боронам, выступает возможность заглубления рабочего органа (диска) на заданную глубину согласно агротехническим требованиям. Заданная глубина обработки, в свою очередь, во многом зависит от конструктивно-технологических параметров орудия, обусловленных почвенно-климатическими условиями, для которых изготавливалась данная борона.

Как показывают исследования, выпускаемые промышленностью дисковые бороны не обеспечивают заданную глубину обработки на тяжелых почвах, характерных для Амурской области. Основная причина заключается в недостаточной вертикальной нагрузке на рабочий орган. Основные конструктивные характеристики, используемых в Амурской области бороновальных орудий, приведены в таблице 1.1.

Согласно данным таблицы, вертикальная нагрузка, приходящаяся на один рабочий орган различна, что не всегда оказывается достаточным для обеспечения оптимальной глубины обработки. Поэтому вопрос регулирования вертикальной нагрузки на рабочий орган бороны является важным и актуальным для средств механизации Дальневосточного региона, так как позволит обеспечить оптимальную глубину обработки для любых типов почв.

Таблица 1.1 – Статистика параметров дисковых орудий

Тип, марка, модель бороны	Диаметр дисков, мм	Кол-во дисков, шт.	Масса орудия, кг	Нагрузка на диск, кг	Угол атаки, град.	Глубина обработки, см	Рабочая скорость, км/час	Трактор, класс
ЗАО «Атшеронский завод «Десельмаш», г. Атшеронск								
БДТМ-8	560	82	11 000	134	0-25	6-16	6-15	7-9
БДТМ-6	560	62	8 920	144	0-25	6-16	6-15	6-7
БДТМ-4×4	560	40	4 280	107	0-25	6-12	6-15	4-5
БДТМ-3П-ОЗА	560	32	2 960	93	0-25	6-12	6-15	3-4
БДТМ-7,5×3	560	66	9 770	148	0-25	6-12	6-15	7-9
БДТМ-6×3	560	48	6 440	134	0-25	6-12	6-15	4-5
БДТМ-5,5-04Б	560	51	6 015	118	0-25	6-12	6-15	4-5
БДП-6×2А	650	44	5 900	134	0-25	6-12	6-15	7
БДП-4×2	560	28	3 100	111	0-25	6-12	6-15	1,4-3
БДП-4×2	560	28	2 100	75	0-25	6-12	6-15	4-5, навесной
БДМ-2,5	560	18	1 144	64	0-25	6-12	6-15	1,4-3, навесной
БДМ-1,8	560	14	736	53	0-25	6-12	6-15	1,4, навесной
ООО «БДМ-АГРО», г. Краснодар								
БДМ-2,2×2	560	16	900	56	0-25	12-20	12-17	0,8-1,4, навесной
БДМ-3-2П	560	22	1 824	83	0-25	12-20	12-17	1,4-2
БДМ-7-2П	560	53	5 180	98	0-25	12-20	12-17	5-7
БДМ-4×4	560	39	2 330	60	0-25	12-20	12-17	4-5
БДМ-6×4П	560	55	4 750	86	0-25	12-20	12-17	5-7
БДМ-8×4П	560	79	8 025	102	0-25	12-20	12-17	8-9
ПАО «Белгородмашсервис», г. Белгород								
БДМ-2×2Н	560	16	850	53	0-30	до 16	8-12	0,8-1,4, навесной
БДМ-3,2×4/0,9	560	32	3 780	118	0-30	до 16	8-12	1,4-2

1 Современное состояние вопроса и производственная необходимость
повышения эффективности использования МТА
в технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Продолжение таблицы 1.1

Тип, марка, модель бороны	Диаметр дисков, мм	Кол-во дисков, шт.	Масса орудия, кг	Нагрузка на диск, кг	Угол атаки, град.	Глубина обработки, см	Рабочая скорость, км/час	Трактор, класс
БДМ-6×4П	560	56	4 804	86	0-30	до 16	8-12	5-7
БДР-10×4	560	98	9 550	97	0-30	до 16	8-12	6-7
<i>Компания «Нью Тон», г. Волжский</i>								
ARGO-3,2×4П	560	32	2 900	91	0-20	до 18	8-15	2-3
ARGO-6,1×4ПК	560	64	7 500	118	0-20	до 18	8-15	6-7
<i>Leipker, Германия</i>								
ГЕЛИОДОР 8/300	465	24	805	34	0-25	2-15	12-20	1,4-2
ГЕЛИОДОР 8/500	465	40	1 883	47	0-25	2-15	12-20	2-3
РУБИН 9/300U	620	24	1 640	68	0-25	2-12	12-20	2
РУБИН 9/400U	620	32	1 960	61	0-25	2-12	12-20	2-3
<i>Arazone, Германия</i>								
КАТРОС 3001	460	24	1 700	71	0-25	3-12	12-20	1,4
КАТРОС 4001	460	32	2 050	64	0-25	3-12	12-20	2
КАТРОС 6001-2	460	48	3 330	69	0-25	3-12	12-20	3

1.5 Способы и пути адаптации машинно-тракторных агрегатов для подготовки почвы под посев

Повысить эффективность использования машинно-тракторных агрегатов при подготовки почвы дисковыми боронами под посев можно двумя способами:

- 1) за счет повышения тягово-сцепных свойств энергетического средства (трактора) и его агрегатирования боронами с большой шириной полосы обработки;
- 2) за счет изменения регулирования вертикальной нагрузки, приходящейся на рабочий орган бороны (диск).

С целью решения обозначенной проблемы *предлагается ряд технических решений, защищенных охранными документами на результаты интеллектуальной деятельности, которые позволяют провести адаптацию машинно-тракторных агрегатов для работы на почвах с различными физико-механическими свойствами:*

1. Догружающе-корректирующее устройство для дискового луцильника (патент РФ на изобретение № 2714436). Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, а именно к дополнительным вспомогательным устройствам, устанавливаемым для увеличения тягово-сцепных свойств буксирующего энергетического средства в движении и снижения общей массы дискового луцильника при улучшении его технических и эксплуатационных характеристик (более качественного лущения пожнивных остатков, глубины боронования, степени разделки почвенных пластов и подрезания растительных остатков) за счет корректирования сцепного веса.

2. Регулятор сцепного веса бороновального агрегата (патент РФ на полезную модель № 196181). Полезная модель относится к сельскохозяйственному машиностроению, а именно к дополнительным вспомогательным устройствам, устанавливаемым для увеличения тягово-сцепных свойств машинно-тракторного агрегата (бороновального агрегата) в движении, снижения массы и металлоемкости конструкции сельскохозяйственной машины, улучшения качества почвенной обработки бороной дисковой тяжелой и удобства в ее эксплуатации.

Рассмотрим конструктивные особенности и эксплуатационно-режимные характеристики предлагаемых технических решений.

Догружающе-корректирующее устройство для дискового луцильника (рис. 1.23–1.25). Технической задачей изобретения является увеличение тягово-сцепных свойств буксирующего энергетического средства в движении, снижение общей массы дискового луцильника при улучшении его технических и эксплуатационных характеристик (более качественного лушения пожнивных остатков, глубины боронования, степени разделки почвенных пластов и подрезания растительных остатков) за счет корректирования сцепного веса, при применении достаточно несложной конструкции вспомогательного устройства, простоте изготовления, высокой надежности, удобстве в обслуживании и эксплуатации.

Догружающее-корректирующее устройство для дискового луцильника содержит конструкцию, состоящую из силового гидроцилиндра 1 с двухсторонними штоками 2 и 3. Упорная часть штока 2 закреплена фиксирующим пальцем 4 в опорном кронштейне 5, смонтированном под сницей 6 луцильника 7. Упорная часть штока 3 гидроцилиндра 1 установлена фиксирующим пальцем 8 в нижнем плече 9 вертикального коромысла 10 шарнирно-крон-

штейного узла 11, расположенного на нижней части поперечной силовой траверсы 12 рамы 13 луцильника 7. Гибкие тросовые связи 14 и 15 смонтированы окончаниями на секциях 16 и 17 дисков луцильника 7, проходят через 2-шквивный выравнивающий блок 18, вмонтированный в нижнюю часть поперечной траверсы 19 рамы 13 луцильника 7, и фиксированы удерживающим пальцем 20 в верхнем плече 21 вертикального коромысла 10.

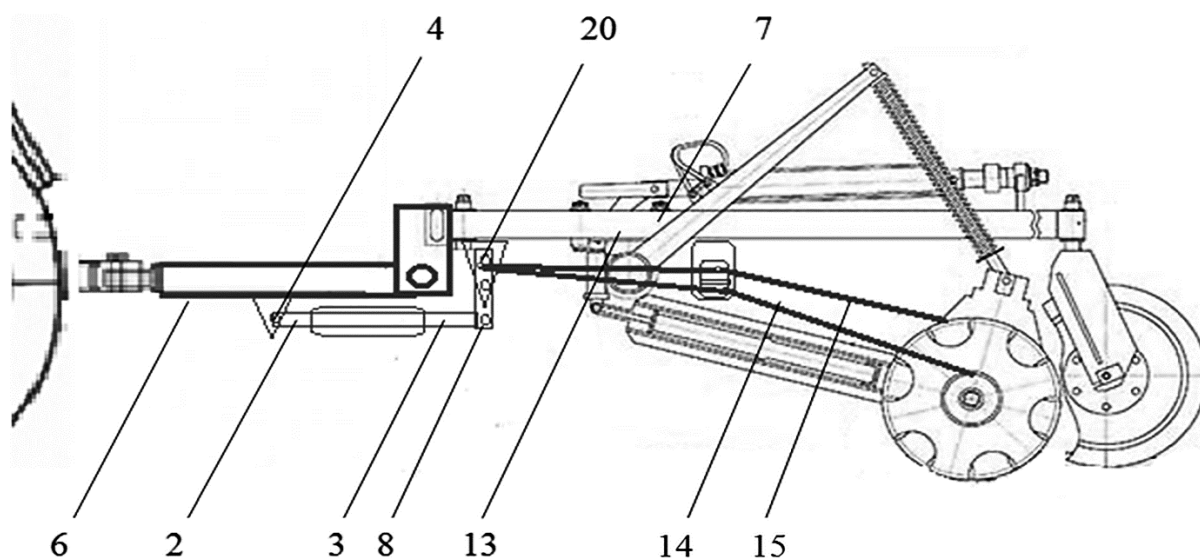


Рисунок 1.23 – Принципиальная схема догружающе-корректирующего устройства для дискового луцильника

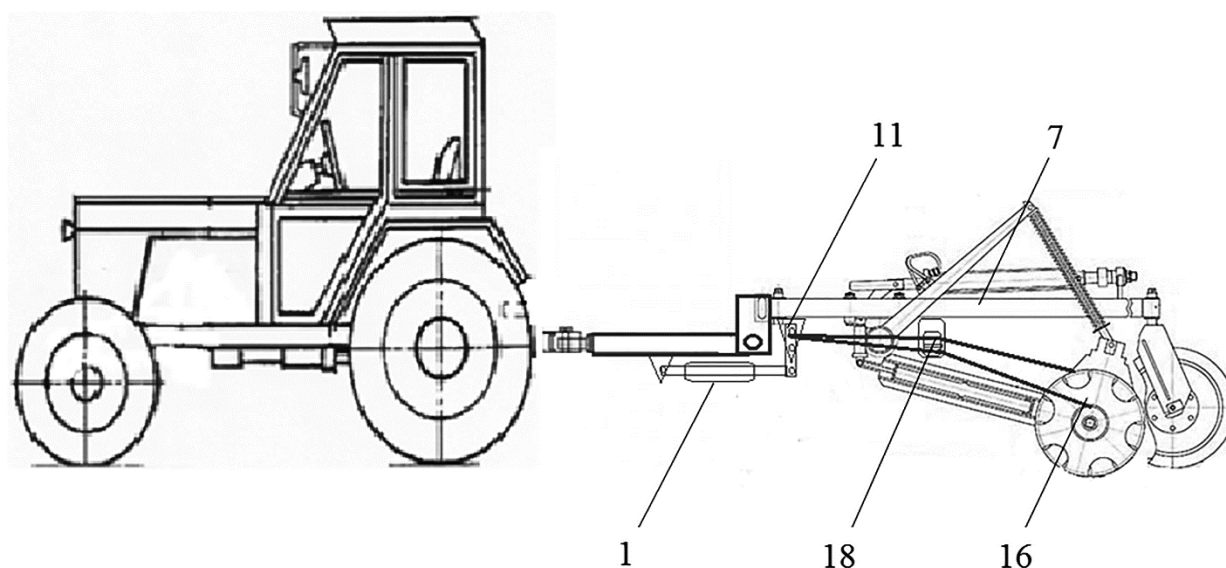


Рисунок 1.24 – МТА с догружающе-корректирующим устройством

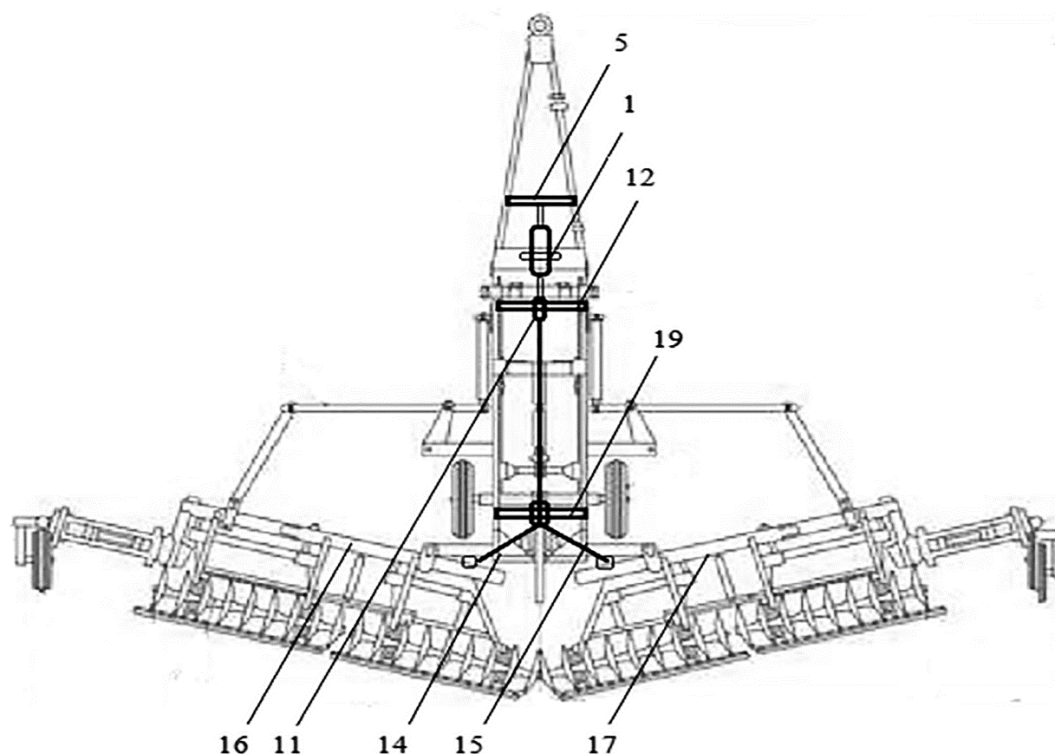


**Рисунок 1.25 – Луцильник
с догружающе-корректирующим устройством**

Принцип работы устройства. При недостаточном заглублении рабочих органов луцильника 7 машинист-оператор буксирующего энергетического средства (трактора) через гидрораспределитель подключает гидроцилиндр 1, штоки 2 и 3 которого начинают выдвижение. При этом шток 2 через опорный кронштейн 5 нагружает сницу 6 луцильника 7 и буксировочное устройство трактора, приподнимая сницу 6 и вывешивая на установочных шарнирах, что разгружает буксировочное устройство трактора, передавая сцепной вес с его ходовой системы на раму 13 луцильника 7. Вместе с тем шток 3 выдвигается одновременно со штоком 2. При этом его движение производит поворот нижнего плеча 9 вертикального коромысла 10 шарнирно-кронштейнового узла 11, что вызывает поворот верхнего плеча 21 вертикального коромысла 10, натяжение гибких тросовых связей 14 и 15 и непосредственное перераспределение нагрузки с рамы 13 луцильника 7 на секции 16 и 17 дисков, что позволяет

проводить корректирование глубины заглубления рабочих органов в движении без дополнительного балластирования или ручной регулировки. Работа устройства в этом режиме позволяет без увеличения общей массы дискового луцильника улучшить его технические и эксплуатационные характеристики, а именно производить более качественное лушение пожнивных остатков, контролировать глубину боронования, степень разделки почвенных пластов и подрезания растительных остатков за счет корректирования сцепного веса.

При зарывании, проваливании движителей буксирующего энергетического средства или недостаточности тягово-сцепных свойств трактора для проведения сельскохозяйственной операции, машинист-оператор буксирующего энергетического средства (трактора) через гидрораспределитель подключает гидроцилиндр 1, штоки 2 и 3 которого начинают втягивание. При этом шток 2 через опорный кронштейн 5 прижимает сницу 6 луцильника 7 в буксировочном устройстве трактора, приподнимая заднюю часть сницы 6 и фронтальную часть рамы 13 на установочных шарнирах, что изменяет положение центра масс луцильника, передавая сцепной вес с его рамы на буксировочное устройство и ходовую систему трактора, увеличивая вертикальную нагрузку на движители, повышая тягово-сцепные свойства буксирующего энергетического средства. Вместе с тем шток 3 втягивается одновременно со штоком 2. При этом его движение производит поворот нижнего плеча 9 вертикального коромысла 10 шарнирно-кронштейнового узла 11, что вызывает поворот верхнего плеча 21 вертикального коромысла 10, при котором происходит ослабление гибких тросовых связей 14 и 15. Работа устройства в этом режиме позволяет увеличить тягово-сцепные свойств буксирующего энергетического средства в движении.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным догружающее-корректирующим устройством для дискового луцильника, машинист-

оператор трактора гидрораспределитель не активирует и устройство не под-ключает.

Использование данного изобретения, обладающего высокой надежностью, низкой себестоимостью, удобством в обслуживании и эксплуатации, при достаточно несложной конструкции и простоте изготовления, позволит увеличить тягово-сцепные свойства буксирующего энергетического средства в движении; снизит общую массу дискового луцильника при улучшении его технических и эксплуатационных характеристик (производство более качественного лущения пожнивных остатков, глубины боронования, степени разделки почвенных пластов и подрезания растительных остатков) за счет корректирования сцепного веса, что повысит эффективность и производительность машинно-тракторного агрегата при его применении в сельском хозяйстве.

Регулятор сцепного веса бороновального агрегата (рис. 1.26). Технической задачей полезной модели является увеличение тягово-сцепных свойств МТА (бороновального агрегата) в движении; снижение массы и металлоемкости конструкции агрегатируемой сельскохозяйственной машины; улучшение качества почвенной обработки бороной дисковой тяжелой и удобство в ее эксплуатации, при достаточно несложной конструкции вспомогательного устройства, простоте его изготовления и установки, высокой надежности, удобстве в обслуживании и эксплуатации.

Регулятор сцепного веса бороновального агрегата выполнен в виде устройства, включающего гибкую тросовую силовую связь 1 с петлевыми окончаниями, срединной частью закрепленную в опорном кронштейне 2 на нижней тыльной части корпуса 3 трактора 4, проходящую через буксирное устройство 5, установленное на поперечной нижней тяге 6 навески 7, и смонтированную окончаниями в установочных кронштейнах 8 на фронтальной части 9 рамы 10 бороны 11.

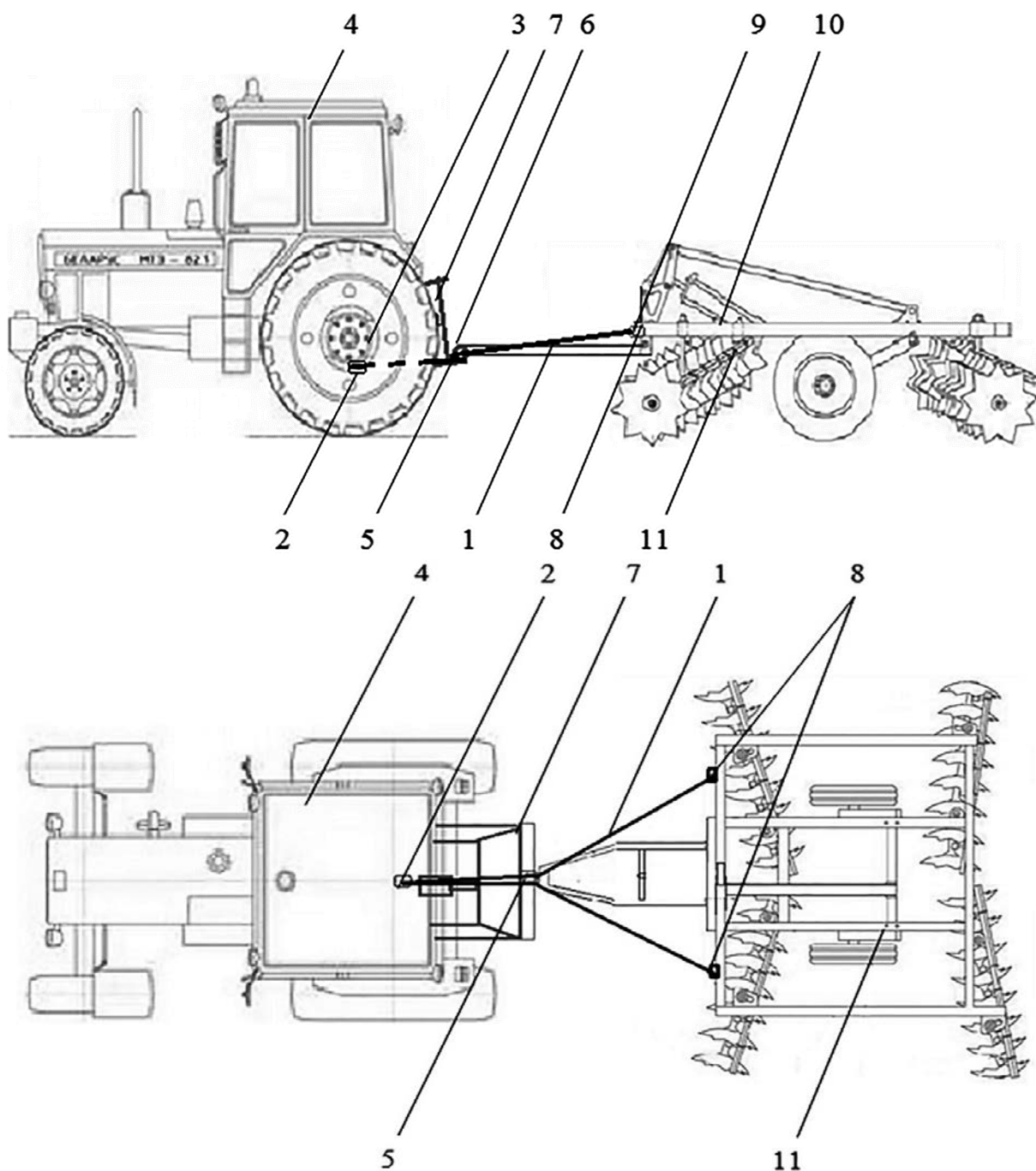


Рисунок 1.26 – Машинно-тракторный агрегат с регулятором сцепного веса бороновального агрегата

Принцип работы устройства. При движении МТА и необходимости увеличения тягово-сцепных свойств трактора в движении или уменьшения заглубления дисковых рабочих органов с целью снижения тягового сопротивления, оператор трактора приподнимает заднюю навеску 7 трактора 4. При этом

происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи 1 в буксирном устройстве 5 и перераспределение сцепного веса с рамы 10 бороны 11 на задний ведущий мост и ходовую систему трактора 4, что позволяет увеличить его тягово-сцепные свойства, снизить буксование движителей, повысить агротехнические скорости движения МТА.

При необходимости дополнительного заглубления дискаторных рабочих органов, оператор трактора опускает заднюю навеску 7 трактора 4. При этом также происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи 1 в буксирном устройстве 5, что позволяет произвести вывешивание задней части трактора 4 на гибкой тросовой силовой связи 1 и перераспределение сцепного веса с его заднего ведущего моста и ходовой системы на раму 10 бороны 11, что дает возможность регулировать глубину заглубления дисковых рабочих органов бороны в движении, увеличивая крошимость, переворачиваемость почвенного пласта и качество почвенной обработки при более низкой массовой нагрузке на рабочие органы бороны.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным регулятором сцепного веса бороновального агрегата оператор трактора транспортное положение задней навески 7 не регулирует.

Использование данной полезной модели, обладающей высокой надежностью, низкой себестоимостью, удобством в установке и обслуживании, при достаточно несложной конструкции и простоте изготовления, позволит увеличить тягово-сцепные свойства МТА; снизит массу и металлоемкость конструкции сельскохозяйственной машины; позволит улучшить качество почвенной обработки бороной дисковой тяжелой, что увеличит экономический эффект от ее применения в сельском хозяйстве.

Выводы по разделу

Проведенный анализ известных исследований и технических решений в направлении повышения эффективности агрегатов предпосевной обработки почвы, наличия средств механизации в хозяйствах области, а также обзор существующих конструкций сельскохозяйственных орудий позволяют сформулировать требования к перспективной конструкции бороновального агрегата, обосновать направления патентного поиска и способы формирования высокоэффективного устройства, использующего модульные принципы построения и механизмы перераспределения веса, как наиболее оптимальные для использования в условиях агропромышленного комплекса Амурской области.

Поисковыми исследованиями и производственными наблюдениями установлены возможности модернизации трактора МТЗ-80(82) и дисковой бороны БДТ-3, как наиболее распространенных средств механизации в сельскохозяйственном производстве региона. Мощностные характеристики и энергонасыщенность выбранного трактора позволяют его использование в составе бороновального агрегата.

Предложены технические решения, защищенные охранными документами, позволяющие расширить функциональные возможности данного трактора и дисковой бороны.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРОНОВАЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ

2.1 Теоретические исследования работы МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата

Естественно-производственные условия Амурской области отличаются тяжелым механическим составом почвы, невысоким коэффициентом структурности, заплыванием в результате чередующихся периодов переувлажнения и засухи. В этой связи предпосевная подготовка почвы является важной агротехнической операцией, закладывающей фундамент в основу формирования высокого урожая возделываемой культуры.

На основании проведенного анализа установлено, что для повышения эффективности предпосевной подготовки почвы, улучшения показателей структурности почвы, равномерности обработки почвы по глубине и с целью достижения регулярной высокой урожайности сельскохозяйственных культур необходимо применение сельскохозяйственных машин, в частности тяжелых дисковых борон. Изменяя угол атаки, то есть угол постановки рабочих органов относительно направления движения, можно менять как глубину обработки, так и степень крошимости элементов верхнего плодородного слоя.

Бороны нашли применение при разделке пласта многолетних трав, послеуборочного лущения, обработки занятых паров и непаровых предшественников под озимые. Тяжелые бороны используются и для основной обработки почвы на различную глубину. Основным и главным недостатком таких борон является необходимость их догружения дополнительным балластом для повышения качества и глубины обработки на почвах с тяжелым механическим составом. Но следует учесть, что этот прием недостаточно эффективен на почвах

с низкой несущей способностью или высокой степени влажности. В этих условиях наиболее перспективным направлением является оптимизация скоростных характеристик и использование возможностей перераспределения сцепного веса в звеньях самого машинно-тракторного агрегата.

При этом необходимо также учитывать, что основным эксплуатационным параметром любого мобильного энергетического средства являются его тягово-сцепные свойства, изменение которых в целях эффективности возможно только в сторону увеличения.

Техническим решением поставленной отраслевой задачи является создание и исследование характеристик устройства – **регулятора сцепного веса бороновального агрегата**, *способного перераспределять часть сцепного веса между энергетическим средством (трактором) и бороной через вертикальное перемещение задней навески трактора и силовое натяжение гибкой тросовой связи*. Принципиальная схема и порядок работы указанного устройства подробно представлены в первом разделе (рис. 1.26).

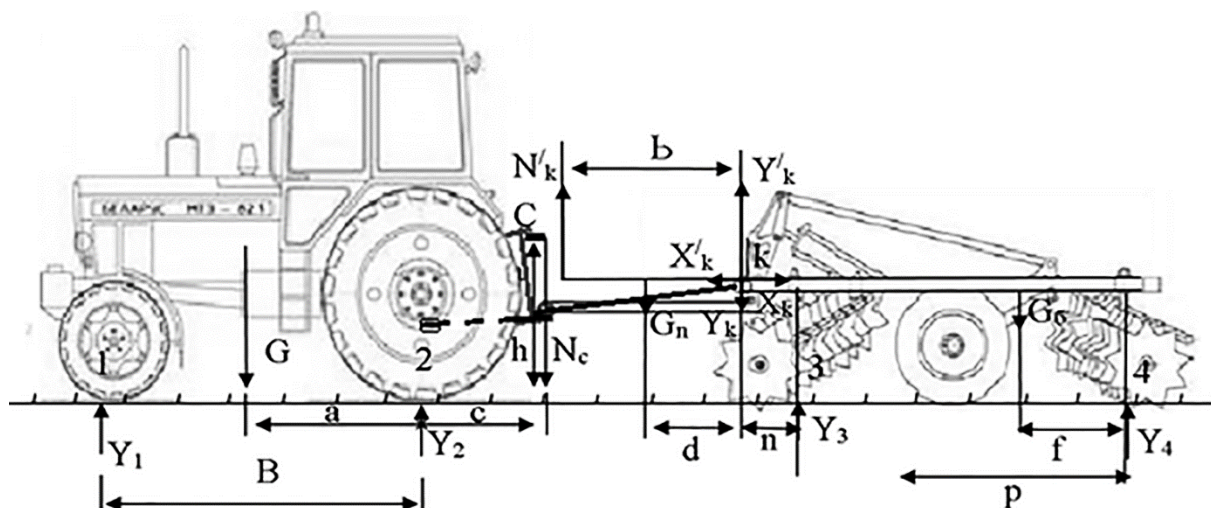
С целью обоснования конструктивно-технологических параметров МТА с установленным регулятором сцепного веса бороновального агрегата проведем его анализ, как составную конструкции, включающую трактор, прицепное устройство, раму бороны (рис. 1.26). Рассмотрим равновесие каждой части конструкции в отдельности для определения вертикальных составляющих реакций поверхности.

Определим три составных положения:

- 1. Без воздействия регулятора сцепного веса: нейтральное положение.*
- 2. При работе регулятора сцепного веса:*
 - 1) при поднятии навески;*
 - 2) при опускании навески.*

2.2 Определение сил, действующих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в нейтральном положении

Рассмотрим работу МТА с установленным регулятором сцепного веса бороновального агрегата как составную конструкцию (трактор, прицепное устройство и рама борона) при нейтральном положении. Покажем силы, действующие на части составной конструкции (рис. 2.1). Для удобства анализа все действующие силы покажем на отдельной схеме (рис. 2.2).



