

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

На правах рукописи



Хахулин Александр Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСПАШКИ
ПУТЁМ УВЕЛИЧЕНИЯ УГЛА ОБОРОТА ПОЧВЕННЫХ ПЛАСТОВ

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук
профессор Василенко В.В.

Воронеж 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ | 11 |
| 1.1 Технические средства и способы основной обработки почвы | 11 |
| 1.2 Доминирующие технологии основной обработки почвы | 20 |
| 1.3 Основные направления совершенствования плугов для отвальной вспашки | 23 |
| 1.4 Преимущества полного переворота пласта | 28 |
| 1.5 Способы увеличения угла переворота пласта | 31 |
| 1.6 Степень разработанности темы и задачи исследования | 37 |
| | |
| 2 ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ОБОРОТА ПЛАСТА И УСТРОЙСТВА РАБОЧИХ ОРГАНОВ | 39 |
| 2.1 Технологическая эффективность способов увеличения угла оборота пластов | 39 |
| 2.2 Обоснование способа и технического решения для расширения борозды путём сдвига части пласта | 47 |
| 2.3 Графоаналитическое обоснование дистанции между рабочими корпусами и размеров щитка | 50 |
| 2.4 Сила сопротивления почвы, действующая на щиток | 60 |
| 2.4.1 Неустановившийся режим работы плуга | 60 |
| 2.4.2 Установившийся режим работы плуга | 68 |
| Выводы по главе 2 | 72 |
| | |
| 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 74 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований | 74 |
| 3.2 Объекты исследования | 75 |
| 3.2.1 Макетный образец плуга | 75 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.2 Промышленный образец плуга | 78 |
| 3.3 Перечень средств измерений и оборудования, применяемых при проведении экспериментов | 80 |
| 3.4 Измерение качественных показателей процесса вспашки | 82 |
| 3.5 Методика измерений силы сопротивления щита | 85 |
| 3.6 Обработка экспериментальных данных | 87 |
| | |
| 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 89 |
| 4.1 Определение качественных показателей вспашки макетным образцом плуга | 89 |
| 4.1.1 Вспашка чёрного пара | 89 |
| 4.1.2 Вспашка по стерневому фону | 95 |
| 4.2 Определение силы взаимодействия щитка с почвой | 100 |
| 4.3 Опытно-производственная проверка промышленного образца плуга с увеличенным углом оборота пластов | 118 |
| Выводы по главе 4 | 125 |
| | |
| 5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К ПЛУГАМ ДЛЯ УВЕЛИЧЕННО- ГО УГЛА ОБОРОТА ПЛАСТОВ | 127 |
| 5.1 Техничко-экономические предпосылки для экономии затрат при использовании предлагаемого приспособления | 127 |
| 5.2 Расчет окупаемости плуга для отвальной обработки, оборудован- ного приспособлением для увеличенного угла оборота пластов | 130 |
| 5.2.1 Обоснование и порядок расчёта | 130 |
| 5.2.2 Определение стоимости техники и дополнительных капиталов- ложений | 131 |
| 5.2.3 Расчёт производительности сравниваемых агрегатов | 132 |
| 5.2.4 Исходная информация для экономической оценки проектного агрегата | 134 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.5 Расчёт экономии производственных затрат | 135 |
| Выводы по главе 5 | 140 |
| | |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 141 |
| Общие выводы | 141 |
| Рекомендации производству | 143 |
| Возможное направление дальнейших исследований | 143 |
| | |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 144 |
| | |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Копия патента РФ № 2549776 Плуг с полным переворотом пласта | 157 |
| Копия патента на полезную модель РФ № 165480 Полевая испытательно-тарировочная установка для почвообрабаты- вающих рабочих органов | 159 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акты и протоколы опытно-производственной проверки макетного и промышленного образцов плуга | 161 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акт внедрения в производство результатов научно-исследовательской работы | 169 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример тарировочных кривых и записи силы, действующей на щиток | 170 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Построение графиков силы действия почвы от двух переменных | 172 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Акт внедрения результатов научно-исследователь- ской работы в учебный процесс ВГАУ | 173 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В технологическом процессе основной обработки почвы современными плугами для отвальной вспашки пласты почвы совершают неполный переворот, укладываясь частично на угловую часть предыдущего пласта. Такая укладка объясняется геометрическими характеристиками сечения пласта, существующим способом переворота и ему присущей траекторией опрокидывания. В результате получается неполный переворот корнеобитаемого пахотного горизонта, недостаточно глубокая заделка семян сорных растений, способствующая их всхожести, а также гребнистая поверхность пашни, требующая нескольких дополнительных поверхностных обработок. Диссертационная работа основана на научных положениях развития почвообрабатывающей техники и технологического процесса отвальной вспашки, разработанных в трудах В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, М.Н. Летошневой, Н.В. Щучкина, А.Н. Гудкова, Л.В. Гячева, И.М. Панова, Г.Н. Синеокова, Г.Е. Листопада и других учёных [42, 49, 62, 44, 46, 74, 75, 76, 109, 110, 106] и содержит разработку процесса более полного переворота почвенных пластов при вспашке и конструкции дополнительного рабочего органа. И хотя в технологии основной обработки почвы появились тенденции перехода к минимальной и безотвальной обработкам, в научной литературе и в практике мирового сельхозмашиностроения существует уверенность в перспективности отвальной вспашки [63, 97] примерно на половине обрабатываемых площадей. Исходя из того, что тема работы предполагает улучшение качества вспашки, она может считаться актуальной.

Степень разработанности темы. В настоящее время совершенствование рабочего процесса вспашки и конструкции рабочих органов идёт по пути применения полосовых отвалов, вибрирующих рабочих органов и их отдельных элементов, комбинации процесса переворота пластов с углубленной обработкой подпахотного слоя, комбинации отвальной вспашки с поверхностной обработкой, замены функции полевой доски дополнительным левосторонним лемехом, поисков простого способа увеличения угла переворота пла-

стов. Все значительные теоретические исследования базируются на основополагающих работах академика В.П. Горячкина [43], его учеников и последователей. Классическая методика построения лемешно-отвальной поверхности, разработанная профессором Н.В. Щучкиным [124], обобщение теоретического наследия, реализованное профессором М.Н. Летошневим [62] в лучшем в мире учебнике, первые скоростные плуги и их рабочие органы, обоснованные «крылатым пахарем» (газета «Правда», 1960 г.) академиком В.А. Желиговским [50], первые фронтальные плуги, разработанные авторским коллективом во главе с профессорами В.А. Сакуном и Я.П. Лобачевским [63, 104], комбинированные плужные корпуса с дополнительными левосторонними лемехами, заменяющими полевые доски, предложенные профессором В.М. Бойковым [9, 10, 11], комбинированные рабочие органы для вспашки с рыхлением подпахотного горизонта профессора И.Б. Борисенко [12, 13], упрощённые методы вибрации рабочих органов плуга, предложенные профессором В.В. Василенко [25, 29, 32] – это далеко не полный перечень достижений в теории и практике плугостроения в нашей стране. Отвальная вспашка будет применяться в обозримом будущем примерно на половине обрабатываемых площадей. Основные направления совершенствования плугов касаются создания оборотных орудий, полосовых отвалов, комбинированных органов, применения вибрации, но улучшению оборота пласта посвящается меньше внимания. Однако одно из главных требований агротехники к плугу – заделка семян сорняков на недоступную для прорастания глубину путём полного оборота пахотного горизонта – до сих пор остаётся не реализованным каким-либо простым и надёжным методом, позволяющим применять его в изменяющихся условиях по глубине обработки и с различными типами плугов. Существуют способы увеличения угла оборота пласта за счёт более широкого захвата рабочих корпусов, применения предплужников или углосников, изменения формы отвала и т.д., но они приводят лишь к частичному перевороту, оставляя резерв для дальнейших исследований по затронутой теме. На этой основе нами намечены цель и задачи исследования.

Цель работы – улучшение качества вспашки путём увеличения угла оборота почвенных пластов.

Задачи исследования:

- доказать возможность увеличения угла оборота почвенных пластов плужным корпусом с предварительным расширением борозды и преимущества этого технологического приёма;
- определить рациональные конструктивные параметры лемешно-отвального корпуса с дополнительными вертикальными щитками;
- определить силы, действующие на дополнительный щиток в установившемся и неустановившемся режимах работы с изменением факторов скорости движения и глубины обработки;
- определить влияние дополнительных щитков на качественные показатели отвальной вспашки и силу сопротивления плуга.

Объектом исследования принят процесс вспашки почвы лемешно-отвальным плугом.

Предметом исследования является определение закономерностей укладки пластов с предварительным расширением борозды дополнительными рабочими органами.

Научная новизна исследования:

- доказано преимущество предлагаемого процесса оборота почвенных пластов, отличающегося от существующих увеличенным углом оборота за счёт постановки дополнительных щитков, расширяющих дно борозды;
- определены рациональные конструктивные параметры дополнительных щитков, расширяющих борозду;
- предложен аналитический расчёт сил, действующих на дополнительный щиток, отличающийся определением результирующей силы его сопротивления на основании силы нормального давления;
- результаты экспериментальных исследований плуга с дополнительными щитками, отличающиеся рассмотрением работы в установившемся и

неустановившемся режимах с факторами: скорость движения и глубина вспашки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в разработке положений аналитического расчёта сил, действующих на щиток, позволяющих определить рациональные параметры дополнительных щитков, минимальное расстояние между корпусами и дополняющих теорию сельскохозяйственных машин. Практическая значимость состоит в разработке конструкции приспособления, улучшающего качество вспашки и гарантирующего экономию эксплуатационных затрат при основной обработке почвы.

Методы исследования:

В работе использован механико-математический аппарат исследования траектории перемещения почвенных пластов при отвальной вспашке и сил, действующих на рабочие органы, разработанный основоположниками теории взаимодействия почвообрабатывающих орудий и обрабатываемой среды; метод тензометрического определения действующих сил; существующие способы определения качественных показателей при отвальной обработке почвы; оригинальный метод измерения угла переворота пластов; существующая методика определения экономической эффективности экспериментального почвообрабатывающего орудия.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование преимущества предлагаемого технологического приёма для увеличения угла оборота почвенного пласта при отвальной вспашке путём предварительного расширения борозды;
- аналитический расчёт сил, действующих на щиток, позволяющий обосновать рациональные параметры дополнительных щитков, расширяющих борозды;
- результаты экспериментальных исследований, подтверждающие достоверность аналитического расчёта сил, действующих на щиток;

- конструкция плуга с дополнительными щитками, расширяющими борозды и позволяющими увеличить угол оборота пластов и повысить качество вспашки.

Реализация результатов исследования

Разработана техническая документация на заводское изготовление навесного четырёхкорпусного плуга с приспособлением для увеличенного угла оборота почвенных пластов и передана машиностроительному предприятию ООО «Воронежский станкозавод – Холдинг» (г. Воронеж) для промышленного освоения и производства новой техники.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов исследования достигается применением современных методов теории, оборудования для проведения экспериментов, приборов для точного измерения параметров, полученным экспериментальным материалом, достаточной сходимостью экспериментальных и теоретических данных, положительными результатами опытно-производственной проверки промышленного образца плуга с приспособлением для увеличенного угла оборота почвенных пластов. Материалы диссертационной работы были доложены на ежегодных научных конференциях Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I в 2014-2016 гг., на международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов в Воронежском ГАУ в 2014 г., на международной научно-практической конференции «Экологоресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве» в Воронежском государственном лесотехническом университете имени Г.Ф. Морозова в 2014 г., на конкурсном отборе технических проектов по программе «УМНИК» в 2015 г.

Результаты диссертационного исследования используются в ООО «ВСЗ-Холдинг» (г. Воронеж) при разработке новых плугов, в учебном процессе ФГБОУ ВО ВГАУ им. императора Петра I (приложение Е).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ общим объёмом 4,87 усл. печ. л. (доля автора – 2,39 усл. печ. л.), включая

один патент на изобретение и один патент на полезную модель. В рекомендованных ВАК научных изданиях опубликовано три статьи. Единолично автором опубликовано три статьи.

Структура и объём работы. Диссертация включает пять разделов, заключение, список литературы и приложения. Объём работы составляет 173 страницы, из которых 156 страниц основного текста и 17 страниц приложений. В работе имеется 78 иллюстраций, 25 таблиц и список литературы из 125 наименований.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Технические средства и способы основной обработки почвы

Первые металлические плуги появились в Англии в конце 18 века, и с тех пор начался резкий переход от первобытных способов обработки почвы, основанных на жизненном опыте, пробах и ошибках, к современным научным технологиям и техническим средствам [28]. За два века процесса совершенствования металлических рабочих органов для отвальной вспашки они приобрели более современные формы, приспособленные для разных почвенно-климатических условий, для разных скоростей работы, для возможного уменьшения тягового сопротивления, для лучшего выполнения агротребований. Наиболее распространённые типы плужных корпусов показаны на рисунке 1.1.

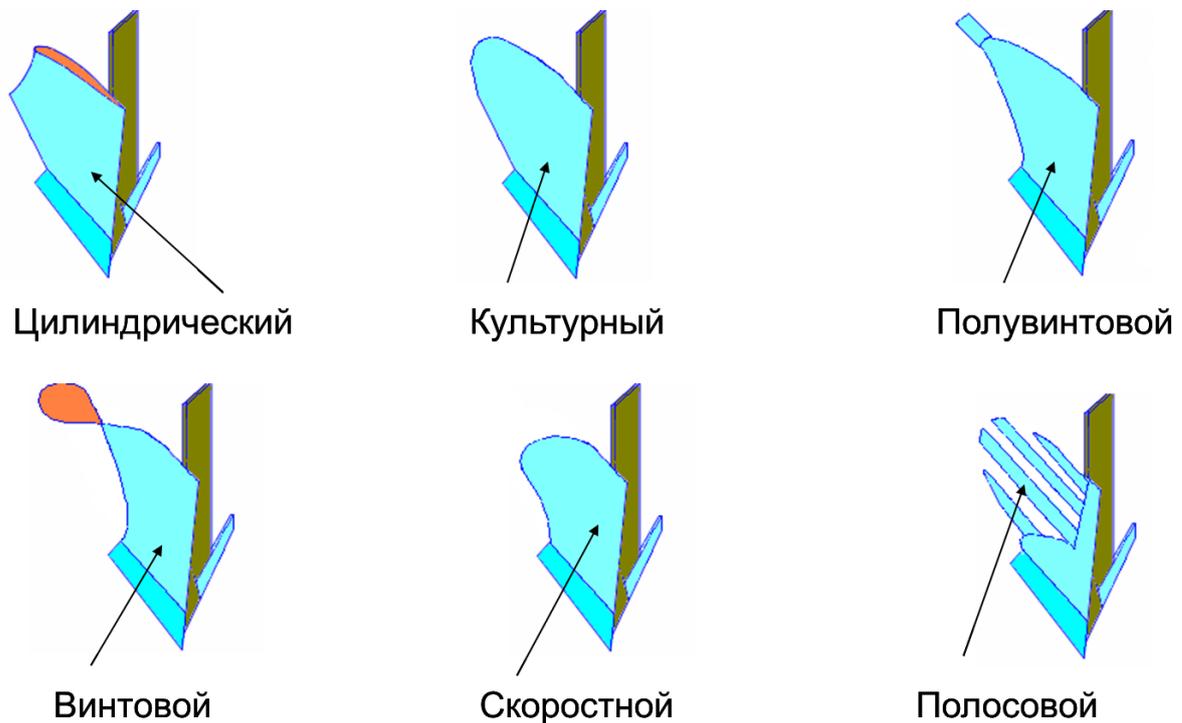


Рисунок 1.1 – Типы плужных рабочих корпусов для отвальной вспашки

В системах земледелия обработка почвы считается основой всей технологии возделывания той или иной культуры, так как является средством регулирования физических свойств почвы, уничтожения сорняков, накопления влаги, борьбы с вредителями и болезнями [8]. При обработке почвы активизируются аэробные микробиологические процессы, которые высвобождают из гумуса и накапливают в почве питательные вещества для растений. Почвенная обработка подразделяется на основную глубокую (от 14 до 39 см) и поверхностную (от 4 до 14 см). На основной глубокой обработке применяется отвальная вспашка, безотвальное рыхление, обработка чизелями, плоскорезами, комбинированными агрегатами. Поверхностная обработка – это культивация, боронование, шлейфование, лущение, дискование.

Профессор Я.П. Лобачевский, обобщая прогноз ведущих учёных и практиков, делает вывод о том, что в обработке почвы технологии и техника в ближайшие 20 лет будут развиваться в направлении защиты почвы от эрозии, сохранения экологии и экономии энергозатрат. Лемешно-отвальные плуги и безотвальные орудия будут применяться в соотношении 1:1. Применение отвальных плугов может быть ежегодным на каждом поле, если количество осадков за год превышает 500 мм. В более засушливых регионах рекомендуется альтернативная обработка, когда сочетаются отвальная вспашка с безотвальной или поверхностной обработкой [63]. Высокая культура земледелия проявляется при выполнении гладкой вспашки, когда применяются фронтальные плуги, работающие челночным способом без развальных борозд и свальных гребней [56]. Переворачивая каждый пласт почвы в собственную борозду, эти плуги опрокидывают их на 180°, чем достигается полная заделка семян сорняков на недостижимую для прорастания глубину.

Если отвальная вспашка выполняет свой технологический процесс переворота пластов практически одинаково при использовании плугов самых разных моделей, то безотвальная обработка гораздо более разнообразна по способу воздействия на почву и применяемым техническим средствам. Наиболее распространённая из безотвальных обработок – это плоскорезная.

Она может проводиться с сохранением стерни в целях борьбы с ветровой эрозией почвы или без сохранения стерни, с одновременным крошением поверхностного слоя дополнительными роторными или пассивными органами (рисунок 1.2). Чем больше ширина захвата плоскорезных лап, тем меньше они повреждают своими стойками стерню. Они выпускаются с шириной захвата 110, 115, 150, 220 и 250 см [53]. Плоскорезы применяются чаще всего в засушливых районах. Широко известны модели КПП-2,2, КПШ-5, КПШ-9, КПШ-11, ПГ-3-5, работающие на глубину до 16 см, а также более тяжёлые плоскорезы-глубококорыхлители КПГ-250, КПГ-2-150, ПГ-3-100, которые могут обрабатывать почву на глубину до 30 см [107].