G, G_n, G_6 – вес трактора, прицепного устройства, рамы борона соответственно, Н;
 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 – силовые вертикальные реакции поверхности в соответствующих точках, Н;
 $N_c = \overline{N'_c}$ – силовая реакция внутренней связи в точках C, Н; $X_k = -\overline{X'_k}, Y_k = -\overline{Y'_k}$ – силовые реакции шарнира в точке K, Н; B – продольная колесная база трактора, м;
 a – расстояние от центра тяжести трактора до задней опоры-двигателя трактора, м;
 c – расстояние от задней опоры-двигателя трактора до точки C, м; b – длина прицепного устройства, м; d – расстояние от центра тяжести прицепного устройства до шарнира K, м;
 p – расстояние от точек приложения вертикальных реакций поверхности на раму борона, м; n – расстояние от шарнира K до точки 3 приложения вертикальной реакции поверхности на секцию и раму борона, м; f – расстояние от центра тяжести борона до точки приложения вертикальной реакции поверхности на секцию и раму борона в точке 4, м; h – расстояние от поверхности почвы до навески, м

Рисунок 2.1 – Силы, действующие на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в нейтральном положении

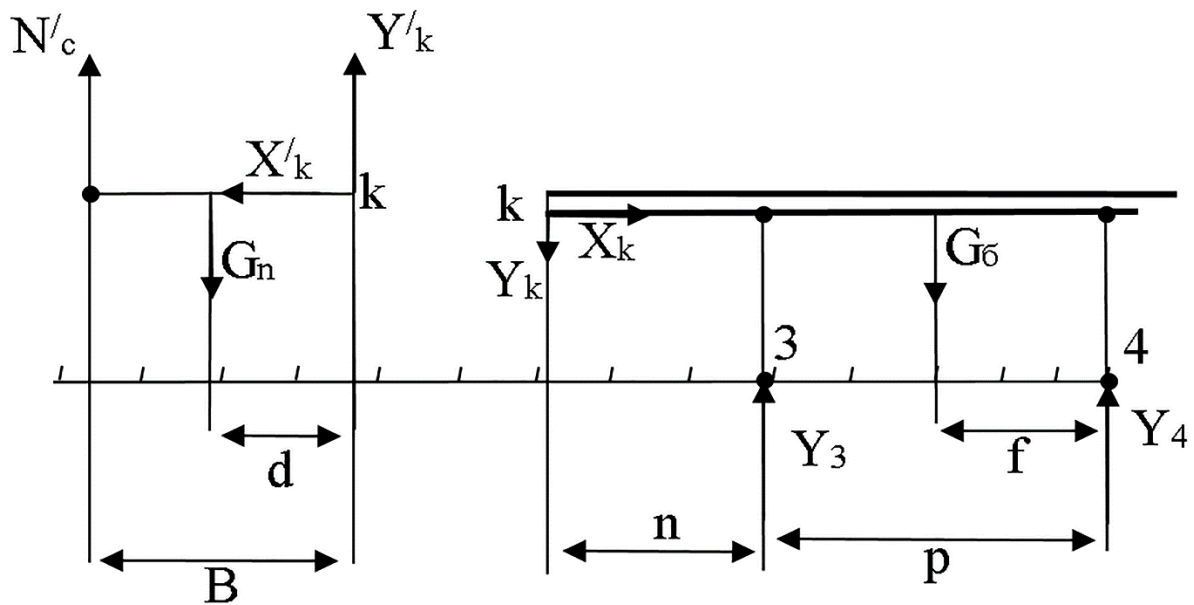


Рисунок 2.2 – Схема к определению вертикальных силовых составляющих реакций поверхности почвы, действующих на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в нейтральном положении

Составляем уравнения равновесия для частей составной конструкции:

1) уравнения равновесия для трактора:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; Y_1 - G + Y_2 - N_c = 0; \\ \sum M_1(F_k) &= 0; -G(B - a) + Y_2 B - N_c(B + C) = 0; \\ \sum M_2(F_k) &= 0; -Y_1 B + Ga - N_c C = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

2) уравнения равновесия для прицепного устройства:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; N_c - G_n + y_k = 0; \\ \sum M_c(F_k) &= 0; -G_n(b - d) + Y_k b = 0; \\ \sum M_c(F_k) &= 0; -N_c b + G_n d = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

3) уравнения равновесия для рамы бороны:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; Y_3 - Y_k - G_6 + Y_4 = 0; \\ \sum M_3(F_k) &= 0; Y_k n - G_6(P - f) + Y_4 P = 0; \\ \sum M_4(F_k) &= 0; -Y_3 P + Y_k(P - n) + G_6 f = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Решив системы уравнений (2.1), (2.2), (2.3), определим:

1) силовую реакцию внутренней связи в точках C:

$$N_c = \frac{G_n d}{b} \quad (2.4)$$

2) силовую реакцию шарнира в точке K:

$$y_k = G_n - N_c = G_n - \frac{G_n d}{b} = G_n \frac{(b - d)}{b} \quad (2.5)$$

3) силовые вертикальные реакции поверхности в соответствующих точках:

$$y_1 = \frac{G_n - N_c C}{B} = \frac{G_a}{B} - G_n \frac{d \cdot C}{b \cdot B}, \quad (2.6)$$

$$y_2 = \frac{G_n(B - a) + N_c(B + c)}{B} = \frac{G(B - a)}{B} + \frac{G_n d(B + C)}{B \cdot b}, \quad (2.7)$$

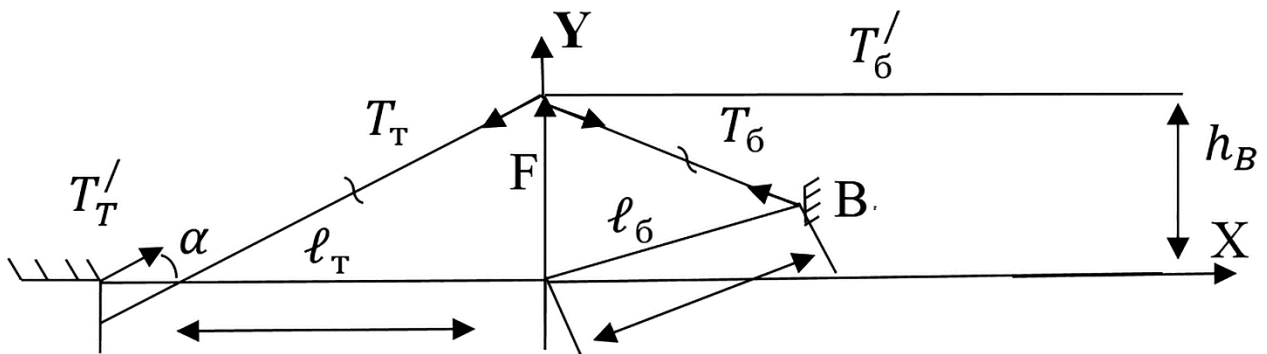
$$y_3 = \frac{Y_k(P + n) + G_6 f}{P} = G_n \frac{(b - d)(P + n)}{b \cdot P} + \frac{G_6 f}{P}, \quad (2.8)$$

$$y_4 = \frac{G_6(P - f) - Y_n}{P} = \frac{G_6(P - f)}{P} - \frac{G_n(b - d) \cdot n}{b \cdot P} \quad (2.9)$$

Полученные математические выражения позволяют определить силовые реакции, возникающие в машинно-тракторном агрегата с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, когда устройство не работает.

2.3 Определение сил, возникающих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при поднятии навески трактора

При поднятии навески происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи в буксирном устройстве (считаем трос нерастяжимой, невесомой связью). Рассмотрим усилия, возникающие в тросе (рис. 2.3).



h_B – высота поднятия навески трактора, м; $\overline{T_T} = -\overline{T'_T}$ – усилия, возникающие в тросе, прикрепленном к корпусу трактора, Н; $\overline{T_6} = -\overline{T'_6}$ – усилия, возникающие в тросе, закрепленном на фронтальной части рамы бороны, Н; F – усилие поднятия навески, Н; l_T – длина троса от точки крепления на корпусе трактора до буксирного устройства, м; l_6 – длина троса от буксирного устройства до точки крепления на раме бороны, м

Рисунок 2.3 – Схема к определению усилий, возникающих в тросовой связи при поднятии навески

Рассмотрим равновесие точки С:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} &= 0; -T_T \cos \alpha + T_6 \cos \beta = 0, \\ \sum F_{ky} &= 0; F - T_T \sin \alpha - T_6 \sin \beta = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Решив систему уравнений (2.10) относительно искомых величин, получим следующие усилия:

1) усилия, возникающие в тросе, прикрепленном к корпусу трактора:

$$T_T = \frac{T_6 \cos \beta}{\cos \alpha} \quad (2.11)$$

2) усилия поднятия навески:

$$F - \frac{T_6 \cos \beta \sin \alpha}{\cos \alpha} - T_6 \sin \beta = 0 \quad (2.12)$$

3) усилия, возникающие в тросе, закрепленном на фронтальной части рамы бороны:

$$T_6 = \frac{F}{\sin \beta + \cos \beta \tan \alpha'}$$

$$T_T = \frac{F \cos \beta}{\sin \beta \cdot \cos \alpha + \cos \beta \cdot \sin \alpha} \quad (2.13)$$

ли при $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$

$$T_T = \frac{F \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Таким образом выражения (2.11)–(2.13) показывают зависимость усилий, возникающие в тросе, от силы поднятия навески.

Для определения вертикальных составляющих сил, возникающих при работе регулятора сцепного веса в случае поднятия навески, рассмотрим схему, представленную на рисунках 2.4, 2.5.

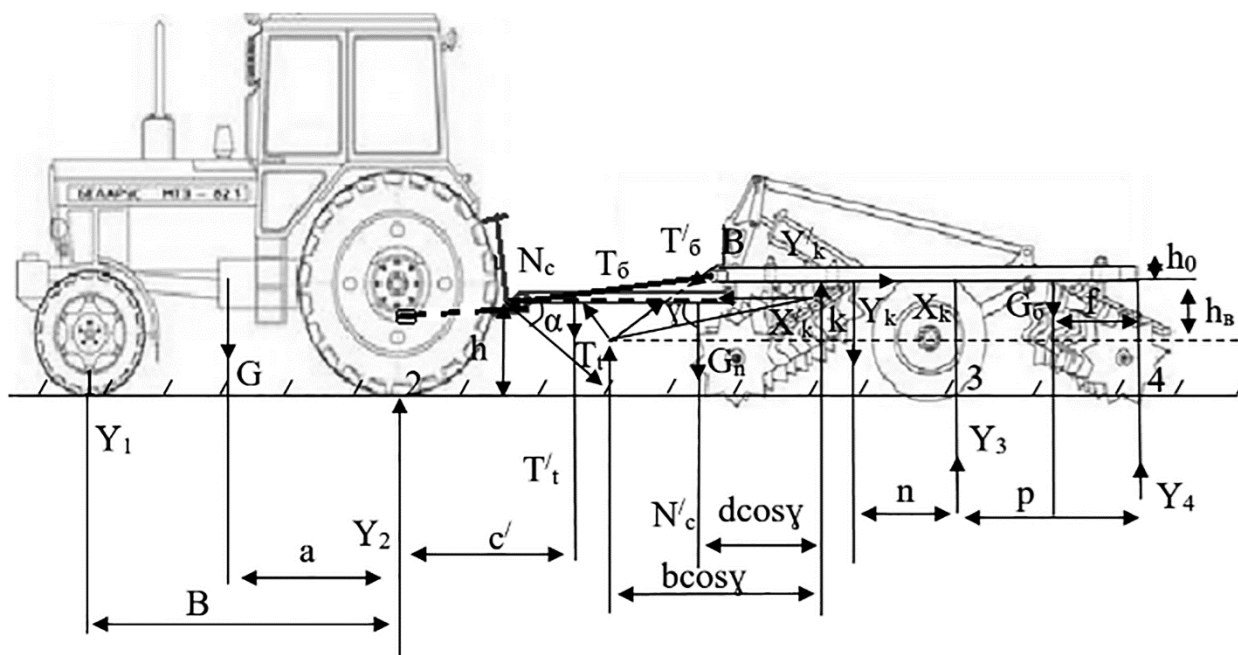


Рисунок 2.4 – Силы, действующие на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в режиме поднятия навески трактора

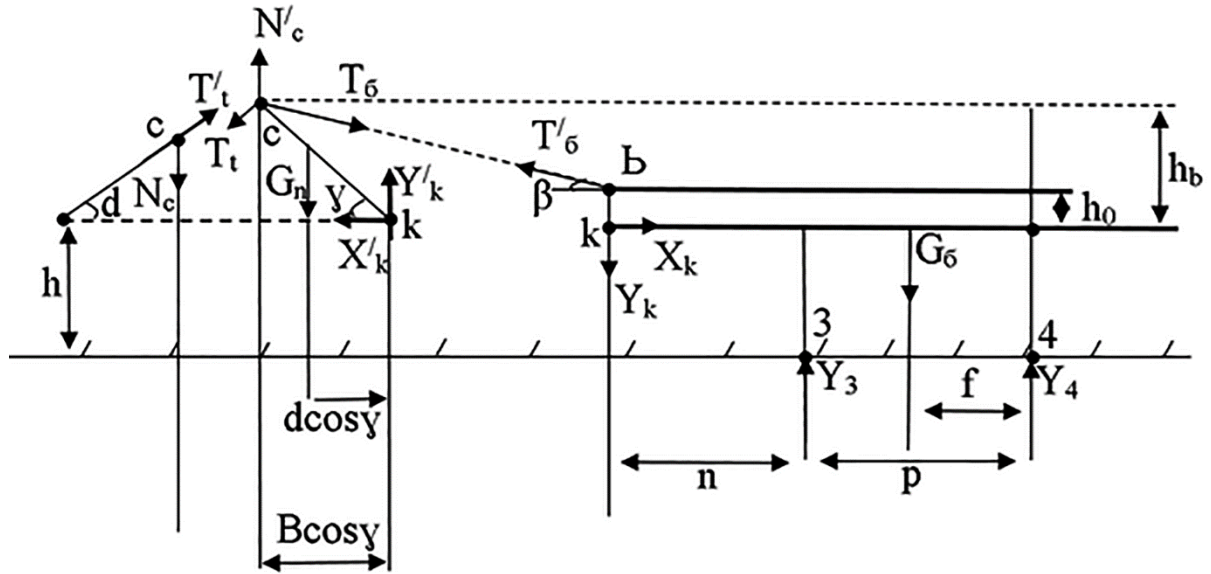


Рисунок 2.5 – Схема к определению реакций поверхности почвы, действующих на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при поднятии навески

Рассмотрим уравнения равновесия:

- 1) для трактора – представлены на рисунке 2.5;
- 2) для прицепного устройства:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; Y_1 + Y_2 - N_c + T'_t \sin \alpha - G = 0; \\ \sum M_1(F_k) &= 0; -G(B - a) + Y_2 B - N_c(B + C') - \\ &\quad -T'_t(h + h_b) \cos \alpha + T'_t(B + C') \sin \alpha = 0; \\ \sum M_2(F_k) &= 0; -Y_1 B + Ga - N_c C' - \\ &\quad -T'_t(h + h_b) \cos \alpha + T'_t C' \sin \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; N'_c - G_n - T_t \sin \alpha - T_\delta \sin \beta + Y'_k = 0, \\ \sum M_c(F_k) &= 0; -G_n(b - d) \cos \gamma + Y'_k b \cos \gamma - X'_k h_b = 0, \\ \sum M_k(F_k) &= 0; -N'_c b \cos \gamma + G_n d \cos \gamma + T_t h_b \cos \alpha + \\ &\quad + T_t \sin \alpha \cdot b \cos \gamma + T_\delta \sin \beta \cdot b \cos \gamma - T_\delta \cos \beta h_b = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

- 3) для рамы бороны:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; Y_3 + Y_4 - G_\delta - Y_k + T_\delta \sin \beta = 0, \\ \sum M_3(F_k) &= 0; Y_k n - G_\delta(p - f) + Y_4 p + \\ &+ T_\delta \cos \beta (h + h_0) - T_\delta \sin \beta \cdot n \cdot X_k h = 0, \\ \sum M_4(F_k) &= 0; -Y_3 P + G_\delta f + Y_k(n + p) + \\ &+ T_\delta \cos \beta (n + p) - X_k h = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Решив системы уравнений (2.14), (2.15), (2.16), получим:

1) силовую реакцию внутренней связи в точке C:

$$\begin{aligned} N'_c &= \frac{G_n d \cos \gamma}{b \cos \gamma} + \frac{T_t h_b \cos \alpha + T_t \sin \alpha \cdot b \cdot \cos \gamma}{b \cos \gamma} + \\ &+ \frac{T_\delta \sin \beta \cdot b \cdot \cos \gamma - T_\delta \cos \beta h_b}{b \cos \gamma} \\ N'_c &= \frac{G_n d}{B} + T_t \sin d + T_\delta \sin \beta + \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B}{B \cos \gamma} \end{aligned} \quad (2.17)$$

2) силовую реакцию шарнира в точке K:

$$\begin{aligned} Y'_k &= -N'_c + G_n + T_t \sin d + T_\delta \sin \beta = \frac{-G_n d}{B} - T \sin d - \\ &- T_\delta \sin \beta - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B}{B \cos \gamma} + G_n + T_t \sin d + T_t \cos d - T_\delta, \\ Y'_k &= \frac{G_n(B - d)}{B} - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta)}{B \cos \gamma} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Определим силовые вертикальные реакции поверхности в точках:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{Ga - N_c \cdot C' - T'_t(h + h_B) \cos d + T'_t \cdot C' \sin d}{B} = \\ &= \frac{Ga - \left(\frac{G_n d}{B} + T_t \sin d + T_\delta \sin \beta + \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_b \cdot C'}{B \cos \gamma} \right)}{B} \cdot \\ &\cdot \frac{-T'_t h \cos d - T'_t \cos d h_B + T'_t C' \sin d}{B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{B_B} \cdot C' - \frac{T_t \sin d \cos d c}{B} - \\ &- \frac{T_\delta \sin \beta \cdot C'}{B} - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B}{B \cos \gamma B} \cdot C' - \frac{T'_t h \cos d}{B} - \frac{T'_t \cos \alpha \sin \alpha}{B} = \\ &= \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} \cdot C' - \frac{T_\delta \sin \beta \cdot C'}{B} - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B}{b \cos \gamma B}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= \frac{G(B-a)}{B} + \frac{N_c(B+C \cos d)}{B} + \frac{T'_t(h+h_B) \cos d - T'_t(B+C \cos d) \sin d}{B} = \\
 &= \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + \frac{T_t \sin d (B+C')}{B} + T_\delta \sin \beta \frac{(B+C')}{B} + \\
 &+ \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B}{B \cos \gamma} \cdot \frac{(B+C')}{B} + \frac{T'_t(h+h_B) \cos d - T'_t(B+C') \sin d}{B} = \\
 &= \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + T_\delta \sin \beta \frac{B+C'}{B} + \\
 &+ \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B (B+C')}{BB \cos \gamma} + \frac{T'_t(h+h_B) \cos d}{B},
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

$$\begin{aligned}
 X'_k &= -\frac{G_n(B-d) \cos \gamma}{h_B} + \frac{Y'_k B \cos \gamma}{h_B} = \frac{G_n(B-d) \cos \gamma}{h_B} + \frac{G_n(B-d) B \cos \gamma}{B h_B} - \\
 &- \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B B \cos \gamma}{B \cos \gamma - h_B} = T_\delta \cos \beta - T_t \cos d,
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= \frac{G_\delta f}{P} + Y_k \frac{n+p}{P} + \frac{T_\delta \cos \beta (h+h_0)}{P} - \frac{T_\delta \sin \beta (n+P)}{P} - \frac{X_k h}{P} = \frac{G_\delta f}{P} + \\
 &+ \frac{G_n(b-d)(n+P)}{b \cdot P} - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B (n+P)}{B \cos \gamma \cdot P} + \frac{T_\delta \cos \beta (h+h_0)}{P} - \\
 &- \frac{T_\delta \sin \beta (n+P)}{P} + \frac{T_\delta \sin \beta \cdot h}{P} + \frac{T_t \cos d \cdot h}{P} = \frac{G_\delta f}{P} + \frac{G_n(b-d)(n+P)}{b \cdot P} - \\
 &- \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_B (n+P)}{b \cos \gamma P} + \frac{T_\delta \cos \beta \cdot h_0}{P} - \frac{T_\delta \cos \beta (n+P)}{P} + \frac{T_t \cos d \cdot h}{P},
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

$$\begin{aligned}
 Y_4 &= \frac{G_\delta(P-T)}{P} - Y_k \frac{n}{p} - \frac{T_\delta \cos \beta (h+h_0)}{P} + \frac{T_\delta \sin \beta \cdot n}{P} + \frac{X_k B}{P} = \frac{G_\delta(P-f)}{P} - \\
 &- \frac{G_n(b-d)}{B} \cdot \frac{n}{P} + \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \beta) h_0}{b \cos \gamma P} - \frac{T_\delta \cos h_0}{P} + \frac{T_\delta \cos n}{P} - \frac{T_t \cos d h}{P}
 \end{aligned} \tag{2.23}$$

В полученные уравнения подставляем выражения (2.11), (2.12) и (2.13). Получаем значения вертикальных реакций поверхности через силу поднятия навески:

$$\begin{aligned}
 N'_c &= \frac{G_n d}{B} + \frac{F \cos \beta \sin d}{\sin(d+\beta)} + \frac{F \sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} + \frac{F \cos \beta \cos d \cdot h_B}{\sin(d+\beta) \cdot B \cos \gamma} - \\
 &- \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \cdot \frac{h_B}{B \cos \gamma} = \frac{G_n d}{B} + F \cdot \\
 &\cdot \left(\frac{\cos \beta \sin d}{\sin(d+\beta)} + \frac{\sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \frac{h_B \cos \beta}{B \cos \gamma} \right),
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

2 Теоретические предпосылки исследований повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

$$Y'_k = \frac{G_n(B-d)}{B} - \left(\frac{F \cos \beta \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \frac{h_B}{B \cos \gamma} = \frac{G_n(B-d)}{B} - F \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \frac{h_B \cos \beta}{B \cos \gamma} \quad (2.25)$$

Проведя преобразования, получим выражения для определения веса, приходящегося на колеса энергетического средства:

1) на передние колеса энергетического средства:

$$Y_1 = \frac{G_a}{B} - \frac{G_n d}{Bb} C' - \frac{F \sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \frac{C'}{B} - \left(\frac{F \cos \beta \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \cdot \frac{h_B C'}{B \cos \gamma B} - \frac{F \cos \beta}{\sin(d+\beta)} \cdot \frac{(h+h_B) \cos d}{B} = \frac{G_a}{B} - \frac{Gd}{BB} C' - \frac{F}{B} \cdot \left(\frac{\sin \beta C'}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} + \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \frac{h_B(B+C')}{b \cos \gamma} + \frac{\cos d \cos \beta (h+h_B)}{\sin(d+\beta)} \right) \quad (2.26)$$

2) на задние ведущие колеса энергетического средства:

$$Y_2 = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + \frac{F \sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \frac{B+C'}{B} + \left(\frac{F \cos \beta \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \frac{h_B(B+C')}{BB \cos \gamma} + \frac{F \cos \beta \cos d \cdot (h+h_b)}{\sin(\beta+d) \cdot B} = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + F \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \frac{B+C'}{B} + \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \right) \cdot \frac{h_B \cos \beta (B+C')}{BB \cos \gamma} + \frac{\cos \beta \cos d (h+h_b)}{\sin(d+\beta) \cdot B} \quad (2.27)$$

Сравнивая полученные значения Y_1 и Y_2 при поднятии навески с ранее полученными выражениями (2.6) и (2.7) можно сказать, что реакция поверхности Y_1 уменьшается (разгружается), а реакция поверхности Y_2 увеличивается (загружается). Таким образом, при поднятии навески за счет использования регулятора сцепного веса бороновального агрегата происходит перераспределение сцепного веса МТА:

1) уменьшение веса, приходящегося на передние управляемые колеса энергетического средства;

2) увеличение сцепного веса, приходящегося на задние ведущие колеса энергетического средства.

Кроме этого, происходит перераспределение веса и в самой дисковой бороне между секциями:

1) реакция, приходящаяся на переднюю секцию бороны:

$$Y_3 = \frac{G_\delta}{P} + \frac{G_n(B-d)(n+P)}{B \cdot P} - \left(\frac{F \cos \beta \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \cdot \frac{h_B(n+P)}{B \cos \gamma P} + \frac{F \cos \beta h_0}{P(\sin \beta + \cos \beta \tan d)} - \frac{F \sin \beta (n+P)}{(\sin \beta + \cos \beta \tan d)P} + \frac{F \cos \beta}{\sin(d+\beta)P} \cdot \frac{h \cos d}{P} = \frac{G_\delta f}{P} + \frac{G_n(B-d)(n+P)}{B \cdot P} - \frac{F}{P} \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \quad (2.28)$$

2) силовая реакция, приходящаяся на заднюю секцию бороны:

$$Y_4 = \frac{G_\delta(P-f)}{P} + \frac{G_n(B-d)}{B} \cdot \frac{n}{P} + \left(\frac{F \cos \beta \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \tan d} \right) \cdot \frac{h_n}{B \cos \gamma P} - \frac{F \cos \beta h_0}{(\sin \beta + \cos \beta \tan d)P} + \frac{F \sin \beta n}{(\sin \beta + \cos \beta \tan d)P} \quad (2.29)$$

Сравнивая с ранее полученными выражениями, делаем вывод, что Y_3 загружается, а Y_4 – разгружается.

2.4 Определение сил, возникающих в МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при опускании навески трактора

При опускании навески происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи в буксирном устройстве. Рассмотрим усилия, возникающие в тросе и представленные на рисунке 2.6.

Рассмотрим опускание навески на величину (h_B) равной поднятию навески. Соответственно угол (d) (между нейтральным положением навески и при работе регулятора сцепного веса) будет одинаков как при поднятии, так и

при опускании навески, а угол между горизонтальной осью и отрезком CB обозначим через Θ .

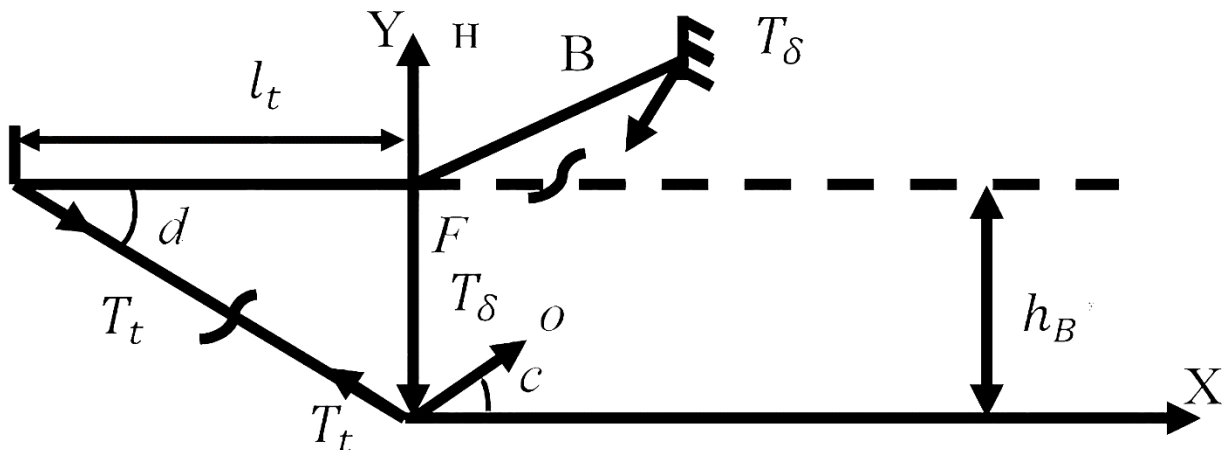


Рисунок 2.6 – Схема к определению усилий, возникающих в тросе при опускании навески трактора

Рассмотрим систему равновесия согласно схемы на рисунке 2.6:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{kx} &= 0; -T_t \cos d + T_\delta \cos \theta = 0, \\ \sum F_{ky} &= 0; -F + T_t \sin d + T_\delta \sin \theta = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Решим систему уравнений (2.30) относительно неизвестных:

$$T_t = \frac{T_\delta \cos \theta}{\cos d}; -F + \frac{T_\delta \cos \theta \sin d}{\cos d} + T_\delta \sin \theta = 0$$

С учетом величины F_δ :

$$F_\delta = \frac{F}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \quad (2.31)$$

Получим выражение (2.32):

$$T_t = \frac{F \cos \theta}{\sin \theta \cos d + \cos \theta \sin d} \quad (2.32)$$

Принимая во внимание, что $\sin(d + \beta) = \sin d \cos \beta$, получим величину усилия, возникающего в тросе, прикрепленном к корпусу трактора:

$$T_t = \frac{F \cos \theta}{\sin(d + \theta)} \quad (2.33)$$

Определим величину вертикальных составляющих реакций поверхности при работе регулятора сцепного веса бороновального агрегата при опускании навески (рис. 2.7, 2.8).