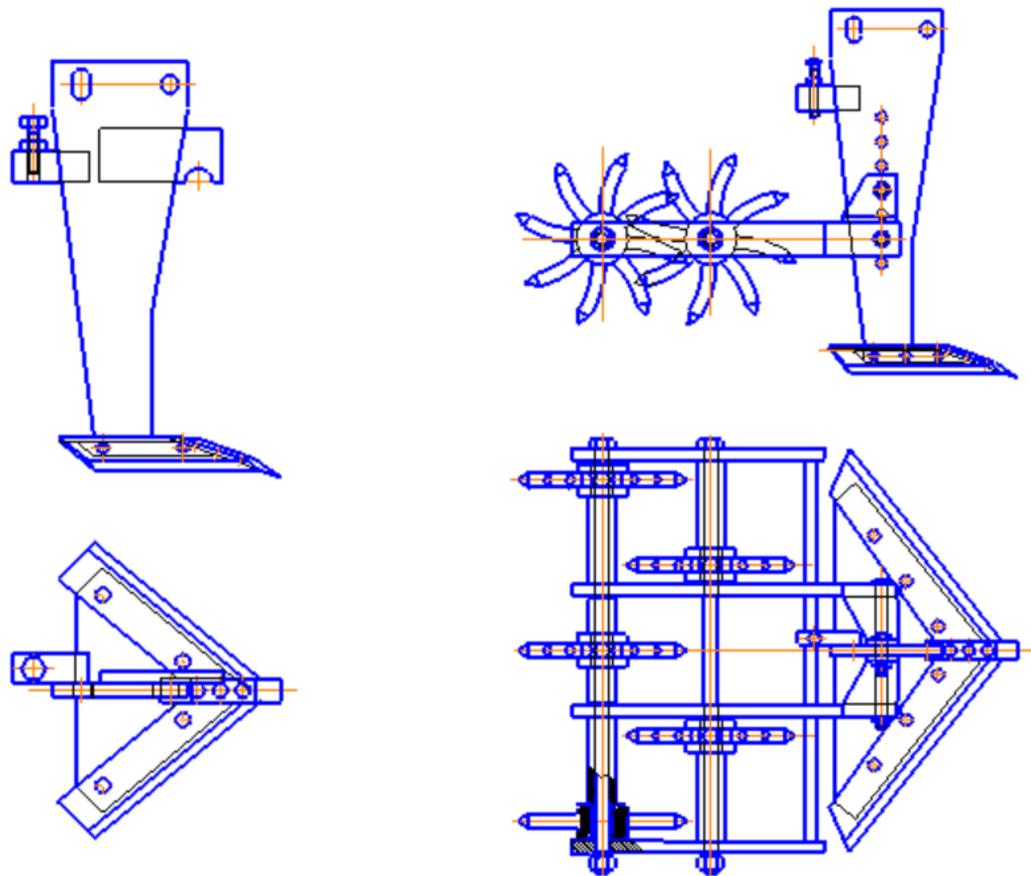


Рисунок 1.2 – Варианты плоскорезных лап с сохранением стерни и с поверхностным рыхлением

На базе плоскорезов или тяжёлых культиваторов выпускаются и комбинированные агрегаты для основной обработки почвы, например, КАО-10-

35 [101]. Безотвальная обработка почвы может быть реализована комбинированными агрегатами из Ярославля (рисунок 1.3), Воронежа [26] и ряда других производителей.



Рисунок 1.3 – Агрегат комбинированный чизельный АКЧ-4 (АКЧ-6, АКЧ-8) [1]

Чизелевание относится к одному из приёмов безотвальной обработки почвы. Оно применяется для сплошного глубокого рыхления без оборачивания пласта, а также для углубления и окультуривания пахотного слоя на бедных почвах [71]. Глубина рыхления составляет 20-40 см. Для этого применяют чизели ПЧ-2,5, ПЧ-4,5, другие модели производства отечественных частных фирм и многочисленные импортные модели, например, ЧГ-40, ЧГ-40-01, ЧГ-40-02 [123]. Рабочие органы чизелей представляют собой мощные долообразные стойки с наральниками на нижнем конце (чизельная лапа). Чизельные лапы бывают прямые вертикальные и изогнутые под углом в сторону. Изогнутые лапы имеют более длинную линию воздействия на почву, поэтому они создают более обширную зону рыхления. Зачастую лапы комплектуются дополнительными горизонтальными лезвиями на различных уровнях, чтобы активизировать рыхление почвы, увеличить ширину взрыхленной зо-

ны. На чизельных лапах иногда применяются вертикальные лемехи, поставленные под углом атаки $15-25^\circ$, которые разрезают корневища, сдвигают в сторону захваченный массив почвы и тем самым приближают технологический процесс к функции плужного отвала, но без переворота пласта (рисунок 1.4). Если этот вертикальный лемех выполнен не съёмным, а заодно со стойкой, то такие рабочие органы получили на Западе название «paraplow» [114] и довольно быстро распространились в России [63]. Конструкция стойки позволяет проводить безотвальную обработку почвы (без оборота пласта) до 50 см, в зависимости от агроклиматических условий, требований и мощности трактора. Как чизели, так и плоскорезы оставляют за собой по следу прохождения стойки открытую щель на глубину проведенной обработки почвы. Этот недостаток приводит к быстрой потере влаги, искажает микрорельеф и поэтому требует дополнительного воздействия на поверхностный слой почвы другими рабочими органами или даже другой полевой операцией.



Рисунок 1.4 – Один из вариантов стоек paraplow

Чизелевание привлекает конструкторов и изобретателей комбинированных рабочих органов, которые совмещают отвальную обработку поверх-

ностного слоя почвы и безотвальную – нижнего слоя. Этим реализуют частично заделку растительных остатков, удобрений и семян сорняков, а также взрыхляют дно борозды, уничтожая «плужную подошву» и увеличивая общую глубину обработки. При этом нижние слои взрыхленного слоя остаются на месте без выноса на поверхность. Можно считать, что начало этому направлению совершенствования рабочих органов положило применение почвоуглубителей на плугах с той лишь разницей, что почвоуглубители в разных конструктивных вариантах стали применять не только на бедных почвах по глубине залегания гумусного слоя, но и в благополучных условиях. Поскольку подъёму и перевороту подвергается меньший слой почвы, чем при отвальной вспашке, авторы подобных изобретений констатируют уменьшение силы сопротивления по сравнению с отвальными плугами на 8-10% [118]. На рисунке 1.5 представлена схема комбинированного рабочего органа, разработанного А.Г. Уфаевым (Саратовский ГАУ).

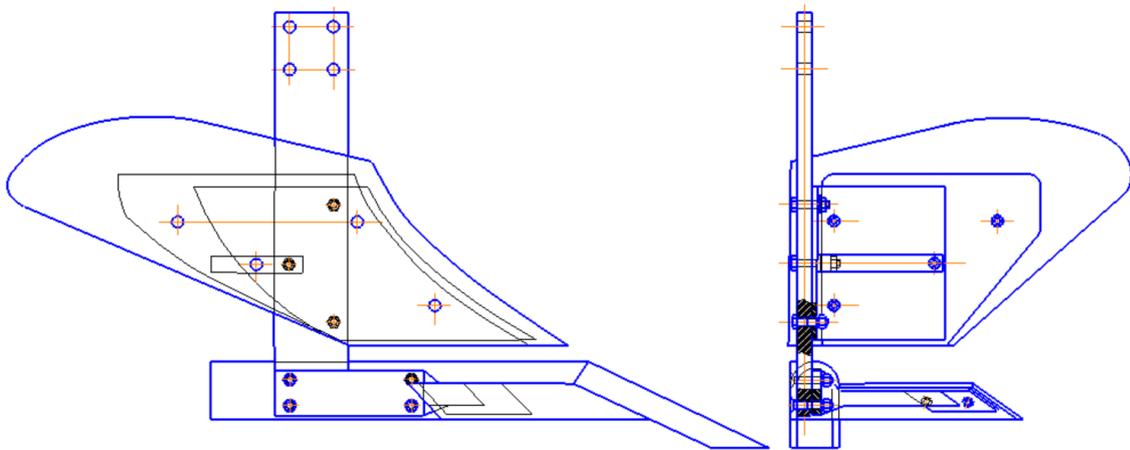


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема комбинированного рабочего органа А.Г. Уфаева

В отделе механизации ГНУ Нижне-Волжского НИИСХ РАСХН под руководством д.т.н. Борисенко И.Б. разработан новый многофункциональный рабочий орган модульного типа (рисунок 1.6). Он состоит из стойки, на которой закреплены чизельный и плужный органы [12, 13]. Рабочий орган имеет

возможность перемещения отвала вдоль стойки, что позволяет настраивать ресурсосберегающий «анти-нулевой» чизельный орган, названный «РАНЧО», на выполнение различных технологий глубокой обработки почвы. При этом учитывается, что рыхление почвы должно быть на глубину «экономической» отзывчивости растений, а оборот пласта – на минимально необходимую величину.

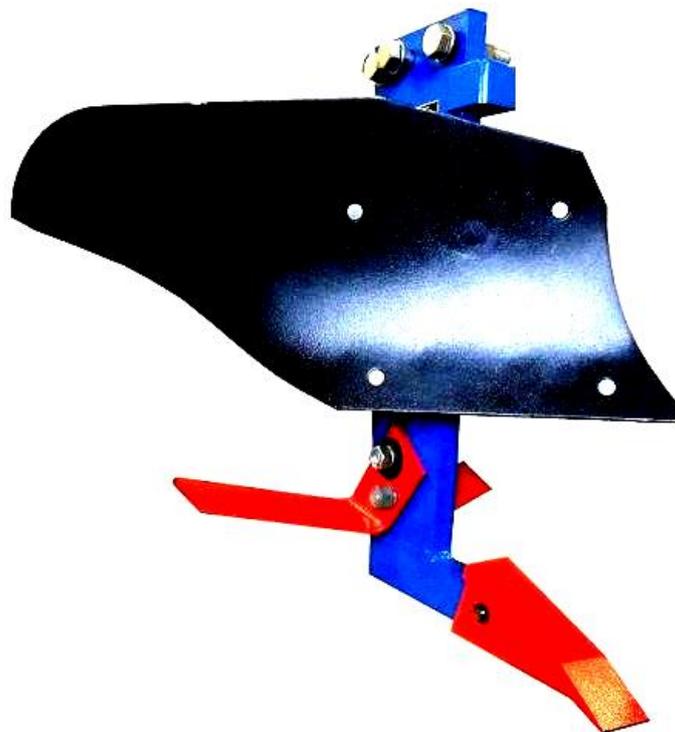


Рисунок 1.6 – Комбинированный рабочий орган И.Б. Борисенко

Основная обработка почвы может проводиться дисковыми рабочими органами. Для этого сферические диски (гладкие или вырезные) устанавливаются либо на плугах, либо на тяжёлых боронах. Дисковые орудия появились гораздо позже, чем лемешно-отвальные плуги [28, 116]. Их преимущество состоит в меньшем тяговом сопротивлении, так как вращающиеся диски переносят почву в сторону, не вынуждая её скользить по рабочей поверхности, преодолевая силу трения [31]. Кроме того, конструкция дискового органа гораздо проще в изготовлении, при работе не цепляется за препятствия в

почве, а перекачивается через них. Но им присущи и недостатки: волнистое дно борозды и сравнительно плохой переворот пластов. Чтобы улучшить переворот, диски на плугах устанавливаются с двумя углами – углом атаки и углом наклона от вертикали (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Плуг дисковый навесной 1LYQ-3

Диски могут иметь индивидуальные стойки (плуги, тяжёлые бороны) или батарейную систему крепления (тяжёлые бороны). Батарейная система не допускает угла наклона от вертикали, и потому переворот пластов почвы почти не происходит. В Российской Федерации довольно широко распространена французская тяжёлая дисковая борона «Кивонь» с вырезными дисками и батарейной системой [47]. Вырезные диски очень активно перемешивают растительные остатки с почвой, она может выполнять основную обработку на глубину до 20 см, но с семенами сорняков не борется (рисунок 1.8). Анало-

гичную работу выполняют и отечественные многорядные тяжёлые дисковые бороны [26, 14, 15].



Рисунок 1.8 – Тяжёлая дисковая борона «Кивонь»

Полосовая обработка почвы, как разновидность минимальной, появилась в США и Западной Европе в последнее десятилетие и получила название Strip-Till. Смысл заключается в том, что осенью в период основной обработки поле рыхлится полосами на глубину 20-35 см по усмотрению агронома, можно одновременно в эти полосы вносить минеральные удобрения. Ширина полос 15-25 см, и они отстоят друг от друга на ширину междурядья пропашной культуры, под которую готовится поле. Между полосами остаётся нетронутая стерня. Таким образом, обработке подвергается около одной третьей части площади поля. Весной полосы обновляются предпосевной обработкой на меньшую глубину, и проводят посев обычными сеялками. Междурядные обработки исключаются. Экономия затрат энергии очевидна. Почва почти не подвергается эрозии. Недостаток в отсутствии механической борьбы с сорняками, так как переверота пластов быть не может, междурядья не обрабатываются, надежда только на гербициды. Рабочие секции для нарезания полос

(рисунок 1.9) содержат набор рабочих органов, который может состоять из долотообразных, стрелчатых культиваторных лап, чизельных стоек, плоских или сферических дисков, игольчатых роторов и каточков [95].

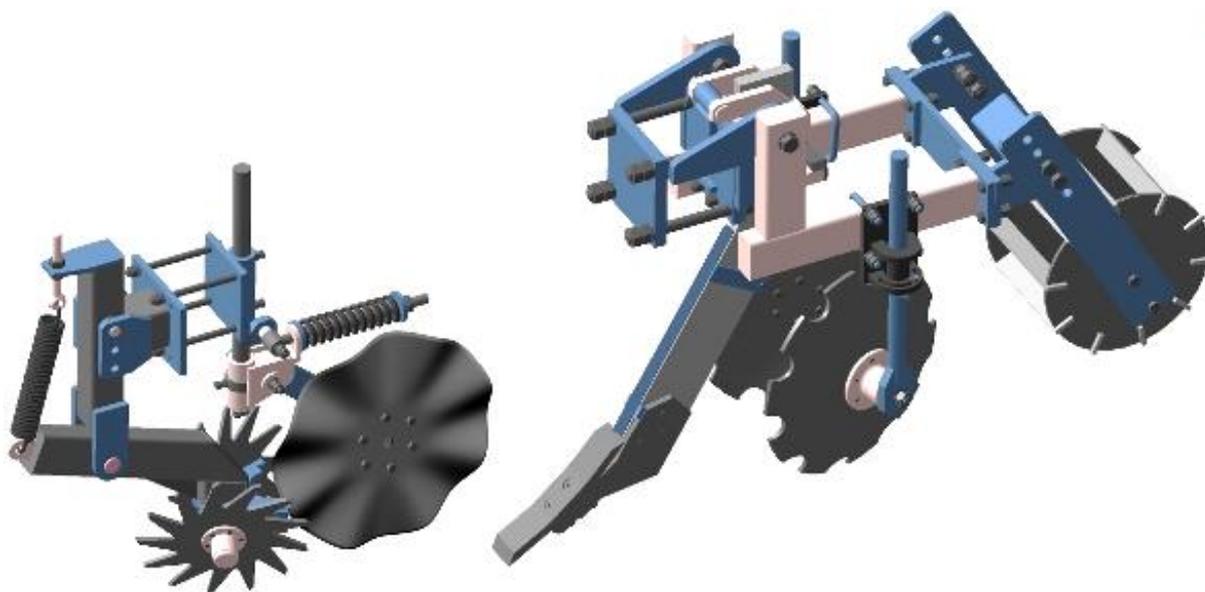


Рисунок 1.9 – Рабочая секция для рыхления полосы по технологии Strip-Till

1.2 Доминирующие технологии основной обработки почвы

На европейском континенте отвальная вспашка продолжает оставаться преобладающим приёмом основной обработки почвы. Эксперты по сельскому хозяйству как отечественные, так и зарубежные, предвидят применение отвальных плугов на 50% посевных площадей до середины 21 столетия. Отвальный плуг в настоящее время на европейском рынке почвообрабатывающей техники является одной из самых ликвидных позиций. Около 40 фирм Европы производят примерно 40-45 тыс. плугов ежегодно [74, 75, 76]. Наиболее крупными разработчиками и производителями лемешно-отвальных плугов являются фирмы «Kverneland» (Норвегия), «Kuhn-Huard» (Франция), «Lemken», «Rabewerk» (Германия), «Vogel & Noot» (Австрия) и др. [97, 98, 99, 100]. Конструкции плугов непрерывно совершенствуются. Наряду с основными, уже ставшими классическими, конструкциями навесных и полуна-

весных плугов появились оборотные и фронтальные плуги, блочные конструкции, составные и комбинированные. К основным рабочим органам добавляются вспомогательные, которые направлены на обеспечение более высокого качества разделки пластов и их переворота, на снижение энергетических затрат.

В Российской Федерации разработаны и широко используются с тракторами тягового класса 5 плуги ПЛН-8-35, ПТК-9-35, новый плуг производства ОАО «Алтайсельмаш» ПНИ-8-40, плуги серии «Богатырь» ПНС-8-45, ПНС-6-45, ПОН-4(+1)-45 производства Воронежского ООО «ВСЗ-Холдинг» и многие другие модели навесных и полунавесных, правосторонних и оборотных плугов для тракторов меньших тяговых классов [18, 19, 20, 21, 22, 24]. Для тракторов класса 3 (или 4) выпускаются как навесные (ПЛН-3-35, ПЛН-4-35, ПЛН-5-35), так и полунавесные (ПЛП-6-35, ПНИ-6-40) или фронтальные (ПФ-2А), а также плуги других марок.

С другой стороны, бурно развивается альтернативный способ основной обработки почвы, основанный на применении плоскорезов, дисковых орудий и их комбинаций в различных вариантах. Этому способствует стремление пользователей к снижению энергетических затрат и антропогенного давления на природу, выражающееся в провокации эрозии почвы. Среди аграриев эти два направления в технологии почвообработки конкурируют с переменным успехом. Веками сложившаяся традиция пахать почву как бы гарантирует ожидаемую урожайность культуры, но сторонники минимальной обработки противопоставляют якобы такую же урожайность при сокращении эксплуатационных затрат. Объективное сравнение результатов применения этих двух технологий можно провести на анализе выполнения задач основной обработки почвы, которые сводятся к следующему:

- взрыхлить почву в корнеобитаемом слое;
- уничтожить сорняки и их семена;

- перемешать разбросанные минеральные и органические удобрения, а также растительные остатки с почвой, распределив их на глубине более 10 см путём переворота пластов;

- выровнять поверхность почвы до мелкокомковатого и безгребневого состояния.