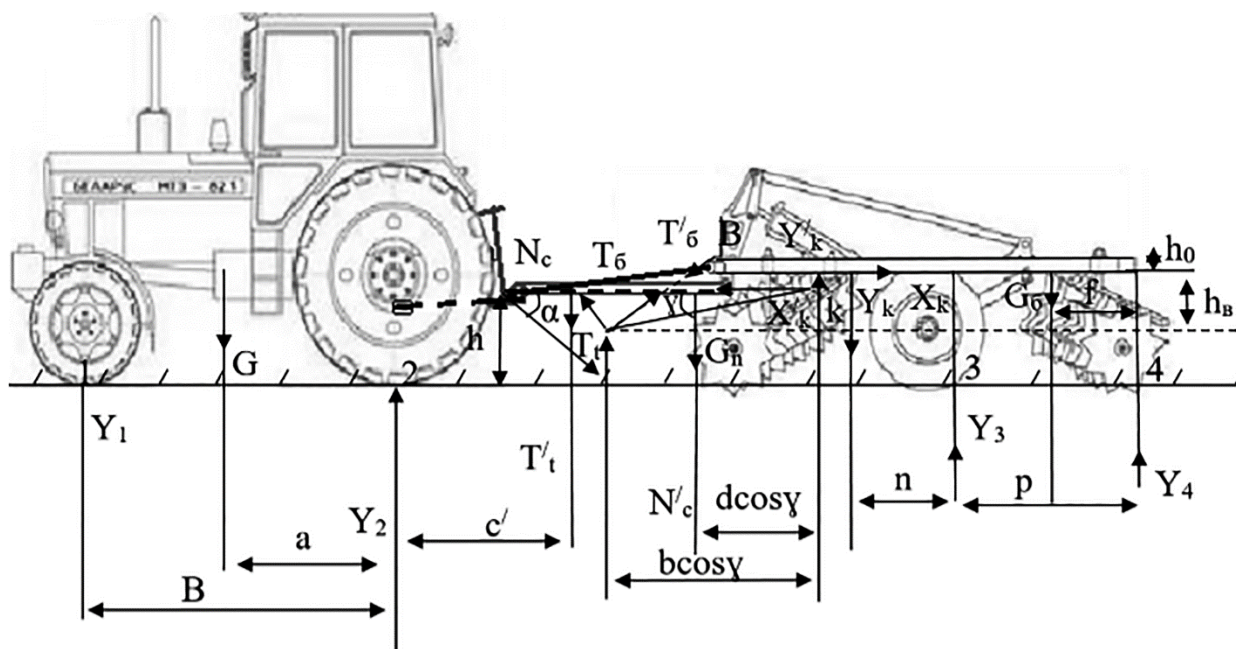


Рисунок 2.7 – Силы, действующие на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, в режиме опускания навески трактора

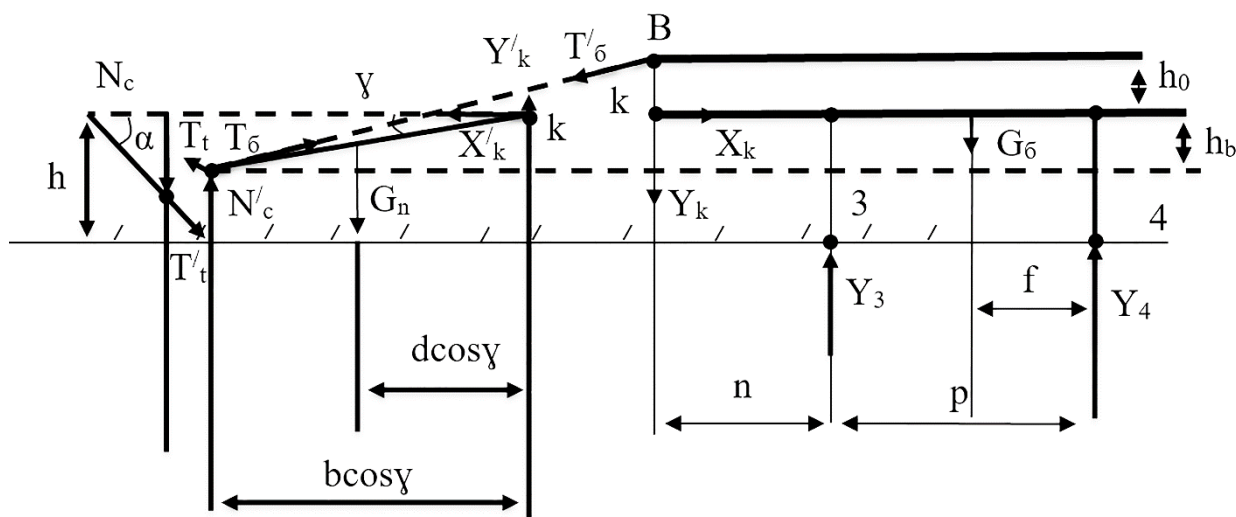


Рисунок 2.8 – Схема к определению вертикальных силовых составляющих реакций поверхности почвы, действующих на МТА с регулятором сцепного веса бороновального агрегата, при опускании навески

Составим уравнения равновесия:

1) для трактора:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; Y_1 - G + Y_2 - N_c - T'_t \sin d = 0; \\ \sum M_1(F_k) &= 0; -G(B - a) + Y_2 B - N_c(B + C') - \\ &\quad - T'_t \cos d (h - h_B) = 0; \\ \sum M_2(F_k) &= 0; -Y_1 B + Ga - N_c C' - \\ &\quad - T'_t \sin d \cdot C' - T'_t \cos d (h - h_B) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

2) для прицепного устройства:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; N'_c + T \sin d + T_\delta \sin \theta - G_n + Y'_k = 0; \\ \sum M_c(F_k) &= 0; -G_n \cos \gamma (B - d) + Y'_k B \cos \gamma + X'_k h_B = 0; \\ \sum M_k(F_k) &= 0; -N'_c B \cos \gamma + G_n d \cos \gamma - T_t \cos d h_B - \\ &\quad - T_t \sin d B \cos \gamma - T_\delta \sin \theta \cdot B \cos \gamma + T_\delta \cos \theta h_B = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

3) для бороны:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_{ky} &= 0; -T'_\delta \sin \theta - Y_k - G_\delta + Y_3 + Y_4 = 0; \\ \sum M_3(F_k) &= 0; Y_4 P - G_\delta (P - f) + Y_k n - X_k h + \\ &\quad + T'_\delta \cos \theta (h + h_0) + T'_\delta \sin \theta \cdot n = 0; \\ \sum M_4(F_k) &= 0; -Y_3 P + G_\delta f + Y_k (n + p) - X_k h + \\ &\quad + T'_\delta \cos \theta (h + h_0) + T'_\delta \sin \theta (n + p) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.36)$$

Решим системы уравнений относительно неизвестных реакций:

$$\begin{aligned} N'_c &= \frac{G_n d \cos \gamma}{B \cos \gamma} - \frac{T_t \cos d h_B}{b \cos \gamma} - \frac{T_t \sin d \cdot B \cos \gamma}{B \cos \gamma} - \\ &\quad - \frac{T_\delta \sin \theta \cdot B \cos \gamma + T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma}; \\ N'_c &= G_n \frac{d}{B} - T_t \sin d - T_\delta \sin \theta - \frac{T_t \cos d h_B}{B \cos \gamma} + \frac{T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma}, \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned}
 Y'_k &= G_n - N'_c - T \sin d - T_\delta \sin \theta = G_n - G_n \frac{d}{B} + T_t \sin d + \\
 &+ T_\delta \sin \theta + T_t \frac{\cos d h_B}{B \cos \gamma} - \frac{T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma} - T \sin d - T_\delta \sin \theta, \\
 Y'_k &= \frac{G_n(B-d)}{B} + \frac{T_t \cos d h_B}{B \cos \gamma} - \frac{T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma} = \\
 &= \frac{G_n(B-d)}{B} + \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \theta) h_B}{B \cos \gamma},
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \frac{Ga - N_c \cdot C \cdot C' - T \sin d \cdot C' - T_t \cos d (h - h_B)}{B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \\
 &+ \frac{T_t \sin d \cdot C'}{B} + \frac{T_\delta \sin d \cdot C'}{B} + \frac{T_t \cos d h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} - \frac{T_\delta \cos \theta h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} - \\
 &- \frac{T'_t \sin d \cdot C}{B} - \frac{T'_t d (h - h_B)}{B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \frac{T_\delta \sin \theta \cdot C'}{B} - \frac{T_\delta \cos \theta h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} + \\
 &+ \frac{T'_t \cos d h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} - \frac{T'_t \cos d (h - h_B)}{B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \frac{T_\delta \cos d (h - h_B)}{B} + \\
 &+ \frac{T'_t \cos d (h - h_B)}{B} + \frac{T'_t \cos d h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} - \frac{T_\delta \cos \theta h_B \cdot C'}{B \cos \gamma \cdot B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \\
 &+ \frac{T_\delta \sin \theta \cdot C'}{B} - \frac{T'_t (h - h_B) \cos d}{B} + \frac{(T'_t \cos d - T_\delta \cos \theta) h_B C'}{B \cos \gamma \cdot B},
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= \frac{G(B-a)}{B} + \frac{N_c(B+C')}{B} + \frac{T'_t \sin d (B+C')}{B} - \frac{T'_t \cos d (h-h_B)}{B} = \\
 &= \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + \frac{T \sin d (B+C')}{B} - \frac{T_\delta \sin \theta (B+C')}{B} - \\
 &- \frac{T_t \cos d h_B}{B \cos \gamma \cdot B} (B+C') + \frac{T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma \cdot B} (B+C') + \frac{T'_t \sin d (B+C')}{B} - \\
 &- \frac{T'_t \cos d (h-h_B)}{B} = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B-C') - \frac{T_\delta \cos \theta (B-C')}{B} - \\
 &- \frac{T'_t \cos d (h-h_B)}{B} + \frac{(T_\delta \cos \theta - T'_t \cos d) h_B (B+C')}{B \cos \gamma \cdot B},
 \end{aligned} \tag{2.40}$$

$$\begin{aligned}
 Y'_k &= \frac{G_n \cos \gamma (B-d)}{h_B} - \frac{Y'_k B \cos \gamma}{h_B} = \frac{G_n \cos \gamma (B-d)}{h_B} - \frac{G_n (B-d) B \cos \gamma}{B h_B} = \\
 &= - \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \theta) h_B}{B \cos \gamma} \cdot \frac{B \cos \gamma}{h_B}, \\
 X'_k &= T_\delta \cos \theta - T_t \cos d,
 \end{aligned} \tag{2.41}$$

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= \frac{G_\delta f}{P} + Y_k \frac{n+P}{P} - X_k \frac{h}{P} + T'_\delta \cos \theta \frac{h+h_0}{P} + T'_\delta \sin \theta \cdot \frac{n+P}{P} = \frac{G_\delta f}{P} + \\
 &+ \frac{G_n (B-d)}{B} \cdot \frac{n+P}{P} + \frac{(T_t \cos d - T_\delta \cos \theta) h_B}{B \cos \gamma} - \frac{n+P}{P} - \\
 &- (T_\delta \cos \theta - T_t \cos d) \cdot \frac{h}{P} + T'_\delta \cos \theta \frac{h+h_0}{P} + T'_\delta \sin \theta \cdot \frac{n+P}{P},
 \end{aligned} \tag{2.42}$$

2 Теоретические предпосылки исследований повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

$$Y_4 = \frac{G_\delta(P-f)}{P} - \frac{Y_k n}{p} + \frac{X_k h}{P} - \frac{T_\delta \cos \theta (h+h_0)}{P} - \frac{T'_\delta \sin \theta n}{P} = \frac{G_\delta(P-f)}{P} - \frac{G_n(b-d)}{B} \cdot \frac{n}{P} - \frac{T_t \cos d h_B}{B \cos \gamma} \cdot \frac{n}{P} + \frac{T_\delta \cos \theta h_B}{B \cos \gamma} \cdot \frac{n}{P} + \frac{T_\delta \cos \theta h}{P} - \frac{T_t \cos d h}{P} - \frac{T'_\delta \cos \theta (h+h_0)}{P} - \frac{T'_\delta \sin \theta n}{P} \quad (2.43)$$

В полученные уравнения подставляем выражения (2.31) и (2.33). Получаем нагрузку, приходящуюся на колеса энергетического средства:

1) для передних колес:

$$Y_1 = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \frac{F \sin \theta \cdot C'}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d)B} - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} - \frac{F \cos \theta h_B C'}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d)B \cos \gamma \cdot B} + \frac{F \cos \theta}{\sin(d+\theta)} \cdot \frac{\cos d h_B C'}{B \cos \gamma \cdot B} = \frac{Ga}{B} - \frac{G_n d}{BB} C' + \frac{F \sin \theta C'}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d)B} - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} + F \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} - \frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \right) \cdot \frac{\cos \theta h_B C'}{B \cos \gamma \cdot B} \quad (2.44)$$

2) для задних ведущих колес:

$$Y_2 = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d(B+C')}{BB} - \frac{F \sin \theta (B+C')}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d)B} - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} + \left(\frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} - \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \cdot \frac{h_B (B+C')}{B \cos \gamma \cdot B} = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') - \frac{F \sin \theta (B+C')}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} - \frac{F \cos \theta \cos d (h-h_B)}{\sin(d+\theta) \cdot B} + F \left(\frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} - \frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \cdot \frac{h_B (B+C')}{B \cos \gamma \cdot B} \quad (2.45)$$

Сравнивая выражения (2.44) и (2.45) с ранее полученными выражениями (2.6) и (2.7) можно отметить, что Y_1 загружается, а Y_2 разгружается, то есть происходит увеличение поперечной устойчивости трактора.

Аналогично получили величину вертикальных реакций, приходящуюся на секции дисковой бороны:

1) на переднюю секцию дисковой бороны:

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= \frac{G_\delta f}{P} + \frac{G_n(B-d)(n+P)}{BP} - \left(\frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} - \frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \right) \cdot \\
 &\cdot \frac{h_B(n+P)}{B \cos \gamma \cdot P} - \left(\frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} - \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \frac{h}{P} + \frac{F \cos \theta}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \cdot \\
 &\cdot \left(\frac{h+h_0}{P} \right) + \frac{F \sin \theta}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \left(\frac{n+P}{P} \right), \\
 Y_3 &= \frac{G_\delta f}{P} + \frac{G_n(B-d)(n+P)}{BP} + F \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} - \frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} \right) \cdot \\
 &\cdot \frac{\cos \theta h_B(n+P)}{B \cos \gamma \cdot P} + \frac{F \cos \theta \cos d}{\sin(d+\theta)} \cdot \frac{h}{P} + \frac{F \left(\cos \theta \frac{h_0}{P} + \sin \theta \frac{n+P}{P} \right)}{\sin \theta + \cos \theta \tan d}
 \end{aligned} \tag{2.46}$$

2) на заднюю секцию дисковой бороны:

$$\begin{aligned}
 Y_4 &= \frac{G_\delta(P-f)}{P} - \frac{G_n(b-d)n}{b \cdot p} - \frac{F \cos \theta \cos d h_B n}{\sin(d+\theta) B \cos \gamma \cdot P} + \\
 &+ \frac{F \cos \theta h_B n}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d) B \cos \gamma \cdot P} - \frac{F \cos \theta \cos d h}{\sin(d+\theta) \cdot P} - \\
 &- \frac{F \cos \theta h_0}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d) P} - \frac{F \sin \theta n}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d) P}, \\
 Y_4 &= \frac{G_\delta(P-f)}{P} - \frac{G_n(B-d)n}{B-P} + F \left(\frac{1}{\sin \theta + \cos \theta \tan d} - \frac{\cos d}{\sin(d+\theta)} \right) \cdot \\
 &\cdot \frac{\cos \theta h_B n}{B \cos \gamma \cdot P} - \frac{F \cos \theta \cos d h}{\sin(d+\theta) \cdot P} - F \frac{\cos \theta h_0 + \sin \theta n}{(\sin \theta + \cos \theta \tan d) P}
 \end{aligned} \tag{2.47}$$

Сравнивая с ранее полученными выражениями, делаем вывод, что в процессе работы устройства опора Y_3 загружается, а Y_4 разгружается.

2.5 Влияние использования регулятора сцепного веса бороновального агрегата на эффективность МТА на бороновании

Эффективность использования бороновального машинно-тракторного агрегата определяется его производительностью (2.48) [74]:

$$W = 0,36 B_p V_p \tau \tag{2.48}$$

где B_p – ширина захвата агрегата, м;

V_p – рабочая скорость движения, м/с;

τ – коэффициент использования времени смены.

Анализ формулы (2.48) позволяет сделать вывод, что *величина производительности зависит от показателей:*

- 1) *ширины захвата;*
- 2) *скорости движения;*
- 3) *коэффициента использования времени смены.*

Если говорить конкретно об определенном агрегате, то в этом случае основная роль будет отводиться двум показателям – скорости движения и коэффициенту использования времени смены. При этом необходимо отметить, что на коэффициент использования времени смены большое влияние оказывают организационные показатели производства. Поэтому в данном случае одним из способов повышения эффективности использования бороновального агрегата на обработке почвы является увеличение скорости движения.

Скорость движения во многом зависит от величины буксования, определяемой по формуле (2.49):

$$V_p = V_T(1 - \delta) \quad (2.49)$$

где V_T – теоретически возможная скорость движения, м/с;
 δ – величина буксования энергетического средства.

Тогда выражение (2.48) можно представить следующим образом:

$$W = 0,36B_p V_T(1 - \delta)\tau \quad (2.50)$$

Следовательно, снижение величины буксования повышает скорость движения и соответственно величину производительности.

В условиях Амурской области для повышения тягово-сцепных свойств необходимо оптимизировать сцепной вес в зависимости от несущей способности и состояния почвы. В работах [73,74] связь между производительностью и сцепным весом предлагается определять по формуле (2.51):

$$W = 0,36B_p V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{P_{кр}}{G_{з.в}}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_{кр}}{G_{з.в}} \right)^3} \right) \tau \quad (2.51)$$

где $P_{кр}$ – тяговое усилие трактора, кН;

$G_{з.в}$ – вес, приходящийся на задние ведущие колеса трактора, кН.

Использование предложенного устройства позволяет в зависимости от состояния почвы изменять как сцепной вес трактора, так и вес, приходящийся на борону.

Рассмотрим случай, как изменится производительность МТА, когда происходит увеличение веса, приходящегося на ведущие колеса, за счет его перераспределения между бороной и трактором.

Серийный вариант. Используем формулу (2.51).

Обозначим выражение, определяемое формулой (2.27), как Q . Следовательно, производительность экспериментального машинной-тракторного агрегата с установленным устройством составит:

$$W^э = 0,36B_p V_T \left(1 - \frac{0,248 \frac{P_{кр}}{G_{з.в} + Q}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_{кр}}{G_{з.в} + Q} \right)^3} \right) \tau \quad (2.52)$$

Таким образом, анализ формул (2.51) и (2.52) показал, что за счет перераспределения сцепного веса внутри МТА возможно снизить величину буксования и повысить производительность.

Выводы по разделу

В результате проведения патентного поиска в источниках технической информации предложена конструкция устройства – регулятора сцепного веса бороновального агрегата, обладающего технической и научной новизной,

2 Теоретические предпосылки исследований повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

изобретательским уровнем и промышленной применимостью. Интеллектуальные права на устройство защищены патентом Российской Федерации на промышленную собственность № 196181.

Теоретические исследования, примененная методика расчета и конструирования позволяют предложить математический аппарат, обосновывающий процессы взаимодействия элементов машинно-тракторного агрегата, возникающие при работе предложенного регулятора сцепного веса бороновального агрегата; их влияние на технологические параметры машинно-тракторного агрегата и эффективность использования.

Полученные результаты требуют производственной проверки, в связи с чем необходимо проведение экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации бороновального агрегата.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРОНОВАЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ

3.1 Программа проведения производственных испытаний

С целью подтверждения полученных во втором разделе работы теоретических и аналитических зависимостей необходимо провести проверку полученных данных в реальных условиях эксплуатации МТА. Кроме того, ряд необходимых параметров, влияющих на конструктивно-технологические показатели, можно определить только экспериментально. В этой связи были сформулированы **задачи экспериментальных исследований:**

- 1. Экспериментально проверить влияние регулятора сцепного веса бороновального агрегата на изменение вертикальной нагрузки, приходящейся на рабочий орган бороны (диск).*
- 2. Проверить влияние регулятора сцепного веса бороновального агрегата на величину тягового сопротивления и скоростные характеристики МТА.*
- 3. Провести математическую обработку результатов экспериментальных исследований с использованием методики полного факторного эксперимента.*
- 4. Определить влияние регулятора сцепного веса бороновального агрегата на качество процесса боронования и глубину обработки.*
- 5. Провести сравнительные хозяйственные испытания экспериментального машинно-тракторного агрегата.*
- 6. Провести топливно-энергетическую оценку использования мобильного энергетического средства с устройством для перераспределения сцепного веса бороновального агрегата.*

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

Основной целью проводимых исследований является *нахождение способов повышения эффективности использования имеющихся бороновальных агрегатов на базе колесного трактора класса 1,4–2.*

Рассматриваемый вопрос актуален для небольших крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйств, где количество бороновальных агрегатов ограничено небольшим количеством посевных площадей и объемом производства, поэтому вопрос повышения эффективности их использования особенно важен для устойчивого развития.

3.2 Объекты экспериментальных исследований и их характеристика

Объектами исследования выбраны:

1. *Борона БДТ-3 серийная (рис. 3.1).*
2. *Борона БДТ-3 экспериментальная (рис. 3.2).*



Рисунок 3.1 – Серийная борона БДТ-3



сверху – вид экспериментальной бороны БДТ-3
снизу – МТА с экспериментальной бороной
Рисунок 3.2 – Объекты эксперимента

Исследован процесс подготовки почвы под посев дисковыми боронами. Исследования проводились в реальных условиях эксплуатации. В качестве объектов были взяты машинно-тракторные агрегаты, состоящие из трактора класса 1,4 и дисковой бороны БДТ-3 (рис. 3.3), которые используются в усло-

виях Амурской области на почвах с низкой несущей способностью и при наличии твердого подстилающего слоя в виде мерзлоты.



Рисунок 3.3 – Трактор класса 1,4 с бороной БДТ-3

При выполнении сельскохозяйственной операции бороновании для сравнения использовалась борона с устройством для корректировки сцепного веса в системе МТА – регулятор сцепного веса бороновального агрегата, конструкция которого выполнена по патенту РФ на полезную модель № 196181 [90], предназначенную, для повышения вертикальной нагрузки, приходящейся на рабочий орган бороны.

Принципиальная схема устройства с установленным регулятором сцепного веса бороновального агрегата представлена в первом разделе монографии и показана на рисунке 1.26.

Регулятор сцепного веса бороновального агрегата выполнен в виде устройства, включающего гибкую тросовую силовую связь 1 (рис. 3.4) с петлевыми окончаниями; срединной частью, закрепленную в опорном кронштейне 2 на нижней тыльной части корпуса 3 (рис. 3.5) трактора 4, проходящую через буксирное устройство 5 (рис. 3.6), установленное на поперечной нижней тяге 6 навески 7, и смонтированную окончаниями в установочных кронштейнах 8 на фронтальной части 9 рамы 10 бороны 11 (рис. 3.7).



Рисунок 3.4 – Гибкая тросовая связь



Рисунок 3.5 – Кронштейн на нижней тыльной части корпуса КПП

Устройство работает следующим образом. При движении МТА и необходимости увеличения тягово-сцепных свойств трактора в движении или уменьшения заглубления дисковых рабочих органов с целью снижения тягового сопротивления, оператор трактора приподнимает заднюю навеску 7 трактора 4. При этом происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи 1 в буксирном устройстве 5 и перераспределение сцепного веса с рамы 10 бороны

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

11 на задний ведущий мост и ходовую систему трактора 4, что позволяет увеличить его тягово-сцепные свойства, снизить буксование движителей, повысить агротехнические скорости движения МТА.

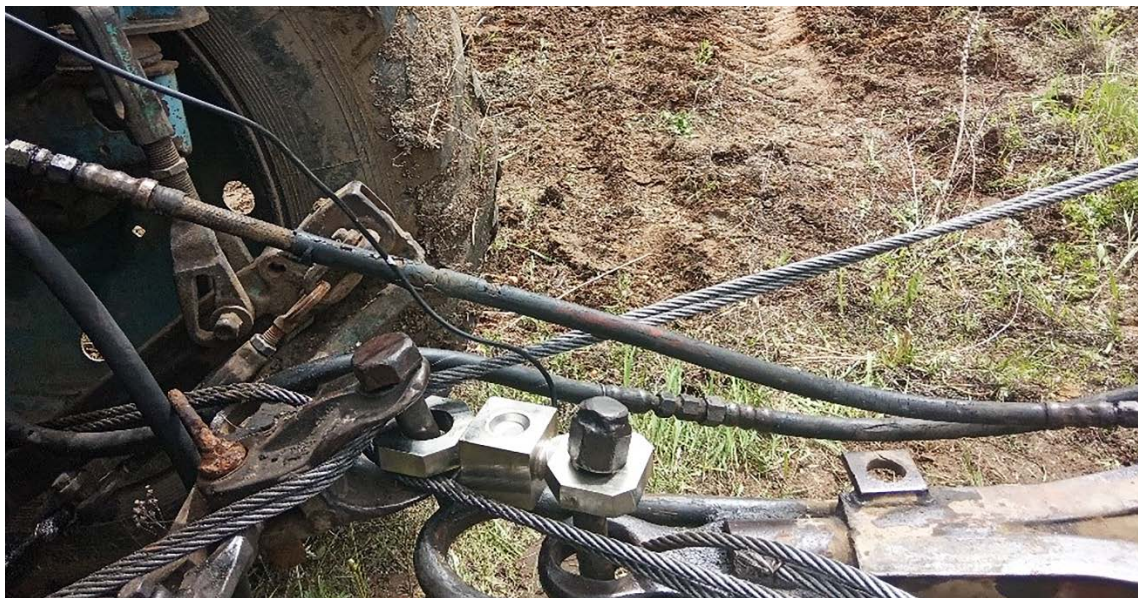


Рисунок 3.6 – Буксирное устройство



Рисунок 3.7 – Установочные кронштейны на фронтальной части рамы

При необходимости дополнительного заглубления дискаторных рабочих органов, оператор трактора опускает заднюю навеску 7 трактора 4. При этом также происходит натяжение гибкой тросовой силовой связи 1 в буксирном

устройстве 5, что позволяет произвести вывешивание задней части трактора 4 на гибкой тросовой силовой связи 1 и перераспределение сцепного веса с его заднего ведущего моста и ходовой системы на раму 10 бороны 11, что дает возможность регулировать глубину заглубления дисковых рабочих органов бороны в движении, увеличивая крошимость, переворачиваемость почвенного пласта и качество почвенной обработки при более высокой вертикальной нагрузке на рабочие органы бороны.

При отсутствии необходимости передвижения с подключенным регулятором сцепного веса бороновального агрегата, оператор трактора транспортное положение задней навески 7 не регулирует.

Экспериментальные исследования проведены в крестьянском (фермерском) хозяйстве Осипов А. В. Благовещенского района Амурской области. При проведении испытаний выбирались участки с ровным микрорельефом и углом наклона не более двух градусов.

3.3 Измерение технологических параметров бороновального агрегата

Для определения влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на изменение тягового сопротивления бороны в реальных условиях эксплуатации нами проведены тяговые испытания, где в качестве сравнения использовалась серийная борона. При этом замерялись следующие параметры: *частота вращения ведущих колес трактора, тяговое усилие, время опыта, пройденный путь*. Измерение данных параметров проводилось с применением тензометрической аппаратуры по методике, изложенной в работах [73, 74].

Измерение дополнительной вертикальной нагрузки на рабочие органы бороны. Для измерения дополнительной нагрузки на ведущие колеса мобильного энергетического средства использовались весы платформенные электронные для взвешивания автомобильного транспорта МВСК-10-3-А

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

(рис. 3.8). Предел взвешивания составляет 10 тонн. Основные характеристики весов приведены в таблице 3.1.



Рисунок 3.8 – Фрагмент измерения веса, приходящегося на рабочий орган бороны

Таблица 3.1 – Основные характеристики весов МВСК-10-3-А

Показатели	Значения					
Наибольший предел взвешивания, т	3	5	10	15	20	30
Наименьший предел взвешивания, т	–	0,04	0,1	0,1	0,2	0,2
Класс точности	средний III					
Дискретность отсчета (d) и цена поверочного деления (e), кг	–	2	5	5	10	10
Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке весов, кг:						
от наименьшего предела до 500 (e) включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 500 (e) до 2 000 (e) включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 2 000 (e)	–	±4	–	±10	–	±20
Пределы допускаемой погрешности при периодической поверке весов, кг:						
от наименьшего предела до 500 (e) включительно	–	±2	±5	±5	±10	±10
свыше 500 (e) до 2 000 (e) включительно	–	±4	±10	±10	±20	±20
свыше 2 000 (e)	–	±6	–	±15	–	±30
Время установления показаний весов не более, секунд	5					
Потребляемая мощность не более, ватт-ампер	20					
Питание весов от сети переменного тока:						
напряжение, вольт	220 (+22; –33)					
частота, герц	50 (±1)					
Габаритные размеры, мм	550×750					
Вероятность безотказной работы за 2 000 часов	0,95					
Средний срок службы, лет	не менее 12					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весов, °С	от минус 30 до 50					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весового терминала, °С	от 5 до 40					
Относительная влажность окружающего воздуха при температуре 35 °С, %	до 80					

Измерение тягового усилия мобильного энергетического средства.

Для измерения тягового усилия, развиваемого трактором на крюке, использовалось тензометрическое звено. Методика определения тягового усилия подробно описана в работах [73, 75]. Полученные значения тягового усилия записывались бортовым измерительным комплексом.

Измерение угла наклона. Для измерения продольно-поперечного угла наклона использовался инклинометр Absolute Digital Protractor.

Измерение частоты вращения ведущих колес мобильного энергетического средства. Измерение частоты вращения ведущего колеса мобильного энергетического средства проводилось по методикам, подробно изложенным в работах [36–43]. Фрагмент измерения частоты вращения ведущих колес представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Измерение частоты вращения ведущих колес

Теоретическая скорость при этом рассчитывалась по формуле (3.1):

$$V_T = \frac{2\pi \cdot r_k \cdot n_k}{t} \quad (3.1)$$

где r_k – динамический радиус качения ведущего колеса, м;
 n_k – частота вращения ведущего колеса, об./мин.;
 t – время опыта, с.

Динамический радиуса качения ведущего колеса определялся следующим образом. Мобильное энергетическое средство передвигалось по горизонтальному участку поля в установившемся режиме холостого хода. При этом принимались допущения:

- 1) буксование ведущих колес отсутствует (отсутствие тяговой нагрузки);
- 2) радиус качения ведущих колес при различных крюковых нагрузках принимался постоянным.

Для расчета динамического радиуса качения ведущих колес использовалась формула (3.2) [36–43]:

$$r_k = \frac{L}{2\pi \cdot n_{xx}} \quad (3.2)$$

где L – пройденный путь за опыт, м;

n_{xx} – количество оборотов ведущих колес трактора при холостом ходе на длине мерного гона.

Измерение пройденного пути и буксования мобильного энергетического средства. Пройденный путь определялся с помощью датчика, установленного на ведомое колесо трактора (рис. 3.9). При этом за каждый оборот колеса мобильного энергетического средства датчик восемь раз размыкал электрическую цепь, что фиксировалось бортовым измерительным комплексом.

Пройденный за опыт путь определялся по формуле (3.3):

$$L = 2\pi \cdot r'_k \cdot n = 2\pi \cdot r'_k \cdot \frac{N}{8} \quad (3.3)$$

где n – число оборотов путеизмерительного колеса;

r'_k – радиус качения путеизмерительного колеса, м;
 N – количество импульсов по счетчику.



Рисунок 3.9 – Фрагмент измерения пройденного пути

Рабочая скорость агрегата определялась по формуле (3.4):

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (3.4)$$

Буксование ведущих колес мобильного энергетического средства устанавливалось расчетом по формуле (3.5):

$$\sigma = \frac{V_T - V_P}{V_T} \quad (3.5)$$

3.4 Определение качественных показателей процесса боронования

Определение показателей условий проведения испытаний осуществлялось согласно требованиям, установленным ГОСТ 20915–2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» и

ГОСТ 33687–2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почв. Методы испытаний».

Определение качества боронования осуществлялась по следующим основным показателям:

- 1) глубина рыхления;*
- 2) выравненность поверхности поля;*
- 3) комковатость почв.*

Кроме того, при проведении оценке качества боронования учитывались огрехи и пропуски, наволоки от прохода борон, качество обработки поворотных полос.

Глубину обработки определяли с помощью металлической линейки, погружая ее в почву до необработанного слоя, с повторностью 25 измерений (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Измерение глубины обработки экспериментальным МТА

Выравненность поверхности поля после прохода бороны определялась по определению высоты гребней и глубине борозды по следующей градации: не более 3 см – 3 балла; не более 4 см – 2 балла; более 4 см – один балл.

Комковатость определялась на наличие глыб диаметром 4 см (числом таких глыб на одном квадратном метре). Повторность – 25 измерений. Определение выполнялось по диагонали участка с помощью метровой рамки и подсчетом количества глыб указанного диаметра (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Определение комковатости почвы после прохода экспериментального МТА

Установление уровня комковатости почвы производилось по наличию глыб соответствующего диаметра по следующей градации:

не более 3–4 шт./м² – 3 балла;

не более 5 шт./м² – 2 балла;

более 5 шт./м² – один балл.

3.5 Методика проведения сравнительных хозяйственных испытаний

Показателем эффективности применения новой техники является повышение производительности труда. Для определения эффективности использования трактора с перераспределяющим устройством проведены сравнительные

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

хозяйственные испытания в естественных условиях эксплуатации Амурской области. Испытания проводились методом хронометражных наблюдений.

Основными эксплуатационно-технологическими показателями явились:

- 1) производительность за один час эксплуатационного, а также сменного времени;
- 2) качество выполнения рабочей операции;
- 3) удельный расход топлива;
- 4) количество обслуживающего персонала.

Производительность за один час эксплуатационного, сменного времени определяют соответственно по формулам (3.6) и (3.7) [75, 132]:

$$W_{\text{ЭК}} = W_0 \cdot K_{\text{ЭК}}, \quad (3.6)$$

$$W_{\text{СМ}} = W_0 \cdot K_{\text{СМ}} \quad (3.7)$$

где $W_{\text{ЭК}}$, $W_{\text{СМ}}$, W_0 – производительность за один час соответственно эксплуатационного, сменного и основного времени, га;

$K_{\text{ЭК}}$, $K_{\text{СМ}}$ – коэффициенты использования эксплуатационного и сменного времени.

Производительность за один час основного времени определяют по формуле (3.8) [75, 132]:

$$W_0 = \frac{F_m}{T_0} \quad (3.8)$$

где F_m – наработка агрегата, га.

Производительность за один час технологического времени ($W_{\text{тех}}$) устанавливается по формуле (3.9) [75, 132]:

$$W_{\text{тех}} = W_0 \cdot K_{\text{тех}} \quad (3.9)$$

где $K_{\text{тех}}$ – коэффициент использования технологического времени.

Фрагменты проведения хронометражных наблюдений приведены на рисунках 3.12, 3.13.



Рисунок 3.12 – Трактор МТЗ-80 с экспериментальной бороной в транспортном положении



Рисунок 3.13 – Фрагмент проведения экспериментальных исследований

3.6 Методика математической обработки экспериментальных данных

Оценка точности измерений. Во время проведения экспериментальных исследований в полевых условиях неизбежно встречаются ряд ошибок, которые в общем случае складываются из трех основных:

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

- 1) случайные;
- 2) систематические;
- 3) грубые.

При обработке полученных в результате проведения эксперимента данных и обосновании выводов необходимо брать во внимание лишь те результаты опытов, в которых не содержатся грубые и систематические односторонние ошибки.

При планировании экспериментальных исследований и дальнейшей обработке полученных результатов исследований нами учитывалась относительная суммарная погрешность. Например, при определении пройденного пути суммарная погрешность будет включать составляющие [4, 44, 49, 51, 79]:

$$\Pi = \Pi_{\text{т}} + \Pi_{\text{н}} + \Pi_{\text{б}} + \Pi_{\text{об}} \quad (3.10)$$

где $\Pi_{\text{т}}$ – относительная погрешность, допущенная при тарировки датчика оборотов колеса;

$\Pi_{\text{н}}$ – относительная погрешность из-за относительной неровности поверхности поля;

$\Pi_{\text{к}}$ – относительная погрешность регистрирующего прибора бортового измерительного комплекса;

$\Pi_{\text{об}}$ – относительная погрешность при обработке данных.