Сопоставим положительные и отрицательные стороны двух доминирующих технологий (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Положительные и отрицательные стороны двух доминирующих технологий основной обработки почвы

| Доминирующие технологии | |
|--|---|
| Отвальная вспашка плугами | Безотвальная обработка комбинированными агрегатами |
| + Выполнимы все задачи основной обработки, поэтому повышение урожайности на 12-15% | + Уменьшение эрозии почвы |
| – Большая энергоёмкость полевой операции | + Высокая производительность, меньший расход топлива и других ресурсов |
| – Повышенный расход материальных ресурсов, невысокая производительность | – Невозможность надёжного внесения в почву удобрений. |
| – Более интенсивные воздушная и водная эрозии почвы | – Прогрессивное по годам зарастание полей сорняками. Повышенная потребность гербицидов с их последствиями |
| | – Недобор урожая из-за мелкой глубины обработки |

Оценить экономически последствия применения сравниваемых технологий не представляется возможным из-за дифференциации почвенно-климатических условий, влияния предшественников, доз удобрений, сроков проведения полевых операций, вариантов последующего ухода за растениями и многих других факторов. Да если бы и был объективный результат такой оценки, он бы исключил среди аграриев применение проигравшей технологии. Но обе технологии применяются, и зачастую сторонники минимальной

обработки утверждают, что урожайность не снижается. Однако чаще всего оказывается, что они применяют минимальную обработку всего лишь год или два после отвальной вспашки и пользуются её последствием.

В результате такого логического анализа напрашивается два компромисса в применении обеих технологий. Первый из них – это применение отвальной вспашки в климатических зонах с выпадением осадков 500 мм в год и более, а в зонах с недостаточным увлажнением – комбинированные агрегаты [63]. Вторым компромиссом заключается в том, чтобы на каждом поле применять в течение трёх лет минимальную обработку комбинированными агрегатами, а на четвёртый год применять глубокую отвальную вспашку. Этот второй компромисс хорошо согласуется с четырёхпольными севооборотами, то есть применять вспашку под те культуры, которые требуют глубокой (28-32 см) обработки, например, сахарная свёкла, картофель, подсолнечник.

Из этого анализа следует, что плуги для отвальной вспашки остаются в перспективных системах обработки почвы и должны совершенствоваться с целью лучшего выполнения агротехнических требований и уменьшения энергозатрат.

1.3 Основные направления совершенствования плугов для отвальной вспашки

Перспективным направлениям совершенствования технологии и технических средств для основной обработки почвы посвящены работы многих исследователей [74, 75, 76, 104, 58, 108, 52, 112].

В Воронежском ГАУ проводятся исследования по влиянию вибрации рабочих органов на уменьшение тягового сопротивления плуга. Вибрация уменьшает коэффициент трения почвы по стальному листу с 0,61 до 0,50 при частоте 22-24 Гц и амплитуде 2-4 мм [32]. В экспериментальных плугах с пластинчатыми (рессорными) стойками корпусов была достигнута спонтанная вибрация с частотой 5-8 Гц и амплитудой до 5 мм, что обеспечило

уменьшение тягового сопротивления плуга на 12-15%. [25, 29, 81, 82]. Схема корпуса плуга с вибрирующей стойкой показана на рисунке 1.10.

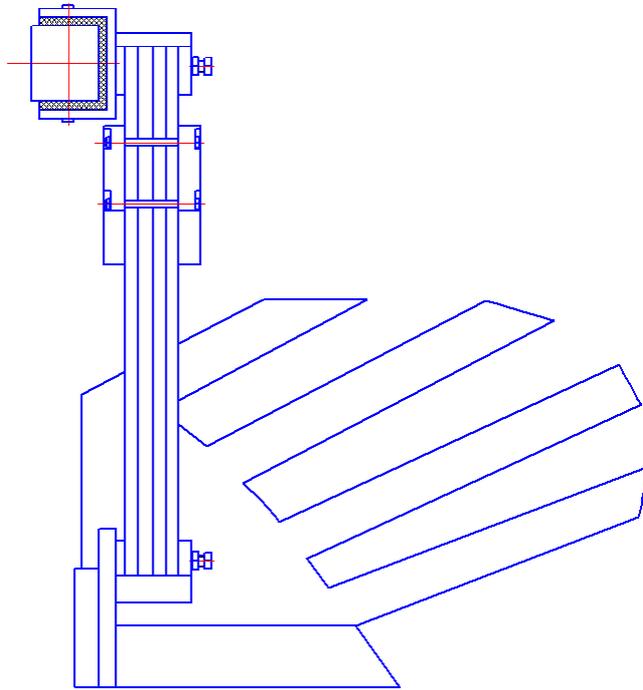


Рисунок 1.10 – Схема корпуса плуга с вибрирующей стойкой
(вид сзади)

Возможно, коэффициент трения не меняется, а просто при вибрации рабочего органа почва контактирует с инструментом импульсно, часть пути пролетает без касания, поэтому сила трения уменьшается. Кроме того, в почве возникают опережающие трещины, которые тоже уменьшают тяговое сопротивление.

Можно также заставить спонтанно вибрировать, то есть от переменного сопротивления почвы, отдельные полосы отвала [77, 78].

Простейший способ принудительной вибрации – это заменить опорное колесо (или колёса) на каток в форме правильного многоугольника (рисунок 1.11). Орудие должно быть навесным, чтобы в транспортном положении каток не касался земли [57, 79, 73].

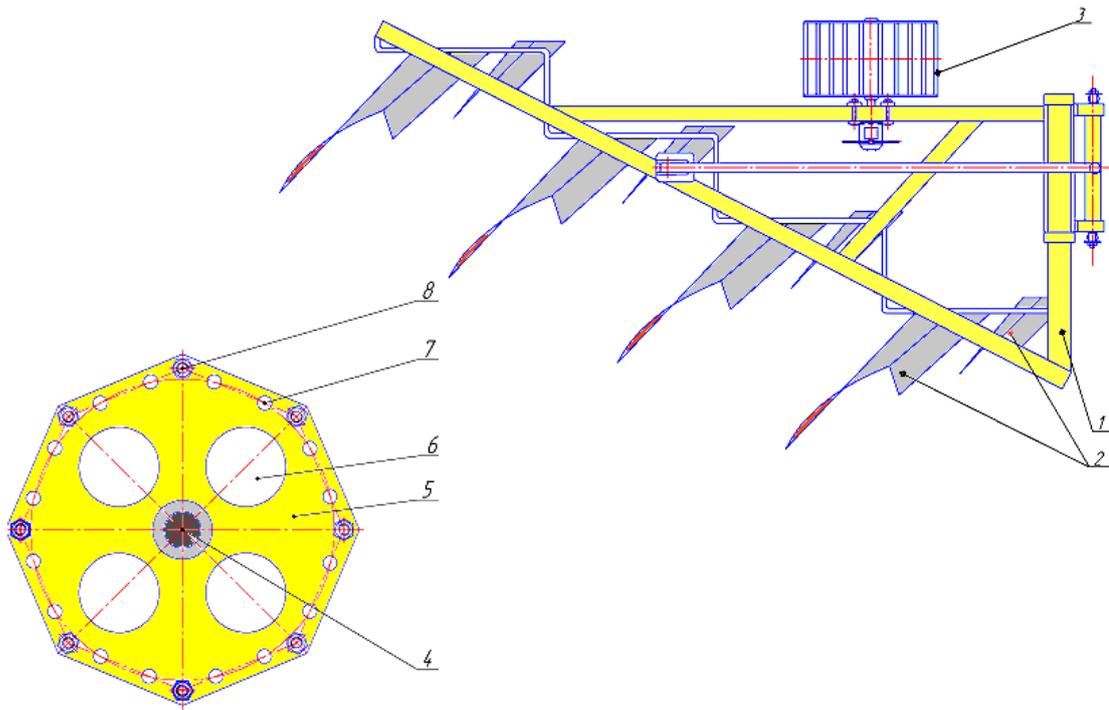


Рисунок 1.11 – Навесной вибрирующий плуг и форма опорного катка

Одним из направлений совершенствования конструкции рабочего корпуса является уменьшение угла подъёма лемешно-отвальной поверхности. По теоретическим исследованиям [39], если требуется поднять пласт почвы простым клином на заданную высоту, то оптимальный угол с точки зрения уменьшения тягового сопротивления равен 18° , то есть гораздо меньше, чем у современных отвальных плугов (рисунок 1.12).

Принципиально новыми плугами являются отечественные разработки фронтальных схем типа ПФН-3А (рисунок 1.13), которые отличаются лёгкостью конструкции, отсутствием предплужников, а главное – поперечной линией расположения корпусов, переворотом пластов в собственные борозды, челночным способом движения по полю и полным переворотом почвенных пластов [63].

При всей элегантности процесса переворота пластов и лёгкости конструкции эти плуги имеют один недостаток – неустойчивость технологического процесса при изменении глубины вспашки или на засорённых полях.