Аналогичным образом находили погрешность при определении других параметров, представленных в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Суммарные относительные ошибки прямых и косвенных измерений

Замеряемые величины	Относительная ошибка, %
Тяговое усилие	3,7–4,3
Буксование	4,3–4,5
Теоретическая скорость движения	4,2–4,4
Рабочая скорость движения	4,3–4,5
Время опыта	3,3–3,7
Нагрузка на рабочий орган (диск)	3,8–4,2
Угол подъема устройства	4,1–4,4

Статистическая обработка экспериментальных данных. Числовыми характеристиками случайных величин являются математическое ожидание и

дисперсия. Обычно оценками математического ожидания и дисперсии случайных величин являются выборочное среднее и выборочная дисперсия [4, 44, 49, 51, 79]. При определении точности и надежности оценки математического ожидания пользуются доверительным интервалом, соответствующим определенной надежности:

$$P \left(\bar{X} - t_s \frac{S}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + t_s \frac{S}{\sqrt{n}} \right) = 1 - \alpha \quad (3.11)$$

где P – надежность опыта (равна 95 %);

t_s – коэффициент Стьюдента;

m – математическое ожидание;

α – доверительная вероятность (равна 5 %).

Относительная погрешность результата измерений отдельного параметра определялась по формуле (3.12) [4, 44, 49, 51, 79]:

$$\varepsilon_x = \frac{t_s S}{\bar{x}} \quad (3.12)$$

где S – среднеквадратическое отклонение.

Доверительный интервал для оценки выборочной дисперсии нормального распределения при этом определялся по выражению (3.13):

$$\frac{S^2(n-1)}{X_1^2} < G_x^2 < \frac{S^2(n-1)}{X_2^2}, \quad (3.13)$$

$$P_1 = \frac{\alpha}{2}; P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (3.14)$$

где X_1^2, X_2^2 – табличные значения величин, соответствующих вероятностям;

P_1, P_2 – вероятности.

Однородность дисперсий можно проверить по критерию, который определяется по выражению [29, 30, 39, 41, 61]:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2} \quad (3.15)$$

где $S_{\max}$ – максимальная дисперсия из S_1^2, S_2^2, S_m^2 .

Полученный результат сравнивался с табличными данными.

Для оценки экспериментальных нелинейных зависимостей использовалась полиномиальная модель n -го порядка с одной независимой переменной [4, 41, 49, 51, 79]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_m x^m + \varepsilon \quad (3.16)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – неизвестные коэффициенты модели;
 ε – случайная ошибка.

Исходя из того, что значения равноотстоящие, получим выражение (3.17):

$$Y_0 = B_0 P_{n(x)}^{(0)} + B_1 P_{n(x)}^{(1)} + B_2 P_{n(x)}^{(2)} + \dots + B_m P_{n(x)}^{(m)} + \varepsilon \quad (3.17)$$

где $P_{n(xi)}^\alpha$ – ортогональные многочлены Чебышева, которые определялись по формулам [70].

Оценка коэффициентов, полученных по методу наименьших квадратов, имеет вид выражения (3.18) [70]:

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_{n(xi)}^{(j)}}{\sum_{i=1}^n [P_{n(xi)}^{(j)}]} \quad (3.18)$$

где Y_i – результат измерения.

Оценки дисперсий для коэффициентов вычисляются по формуле (3.19) [70]:

$$S_j^2 = \frac{G^2}{\sum_{i=1}^n [P_{n(xi)}^{(j)}]^2} \quad (3.19)$$

где G^2 – дисперсия, которая оценивается на основе данных таблицы дисперсионного анализа.

3.7 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса на конструктивно-технологические параметры бороновального агрегата

После теоретического изучения объекта исследования и его физической сущности возникает ряд представлений о действии различных факторов. Необходимо получить экспериментальные данные об их совокупном влиянии на какой-либо показатель (отклик), характеризующий объект исследования.

Применение современных статистических методов планирования многофакторных экспериментов позволяет выделить наиболее активные факторы и не исследовать факторы, оказывающие незначительное влияние на объект. Многофакторное планирование дает возможность активно участвовать в исследуемом процессе и в значительной мере упрощает задачу отыскания оптимальных условий его протекания. Вследствие специально разработанных планов эксперимента нахождение математической модели исследуемого процесса не требует сложных математических расчетов.

Для обработки результатов экспериментальных исследований использовалась методика полного факторного эксперимента.

В ходе исследований были проведены четыре независимых друг от друга полных факторных эксперимента и исследование функций методом наименьших квадратов. Это было сделано в целях определения степени влияния факторов на выбранную функцию.

Независимыми факторами выбраны глубина обработки почвы (h), скорость движения (V), угол подъема (a), ширина захвата дисковой бороны (b). Результирующими функциями выбраны по очереди все четыре независимых фактора, в зависимости от трех остальных.

Поскольку, согласно предварительным исследованиям, функции от-

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

клика должны быть нелинейными, то факторы имели три уровня варьирования (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	V , км/час	b , м	a , град.	h , см
Верхний уровень (+1)	10	3	30	20
Основной уровень (0)	7	2,5	17,5	16
Нижний уровень (–1)	4	2	5	12

3.7.1 Зависимость глубины обработки почвы от скорости движения, угла подъема и ширины захвата дисковой бороны

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров регулятора сцепного веса бороновального агрегата на глубину обработки определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

В качестве таких факторов определены следующие:

$X_1 (V)$ – скорость движения, км/час;

$X_2 (b)$ – ширина захвата, м;

$X_3 (a)$ – угол подъема, град.

Уровни и факторы их варьирования представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	V , км/час	b , м	a , град.
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	10	3	30
Основной уровень (0)	7	2,5	17,5
Нижний уровень (–1)	4	2	5

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 3.5).

Ортогональное планирование позволяет получить независимые оценки коэффициентов регрессии с минимальной дисперсией. Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором

звездного плеча α (для трех факторов $\alpha = 1,2154$) и специальным преобразованием квадратичных переменных (x_i^2) по выражению (3.20) [4, 44, 49, 51, 79]:

$$x'_i = x_i^2 - d \quad (3.20)$$

где d – поправка, зависящая от числа факторов (для трех факторов равна 0,7303).

Таблица 3.5 – Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	$x'_1 = x_1^2 - d$	$x'_2 = x_2^2 - d$	$x'_3 = x_3^2 - d$	$h, \text{ см } (Y_I)$
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	17,000
2	–	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	10,000
3	+	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	20,000
4	–	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	14,000
5	+	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	14,000
6	–	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	12,000
7	+	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	16,000
8	–	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	13,000
9	1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	19,000
10	–1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	11,000
11	0	1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	12,000
12	0	–1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	18,000
13	0	0	1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	17,000
14	0	0	–1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	12,000
15	0	0	0	–0,7303	–0,7303	–0,7303	15,000

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента. В нашем случае для трех степеней свободы и 85-процентном уровне значимости он равен 0,727.

Общий вид функции для матрицы ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка будет иметь вид выражения (3.21):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3.21)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_I) приведена в таблице 3.6.

Из таблицы видно, что значимыми коэффициентами являются $b_0, b_1, b_2,$

$b_3, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$.

Таблица 3.6 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_I)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	14,690	0,00867	80,02
b_1	2,531	0,01187	23,23
b_2	-1,579	0,01187	-14,49
b_3	1,102	0,01187	10,12
b_{12}	0	0,01625	0
b_{13}	1,000	0,01625	7,84
b_{23}	-0,500	0,01625	-3,92
b_{123}	0,250	0,01625	1,96
b_{11}	-0,130	0,02980	-0,76
b_{22}	-0,130	0,02980	-0,76
b_{33}	-0,469	0,02980	-2,72

Уравнение регрессии в кодированном виде будет выглядеть следующим образом:

$$Y_1 = 14,69 + 2,531x_1 - 1,58x_2 + 1,1x_3 + x_1x_3 - 0,5x_2x_3 - 0,25x_1x_2x_3 - 0,14x_1^2 - 0,13x_2^2 + 0,469x_3^2 \quad (3.22)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера. В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 2 = 1$ и 95-процентном уровне значимости он равен 19,4.

Дисперсия адекватности определялась по методике, предложенной в работах [4, 44, 49, 51, 79]. Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.7.

Расчетные значения критерия Фишера составили 16,57. Следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Таблица 3.7 – Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	17,000	16,974	0,000678943
2	10,000	11,293	1,671312496
3	20,000	19,772	0,051822874
4	14,000	14,711	0,505217725
5	14,000	15,087	1,181952395
6	12,000	10,026	3,898218190
7	16,000	18,505	6,275879314
8	13,000	13,444	0,196784144
9	19,000	17,975	1,050838746
10	11,000	11,823	0,677439773
11	12,000	12,822	0,675464473
12	18,000	16,976	1,048378218
13	17,000	15,669	1,771431388
14	12,000	14,129	4,532276284
15	15,000	14,899	0,160815823

Для удобства расчетов запишем уравнения регрессии в раскодированном виде:

$$h = 5,93 + 1,163V + 2,48b + 0,44a - 0,233Vb - 0,007Va - 0,173ba + 0,013Vba - 0,0145V^2 - 0,522b^2 - 0,003a^2 \quad (3.23)$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v.11.0) варьировались два фактора (рис. 3.14–3.16), соответствующие уравнениям регрессии (3.24), (3.25) и (3.26):

$$h = 13,36 + 0,85b + 0,39a - 0,08ba - 0,522b^2 - 0,003a^2, \quad (3.24)$$

$$h = 8,88 + 0,58V + 0,0066a + 0,027Va - 0,014V^2 - 0,003a^2, \quad (3.25)$$

$$h = 12,7 + 1,046V - 0,549b - 0,0145V^2 - 0,522b^2 \quad (3.26)$$

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

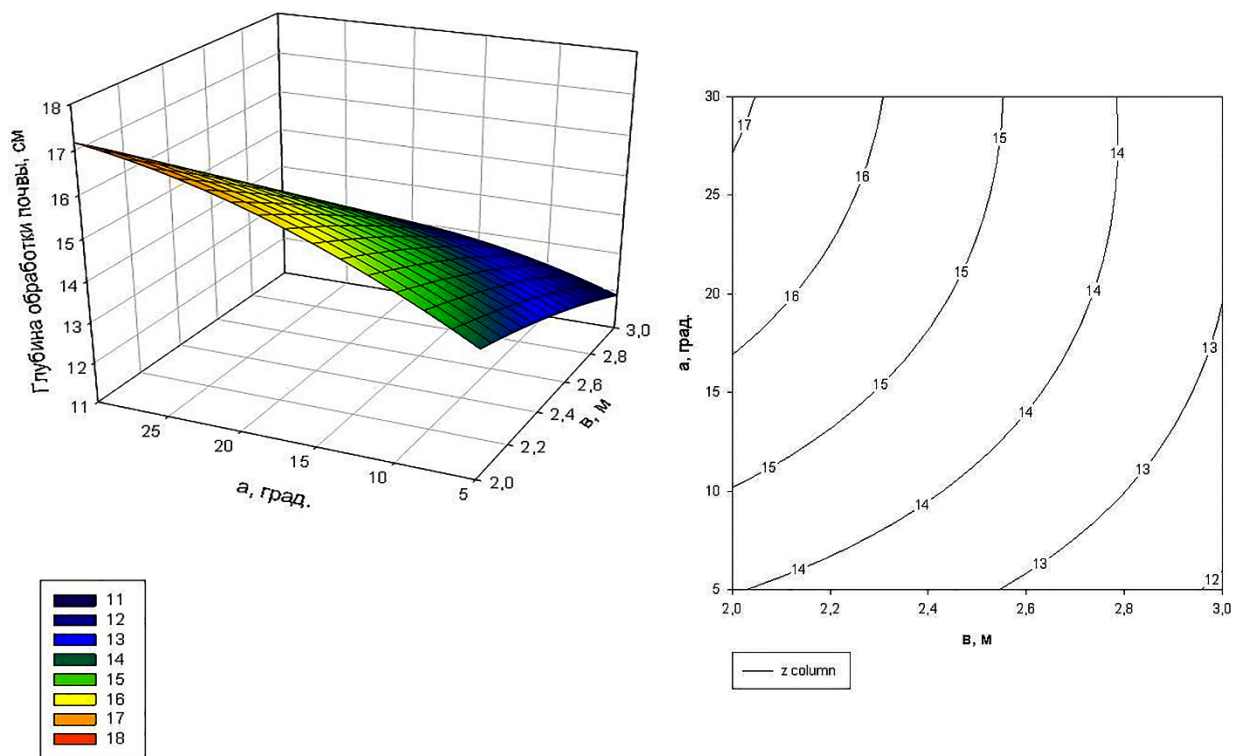


Рисунок 3.14 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от b и a (при зафиксированной на нулевом уровне $V = 7$ км/ч)

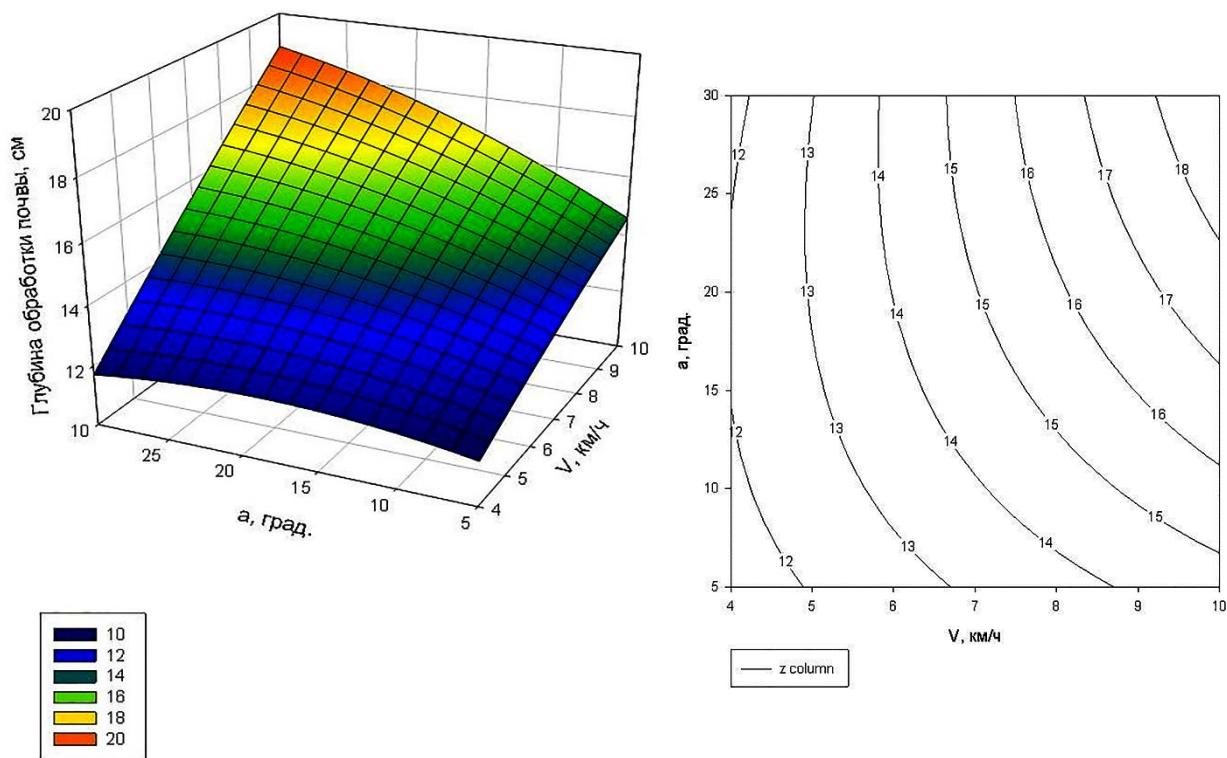


Рисунок 3.15 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от V и a (при зафиксированной на нулевом уровне $b = 2,5$ м)

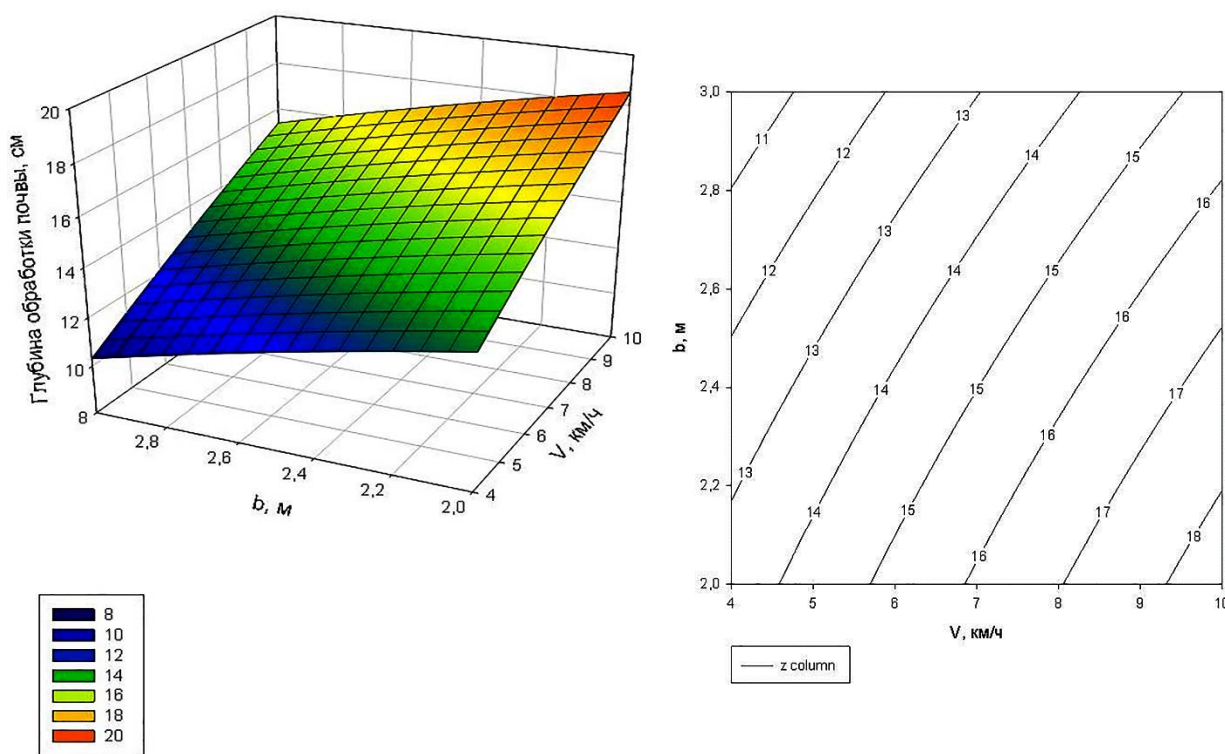


Рисунок 3.16 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от V и b (при зафиксированной на нулевом уровне $a = 17,5$ град.)

3.7.2 Зависимость скорости движения агрегата от глубины обработки почвы, угла подъема и ширины захвата дисковой бороны

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров регулятора сцепного веса бороновального агрегата на скорость движения определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

В качестве таких факторов установлены следующие:

$X_1 (b)$ – ширина захвата, м;

$X_2 (h)$ – глубина обработки, см;

$X_3 (a)$ – угол подъема, град.

Уровни и факторы их варьирования представлены в таблице 3.8.

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка (табл. 3.9).

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

Таблица 3.8 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	b , м	h , см	a , град.
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	3	20	30
Основной уровень (0)	2,5	16	17,5
Нижний уровень (–1)	2	12	5

Таблица 3.9 – Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	$x'_1 = x_1^2 - d$	$x'_2 = x_2^2 - d$	$x'_3 = x_3^2 - d$	V , км/ч (Y_2)
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	10,000
2	–	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	8,000
3	+	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	7,000
4	–	–	+	0,2697	0,2697	0,2697	6,000
5	+	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	8,000
6	–	+	–	0,2697	0,2697	0,2697	12,000
7	+	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	9,000
8	–	–	–	0,2697	0,2697	0,2697	7,000
9	1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	14,000
10	–1,2154	0	0	0,7469	–0,7303	–0,7303	6,000
11	0	1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	12,000
12	0	–1,2154	0	–0,7303	0,7469	–0,7303	5,000
13	0	0	1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	8,000
14	0	0	–1,2154	–0,7303	–0,7303	0,7469	10,000
15	0	0	0	–0,7303	–0,7303	–0,7303	9,000

Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_2) приведена в таблице 3.10. Данные показывают, что наиболее значимыми коэффициентами являются b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{123} , b_{22} , b_{33} .

Уравнение регрессии в кодированном виде представлено выражением (3.27):

$$Y_2 = 8,758 + 0,979x_1 + 1,6x_2 - 0,678x_3 - 0,625x_1x_2 + 0,625x_1x_3 + 0,875x_1x_2x_3 - 0,876x_1^2 - 0,538x_3^2 \quad (3.27)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера. В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 2 = 1$ и 95-процентном уровне значимости он равен 19,4.

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии,

представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.10 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке скорости движения агрегата (Y_2)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	8,578	0,02022	32,10
b_1	0,979	0,02769	5,88
b_2	1,598	0,02769	9,6
b_3	–0,678	0,02769	–4,08
b_{12}	–0,625	0,03792	–3,21
b_{13}	0,625	0,03792	3,21
b_{23}	0,125	0,03792	0,64
b_{123}	0,875	0,03792	4,49
b_{11}	0,139	0,069503	0,53
b_{22}	–0,876	0,069503	–3,32
b_{33}	–0,538	0,069503	–2,04

Таблица 3.11 – Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	10,000	10,488	0,238481405
2	8,000	7,656	0,118641729
3	7,000	8,170	1,367932971
4	6,000	6,212	0,044857969
5	8,000	12,046	16,368578949
6	12,000	10,088	3,655666059
7	9,000	10,602	2,566567842
8	7,000	8,644	2,703595780
9	14,000	10,319	13,553057134
10	6,000	7,939	3,759933301
11	12,000	10,006	3,975334878
12	5,000	8,251	10,57180506
13	8,000	7,651	0,122083947
14	10,000	10,607	0,368463789
15	9,000	9,129	0,056578874

Расчетные значения критерия Фишера составили 17,82. Значит полученное уравнение регрессии адекватно описывает обозначенный процесс в пределах исследуемой области.

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

Для удобства расчетов запишем уравнение регрессии в раскодированном виде (3.28):

$$V = -49,281 - 15,008b + 4,465h + 1,216a - 0,925bh - 0,46ba - 0,0875ha + 0,035bha - 0,055h^2 - 0,0034a^2 \quad (3.28)$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v.11.0) варьировались два фактора (рис. 3.17–3.19), соответствующие уравнениям регрессии (3.29), (3.30) и (3.31):

$$V = -11,76 + 2,15h + 0,066a - 0,055h^2 - 0,0034a^2, \quad (3.29)$$

$$V = 8,13 + 0,21b - 0,184a + 0,1ba - 0,0034a^2, \quad (3.30)$$

$$V = -29,05 + 6,96b + 2,93h - 0,313bh - 0,055h^2 \quad (3.31)$$

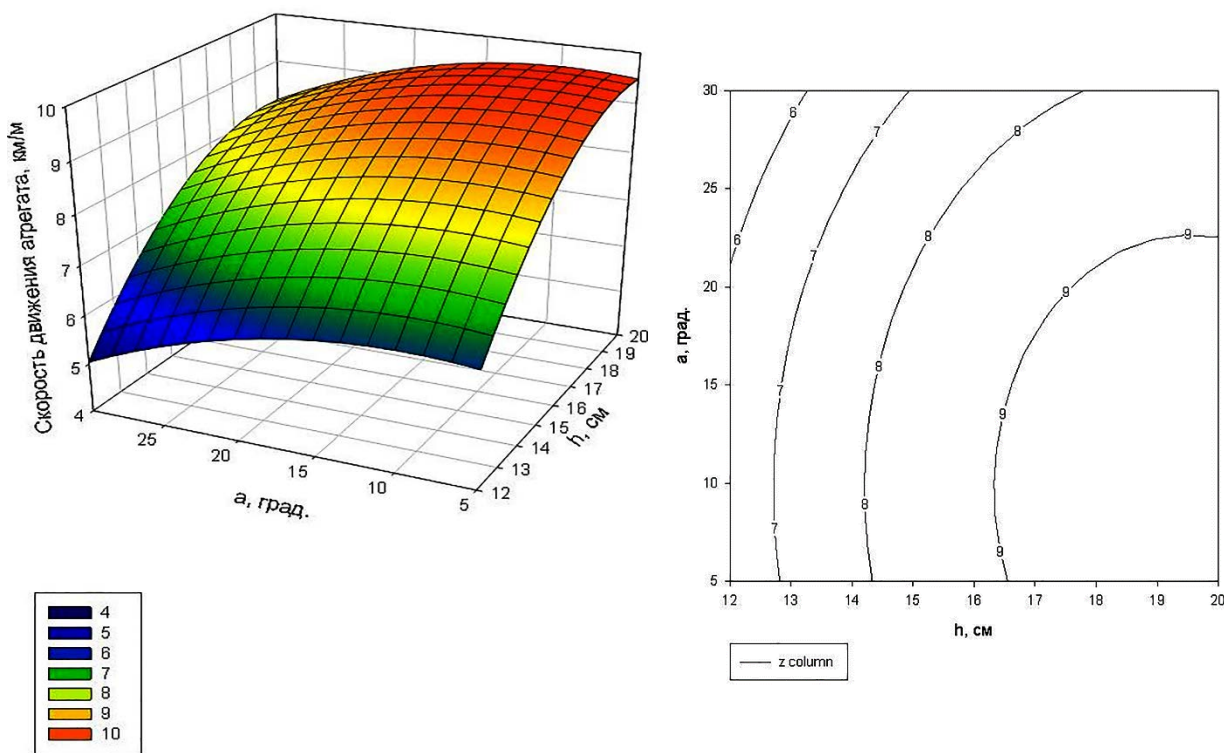


Рисунок 3.17 – Поверхность и сечение поверхности отклика V в зависимости от h и a (при зафиксированной на нулевом уровне $b = 2,5$ м)

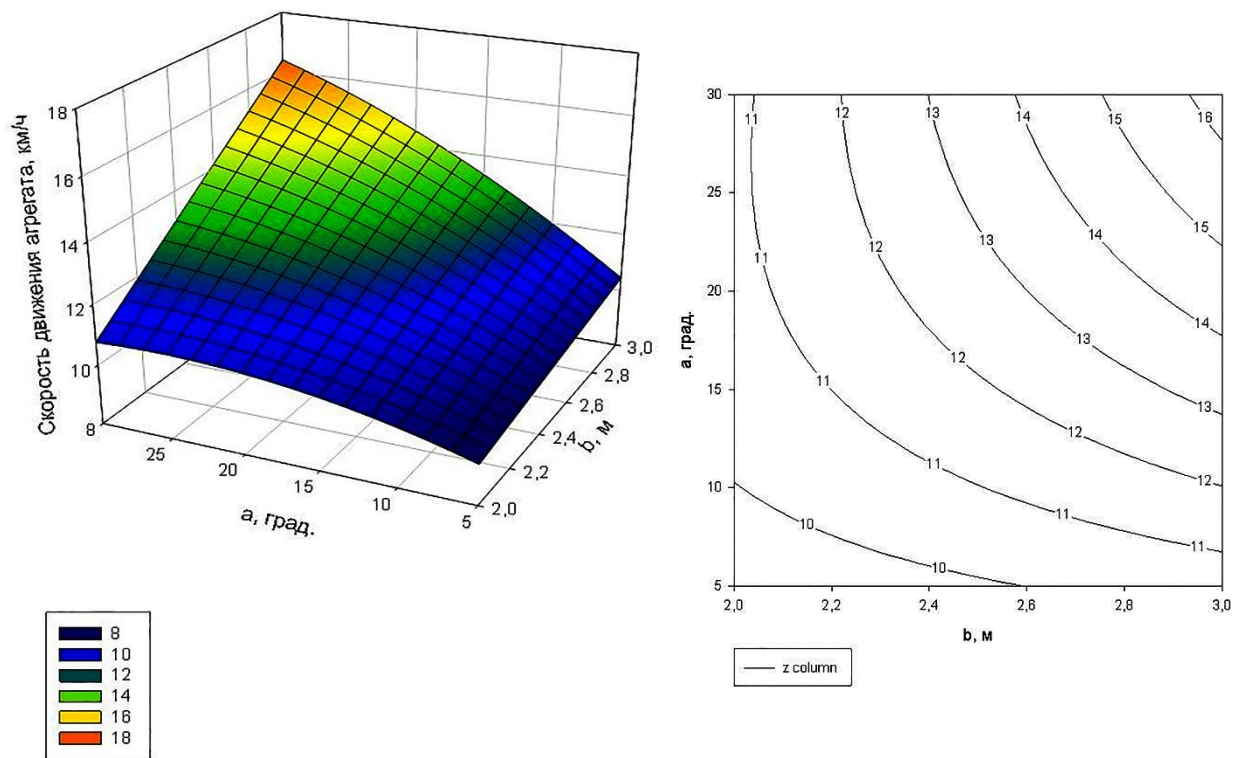


Рисунок 3.18 – Поверхность и сечение поверхности отклика V в зависимости от b и a (при зафиксированной на нулевом уровне $h = 16$ см)

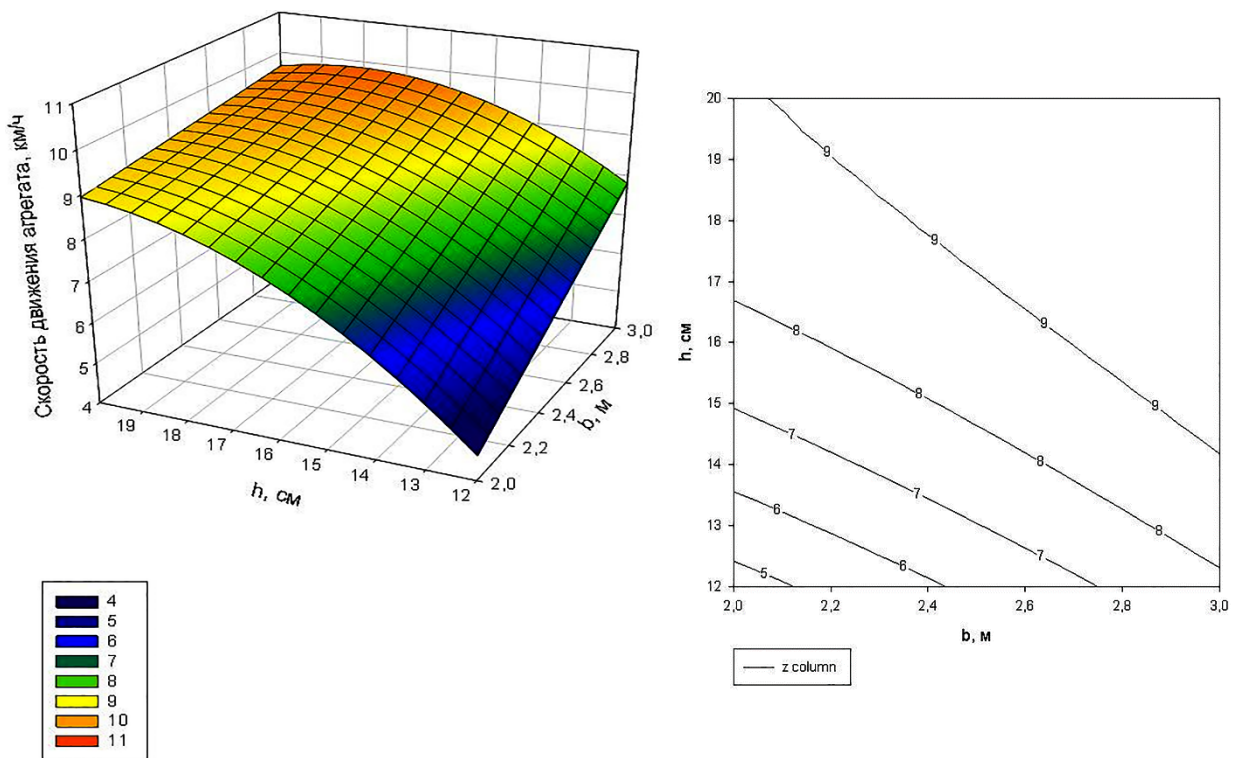


Рисунок 3.19 – Поверхность и сечение поверхности отклика V в зависимости от b и h (при зафиксированной на нулевом уровне $a = 17,5$ град.)

3.7.3 Зависимость угла подъема навески трактора от скорости движения агрегата, глубины обработки почвы и ширины захвата дисковой бороны

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров регулятора сцепного веса бороновального агрегата на угол подъема навески трактора определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

В качестве таких факторов установлены следующие:

$X_1 (V)$ – скорость движения, км/час;

$X_2 (h)$ – глубина обработки, см;

$X_3 (b)$ – ширина захвата, м.

Уровни и факторы их варьирования представлены в таблице 3.12. Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_3) приведена в таблице 3.13.

Таблица 3.12 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	V , км/час	h , см	b , м
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	10	20	3
Основной уровень (0)	7	16	2,5
Нижний уровень (–1)	4	12	2

Данные таблицы 3.13 показывают, что значимыми коэффициентами являются b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} , b_{11} , b_{22} .

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_3 = 19,856 - 0,327x_1 + 2,257x_2 + 5,192x_3 - 1,125x_1x_1 + 2,375x_1x_3 - 2,125x_2x_3 + 2,875x_1x_2x_3 - 0,784x_1^2 + 0,57x_2^2 \quad (3.32)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера. В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 2 = 1$ и 95-процентном уровне значимости он равен 19,4.

Таблица 3.13 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке угла подъема навески трактора (Y_3)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	19,856	0,0949	32,38
b_1	–0,327	0,1300	–0,91
b_2	2,257	0,1300	6,26
b_3	5,192	0,1300	14,40
b_{12}	–1,125	0,1780	–2,67
b_{13}	2,375	0,1780	5,63
b_{23}	–2,125	0,1780	–5,04
b_{123}	2,875	0,1780	6,82
b_{11}	–0,784	0,3261	–1,37
b_{22}	0,570	0,3261	1,00
b_{33}	–0,107	0,3261	–0,19

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	29,000	28,857	0,020387972
2	18,000	28,189	103,808664462
3	26,000	21,880	16,9768391850
4	22,000	22,534	0,285368924
5	14,000	17,363	11,310258837
6	24,000	18,018	35,789490679
7	14,000	11,709	5,2504294330
8	8,000	12,363	19,036761868
9	14,000	19,551	30,812482617
10	26,000	20,346	31,963499450
11	26,000	23,385	6,839019950
12	18,000	16,512	2,2128819090
13	30,000	26,130	14,979959270
14	12,000	13,768	3,1246480030
15	16,000	19,949	9,7051111920

Расчетные значения критерия Фишера составили 18,7. Значит, получен-

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

ное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$a = -168,97 + 17,818V + 11,122h + 69,97a - 1,292Vh - 6,083Vb - 4,417hb + 0,48Vbh - 0,0871V^2 + 0,0356h^2 \quad (3.33)$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v.11.0) варьировались два фактора (рис. 3.20–3.22), соответствующие уравнениям регрессии (3.34), (3.35) и (3.36):

$$a = -48,51 + 2,08h + 27,384b - 1,063hb + 0,0356h^2, \quad (3.34)$$

$$a = 18,1 - 2,85V - 0,7b + 1,58Vb - 0,087V^2, \quad (3.35)$$

$$a = 5,95 + 2,61V + 0,08h - 0,094Vh - 0,087V^2 + 0,036h^2 \quad (3.36)$$

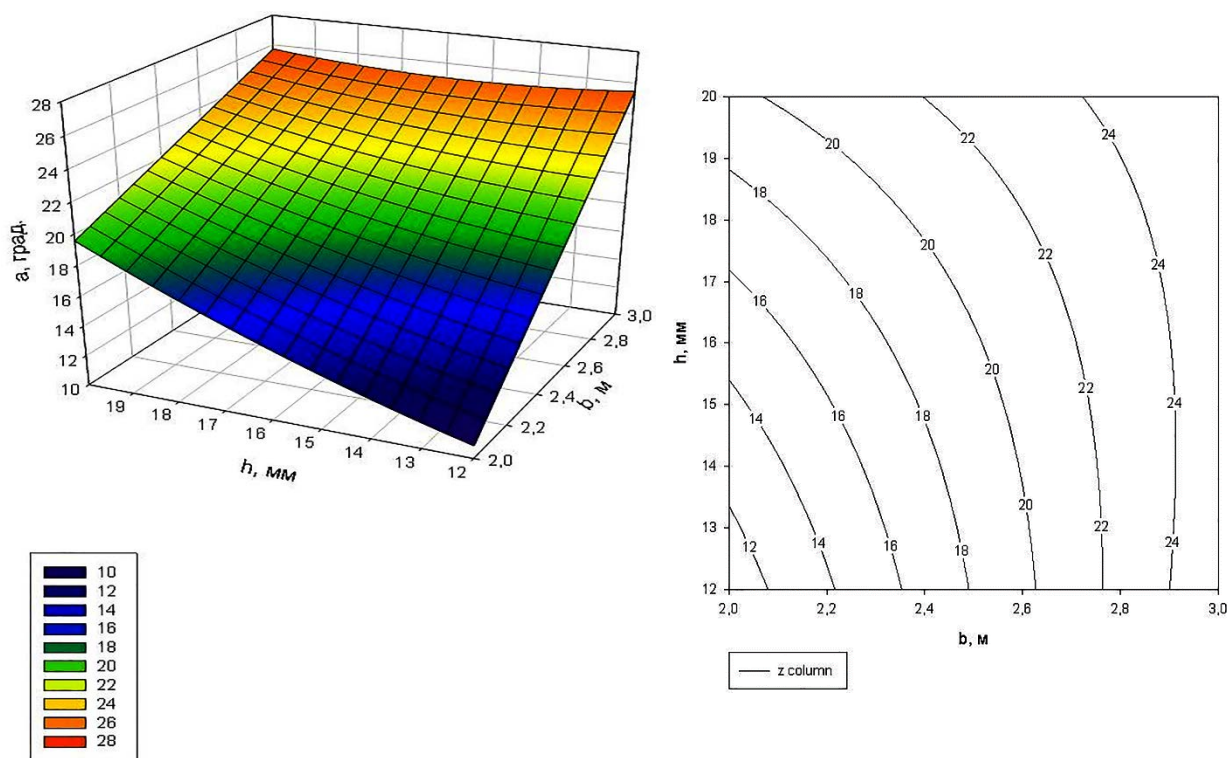


Рисунок 3.20 – Поверхность и сечение поверхности отклика a в зависимости от h и b (при зафиксированной на нулевом уровне $V = 7,5$ км/час)

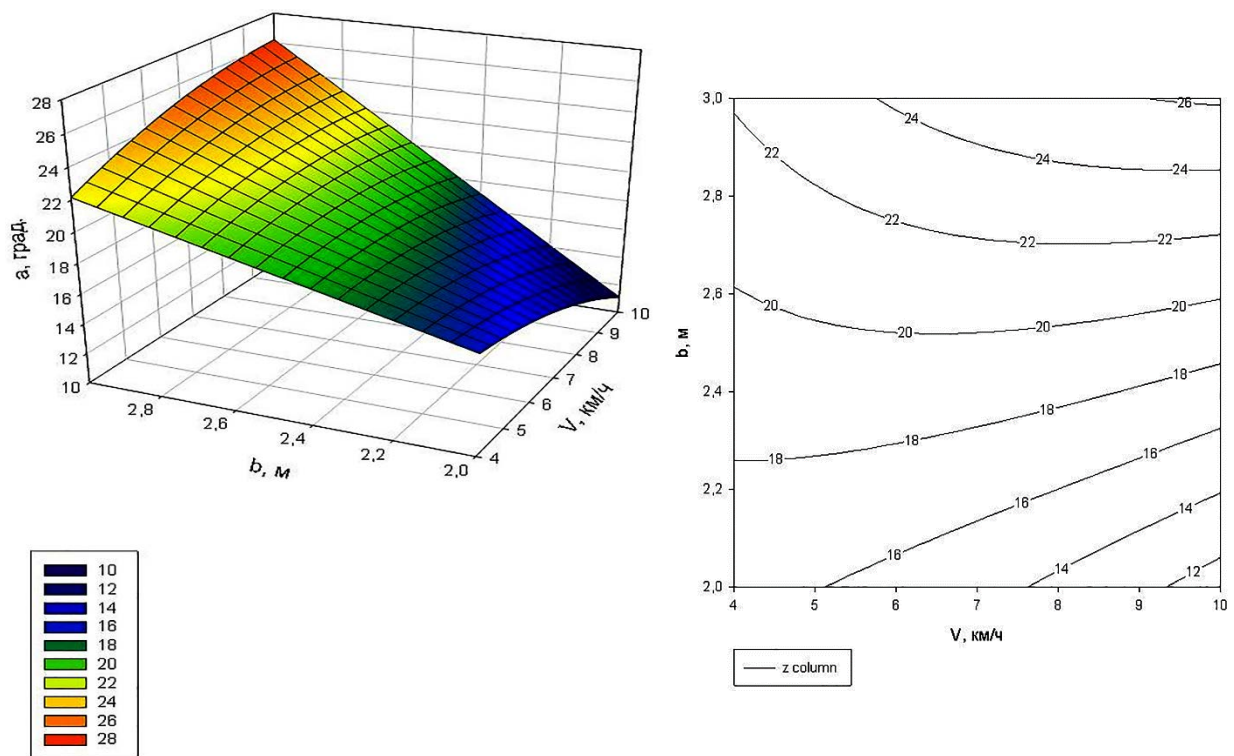


Рисунок 3.21 – Поверхность и сечение поверхности отклика a в зависимости от V и b (при зафиксированной на нулевом уровне $h = 16$ см)

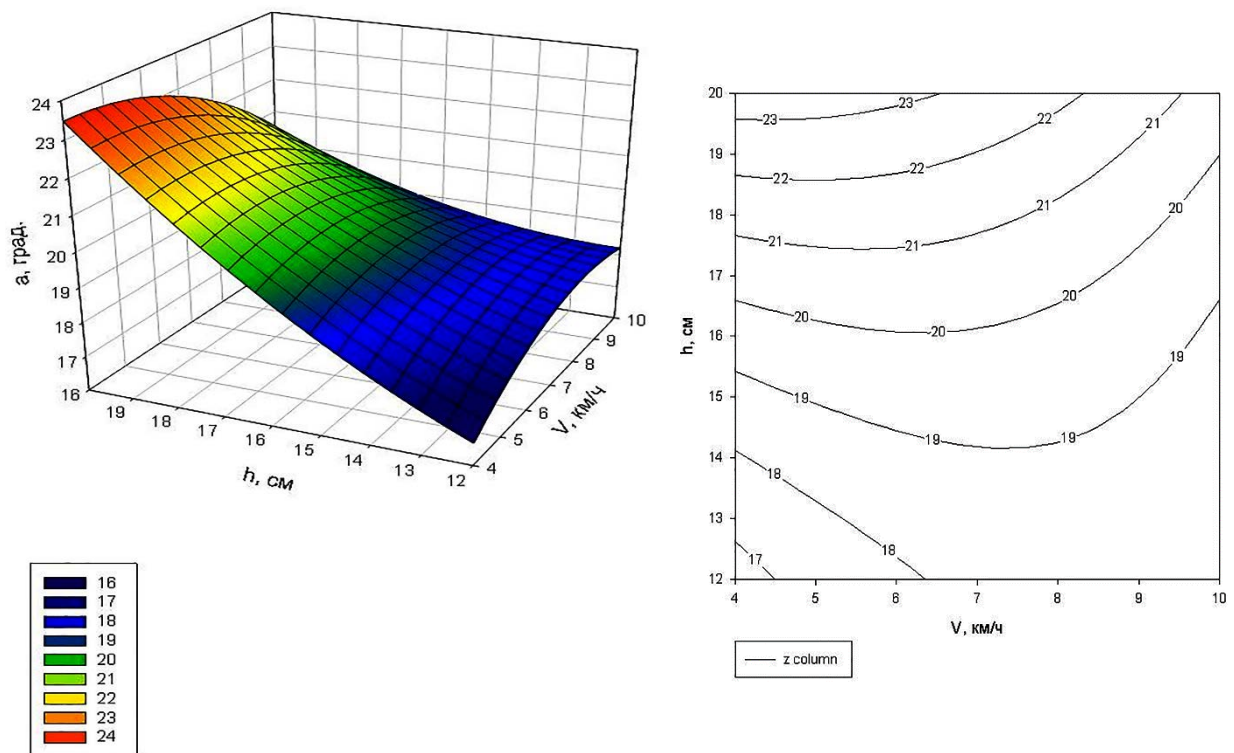


Рисунок 3.22 – Поверхность и сечение поверхности отклика a в зависимости от V и h (при зафиксированной на нулевом уровне $b = 2,5$ м)

3.7.4 Зависимость ширины захвата от скорости движения агрегата, глубины обработки почвы и угла подъема навески трактора

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров регулятора сцепного веса бороновального агрегата на ширину захвата определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

В качестве таких факторов установлены следующие:

$X_1 (V)$ – скорость движения, км/час;

$X_2 (h)$ – глубина обработки, см;

$X_3 (a)$ – угол подъема, град.

Уровни и факторы их варьирования представлены в таблице 3.15. Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_4) приведена в таблице 3.16.

Таблица 3.15 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	V , км/час	h , см	a , град.
Обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	10	20	30
Основной уровень (0)	7	16	17,5
Нижний уровень (–1)	4	12	5

Из таблицы видно, что значимыми коэффициентами являются b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{11} , b_{22} , b_{33} .

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_4 = 2,185 + 0,288x_1 - 0,138x_2 + 0,116x_3 + 0,188x_1x_1 + 0,263x_1x_3 + 0,0875x_2x_3 - 0,065x_1^2 - 0,235x_2^2 + 0,104x_3^2 \quad (3.37)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера. В нашем случае при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 2 = 1$ и 95-процентном уровне значимости он равен 19,4.

Таблица 3.16 – Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке ширины захвата дисковой бороны (Y_4)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b_0	2,185	0,00184	26,12
b_1	0,288	0,00252	5,73
b_2	–0,138	0,00252	–2,75
b_3	0,116	0,00252	2,31
b_{12}	0,188	0,00345	3,19
b_{13}	0,263	0,00345	4,47
b_{23}	0,088	0,00345	1,49
b_{123}	0,013	0,00345	0,21
b_{11}	–0,065	0,00633	–0,82
b_{22}	–0,235	0,00633	2,95
b_{33}	0,104	0,00633	1,31

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Расчет дисперсии адекватности

Номер опыта	Y		
	y_u	$\hat{y}_u$	$(y_u - \hat{y}_u)^2$
1	3,000	2,849	0,0222736803
2	1,500	1,802	0,0910392940
3	2,500	3,123	0,3877118460
4	1,800	2,547	0,5586232600
5	2,200	1,937	0,0692995430
6	1,800	1,361	0,1922841280
7	2,100	2,682	0,3392314490
8	2,400	2,107	0,0857425500
9	2,500	2,592	0,0084021770
10	1,800	1,892	0,0085561730
11	1,400	1,789	0,1512660850
12	2,400	2,695	0,0871628580
13	2,800	2,510	0,0843270210
14	2,000	1,975	0,0006474930
15	2,400	2,242	0,1119477243

Расчетные значения критерия Фишера составили 7,23. Значит, получен-

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

ное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$b = 1,1 - 0,175V + 0,294h - 0,091a + 0,016Vh + 0,007Va + 0,0018ha - 0,0073V^2 - 0,015h^2 + 0,0007a^2 \quad (3.38)$$

При построении поверхностей откликов (программа Sigma Plot v.11.0) варьировались два фактора (рис. 3.23–3.25), соответствующие уравнениям регрессии (3.39), (3.40) и (3.41):

$$b = -0,482 + 0,404h - 0,042a + 0,00175ha - 0,015h^2 + 0,00067a^2, \quad (3.39)$$

$$b = 2,057 + 0,075V - 0,063a + 0,007Va - 0,0073V^2 + 0,00067a^2, \quad (3.40)$$

$$b = -0,29 - 0,053V + 0,325h + 0,016Vh - 0,0073V^2 - 0,015h^2 \quad (3.41)$$

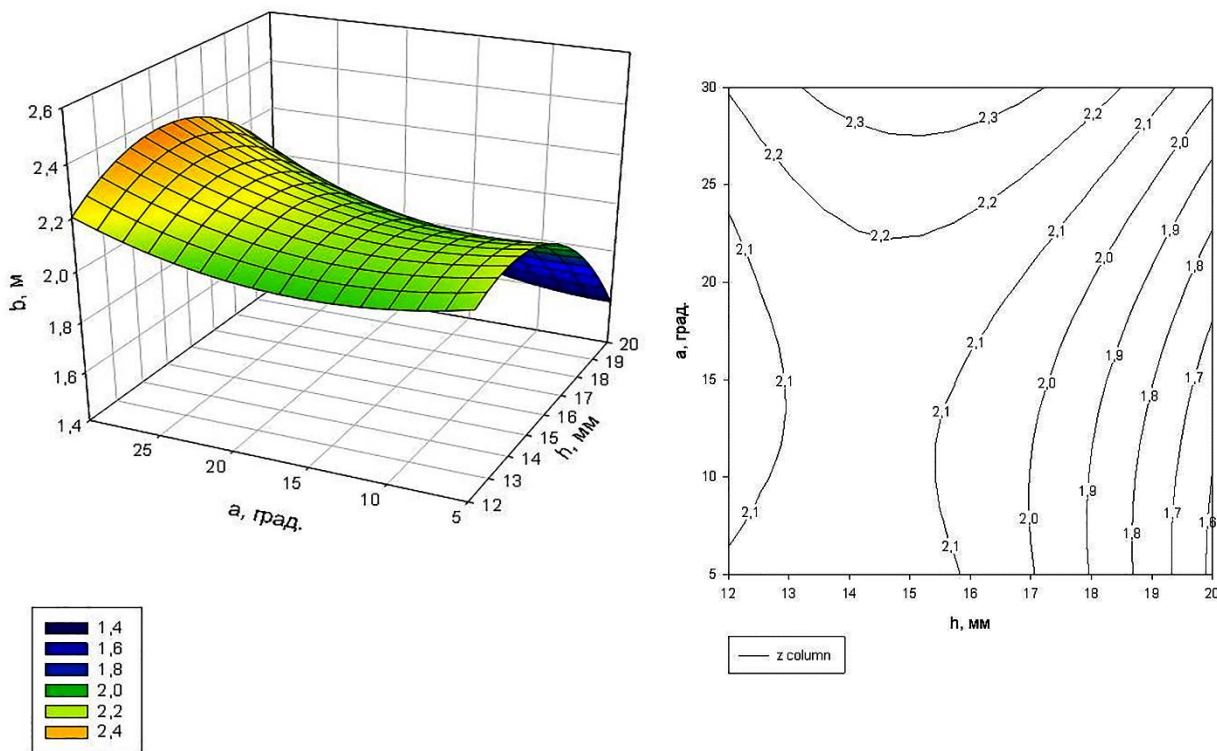


Рисунок 3.23 – Поверхность и сечение поверхности отклика b в зависимости от h и a (при зафиксированной на нулевом уровне $V = 7$ км/час)

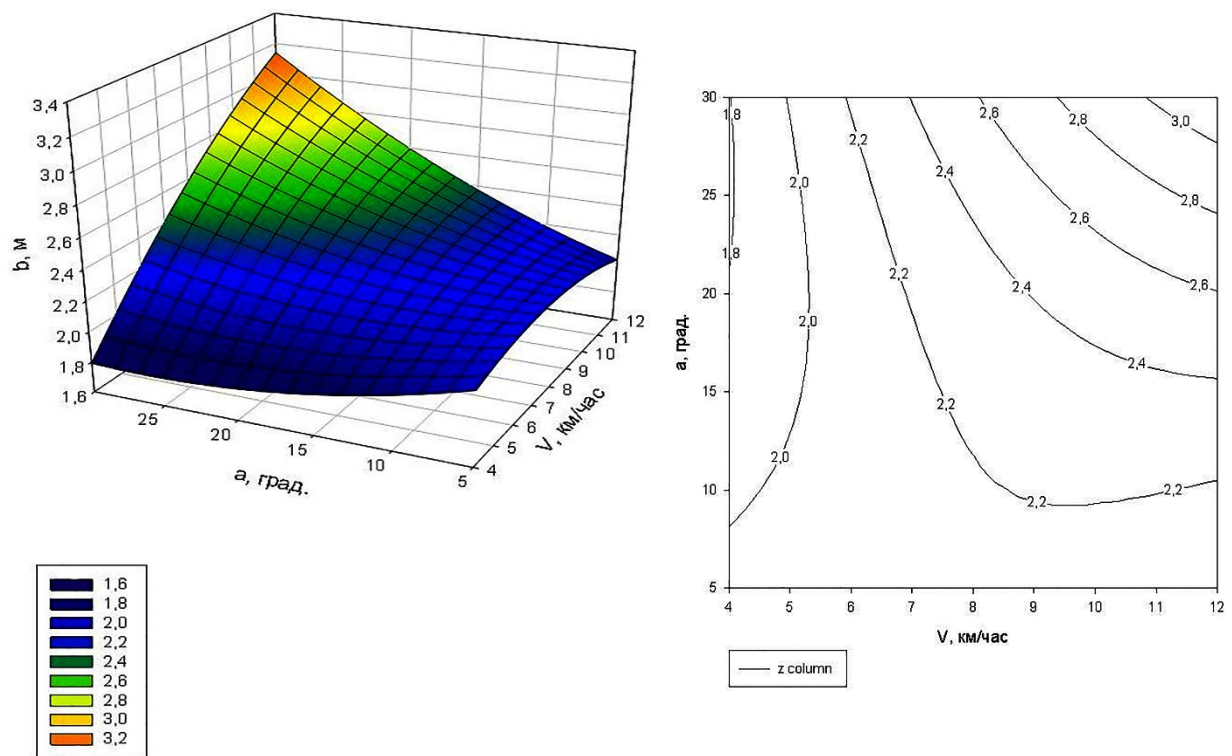


Рисунок 3.24 – Поверхность и сечение поверхности отклика b в зависимости от V и a (при зафиксированной на нулевом уровне $h = 16$ см)

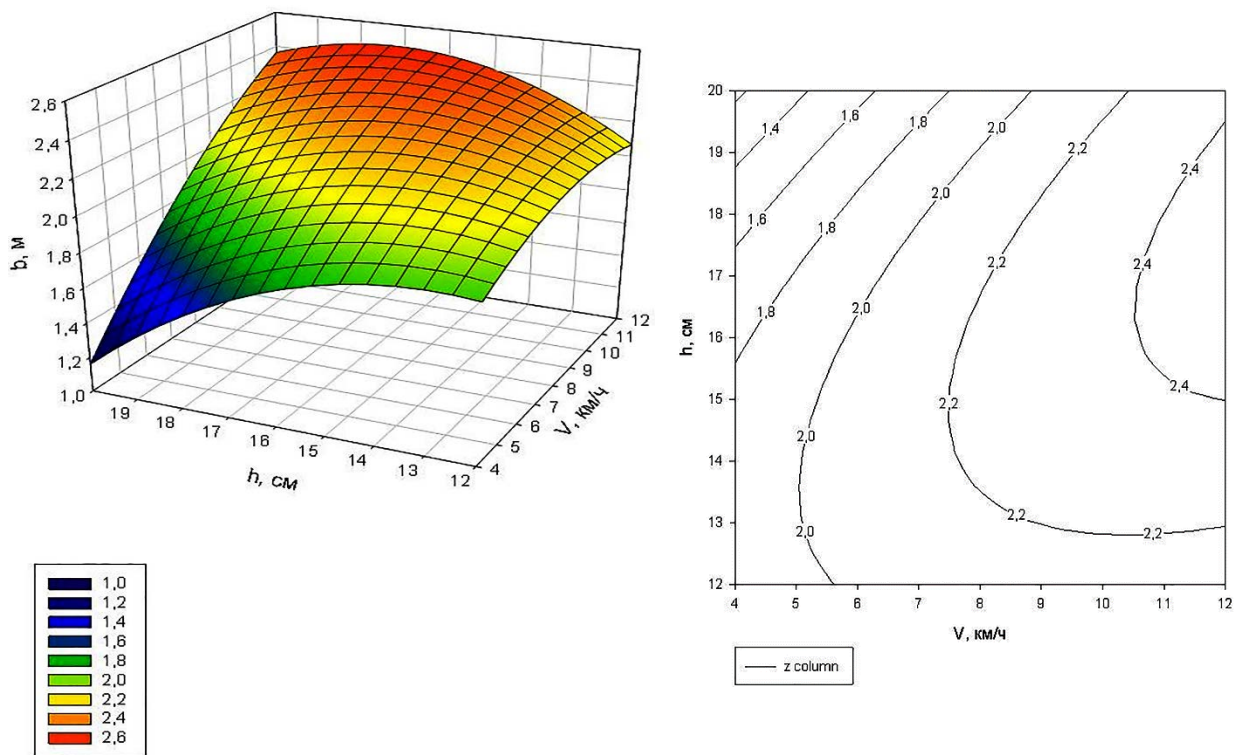


Рисунок 3.25 – Поверхность и сечение поверхности отклика b в зависимости от V и h (при зафиксированной на нулевом уровне $a = 17,5$ град.)

На основании проведенного анализа установлено, что применение предложенного регулятора сцепного веса бороновального агрегата с обоснованными оптимальными параметрами дает возможность регулировать глубину обработки и скорость движения МТА в зависимости от угла подъема навески трактора, регулирующего работу устройства.

3.8 Результаты исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров МТА

Определение оптимальных значений факторов (конструктивно-технологических параметров) будем проводить по условиям, при которых исследуемые функции имеют максимальное значение.

При этом исследуемыми функциями выступают:

- 1) глубина обработки почвы;*
- 2) скорость движения агрегата.*

В этом случае значение скорости движения зафиксировано на нулевом уровне, равном 7 км/час; значение глубины обработки зафиксировано также на нулевом уровне и составляет 16 см.

Полученные нами результаты представлены на рисунках 3.26–3.31.

Данные результаты позволяют на дальнейших этапах работы определить уровень важных показателей, влияющих на качество проводимой операции. Такими показателями являются глубина обработки и скорость движения при работе регулятора сцепного веса бороновального агрегата.

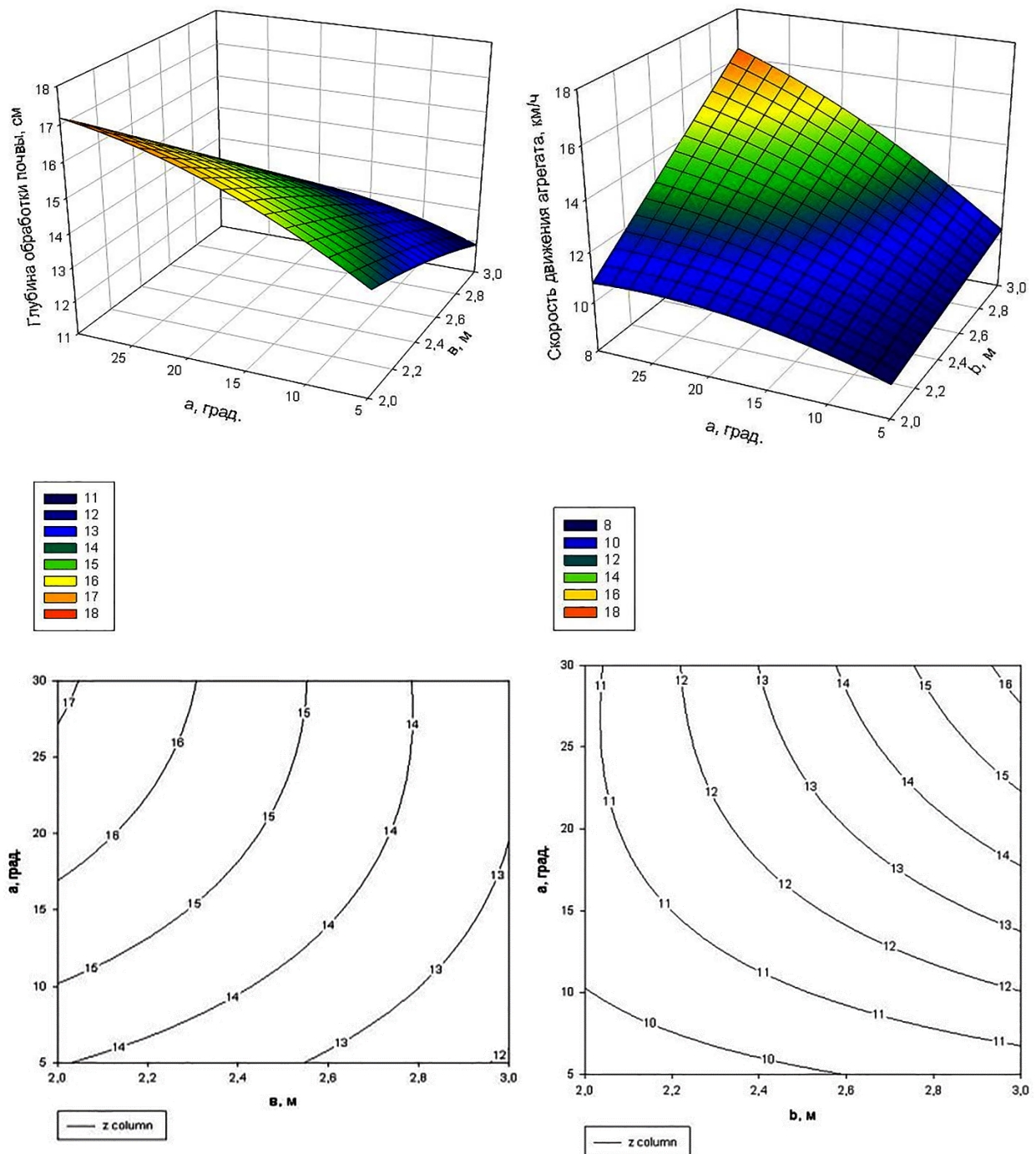


Рисунок 3.26 – Поверхности и сечение поверхности отклика глубины обработки и скорости движения в зависимости от ширины захвата дисковой бороны и угла подъема (при зафиксированных на нулевом уровне $V = 7$ км/час и $h = 16$ см)