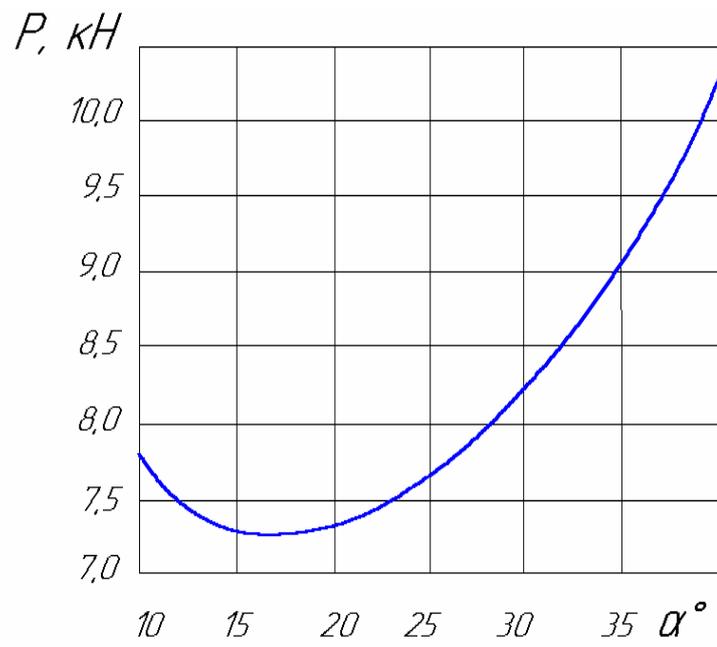


Рисунок 1.12 – Влияние угла подъёма клина на тяговое сопротивление

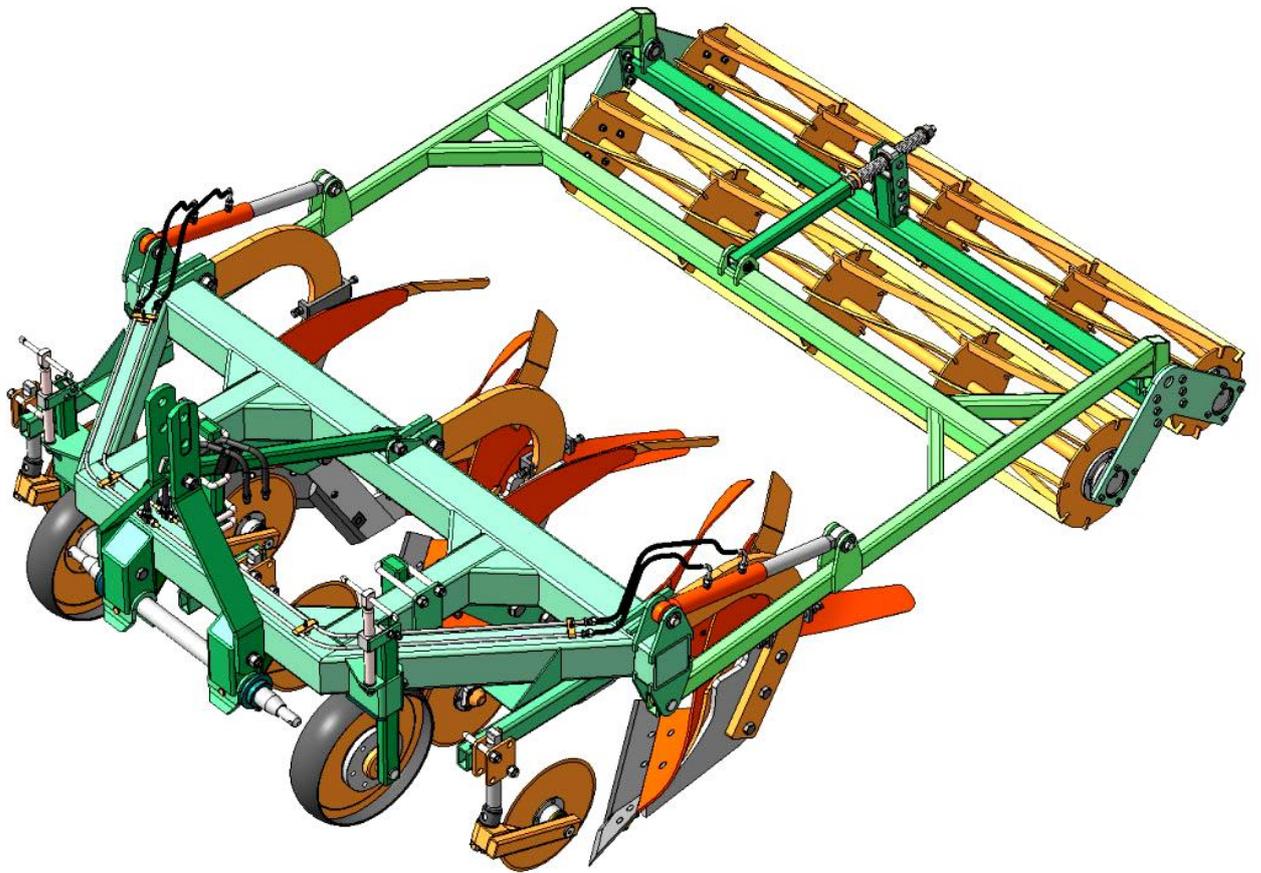


Рисунок 1.13 – Плуг фронтальный ПФН-2,2

Неустойчивость проявляется в забивании технологических проходов для пластов.

Ярким достижением отечественного плугостроения является появление плугов серии ПСК (ПБС) конструкции профессора Бойкова В.М (Саратов), у которых отпадает необходимость в полевых досках [9, 10, 11]. Их функцию выполняют дополнительные левосторонние лемехи, которые вместо бесполезного торможения о стенку борозды производят полезную работу по подрезанию снизу очередного пласта для облегчения нагрузки на следом идущий корпус (рисунок 1.14). Такие плуги экономят до 20% силы тяги трактора [94].



Рисунок 1.14 – Рабочий корпус плугов серии ПБС

Эти плуги выпускаются в навесном и полунавесном вариантах, правосторонние и оборотные, с различным числом корпусов и шириной захвата. Они опрокидывают не весь объём подрезанного пласта, а только его верхнюю часть, поэтому предплужники не применяются. Отсутствие предплужников позволяет укоротить дистанцию между корпусами в продольном направлении, угол расположения линии корпусов к направлению движения гораздо больше 35° , что значительно укорачивает габарит плуга по длине. Однако укороченные отвалы и отсутствие предплужников не позволяют выполнять

переворот пластов на угол, близкий к 180° , и плуг выполняет только так называемый «взмёт» зяби, когда полуперевёрнутые пласты близки к неустойчивому положению.

Предпринимаются очень многие попытки улучшить крошение почвы за счёт постановки дополнительных элементов к лемехам, отвалам и полевым доскам [4, 83, 84, 85, 86, 87, 88].

1.4 Преимущества полного переворота пласта

Отвальная вспашка крошит, перемешивает и переворачивает пласты почвы, поэтому она считается основным и важнейшим приёмом обработки. Крошение – это технологическая операция, которая разделяет крупные комочки почвы на более мелкие отдельности с целью улучшения водно-воздушного режима для культивируемых растений. С агрономической точки зрения наиболее ценными являются агрегаты размером от 0,5 до 5 мм [71]. При обработке почвы практически всегда крошение сопровождается рыхлением. Рыхление – это образование крупных пор, что приводит к уменьшению плотности почвы, увеличению аэрации и облегчению распространения корневой системы. Для роста и развития растений оптимальной плотностью почвы считается 1,1-1,3 г/см³. При плотности 1,5 г/см³ пространственное развитие корневой системы практически прекращается [63]. Перемешивание почвы – это создание однородного по составу корнеобитаемого слоя для наилучшего использования удобрений и питательных веществ растениями во весь период вегетации.

Оборачивание почвы классифицируется на четыре категории [51]. Полный оборот означает переворот на 180° . Оборот пласта на угол до 135° называют взмётом пласта. Такая вспашка получается при отсутствии предплужников. Промежуточное положение занимает культурная вспашка, при которой срезают верхнюю часть задернелого слоя и сбрасывают на дно борозды, то есть это работа с предплужниками. При ярусной обработке почвы верхний

слой укладывается обёрнутым на своё место, а второй и третий слои меняются местами.

Геометрическая интерпретация переворота пластов методом перекачивания с последовательным вращением вокруг двух точек (или углов прямоугольного пласта) доказывает невозможность их плотной укладки на дно борозды по всей длинной стороне прямоугольника. Незавершённый переворот, получивший в средствах массовой публикации название «взмет зяби», мало отличается от глубокого рыхления почвы дисковыми или культиваторными органами и не может подтвердить репутацию плуга как «санитара полей».

Агротехнические требования к вспашке имеют свои подробности к каждой из четырёх приведенных выше категорий оборачивания пласта. Но есть общие требования, изложенные в учебнике А.Н. Карпенко и В.М. Халанского [51]. Отклонение среднеарифметического значения фактической глубины пахоты от заданной не должно превышать $\pm 5\%$ на ровных участках и $\pm 10\%$ на неровных. Этот показатель иногда выражают в сантиметрах: соответственно 1 или 2 см [72]. Разница между конструктивной и фактической шириной захвата плуга не должна превышать $\pm 10\%$. При вспашке следует добиваться, чтобы ширина и толщина пластов были одинаковыми, растительные остатки и удобрения полностью заделаны, а гребни пластов имели одинаковую высоту (не более 5 см). Глыбистость, т. е. суммарная площадь, занимаемая комками размером более 10 см, допускается не более 15% от площади пашни. Не допускаются высокие свальные гребни (более 7 см), глубокие развальные борозды между отдельными проходами и скрытые огрехи (непропаханные участки).