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

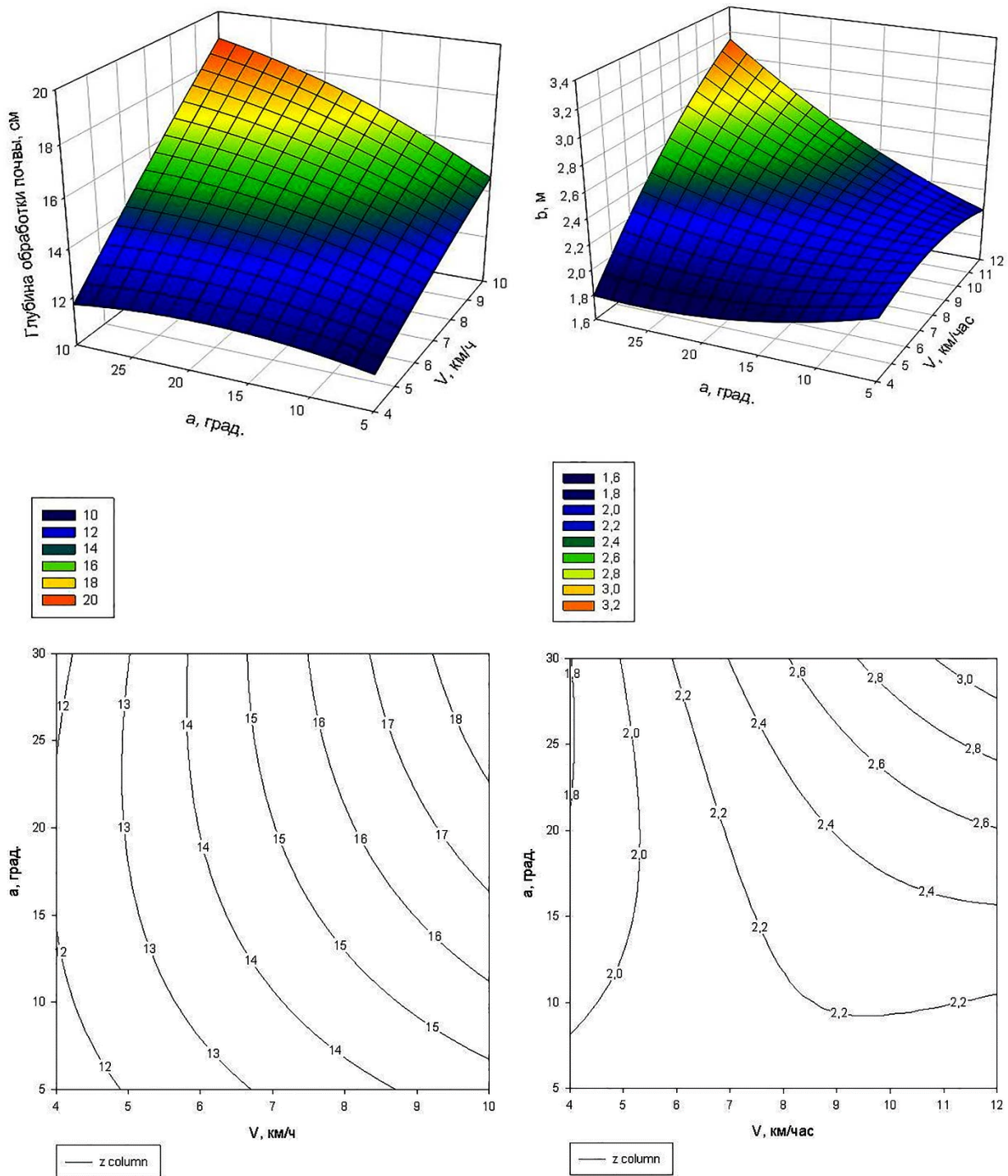


Рисунок 3.27 – Поверхности и сечение поверхности отклика глубины обработки и ширины захвата дисковой бороны в зависимости от скорости движения и угла подъема (при зафиксированных на нулевом уровне $b = 2,5$ м и $h = 16$ см)

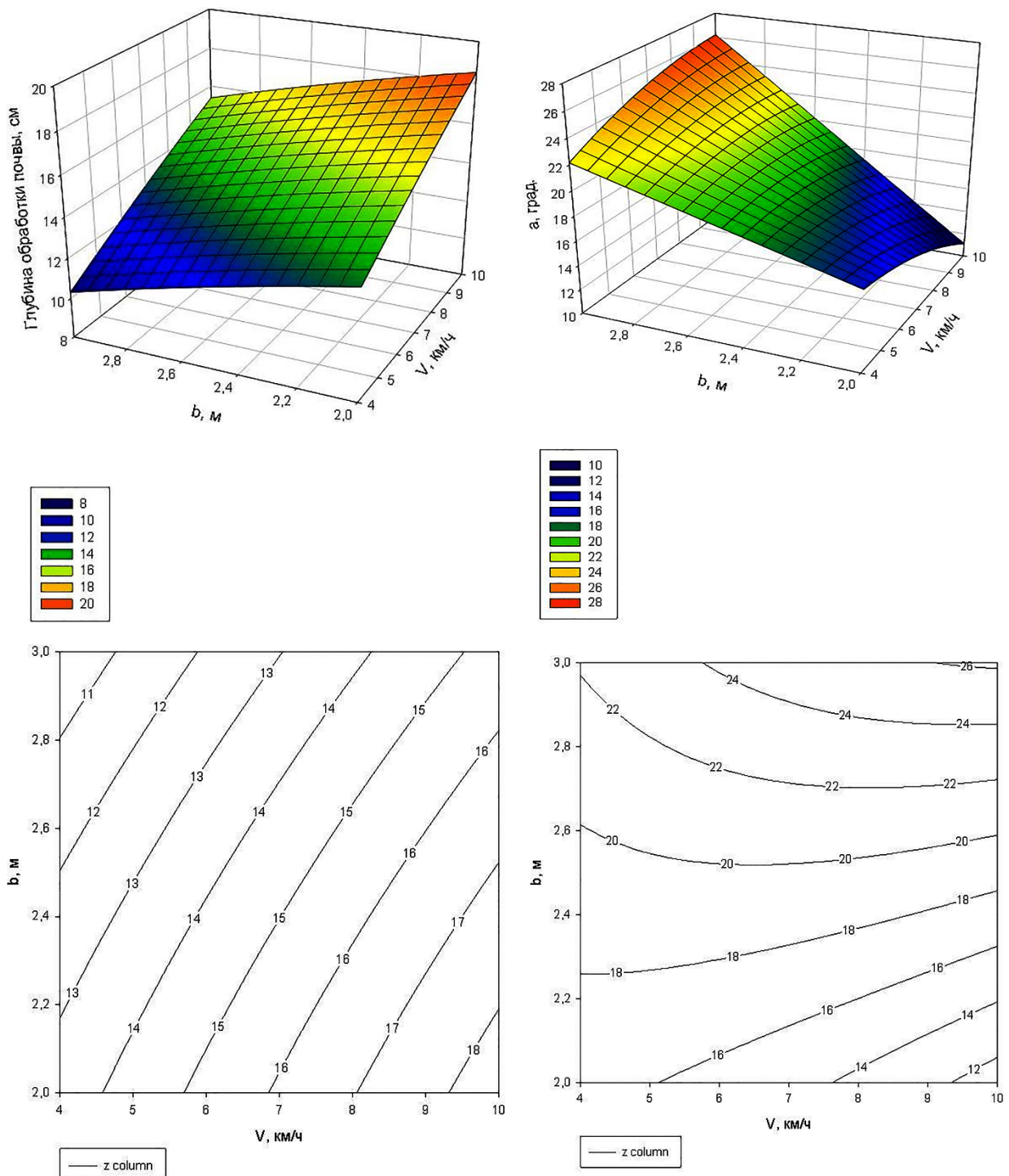


Рисунок 3.28 – Поверхности и сечение поверхности отклика глубины обработки и угла подъема в зависимости от скорости движения и ширины захвата дисковой бороны (при зафиксированных на нулевом уровне $\alpha = 17,5$ град. и $h = 16$ см)

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

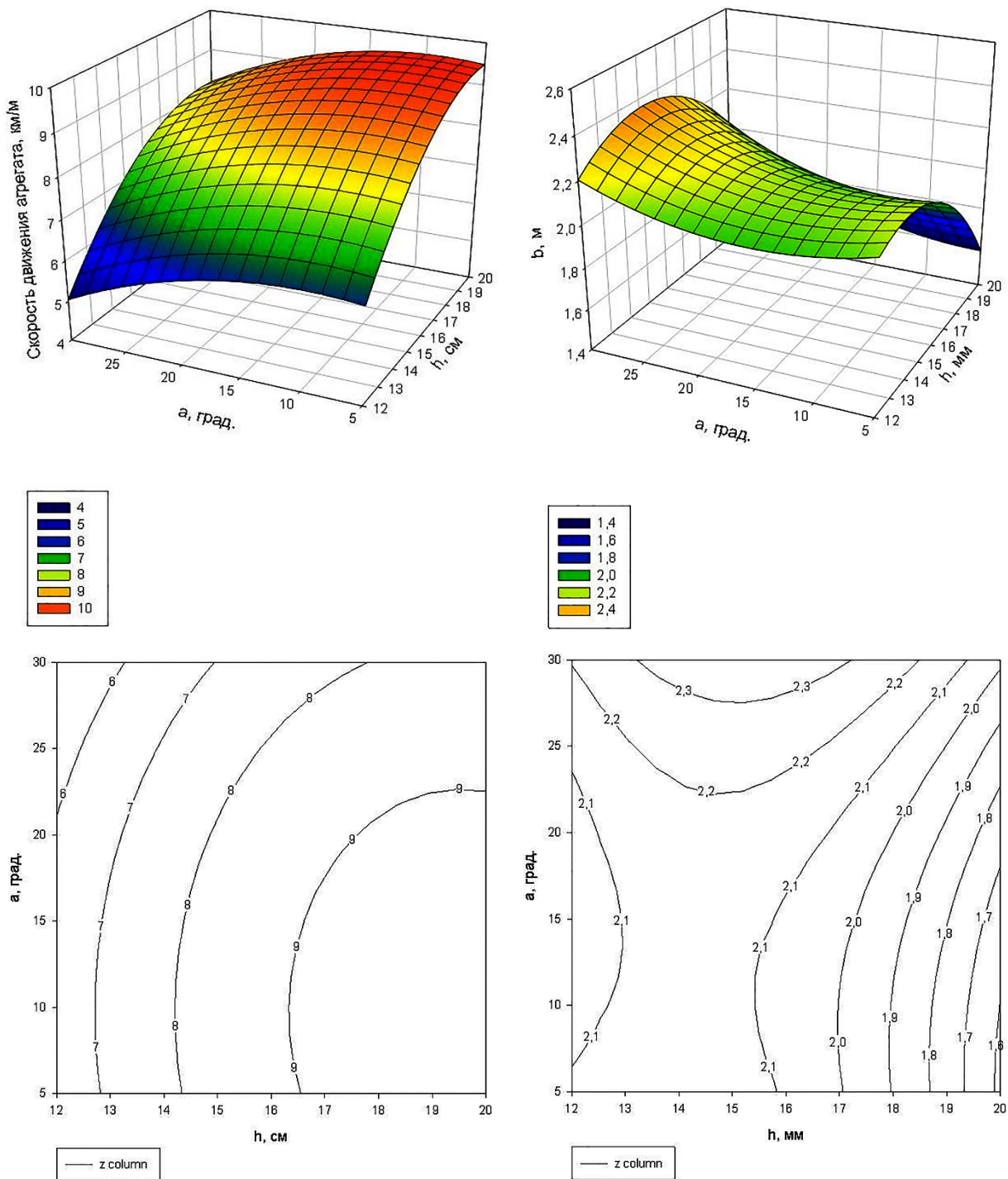


Рисунок 3.29 – Поверхности и сечение поверхности отклика скорости движения и ширины захвата в зависимости от глубины обработки и угла подъема дисковой бороны (при зафиксированных на нулевом уровне $b = 2,5$ м и $V = 7$ км/час)

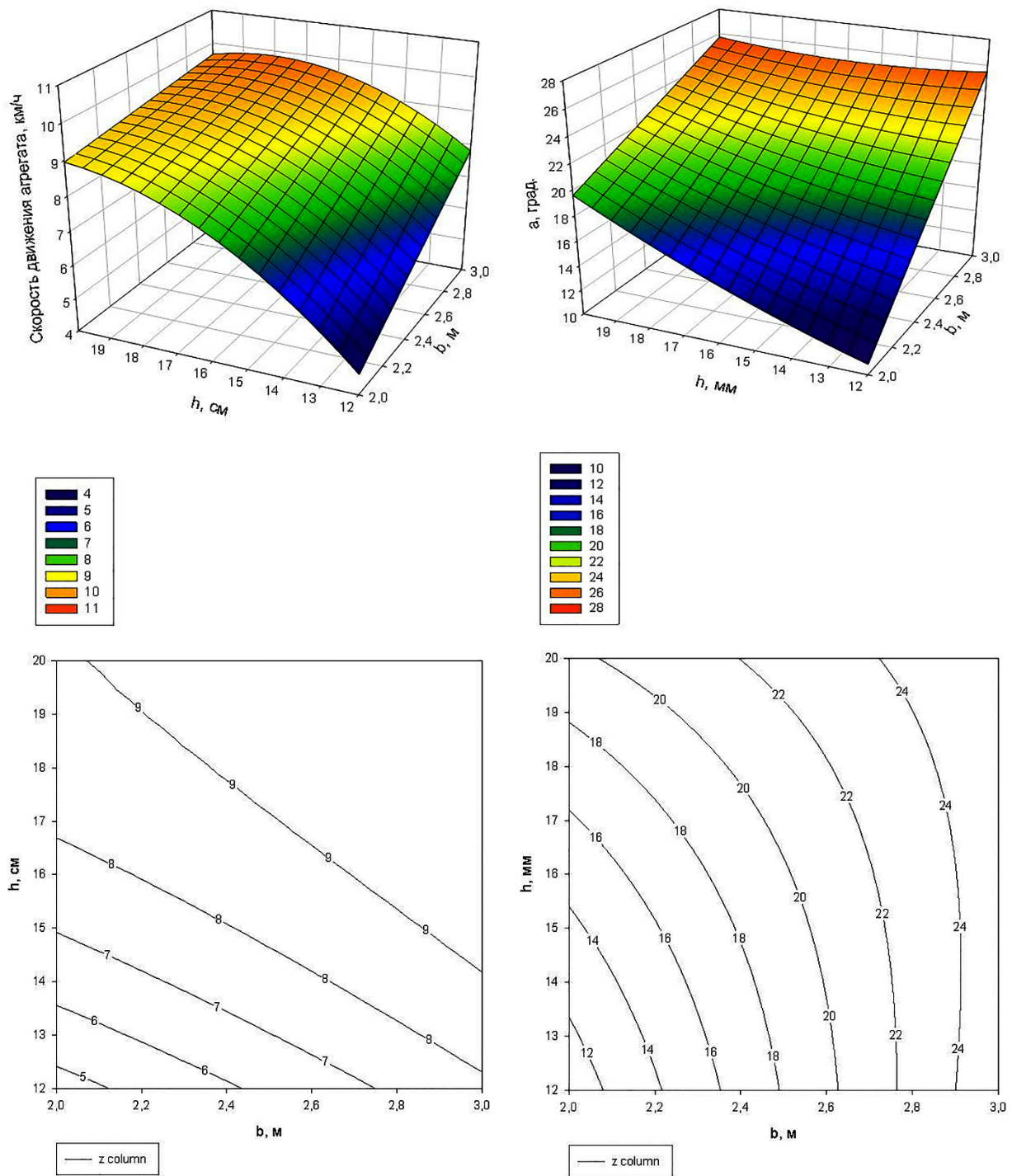


Рисунок 3.30 – Поверхности и сечение поверхности отклика скорости движения и угла подъема в зависимости от ширины захвата дисковой бороны и глубины обработки почвы (при зафиксированных на нулевом уровне $\alpha = 17,5$ град. и $V = 7$ км/час)

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

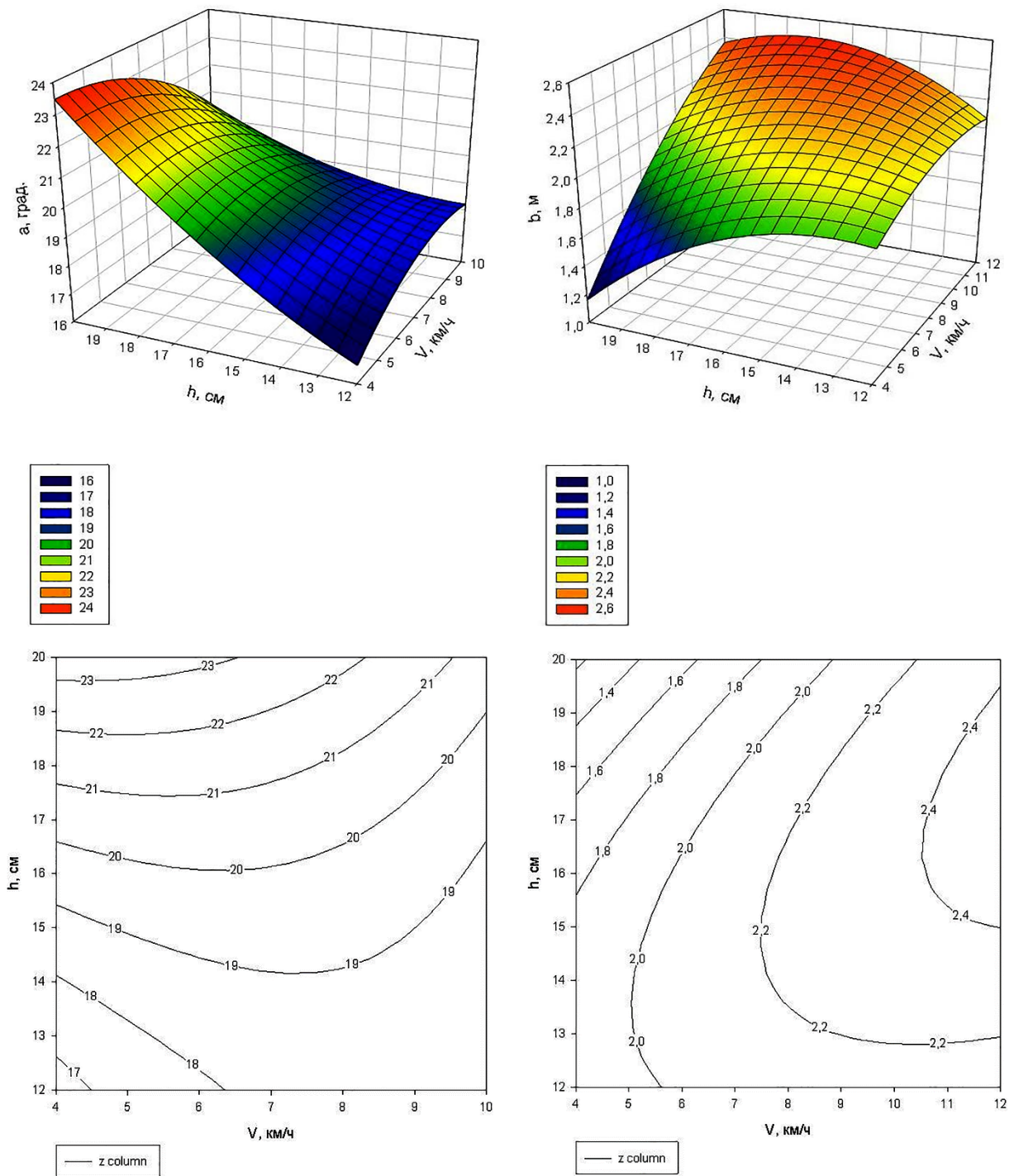


Рисунок 3.31 – Поверхности и сечение поверхности отклика угла подъема и ширины захвата дисковой бороны в зависимости от скорости движения и глубины обработки почвы (при зафиксированных на нулевом уровне $b = 2,5$ м и $a = 17,5$ град.)

3.9 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на глубину обработки почвы и скорость движения МТА

Качественную подготовку почвы под посев трудно осуществить без помощи дисковой бороны. Она одновременно способна выравнивать поверхность почвы, ее перемешивание, а также производить рыхление почвенной поверхности без оборота пласта. Использование бороны сокращает время и стоимость обработки земли. При этом стандартами качества работы к бороновальным агрегатам предъявляются определенные требования, среди которых основными являются:

- 1) четкое соответствие глубины обработки почвы заданным параметрам;
- 2) неравномерность по глубине должна составлять не более 0,01 м.

В первом разделе монографии отмечалось, что выпускаемые в настоящее время дисковые бороны преимущественно предназначены для легких и средних почв. При работе на тяжелых глинистых и суглинистых почвах они не могут в полной мере обеспечить предъявляемое к ним требование – глубину обработки, из-за недостаточной вертикальной нагрузки на рабочий орган (диск). Чаще всего для устранения этого недостатка используют дополнительные грузы, устанавливаемые на раме бороны. Это, в конечном итоге, увеличивает массу самой бороны и соответственно приводит к росту энергозатрат агрегата, особенно при переездах.

С целью определения влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на эффективность работы дисковой бороны нами проведены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации. Эксперименты проводились в полевых условиях, почвенный фон которых по своим характеристикам соответствовал предъявляемым агротехническим требованиям.

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

Почва по своим свойствам (механическому составу) представляла собой тяжелый суглинок.

Для того чтобы найти приемлемые значения факторов, необходимо решить компромиссную задачу для четырех полученных уравнений регрессии. При этом глубина обработки почвы, ширина захвата дисковой бороны, скорость движения агрегата и угол подъема представлены независимыми функциями. Поиск компромиссных значений осуществлялся при помощи программ «Sigma Plot 11.0» и «Компас 3D V18 LT» (рис. 3.32–3.34).

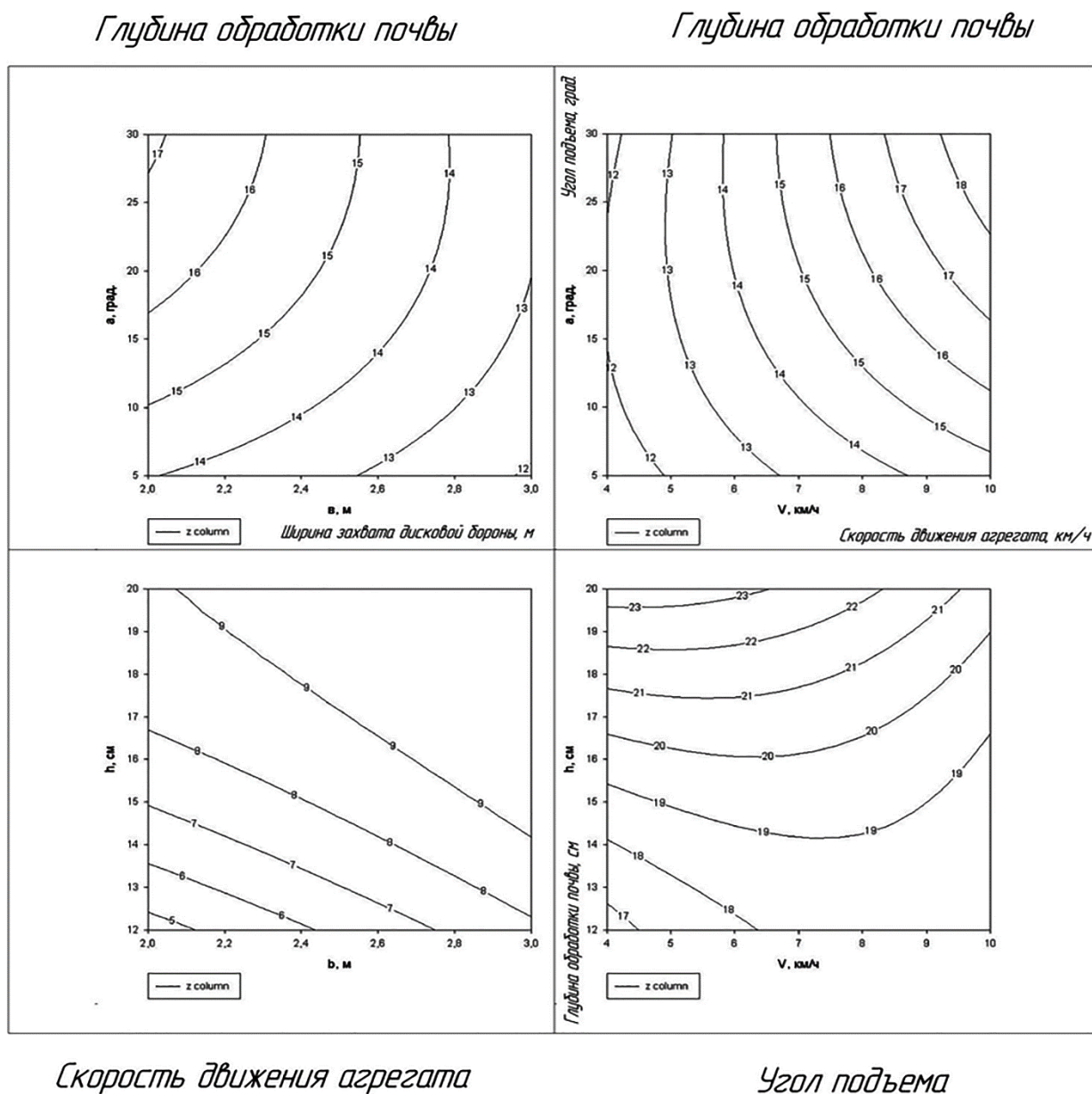
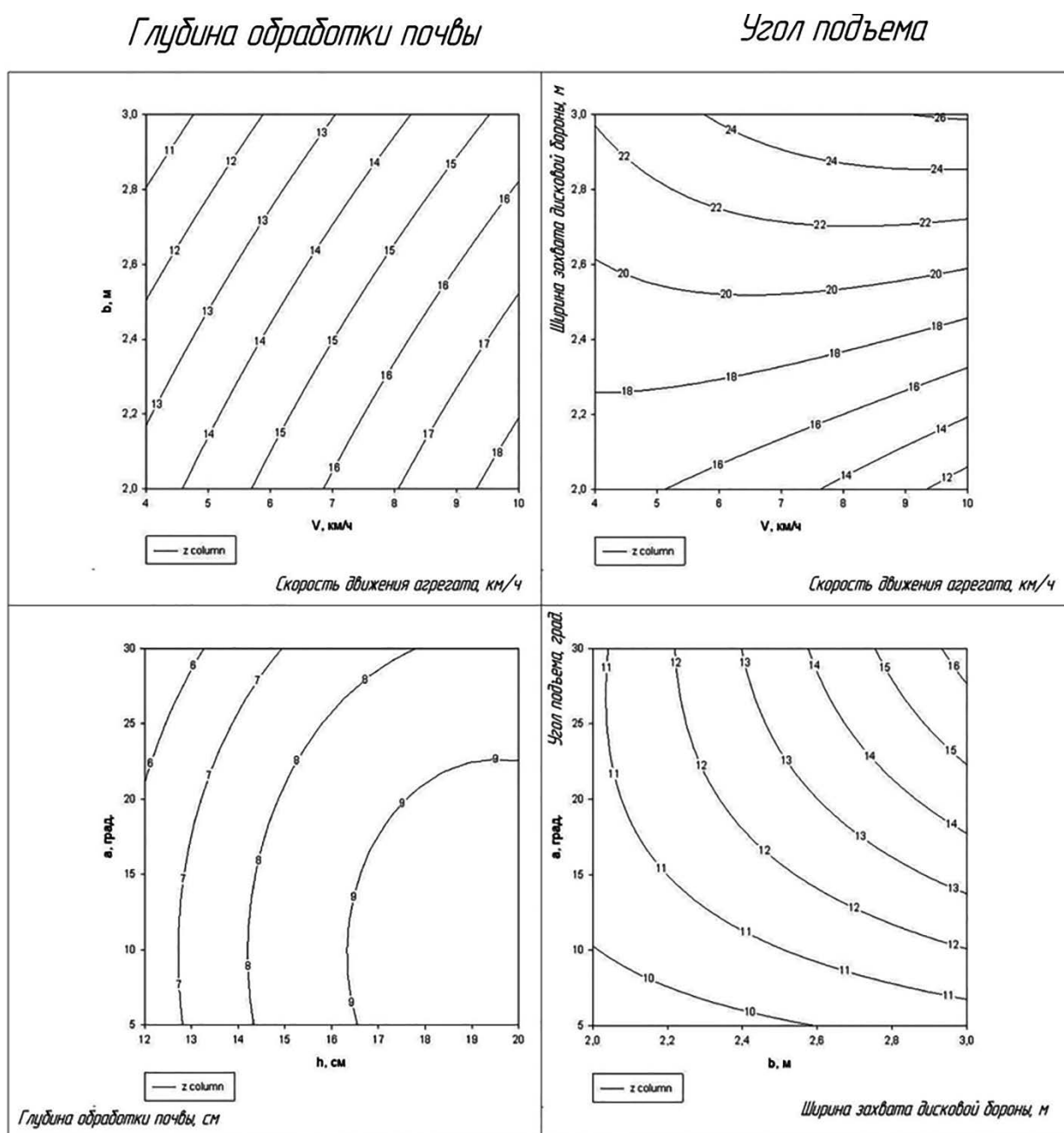


Рисунок 3.32 – Схема значений факторов



Скорость движения агрегата, км/ч

Глубина обработки почвы

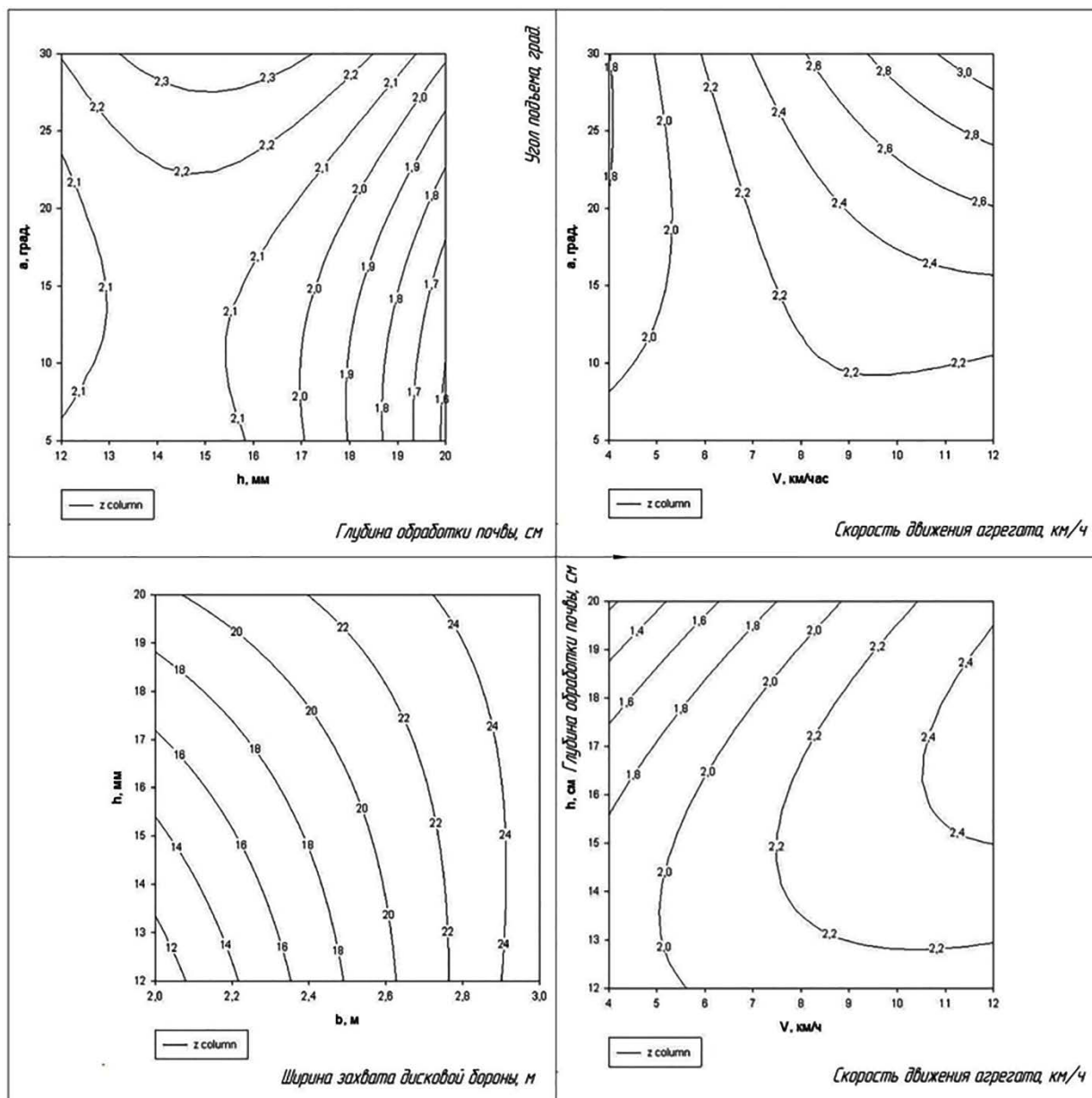
Рисунок 3.33 – Схема значений факторов

График влияния угла подъема навески трактора на глубину обработки почвенного слоя представлен на рисунке 3.35. Полученную зависимость можно описать уравнением (3.42):

$$a = 0,73h + 0,0356h^2 \quad (3.42)$$

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

Ширина захвата дисковой бороны



Угол подъема

Ширина захвата дисковой бороны

Рисунок 3.34 – Схема значений факторов

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что с повышением угла подъема устройства глубина обработки почвы повышается. Так, при увеличении угла подъема устройства с 5 до 30 градусов, глубина обработки увеличилась с 0,05 до 0,3 м. Таким образом, регулируя угол подъема, можно изменять глубину обработки.

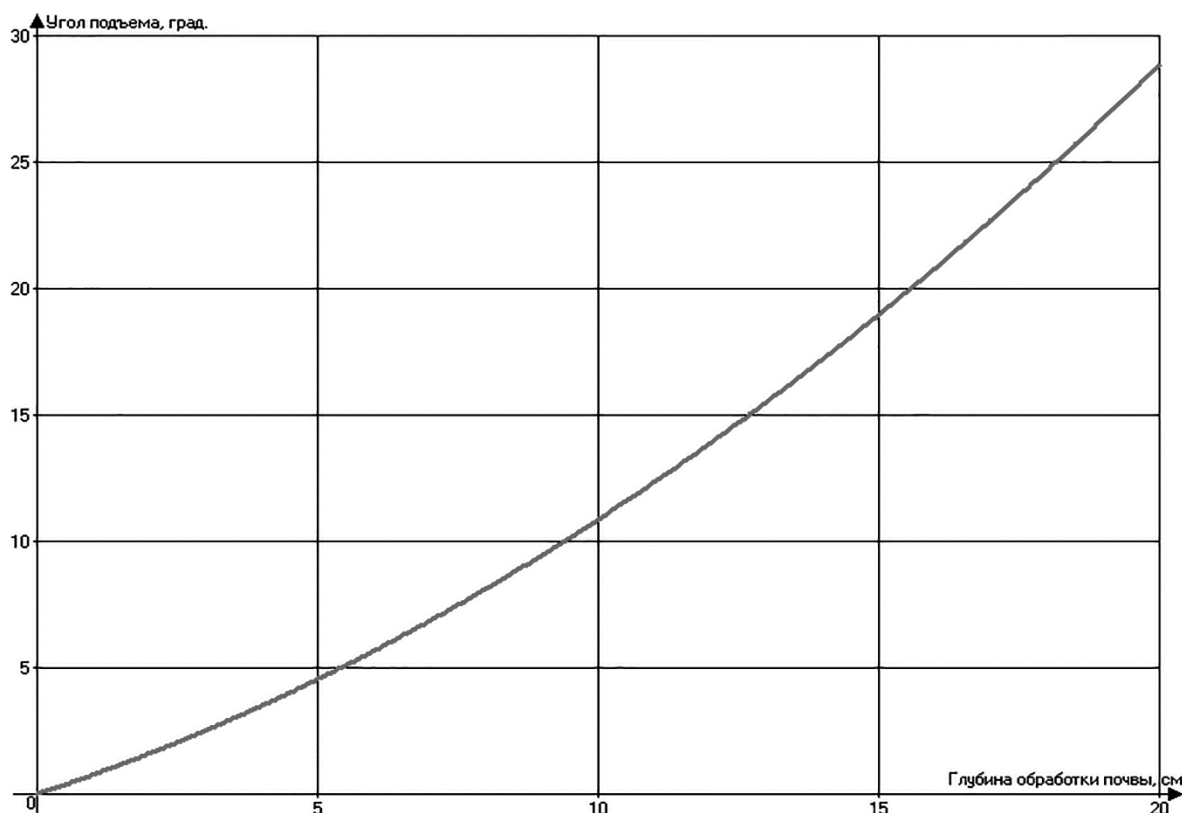


Рисунок 3.35 – Зависимость глубины обработки почвы от угла опускания навески трактора ($V = 7$ км/ч, $b = 2,5$ м)

Необходимо отметить, что угол подъема устройства также влияет на скорость движения МТА, так как изменяется тяговое сопротивление бороны. Результаты исследований представлены на рисунке 3.36. Полученная зависимость может быть описана уравнением (3.43):

$$a = 24 + 1,23V - 0,087V^2 \quad (3.43)$$

Установлено, что с уменьшением угла подъема устройства скорость движения МТА увеличивается. Так, при снижении угла подъема устройства с 25 до 8 градусов, скорость движения возросла с 7,3 до 13,4 км/ч.

Полученные опытные данные в рамках доверительного интервала соответствуют результатам теоретических исследований, что говорит об их достоверности.

В результате решения компромиссной задачи обоснованы следующие приемлемые значения при всех прочих равных условиях:

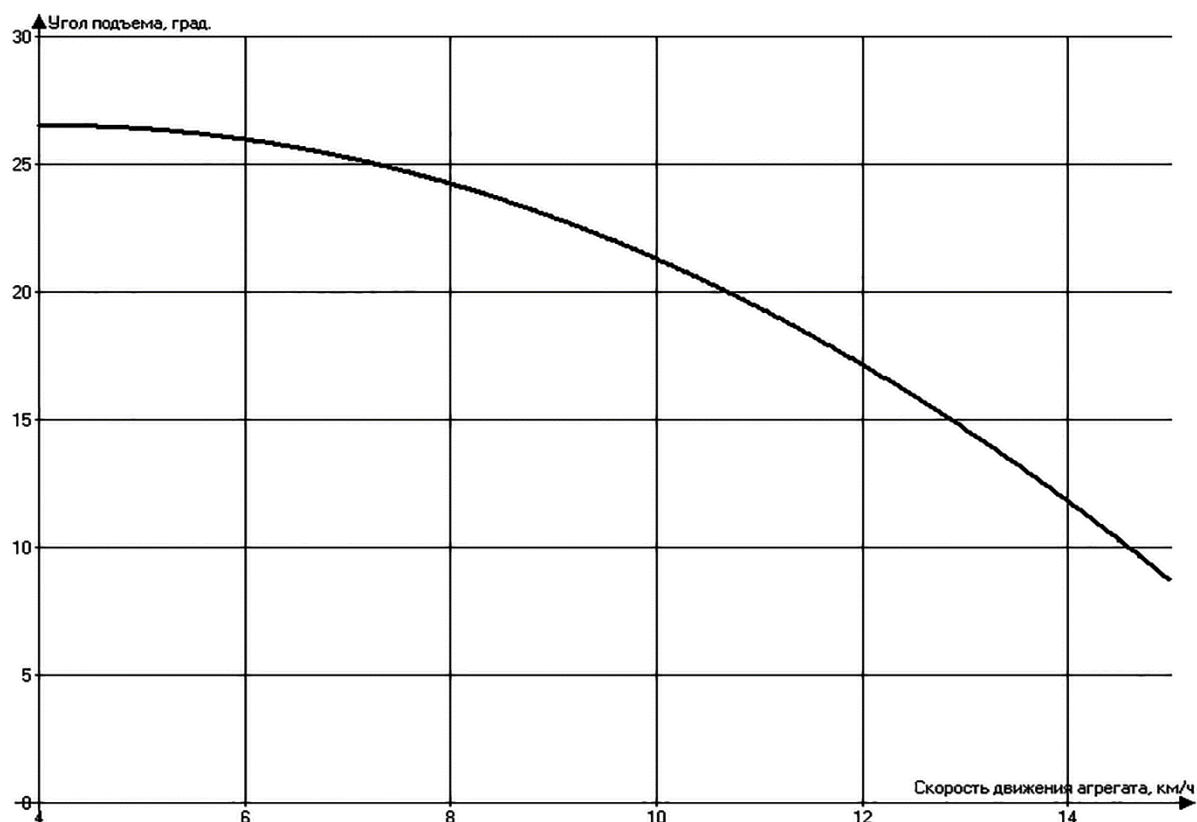


Рисунок 3.36 – Зависимости скорости движения агрегата от угла подъема ($b = 2,5$ м, $h = 16$ см)

1) при максимальной глубине обработки почвы угол подъема составляет 26–30 градусов, ширина захвата дисковой бороны – 2–2,2 метра, скорость движения агрегата – 9–10 км/час;

2) при максимальном угле подъема глубина обработки равна 19–20 см, скорость движения агрегата – 4–7 км/час, ширина захвата дисковой бороны – 2,9–3,0 метра;

3) при оптимальном значении скорости движения агрегата, составляющей 6–8 км/час, глубина обработки почвы равна 13,5–17 см, ширина захвата дисковой бороны – 2,4–3,0 метра, угол подъема – 23–30 градусов;

4) при максимальной ширине захвата угол подъема равен 26–30 градусов, глубина обработки почвы составляет 13–17 см, скорость движения агрегата – 11–12 км/час.

3.10 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на вертикальную нагрузку

Как отмечалось в первом разделе монографии, выпускаемые промышленностью дисковые бороны предназначены для работы на легких и средних почвах из-за сравнительно небольшой нагрузки на рабочий орган (диск). В этой связи при их эксплуатации на других типах почв они не могут выдерживать необходимую глубину обработки. Поэтому для адаптации данных борон к работе на тяжелых почвах они догружаются дополнительным балластом.

Теоретические расчеты показывают, что повысить вертикальную нагрузку на рабочий орган возможно за счет использования регулятора сцепного веса бороновального агрегата, который позволяет перераспределять вес внутри системы МТА. С этой целью нами проведены экспериментальные исследования по определению влияния регулятора сцепного веса бороновального агрегата на увеличение вертикальной нагрузки на рабочий орган (фрагмент опыта представлен на рисунке 3.37).



Рисунок 3.37 – Проведение измерений нагрузки, приходящейся на рабочий орган бороны

Во второй разделе монографии в результате проведенных теоретических исследований было установлено, что при работе предлагаемого устройства

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

можно регулировать перераспределение веса внутри МТА. Для подтверждения полученных результатов были проведены экспериментальные исследования, приведенные на рисунках 3.38, 3.39.

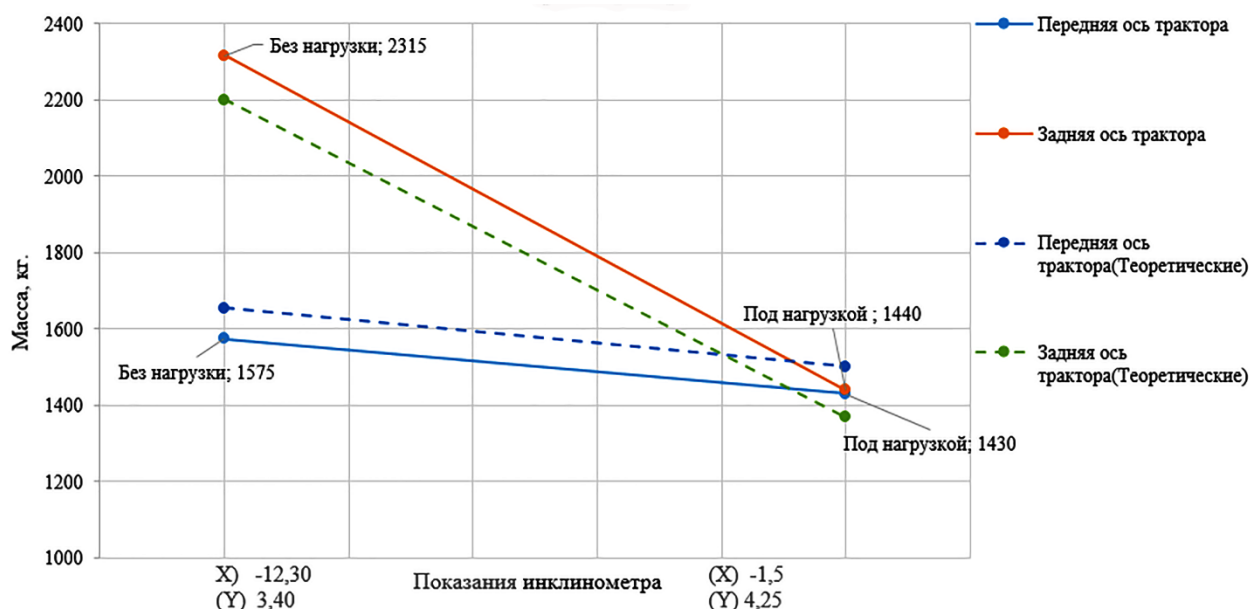


Рисунок 3.38 – Результаты исследований по перераспределению массы, приходящейся на оси трактора, при работе устройства

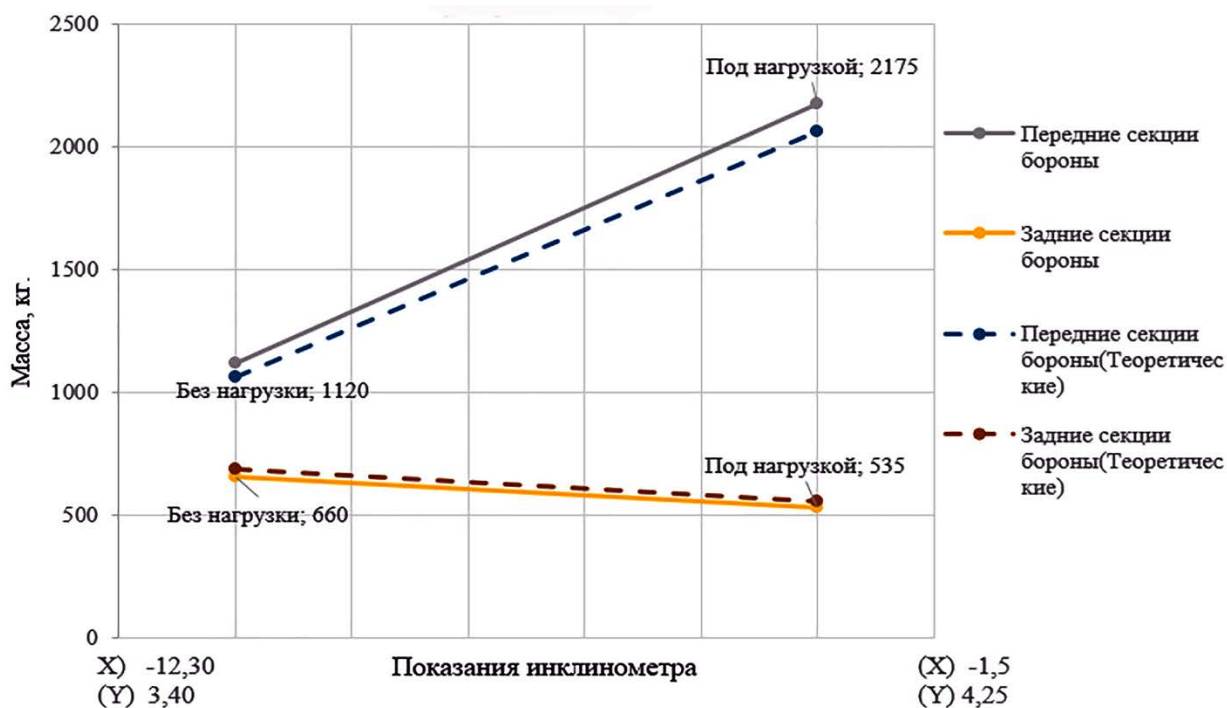


Рисунок 3.39 – Результаты исследований по перераспределению массы, приходящейся на секции бороны, при работе устройства

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при работе устройства с целью догрузки секций бороны произошло следующее перераспределения массы внутри МТА:

- 1) нагрузка на заднюю ось трактора снизилась с 2 315 до 1 440 кг;*
- 2) нагрузка на переднюю ось трактора снизилась 1 575 до 1 440 кг;*
- 3) нагрузка на передние секции бороны повысилась с 1 120 до 2 175 кг;*
- 4) нагрузка на задние секции бороны понизилась с 660 до 535 кг.*

При этом перераспределение нагрузки может быть описано уравнениями регрессии:

- 1) для передней оси трактора:*

$$y = -145x + 1720 \quad (3.44)$$

- 2) для задней оси трактора:*

$$y = -875x + 3190 \quad (3.45)$$

- 3) для передних секций бороны:*

$$y = 1055x + 65 \quad (3.46)$$

- 4) для задних секций бороны:*

$$y = -125x + 785 \quad (3.47)$$

Вышеизложенные результаты позволяют сделать вывод, что использование предлагаемого устройства позволяет перераспределять массу в системе МТА и тем самым корректировать его технологических свойства и энергетические показатели при почвенной обработке. Полученные результаты нашли отражение в опубликованных работах [103, 108].

В целях проверки параметров догружения трактора также проводились опытные исследования предлагаемой конструкции в режиме перераспределения веса с бороны на ходовую систему трактора. Фрагменты испытания пред-

3 Практическое решение задачи повышения эффективности использования бороновального агрегата при подготовке почвы

ставлены на рисунке 3.40. Результаты опыта показаны в виде графиков на рисунке 3.41.



Рисунок 3.40 – Проведение испытаний по перераспределению нагрузки

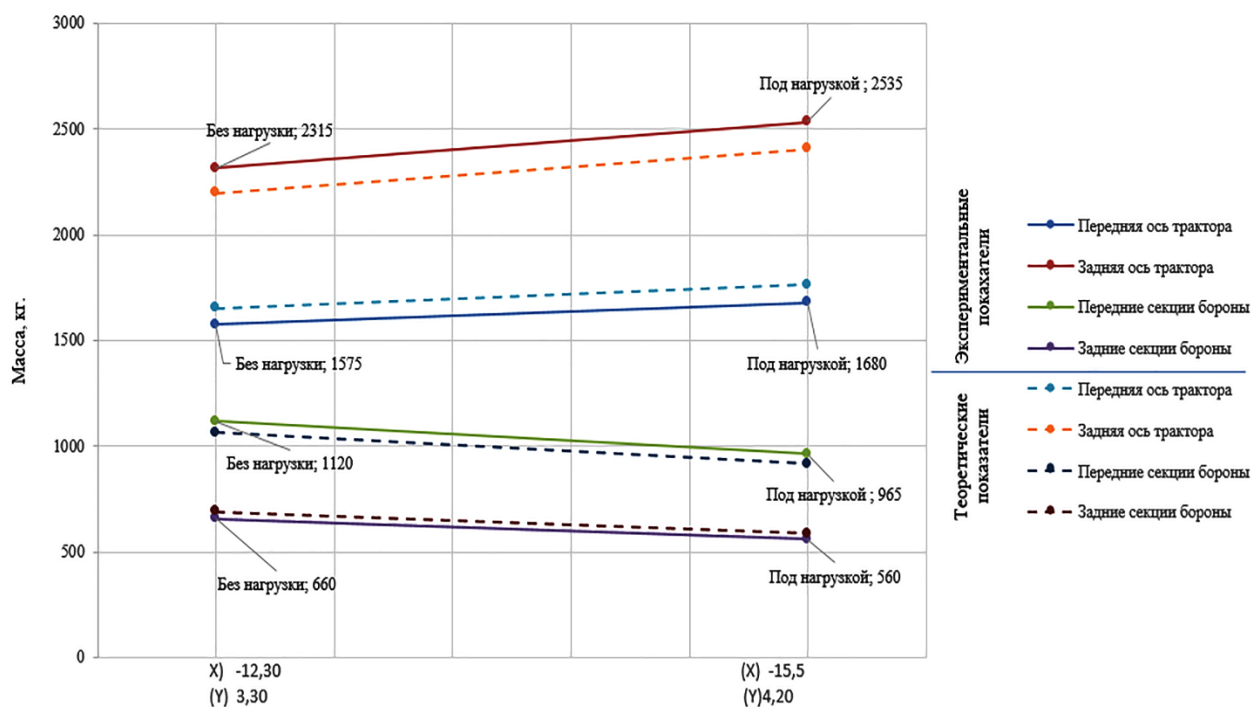


Рисунок 3.41 – Результаты экспериментальных исследований по перераспределению массы МТА при работе устройства в режиме догружения трактора

При этом перераспределение вертикальной нагрузки в системе МТА может быть описано уравнениями регрессии:

1) для передней оси трактора:

$$y = 105x + 1470 \quad (3.48)$$

2) для задней оси трактора:

$$y = 220x + 2095 \quad (3.49)$$

3) для передних секций бороны:

$$y = -155x + 1275 \quad (3.50)$$

4) для задних секций бороны:

$$y = -100x + 760 \quad (3.51)$$

Таким образом экспериментально зафиксировано снижение нагрузки:

1) на переднюю секцию бороны – на 155 кг;

2) на заднюю секцию бороны – на 100 кг.

В тоже время установлено увеличение вертикальной нагрузки:

1) на переднюю ось трактора – на 105 кг;

2) на заднюю ось трактора – на 220 кг.

Таким образом, *перераспределенная вертикальная нагрузка позволяет повысить тягово-сцепные свойства трактора, снизить величину буксования, увеличить скоростные и технологические характеристики МТА*. Как показали проведенные исследования, результаты теоретических и экспериментальных данных находятся в пределах доверительного интервала 3,5–5 %, что говорит об их достоверности.

По итогам экспериментального подтверждения теоретических данных оформлены и получены охранные свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

№ 2020615367 «*Определение силовых параметров при работе тросового корректора машинно-тракторного агрегата*» [94];

№ 2020615250 «*Программа измерения параметров распределения вертикальной нагрузки бороновального машинно-тракторного агрегата*» [93].

Также предложена конструкция догружающе-корректирующего

устройства для дискового луцильника, зарегистрированная патентом Российской Федерации № 271443 [90].

3.11 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

Во второй разделе монографии в результате проведенных теоретических исследований установлено, что использование предлагаемого устройства для перераспределения веса внутри машинно-тракторного агрегата увеличивает производительность за счет снижения величины буксования. С целью подтверждения полученных данных нами проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний на бороновании

Показатели	Состав МТА (МТЗ-80+БДТ-3)	
	серийный	экспериментальный
Длина гона, м	950	950
Ширина захвата конструктивная, м	3,00	3,00
Ширина захвата рабочая, м	2,92	2,93
Скорость движения, м/с	2,30	2,65
Производительность за один час времени движения, м/с	2,50	2,81
Производительность за один час основного рабочего времени, м/с	2,83	3,02
Коэффициент использования времени движения	0,88	0,86
Коэффициент использования времени смены	0,83	0,85
Расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га	7,5	6,9

Анализ данных показывает, что использование машинно-тракторного агрегата (МТЗ-80+БДТ-3) с установленным устройством на бороновании позволило повысить производительность за один час основного рабочего времени на 14 % и снизить расход топлива на единицу обработанной площади на 8,6 % по сравнению тем же агрегатом, работающим в серийном варианте.

3.12 Результаты тяговых испытаний

Результаты тяговых испытаний представлены по мощностному балансу (3.52), как наиболее полно раскрывающему распределение мощности [36–43]:

$$N_e = N_{кр} + N_{тр} + N_{\delta} + N_f \quad (3.52)$$

где N_e – эффективная мощность, кВт;

$N_{кр}$ – тяговая мощность, кВт;

$N_{тр}$ – мощность, затрачиваемая на механические потери, кВт;

N_{δ} – мощность, затрачиваемая на буксование, кВт;

N_f – мощность, затрачиваемая на качение, кВт.

Для построения мощностного баланса определим его составляющие. Мощность, затрачиваемую на механические потери при постоянной нагрузке двигателя, принято считать постоянной:

$$N_{тр} = N_e \cdot (1 - \eta_{тр}) \quad (3.53)$$

где $\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии.

Мощность, затрачиваемая на буксование, определяется с использованием формулы (3.54):

$$N_{\delta} = N_{кр} \cdot \delta \quad (3.54)$$

Мощность, затрачиваемую на качение трактора, находим, применяя формулу (3.55):

$$N_f = 10^{-3} \cdot f \cdot G_{тр} \cdot V_t \cdot (1 - \delta) \quad (3.55)$$

где f – коэффициент сопротивления качению.

Распределение составляющих мощностного баланса трактора МТЗ-80 с бороной БДТ-3 в серийном и экспериментальном варианте (с установленным устройством) при максимальной тяговой мощности приведено на диаграммах 3.42, 3.43. Анализ результатов тяговых испытаний показал, что произошло перераспределение составляющих мощностного баланса как у серийного, так и

у экспериментального трактора. Снижение мощности, затрачиваемой на буксование, у экспериментального трактора по сравнению с серийным составило с 15,18 до 10,25 %.

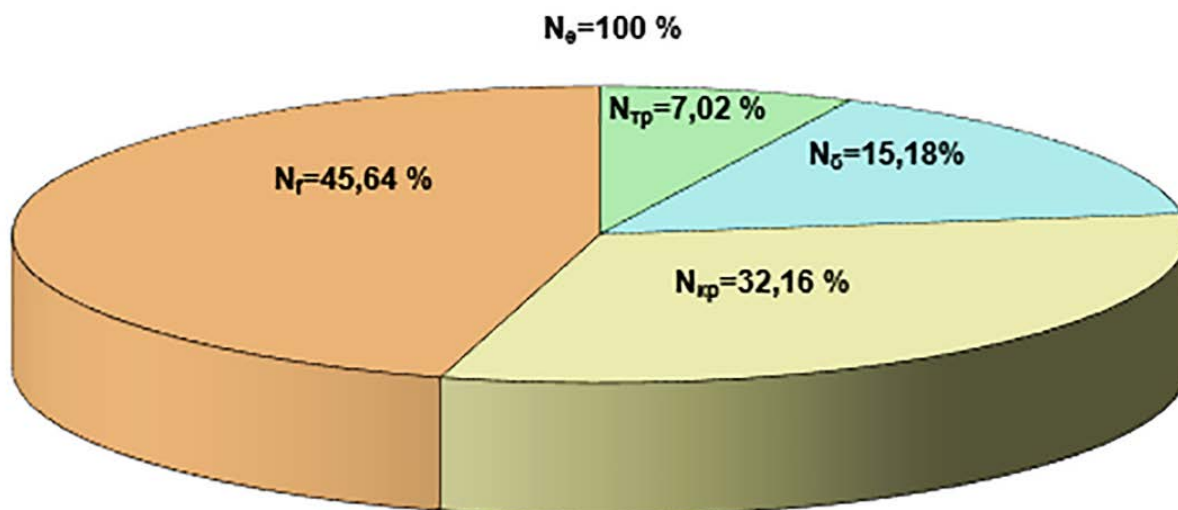


Рисунок 3.42 – Диаграмма распределения мощностного баланса серийного трактора (максимальная тяговая мощность)

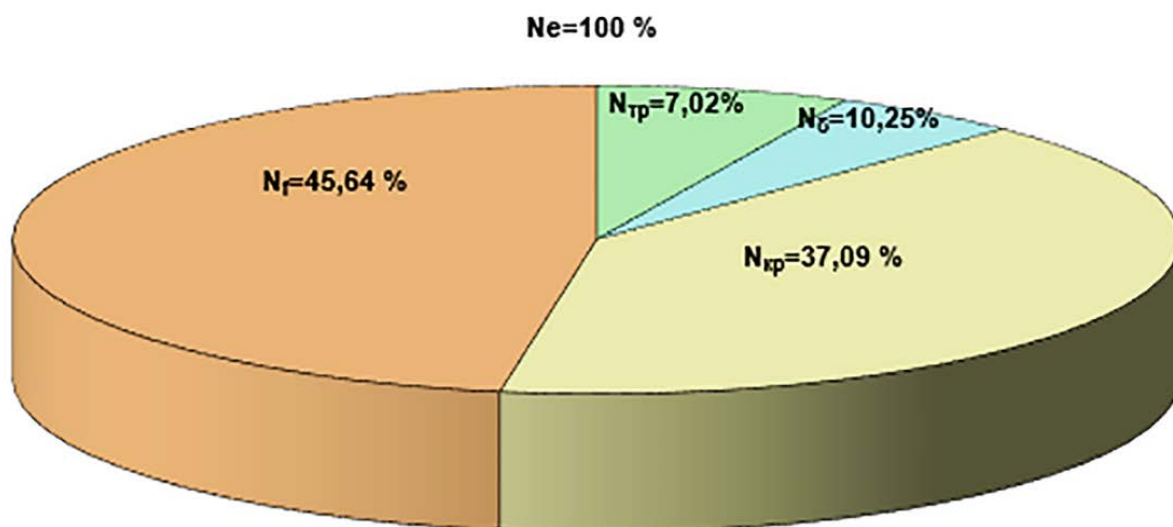


Рисунок 3.43 – Диаграмма распределения мощностного баланса экспериментального трактора (максимальная тяговая мощность)

Анализ диаграмм мощностного баланса подтвердил, что использование предлагаемого устройства позволяет повысить тягово-сцепные свойства по сравнению с серийным трактором за счет перераспределения сцепного веса в системе МТА. Установлено, что при максимальной тяговой мощности, за счет

снижения буксования, у экспериментального трактора возрастает реализуемая крюковая мощность на 4,3 %.

3.13 Результаты определения качественных показателей экспериментального МТА на бороновании

При проведении наблюдений проводились измерения глубины обработки почвы (рис. 3.44 и 3.45).



**Рисунок 3.44 – Измерение глубины обработки почвы
после прохода серийной бороны БДТ-3**

Как показали исследования, глубина обработки почвы составила у серийного МТА – 0,1 метра, у экспериментального – 0,16 метра. Таким образом, за счет изменения нагрузки, приходящейся на рабочий орган бороны, можно изменять глубину обработки без использования каких-либо дополнительных догрузителей, за счет перераспределения веса в системе МТА.

Выравненность поверхности поля после прохода бороны составила: у экспериментального МТА – 3 балла, а у серийного – 2 балла. Это объясняется тем, что при увеличении нагрузки на рабочий орган бороны происходит лучшая

выравниваемость по причине снижения обратного отрицательного воздействия почвы на диски бороны и увеличения вертикальной нагрузки, передаваемой на борону.



Рисунок 3.45 – Измерение глубины обработки почвы после прохода экспериментальной бороны БДТ-3

Комковатость почвы составила у экспериментального и серийного машинно-тракторных агрегатов по 2 балла.

При проведении исследований измерялась влажность почвы с использованием полупроводникового зонда РМ S710 с длиной погружного элемента, составляющей 30 см. Показатель влажности на момент проведения опыта на глубине 0,1 м оказался равен 15 %.

Выводы по разделу

Проведенные сравнительные испытания и полевые эксперименты показали, что **применение регулятора сцепного веса бороновального агрегата позволяет:**

- 1. Регулировать вертикальную нагрузку на рабочие органы бороны*

(диски) в рамках догрузки передних секций на 1 055 кг, при разгрузке задних секций бороны на 125 кг, за счет разгрузки ходовой системы трактора: передняя ось трактора – на 145 кг, задняя ось трактора – на 695 кг.

2. Увеличить тягово-сцепные свойства мобильного энергетического средства при снижении величины буксования и увеличении скоростных характеристик МТА.

3. Повысить производительность за один час основного рабочего времени и при этом снизить удельный расход топлива в сравнении с серийным мобильным энергетическим средством.

4. Увеличить тяговую мощность экспериментального мобильного энергетического средства при одновременном снижении мощности, затрачиваемой на буксование.

5. Повысить качество и глубину обработки почвы при проведении технологической операции боронования.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенности функционирования сельскохозяйственной отрасли неразрывно связаны с тем, что в качестве объекта воздействия энергетических технологий чаще всего выступают почва, растения, животные. Это накладывает отпечаток на особенности потребления и распределения энергии, а также возможные энергетические источники.

В настоящее время энергоемкость производимой продукции выступает как фактор конкурентоспособности. При плановой модели хозяйствования отмечалась устойчивая тенденция к повышению энергоемкости сельскохозяйственного производства. При этом прирост валовой продукции сельского хозяйства на один процент достигался повышением на 1,8–2,7 % используемых энергетических мощностей.

В последнее время энергоемкость средств производства только повышалась. При этом потребление овеществленной энергии возросло в 3,5 раза, а прирост растениеводческой и животноводческой продукции составил соответственно всего 25 и 35 %.

Для увеличения производства продукции сельское хозяйство должно развиваться интенсивно, используя инновационные энергоресурсосберегающие технологии, а этот процесс неразрывно связан с возрастанием потребления энергии: на сегодняшний день прирост продукции на один процент влечет за собой увеличение расхода энергоресурсов на 2–3 %. В животноводстве потребляется 18–22 % жидкого топлива и 19–20 % электрической энергии от всех энергоресурсов, используемых на производственные цели в сельском хозяйстве. В России на каждый гектар пашни затрачивается до 250–280 кг условного топлива, тогда как, например, в США – не более 140 кг.

В настоящее время одним из основных направлений развития АПК является использование энергосберегающих технологий. Существующая традиционная оценка эффективности использования различной сельскохозяйственной техники проводилась по приведенным затратам, рентабельности, прибыли и ряду других показателей [73, 75].