При полном оборачивании в глубь почвы перемещаются послеуборочные остатки растений, что придаёт им оптимальные условия переработки органических веществ. Обработываемая вспашкой почва увеличивается в объёме на 25-50%, её пористость – на 10-15%. При полном перевороте пласта не только подрезаются и опускаются на дно борозды сорняки, удобрения, все пожнивные остатки, но и выносятся в верхние слои коллоидные почвенные

частицы, которые были вымыты осадками в нижние слои [63]. Так называемая культурная вспашка получается при работе плуга с предплужниками. Переворот пластов увеличивается, поэтому поверхность поля более ровная, отпадает необходимость в многократной последующей поверхностной обработке. Полный переворот пласта необходим в большинстве случаев, так как в верхних слоях больше питательных веществ, и они лучше усваиваются растениями, если заделываются глубже, в более влажные горизонты. В верхнем слое лучшие условия по запасам аэробных микроорганизмов, продуктов распада органики, по избытку углекислого газа, и перемещаясь вверх, нижний слой тоже повышает свою биологическую активность. Некоторые трактовки агротребований предписывают: «...оборот пласта должен быть полным» [72].

Полный переворот пласта, как и увеличение глубины вспашки, приводят к более глубокой заделке семян сорняков, в результате чего в последующих посевах наблюдается гораздо меньше сорных растений [105, 60]. Особенно полезна глубокая вспашка для сахарной свёклы [92]. По данным И.И. Гуреева и А.В. Агибалова, «попытки применения менее энергоёмких безотвальных рыхлений (без оборота пласта), после которых на поверхности поля сохраняется активно противостоящая эрозии стерня, не привели к желаемому результату – на фонах, обработанных безотвальными орудиями, резко снижается урожайность сахарной свёклы вследствие ухудшения на 22,1-52,5% полевой всхожести семян культуры, увеличения в 2-3 раза засорённости посевов и ограниченной возможности качественной заделки основных доз органических и минеральных удобрений» [45]. Профессор Я.П. Лобачевский приводит данные о влиянии глубины вспашки на количество сорняков в посевах: при глубине в 16 см было найдено 346 сорняков на 1 м², при глубине 20 см – 115, при 24 см – 97, при вспашке на 32 см найдено только 34 сорняка [63]. Более глубокая заделка верхних слоёв почвы благотворно сказывается и на борьбе с вредителями и болезнями растений. Жизненный цикл многих вредителей протекает, в основном, в верхнем слое почвы. При их насильственном пере-

мещении в глубь пахотного слоя они гибнут в результате изменений условий жизни.

1.5 Способы увеличения угла переворота пласта

За последние годы отечественная и зарубежная практика плугостроения обогатилась моделями плугов с увеличенным захватом (зачастую регулируемым) рабочего корпуса по сравнению с традиционной шириной захвата 35 см, доминировавшей абсолютно в 30-80-е годы прошлого столетия. Тому причиной являются многие положительные качества широких корпусов, например, уменьшение числа стоек, а следовательно, забиваемости почвой и растительными остатками технологических проходов для пластов, упрощение конструкции, стремление увеличить глубину вспашки и, наконец, увеличенный угол переворота при той же глубине вспашки и большая устойчивость перевёрнутого пласта. Известно [23], что для того, чтобы пласты не возвращались в промежуточное положение, необходимо превышение коэффициентом k своего критического значения:

$$k = \frac{b}{a} \geq 1,27 ,$$

где a и b – соответственно глубина хода и ширина захвата корпуса.

Если при вспашке под свеклу $a = 32$ см, а $b = 35$ см, то k принимает значение 1,09, то есть пласт не устойчив. При ширине захвата 45 см коэффициент k увеличивается до 1,41.

Угол δ наклона перевернутого пласта к горизонту (рисунок 1.15) выражается зависимостью [24]

$$\delta = \arcsin \frac{a}{b} , \quad (1.1)$$

из которой видно, что при заданной глубине вспашки a угол наклона пласта зависит от ширины b захвата корпуса.

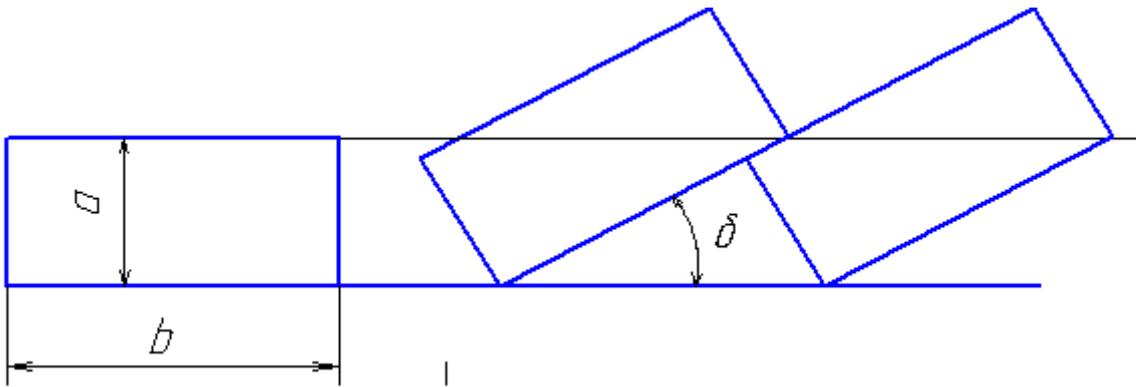


Рисунок 1.15– Угол наклона перевёрнутых пластов

Один из способов увеличения угла переворота пластов – это установка предплужников (рисунок 1.16). При этом глубина вспашки должна быть не менее 20-22 см. Если пахать с предплужниками ещё мельче, их эффективность пропадает из-за недостаточного прикрытия снятого предплужниками слоя оставшейся частью почвенного пласта. Однако следует иметь в виду, что при всей эффективности предплужников по окультуриванию вспашки тяговое сопротивление плуга возрастает на 15-20% [63]. И тем не менее, преимущества культурной вспашки вынуждают аграриев устанавливать предплужники. Тогда угол наклона перевёрнутых пластов уменьшается [24]:

$$\delta_1 = \arcsin \frac{a - a_1}{b}, \quad (1.2)$$

где δ_1 – угол наклона пласта при установке предплужников;

a_1 – глубина хода предплужника.

При этом высота h гребней на вспаханном поле

$$h = (a - a_1) \cos \delta_1. \quad (1.3)$$

Предплужник может быть установлен со смещением влево относительно главного корпуса (в сторону непаханого поля) на расстояние $b_3 \approx 6$ см. Тогда каждый пласт почвы перед переворотом оказывается надрезанным с двух сторон на глубину a_1 . Суммарная ширина надрезов равна ширине захвата предплужника: $b_1 = b_2 + b_3$ (рисунок 1.17).

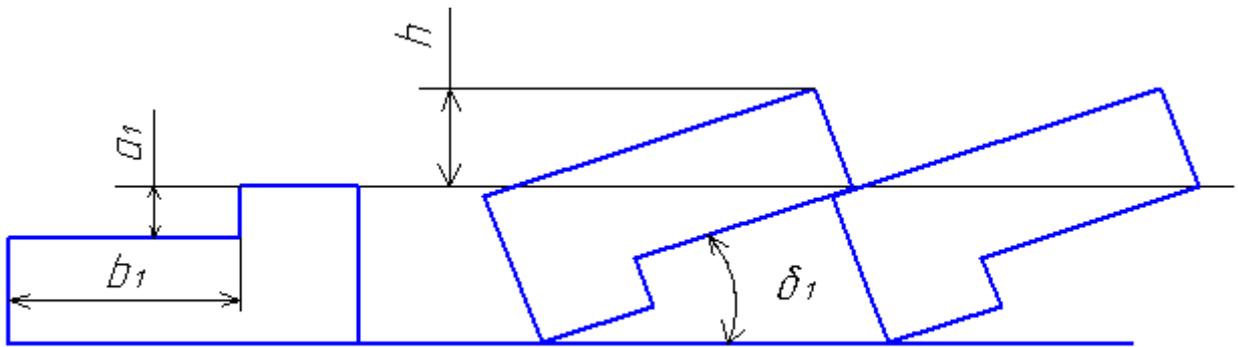


Рисунок 1.16 – Угол наклона перевёрнутых пластов при установке предплужников

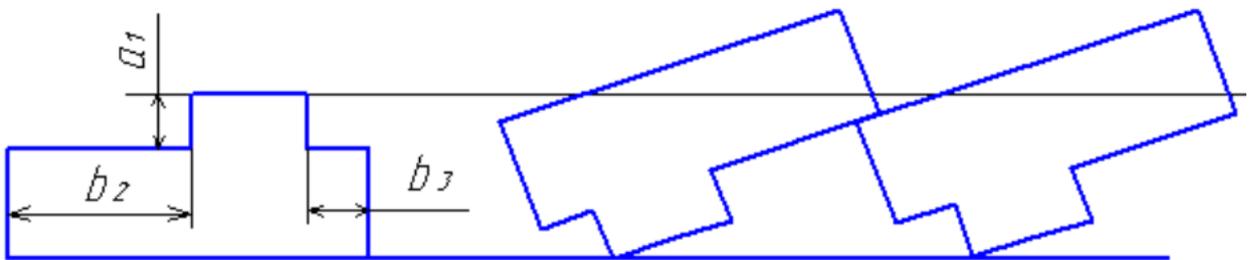


Рисунок 1.17 – Угол наклона перевёрнутых пластов при смещении предплужников

В этом случае пласты при своём перевороте поднимаются на меньшую высоту, и уменьшается гребнистость вспаханной поверхности за счёт лучшего заполнения пустот на дне борозды.