Однако в последние годы денежный эквивалент не всегда показывает истинное состояние дел. Поэтому возникает необходимость нахождения постоянного оценочного эквивалента, в частности за счет учета затрачиваемой и получаемой энергии, что позволяет более достоверно анализировать эффективность использования технологий и средств механизации [73, 75].

Использование энергетического показателя в качестве критерия дает следующие преимущества [73, 75]:

- 1) отсутствие зависимости от политики ценообразования;
- 2) предоставляется возможность затраты на производство сельскохозяйственной продукции выражать в одних единицах (джоуль);
- 3) допускается переход к оценке эффективности производства в денежном выражении.

Энергетический анализ, в конечном итоге, не заменяет, а дополняет и расширяет возможности более детального экономического анализа, что позволяет находить новые способы экономии энергозатрат, за счет применения энергосберегающих технологий и средств механизации.

При определении эффективности применения колесного трактора класса 1,4 учитывались методические нормативные материалы.

Исходные данные для расчета взяты из проведенных хронометражных наблюдений за работой МТА. Расчет эффективности выполнен по методике, изложенной в работах [73, 75].

Затраты живого труда определяли по формуле (4.1):

$$E_{\text{ж}} = \frac{a_{\text{ж}} \cdot n_{\text{ч}}}{W_{\text{см}}} \quad (4.1)$$

где $a_{\text{ж}}$ – энергетический эквивалент живого труда, МДж/ч;

$n_{\text{ч}}$ – численность трактористов, чел.;

$W_{\text{см}}$ – производительность МТА, га/ч.

Прямые затраты энергии определяли с использованием формулы (4.2):

$$E_{\text{п}} = H_{\text{т}} \cdot (a_{\text{т}} + f_{\text{т}}) \quad (4.2)$$

где $H_{\text{т}}$ – расход топлива, кг/га;

$a_{\text{т}}$ – теплосодержание топлива, МДж/кг;

$f_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, МДж/кг.

Удельная энергоёмкость трактора в расчете на один час работы рассчитывается по формуле (4.3):

$$E_{\text{т}} = \frac{M_{\text{т}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot (K_{\text{т}} + K_{\text{тк}} + K_{\text{тр}})}{100 \cdot T_{\text{нт}}} \quad (4.3)$$

где $M_{\text{т}}$ – масса энергетического средства, кг;

$C_{\text{тр}}$ – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг;

$K_{\text{т}}$, $K_{\text{тк}}$, $K_{\text{тр}}$ – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт энергетического средства;

$T_{\text{нт}}$ – годовая загрузка тракторов, ч.

Тогда удельная энергоёмкость сельскохозяйственной машины составит:

$$E_{\text{м}} = \frac{M_{\text{м}} \cdot П_{\text{м}} \cdot (\Phi_{\text{м}} + \Phi_{\text{мк}})}{100 \cdot T_{\text{нт}}} \quad (4.4)$$

где $M_{\text{м}}$ – масса сельскохозяйственной машины, кг;

$П_{\text{м}}$ – энергетический эквивалент сельскохозяйственной машины, МДж/кг;

$\Phi_{\text{м}}$, $\Phi_{\text{мк}}$ – отчисления на реновацию и ремонт машины, %;

$T_{\text{нт}}$ – годовая загрузка сельскохозяйственной машины, ч.

Суммарная энергоёмкость энергетического средства и сельскохозяйственной машины в расчете на 1 га устанавливается по формуле (4.5):

$$E_{\text{тм}} = \frac{E_{\text{т}} + E_{\text{м}}}{W_{\text{см}}} \quad (4.5)$$

Совокупные или полные энергозатраты составят:

$$E_{\text{ТП}} = E_{\text{П}} + E_{\text{Ж}} + E_{\text{ТМ}} \quad (4.6)$$

Экономию полных энергозатрат рассчитывают по формуле (4.7):

$$\Delta E_{\text{ТП}} = E_{\text{ТНБ}} - E_{\text{ТПП}} \quad (4.7)$$

где $E_{\text{ТНБ}}$ – совокупные энергозатраты базовой машины, МДж/га;

$E_{\text{ТПП}}$ – совокупные энергозатраты новой машины, МДж/га.

Произведем расчет эффективности использования на дисковании почвы серийного трактора класса 1,4 и опытного трактора с устройством для перераспределения сцепного веса.

Для серийного машинно-тракторного агрегата в составе трактора МТЗ-80 и бороны БДТ-3:

1. $E_{\text{ПС}} = 1,9 \cdot (42,7 + 10) = 100,13 \text{ МДж/га.}$

2. $E_{\text{ЖС}} = \frac{1 \cdot 1,26}{2,5} = 0,504 \text{ МДж/га.}$

3. $E_{\text{ТС}} = \frac{3160 \cdot 86 \cdot (10 + 14,9)}{100 \cdot 1095} = 61,79 \text{ МДж/га.}$

4. $E_{\text{МС}} = \frac{195 \cdot 1328 \cdot (14,2 + 7)}{100 \cdot 150} = 365,99 \text{ МДж/га.}$

5. $E_{\text{ТПРС}} = \frac{61,79 + 365,99}{2,5} = 208,2 \text{ МДж/га.}$

6. $E_{\text{ТПС}} = 100,13 + 0,504 + 208,2 = 308,8 \text{ МДж/га.}$

Для экспериментального машинно-тракторного агрегата:

1. $E_{\text{ПЭ}} = 1,6 \cdot (42,7 + 10) = 84,32 \text{ МДж/га.}$

2. $E_{\text{ЖЭ}} = \frac{1 \cdot 1,26}{2,83} = 0,445 \text{ МДж/га.}$

3. $E_{\text{ТЭ}} = \frac{3200 \cdot 86 \cdot (10 + 14,9)}{100 \cdot 1095} = 61,79 \text{ МДж/га.}$

4. $E_{\text{МЭ}} = \frac{195 \cdot 1328 \cdot (14,2 + 7)}{100 \cdot 150} = 365,99 \text{ МДж/га.}$

5. $E_{\text{ТПРЭ}} = \frac{61,79 + 365,99}{2,83} = 191,11 \text{ МДж/га.}$

$$6. E_{\text{тпз}} = 84,32 + 0,445 + 191,11 = 275,875 \text{ МДж/га.}$$

Следовательно, экономия полных энергозатрат составит:

$$308,8 - 275,87 = 32,93 \frac{\text{МДж}}{\text{га}}.$$

Систематизируем расчеты в таблице 4.1. Таким образом, использование трактора класса 1,4 с устройством для перераспределения веса МТА на бороновании позволяет снизить энергозатраты на 32,93 МДж/га по сравнению с серийным вариантом. При использовании МТА с устройством для перераспределения сцепного веса годовой экономический эффект только на бороновании в перерасчете на денежный эквивалент будет равен 38,6 руб./га.

Таблица 4.1 – Топливо-энергетическая оценка проведенных исследований
В мегаджоулей на один гектар

Показатели	МТА класс 1,4 (МТЗ-80+БДТ-3)	
	серийный	предлагаемый
Прямые затраты	100,130	84,320
Затраты живого труда	0,504	0,445
Суммарная энергоёмкость МТА	208,200	191,110
Совокупные энергозатраты	308,800	275,875
Экономия полных энергозатрат	–	32,930

Для крестьянского (фермерского) хозяйства с посевными площадями до 400 га общая экономия при внедрении предложенных конструкций в принятую технологию растениеводства составит 16 966 руб. на одну используемую техническую единицу (принят уровень средних цен на дизельное топливо на февраль 2022 г. по Дальневосточному федеральному округу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и производственных испытаний, проведенных для решения научной задачи по повышению эффективности использования колесных машинно-тракторных агрегатов на бороновании за счет совершенствования конструктивно-технологических параметров дисковых борон, сформулированы следующие научно обоснованные выводы:

1. Проведенный анализ существующих приемов и методов почвенной обработки, конструктивных особенностей технических средств, предназначенных для боронования почвы, позволил определить их влияние на эффективность использования МТА в условиях зон рискованного земледелия.

2. Разработаны технологические требования, конструктивные особенности и предложена схема устройства для перераспределения сцепного веса в составе бороновального МТА. Сформулированы требования к перспективной конструкции бороновального агрегата, использующего модульные принципы построения и механизмы перераспределения веса, как наиболее оптимальные для использования в условиях агропромышленного комплекса области.

3. Теоретически обосновано и экспериментально проверено влияние перераспределения сцепного веса на эффективность использования и технологические показатели МТА при бороновании. Так, перераспределение нагрузки в режиме догружения на борону позволило повысить вертикальную нагрузку на рабочие органы бороны (диски) в рамках догружения передних секций на 1 055 кг, при разгрузке задних секций бороны – на 125 кг; за счет разгрузки ходовой системы трактора: передняя ось трактора – на 145 кг, задняя ось трактора – на 695 кг. Проведение боронования на суглинистых почвах средней степени влажности показало увеличение глубины боронования в сравнении с обработкой серийным агрегатом в 1,6 раза (с 0,1 до 0,16 м).

4. Перераспределение нагрузки в режиме догружения с бороны на опоры

трактора составило: на переднюю ось трактора – 105 кг; на заднюю ось трактора – 220 кг; при разгрузке передней секции бороны – на 150 кг; задней секции бороны – на 100 кг. Обеспечено повышение тягового усилия МТА. При максимальной тяговой мощности произошло снижение мощности, затрачиваемой на буксование, у экспериментального трактора по сравнению с серийным с 15,18 до 10,25 %.

5. Проведенные сравнительные хозяйственные испытания экспериментального и серийного МТА в производственно-климатических условиях Амурской области при обработке почвы показали, что использование трактора МТЗ-80 с бороной БДТ-3 с установленным устройством на бороновании позволило повысить производительность за один час основного рабочего времени на 14 % при снижении расхода топлива на единицу обработанной площади на 8,6 % по сравнению с агрегатом, работающим в серийном варианте.

6. Экономическая и топливно-энергетическая оценка проведенных исследований показала, что общая экономия полных энергозатрат при бороновании составила 32,93 МДж/га. Таким образом, для крестьянских (фермерских) хозяйств с посевными площадями до 400 га общая экономия в денежном эквиваленте при внедрении предложенных конструкций в принятую технологию растениеводства составит 16 966 руб. на одну используемую техническую единицу при однократной обработке (принят уровень средних цен на дизельное топливо на февраль 2022 г. по Дальневосточному федеральному округу).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаев В. В. Оптимизация машинно-технологического обеспечения ресурсосберегающих процессов уборки зерновых культур в регионах с широким диапазоном распределения урожайности (на примере Краснодарского края) : дис. ... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2012. 336 с.
2. Абидуллин С. Н., Кузнецов Н. Г. Использование гидроувеличителя сцепного веса трактора класса 1,4 с упругой навеской на почвах пониженной влажности // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 6. С. 11–12.
3. Агейкин А. С. Проходимость автомобилей. М. : Машиностроение, 1981. 27 с.
4. Алдошин Н. В. Анализ составляющих эксплуатационного времени при помощи дискретных математических моделей // Эксплуатационная обеспеченность интенсивных технологических процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. М. : Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства, 1988. С. 98–104.
5. Алдошин Н. В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 3. С. 5–7.
6. Алдошин Н. В., Дидманидзе Р. Н. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ // Международный технико-экономический журнал. 2013. № 5. С. 67.
7. Арютов Б. А., Новожилов А. И., Пасин А. В. Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 6. С. 50–51.
8. Алдошин Н. В., Пехутов А. С. Повышение производительности при пе-

ревозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.

9. Асманкин Е. М. К вопросу о снижении буксования колесной машины // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 7. С. 28–29.

10. Асманкин Е. М., Юмакаева С. В., Фомин М. Б., Балмугамбетова А. Ж. К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 77–79.

11. Баранский А. Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных трактора. Минск : Урожай, 1968. 255 с.

12. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутьков Г. М. Динамика трактора. М. : Машиностроение, 1973. 280 с.

13. Беккер М. Г. Введение в теорию систем «местность – машина». М. : Машиностроение, 1973. 520 с.

14. Белковский В. Н., Пачев В. П., Русанов В. А. Рекомендации по определению параметров шин для сельскохозяйственной техники, обеспечивающих требования государственного стандарта по допустимому воздействию на почву. М. : Всесоюзный НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, 1987. 20 с.

15. Беляев В. И. К вопросу рационального использования новой почвообрабатывающей техники // Мой Алтай: село и город. 2000. № 12. С. 13–15.

16. Беляев В. И. Ресурсосберегающие технологии – основа высоких урожаев и качества зерна // Ресурсосберегающее земледелие. 2011. № 5 (9). С. 7–9.

17. Бируля А. К. Исследование взаимодействия колес с поверхностью качения как основа оценки проходимости // Проблемы повышения проходимости колесных машин. М. : Издательство Академии наук СССР, 1959. С. 11–118.

18. Болотов А. К., Гуревич А. М., Фортуна В. И. Эксплуатация сельскохозяйственных тракторов : справочник. М. : Колос, 1994. 495 с.

19. Болтинский В. Н. Развитие научных исследований по созданию скоростных машинно-тракторных агрегатов и внедрение их в производство // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1969. № 7. С. 8–11.

20. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Горюнов М. С. Совершенствование агротехнологий и технических средств для поверхностной обработки почвы // Инновационно-технологические основы развития земледелия. Курск, 2006. С. 77–88.

21. Бурлака В. В. Биологические основы растениеводства на переувлажненных почвах Дальнего Востока. Хабаровск : Дальневосточный НИИ сельского хозяйства, 1967. 279 с.

22. Важенин А. Н. Обоснование технологических уровней и разработка ситуационных методов повышения эффективности производственных процессов в растениеводстве : дис. ... докт. техн. наук. Нижний Новгород, 1992. 363 с.

23. Веденяпин Г. В., Киртбая Ю. К., Сергеев М. П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М. : Сельхозиздат, 1963. 431 с.

24. Гапич Д. С. Стабилизация режимов нагружения колесных машинно-тракторных агрегатов : дис. ... докт. техн. наук. Волгоград, 2014. 343 с.

25. Геращенко В. В., Жадик П. В. Выбор параметров системы управления подачей топлива // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1999. № 10. С. 24–27.

26. Геращенко В. В., Жадик П. В., Жадик А. В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2002. № 5. С. 14–15.

27. Геронимус Б. Л., Цапфин Л. В. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. М. : Транспорт, 1982. 192 с.

28. Гоберман В. А. О проектировании транспорта в сельскохозяйственном производстве // Научные труды всесоюзного института механизации. М. : Всесоюзный НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, 1965. С. 212–232.

-
29. Городецкий К. И. Тяговый КПД трактора при переменном кинематическом рассогласовании ведущих колес // Тракторы и сельхозмашины. 1982. № 2. С. 22–24.
30. Горшков Ю. Г., Богданов А. В., Аверьянов И. Ю. Повышение тягово-сцепных свойств колесных машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 12. С. 20–22.
31. Государственная инспекция по контролю за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники : [сайт]. URL: <https://igtn.amurobl.ru/> (дата обращения: 12.02.2022).
32. ГОСТ 26244–84. Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. М. : Издательство стандартов, 1984. 8 с.
33. ГОСТ 23730–88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. М. : Издательство стандартов, 1988. 26 с.
34. ГОСТ 12.2.002–91. Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. М. : Издательство стандартов, 2001. 93 с.
35. ГОСТ 30745–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. М. : Издательство стандартов, 2002. 22 с.
36. ГОСТ 30746–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение мощности и грузоподъемности гидравлической навесной системы. М. : Издательство стандартов, 2002. 16 с.
37. ГОСТ 30750–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. М. : Издательство стандартов, 2002. 22 с.
38. ГОСТ 30752–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение наименьшего и габаритного диаметров окружности поворота. М. : Издательство стандартов, 2002. 9 с.

39. ГОСТ 7057–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М. : Издательство стандартов, 61 с.
40. ГОСТ 20915–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М. : Стандартинформ, 2020. 23 с.
41. ГОСТ Р 54784–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. М. : Стандартинформ, 2020. 19 с.
42. ГОСТ 33691–2015. Испытания сельскохозяйственной техники. Метод определения угла поперечной статической устойчивости. М. : Стандартинформ, 2016. 20 с.
43. ГОСТ 24055–2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. М. : Стандартинформ, 2017. 39 с.
44. Гуськов Ю. А. Проектирование транспортно-технологических процессов в земледелии Сибири : монография. Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2013. 152 с.
45. Гуськов Ю. А. Рациональные технологические схемы и технические средства для сбора и транспортировки грубых кормов : монография. Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2006. 150 с.
46. Гуськов Ю. А. Совершенствование сборочно-транспортного процесса и технологических средств на заготовке грубых кормов : дис. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 2007. 211 с.
47. Гуськов В. В., Велев Н. Н., Атаманов Ю. Е. Тракторы. Теория. М. : Машиностроение, 1988. 376 с.
48. Демин Е. Е., Левченко Г. В., Хакимзянов Р. Р. Транспорт в сельскохозяйственном производстве : учебное пособие. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет, 2005. 135 с.
49. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике: методы обработки данных. М. : Мир, 1980. 610 с.

50. Емельянов А. М. Математическое моделирование исследования криволинейного движения трактора МТЗ-82 со сдвоенными колесами // Дальневосточный аграрный вестник. 2007. № 1. С. 101–109.

51. Емельянов А. М., Гуров А. М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента : учебное пособие. Благовещенск : Благовещенский сельскохозяйственный институт, 1984. 61 с.

52. Жадик П. В., Жадик А. В., Геращенко В. В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора при заданной глубине обработки почвы // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 3. С. 27–28.

53. Жадик П. В., Жадик А. В., Лустенков М. Е. Автоматический корректор вертикальных нагрузок по буксованию // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 4. С. 24–25.

54. Жирова З. В. Ареалы эффективности возделывания сельскохозяйственных культур – резерв улучшения использования ресурсного потенциала в аграрном секторе республики // Современные проблемы АПК : сб. науч. тр. Майкоп : Майкопский государственный технологический университет, 2008. С. 28–34.

55. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. М. : Колос, 1973. 318 с.

56. Завалишин Ф. С., Волощенко А. Е. Исследования работы различных схем тракторного транспорта в труднопроходимых дорожных условиях // Улучшение эксплуатации МТА, совершенствование конструкции и ремонта сельскохозяйственной техники : сб. науч. тр. Воронеж : Воронежский сельскохозяйственный институт, 1974. С. 11–15.

57. Завалишин Ф. С., Волощенко А. Е. Энергетика седельного тракторно-транспортного агрегата // Улучшение эксплуатации МТА, совершенствование конструкции и ремонта сельскохозяйственной техники : сб. науч. тр. Воронеж : Воронежский сельскохозяйственный институт, 1974. С. 3–11.

58. Зональная система технологий и машин для растениеводства Дальнего Востока на 2006–2015 гг. (регистры технологий и машин) / под ред. Ю. В. Терентьева, Б. И. Кашпуры, И. В. Бумбара. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2005. 486 с.

59. Измайлов А. Ю. Перспективная потребность сельского хозяйства в автомобилях повышенной проходимости // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 6. С. 34–35.

60. Измайлов А. Ю. Повышение уровня использования транспорта в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 2. С. 8–10.

61. Измайлов А. Ю. Транспортные системы в сельском хозяйстве на базе контейнерных технологий // Техника и оборудование для села. 2007. № 3. С. 22–23.

62. Измайлов А. Ю., Евтушенков Н. Е. Развитие транспорта в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве. 2006. № 1. С. 3–4.

63. Иофинов С. А., Цырин А. А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве. Л. : Колос, 1975. 228 с.

64. Климанов А. В. Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств сельскохозяйственных тракторов. Куйбышев : Волжская коммуна, 1982. 93 с.

65. Кобяков И. Д. Качество обработки почвы дисковыми рабочими органами // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 5. С. 38–39.

66. Колобов Г. Г., Парфенов А. П. Тяговые характеристики тракторов. М. : Машиностроение, 1972. 151 с.

67. Кононов А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистой почве Белоруссии : автореферат дис. ... докт. техн. наук. Горки, 1974. 35 с.

68. Копелянец В. И. Экономика и организация транспорта в сельском хозяйстве. М. : Колос, 1969. 270 с.

69. Кошарный Н. Ф. Техничко-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости. Киев : Высшая школа, 1981. 207 с.

70. Кривуца З. Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2015. 362 с.

71. Кряжков В. М., Антышев Н. М., Евтушенков Н. Е., Сметнев С. Д. Разработка систем транспортно-технологических процессов в АПК // Техника в сельском хозяйстве. 1997. № 1. С. 27–30.

72. Ксенович И. П., Антимончик С. Ф., Ионов А. М. Реализация тяги трактора класса 1,4 тонны со спаренными широкопрофильными шинами // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1979. № 4. С. 5–7.

73. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4 : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2013. 153 с.

74. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Методологическое обоснование выбора конструкции устройств рационального перераспределения сцепного веса // АгроЭкоИнфо. 2016. № 2 (24).

75. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.

76. Кычев В. Н., Цхварадзе Р. С. Влияние коэффициента распределения мощности между валом отбора мощности и ведущими колесами на коэффициент полезного действия трактора // Совершенствование методов использования и обслуживания сельскохозяйственной техники : сб. научн. тр. Челябинск : Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 1984. С. 24–31.

77. Лефатов А. Х., Стефанов Е. А., Кабанов Б. И. К вопросу о КПД колесного движителя многоприводного автомобиля // Автомобильная промышленность. 1976. № 12. С. 17–19.

78. Литвинов А. С., Медведков В. И., Ротенберг Р. В., Фрумкин А. К. Теория и конструкция боевых колесных машин. М. : Академия БТВ, 1969. 412 с.
79. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Л. : Колос, 1970. 376 с.
80. Львов Е. Д. Теория трактора. М. : Машгиз, 1960. 252 с.
81. Махмутов М. М. Повышение тягово-сцепных свойств колесных движителей машинно-тракторных агрегатов : дис. ... докт. техн. наук. М., 2011. 443 с.
82. Мелехов В. Н. О влиянии изменения сцепного веса колесного трактора на его тяговые показатели на почве повышенной влажности // Сборник научных трудов Саратовского института механизации сельского хозяйства. Саратов, 1970. Вып. 43. С. 71–73.
83. Министерство сельского хозяйства Амурской области : [сайт]. URL: <http://www.agro.amurobl.ru/> (дата обращения: 20.08.2023).
84. Миронюк С. К. Использование транспорта в сельском хозяйстве. М. : Колос, 1982. 287 с.
85. Михайлов А. В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колесных тракторов класса 1,4 : дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2004. 233 с.
86. Назаров Г. Н. Исследование эффективности гидроувеличителя сцепного веса колесного мобильного энергетического средства // Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства. Челябинск, 1967. Вып. 26. С. 12–18.
87. Новожилов А. И. Повышение эффективности механизированных технологических комплексов в растениеводстве с учетом сезонных условий их использования : дис. ... докт. техн. наук. Нижний Новгород, 2011. 378 с.
88. Носов С. В. Упрощенная методика определения вертикальной дефор-

мации слоя почвогрунта после прохода пневмоколеса // Проблемы проектирования, испытаний, эксплуатации и маркетинга автотракторной техники, строительного-дорожных машин, транспортно-технологических комплексов и вездеходов : материалы междунар. конф. Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет, 2000. С. 98–102.

89. Патент № 196181 Российская Федерация. Регулятор сцепного веса бороновального агрегата : № 2019130426 : заявл. 25.09.2019 : опубл. 19.02.2020 / Щитов С. В., Спириданчук Н. В., Кузнецов К. Е., Слепенков А. Е., Кривуца З. Ф., Марков С. Н. Бюл. № 5. 6 с.

90. Патент № 2714436 Российская Федерация. Догружающе-корректирующее устройство для дискового луцильника : № 2018138427 : заявл. 30.10.2018 : опубл. 14.02.2020 / Щитов С. В., Спириданчук Н. В., Вторников А. С., Слепенков А. Е., Марков С. Н. Бюл. № 5. 12 с.

91. Поликутина Е. С., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния устройства для перераспределения сцепного веса на тяговые свойства и ходовую систему колесного трактора // Достижения науки и техники в АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 95–98.

92. Поляков О. А. Влияние эластичности шин на тяговые показатели колесных тракторов // Тезисы Кубанского НИИ по испытанию тракторов и сельскохозяйственных машин. Краснодар, 1974. Вып. 12. С. 26–29.

93. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615250 Российская Федерация. Программа измерения параметров распределения вертикальной нагрузки бороновального машинно-тракторного агрегата : № 2020612131 : заявл. 27.02.2020 : опубл. 19.05.2020 / Кузнецова О. А., Щитов С. В., Поликутина Е. С., Слепенков А. Е.

94. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615367 Российская Федерация. Определение силовых параметров при работе тросового корректора машинно-тракторного агрегата : № 2020611833 :

заявл. 20.02.2020 : опубл. 21.05.2020 / Кузнецова О. А., Щитов С. В., Поликутина Е. С., Гончарук А. И., Слепенков А.Е.

95. Селиванов Н. И., Макеева Ю. Н. Адаптация колесных тракторов к технологиям почвообработки // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 344–346.

96. Селиванов Н. И., Макеева Ю. Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 5. С. 77–81.

97. Сенников В. А., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования колесных тракторов класса 1,4 в АПК // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 16–18.

98. Система земледелия Амурской области / под ред. В. А. Тильба. Благовещенск : Приамурье, 2003. 302 с.

99. Скотников В. А., Пономарев А. В., Климанов А. В. Проходимость машин. Минск : Наука и техника, 1982. 328 с.

100. Скурятин Н. Ф., Соловьев Е. В. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с тягово-догрузочным устройством // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. № 3 (3). С. 23–28.

101. Слепенков А. Е. Повышение эффективности машинно-тракторных агрегатов при поверхностной обработке почвы // Актуальные вопросы науки и техники : материалы междунар. науч.-практ. конф. Самара : Самарский государственный аграрный университет 2019. С. 21–23.

102. Слепенков А. Е., Кулинченко С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Повышение эффективности машин предпосевной обработки почвы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (84). С. 113–118.

103. Слепенков А. Е., Кулинченко С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Расширение технологических характеристик бороновального агрегата // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. № 1 (142). С. 83–88.

104. Слепенков А. Е., Кулинченко С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Поликутина Е. С. Регрессионно-дисперсионный анализ экспериментальных данных процесса боронования опытным машинно-тракторным агрегатом // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 11–2 (69). С. 140–143.

105. Слепенков А. Е., Кулинченко С. Н., Щитов С. В., Самуйло В. В., Кузнецов Е. Е. Улучшение технологических параметров колесного трактора в составе машинно-тракторного агрегата применением способов рационального корректирования веса // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 4–2 (62). С. 125–128.

106. Слепенков А. Е., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., Кузнецова О. А. Повышение эффективности колесного трактора в составе бороновального агрегата на обработке почвы // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. С. 81.

107. Слепенков А. Е., Кузнецов Е. Е., Поликутина Е. С., Кузнецова О. А., Вторников А. С. Основные требования к технической безопасности и эффективности перераспределяющих устройств в методологии перераспределения сцепного веса агроинженерных систем и средств механизации // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 4–2 (50). С. 112–116.

108. Слепенков А. Е., Кузнецова О. А., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования колесного пропашного трактора при бороновании // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 206–210.

109. Слепенков А. Е., Сенников В. А., Шубин А. С., Кузнецов К. Е., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Анализ эффективности технологий возделывания

сельскохозяйственных культур в Амурской области // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 2–2 (60). С. 125–127.

110. Слепенков А. Е., Сурин Р. О., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Бурмага А. В. Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 7–2 (65). С. 117–120.

111. Слепенков А. Е., Сурин Р. О., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф. Повышение энергоэффективности процесса полевых работ при обработке почвы // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 11–2 (69). С. 140–143.

112. Слепенков А. Е., Шубин А. С., Кузнецова О. А., Яшков Е. А., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Исследования энергоэффективности применения перераспределяющих устройств в сельскохозяйственных агрегатах // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 2–2 (60). С. 147–150.

113. Слепенков А. Е., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кузнецова О. А., Вторников А. С., Марков С. Н. Повышение эффективности использования энергонасыщенных тракторов на обработке почвы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 11 (77). С. 54–57.

114. Слободок П. И. Уплотнение почвы мобильными сельскохозяйственными агрегатами : монография. Харьков, 1997. 122 с.

115. Сметнев С. Д. Методы интенсификации транспортно-технологических процессов // Проблемы комплексной механизации транспортных работ в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. М. : ВИМ, 1985. С. 3–17.

116. Сметнев С. Д., Евтушенков Н. Е. Транспортное обслуживание агропромышленного комплекса // Автомобильный транспорт. 1989. № 8. С. 14–18.

117. Сметнев С. Д., Калинин В. Н., Базунов Г. В. Обоснование перспективного типажа и структуры транспортных средств и погрузчиков для АПК // Проблемы комплексной механизации транспортных работ в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. М. : ВИМ, 1989. С. 6–29.

-
118. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин. М. : Машиностроение, 1981. 270 с.
119. Сорокин Н. Т. Перспективы технической и технологической модернизации в АПК // Земледелие. 2008. № 3. С. 3–5.
120. Старцев С. В., Лявин Ю. Ф., Горбань Д. Г. Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет, 2015.
121. Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года : постановление Правительства РФ от 02.02.2015 года № 151-р // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70761426/> (дата обращения: 20.08.2023).
122. Сюмак А. В. Механизация прямого посева зерновых культур в Амурской области // Достижения науки и техники АПК. 2004. № 5. С. 40–42.
123. Сюмак А. В., Кириленко Ю. П., Русаков В. В. Технологическая система получения экологически чистой продукции зерновых и сои в Амурской области // Вестник РАСХН. 2011. № 3. С. 9–10.
124. Тильба В. А., Синеговская В. Т., Панасюк А. Н., Присяжный М. М. Технологии и комплекс машин для производства зерновых культур и сои в Амурской области : монография. Благовещенск : Агромакс-Информ. 2011. 134 с.
125. Токарев В. А. Влияние догрузателей ведущих колес на показатели работы скоростного пахотного агрегата // Проблемы комплексной механизации транспортных работ в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. М. : ВИМ, 1968. С. 159–166.
126. Трепененков И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. М. : Машгиз, 1963. 271 с.
127. Филоненко И. А. Об использовании оптимального транспорта в сов-

хозах Саратовской области // Сборник научных трудов Саратовского института механизации сельского хозяйства. Саратов, 1968. Вып. 41. С. 126–132.

128. Филонов В. С. Эффективность использования тракторов на транспортных работах // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства. Ростов, 1965. Вып. 8. С. 110–117.

129. Хабатов Р. Ш., Вуколов М. В. Теоретические предпосылки и алгоритмы проектирования технологий и комплексов сельскохозяйственных машин, оценка их эффективности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2001. № 3. С. 183–188.

130. Щетинин Ю. С., Никитин В. В. Влияние вертикальной нагрузки на тяговые свойства пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. 2003. № 6. С. 18–21.

131. Щитов С. В. Повышение производительности колесных тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 1. С. 18.

132. Щитов С. В. Пути повышения агротехнической проходимости колесных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2009. 325 с.

133. Hensley C. That's Massey Fergusons harvest rigade farm // Power Equipment. 1980. No. 70. P. 18–19.

134. Mendes A., Soares da S., Emiliana A. S., Jorge M. Efficiency measures in the agricultural sector: with applications. London : Springer, 2013. 197 p.

135. Skornyakov E., Kvasha E., Tatalin B., Rusanov V. New conception of design and manufacture of environment – protective properties tires and efficiency of their application // Soil compaction and soil management : International Conference. Tallinn, 1992. P. 16–19.

136. Soane B. D. The ground pressure of wheels and tracks // Power Farmer. 1970. Vol. 44. No. 4. P. 40–44.

Научное издание

*Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент
Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор
Кривуца Зоя Федоровна, доктор технических наук, доцент
Слепенков Александр Евгеньевич, кандидат технических наук
Поликутина Елена Сергеевна, кандидат технических наук*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВ**

Монография

Подписано в печать 12.03.2024 г.
Формат 60х90/16. Усл. печ. л. – 9,43.
Тираж 500 экз. Заказ 72.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
Дальневосточного государственного
аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86