В целях уменьшения металлоёмкости изделия, его габаритов и тягового сопротивления в последние годы на плугах часто устанавливают углоснимы вместо предплужников [63, 89]. Углоснимы выполняют функции предплужников в гораздо меньшей степени, однако тоже способствуют улучшению переворота пластов.

В поисках лучшего варианта переворота и укладки почвенных пластов имеются попытки изменить форму поперечного сечения пласта, например, подрезать пласт не снизу лемехом, а по наклонной линии бороздным обрезом отвала [90]. Для этого кромку отвала упрочняют и затачивают. Получаются

пласты параллелограммной формы, но и они не гарантируют полного переворота.

Полный оборот пластов реализован только в плугах для гладкой вспашки конструкции МГАУ имени В.П. Горячкина, НПЦ «Агроспектр» [63]. Эти плуги названы фронтальными, так как рабочие корпуса у них расположены в линию, перпендикулярную направлению движения, в отличие от диагонального размещения на классических плугах по подобию журавлиного клина. Такое размещение корпусов придаёт плугам массу преимуществ, но нас интересует, прежде всего, способ переворота пластов. На рисунке 1.18 показана схема рабочего органа на виде сверху.

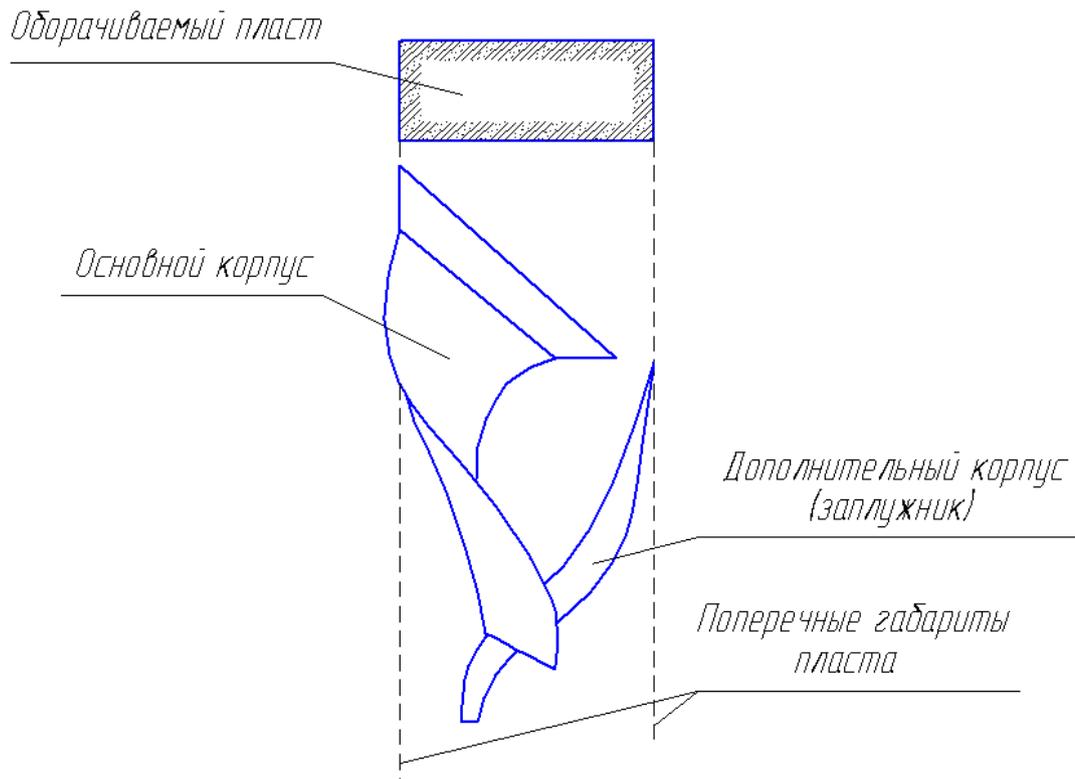


Рисунок 1.18 – Рабочие органы фронтального плуга

Пласт подрезается снизу лемехом основного корпуса и, как обычно, скользит по лемеху и отвалу, поднимаясь вверх и начиная переворот. Но отвал удлинённый и выгнут влево, давая возможность пласту не отходить от

своей борозды. К этому подталкивает его справа дополнительный корпус, или заплужник. В результате пласт принимает вертикальное положение по центру борозды, а не справа, как это бывает у классических плугов. В дальнейшем отвал основного корпуса толкает верхнюю часть пласта вправо, а заплужник – нижнюю часть влево. Пласт опрокидывается на месте, частично срезая свои углы в прямоугольной борозде.

Рабочие корпуса могут быть одинаковые и симметричные. В первом случае они располагаются на раме однотипно (рисунок 1.19), а во втором – по закону симметрии (рисунок 1.20). Симметричное расположение корпусов предпочтительнее из-за выравнивания боковых нагрузок на плуг со стороны почвы, но при этом возможно нарушение слитности вспаханной поверхности.

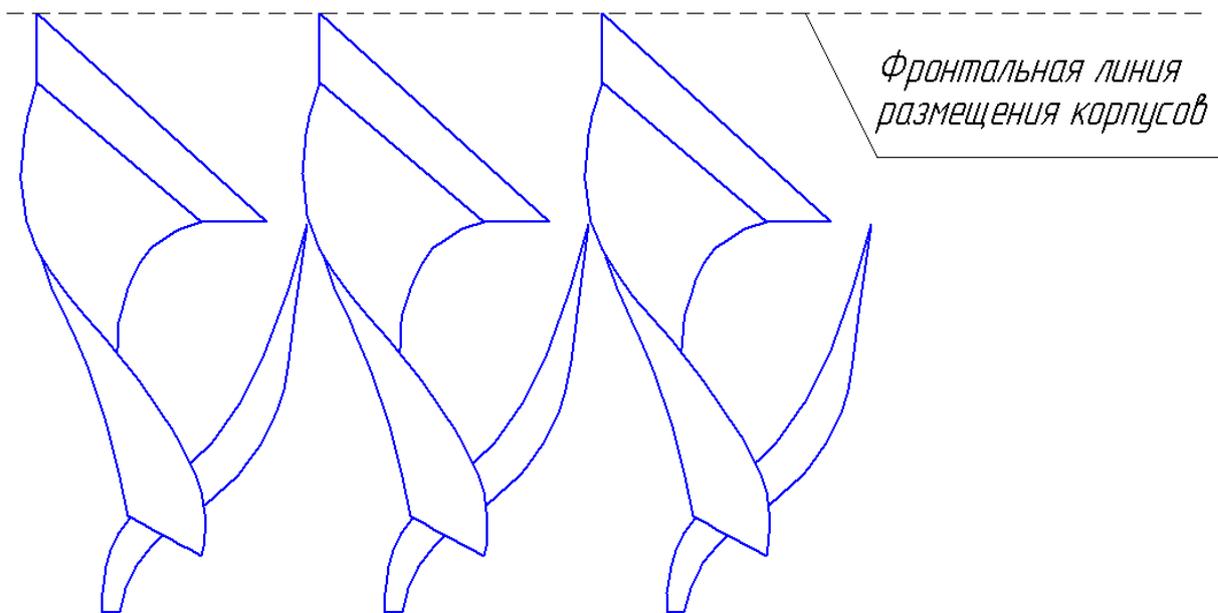


Рисунок 1.19 – Размещение одинаковых корпусов на раме фронтального плуга

У обычных плугов с диагональным расположением корпусов можно добиться увеличения угла переворота пластов путём частичной расчистки борозды перед укладкой пласта. По рисунку 1.15 можно оценить, насколько предыдущий пласт мешает последующему перевернуться на 180° . Напрашивается мысль о необходимости срезания угловой части уже перевернутого пласта, чтобы она не мешала последующему. В Воронежском ГАУ опубликована техническая

возможность такого срезания путём постановки на плуг сферических почво-обрабатывающих дисков за каждым рабочим корпусом (рисунок 1.21).

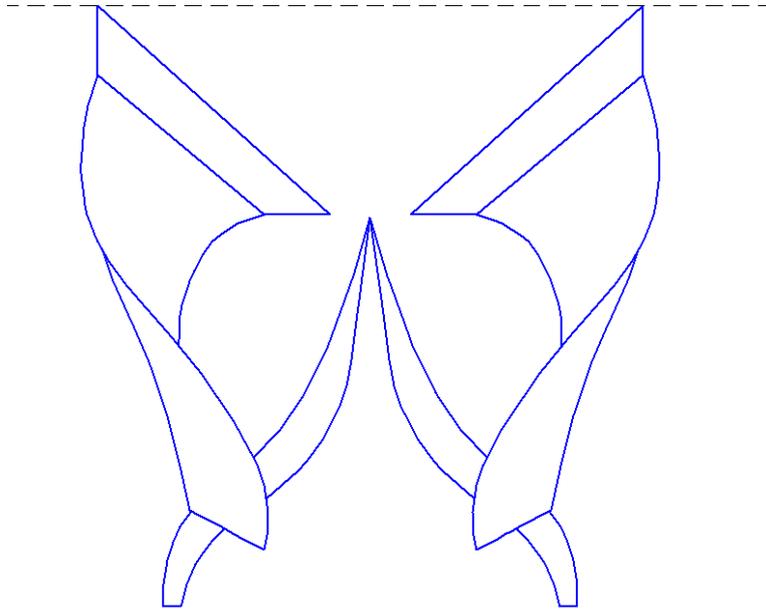
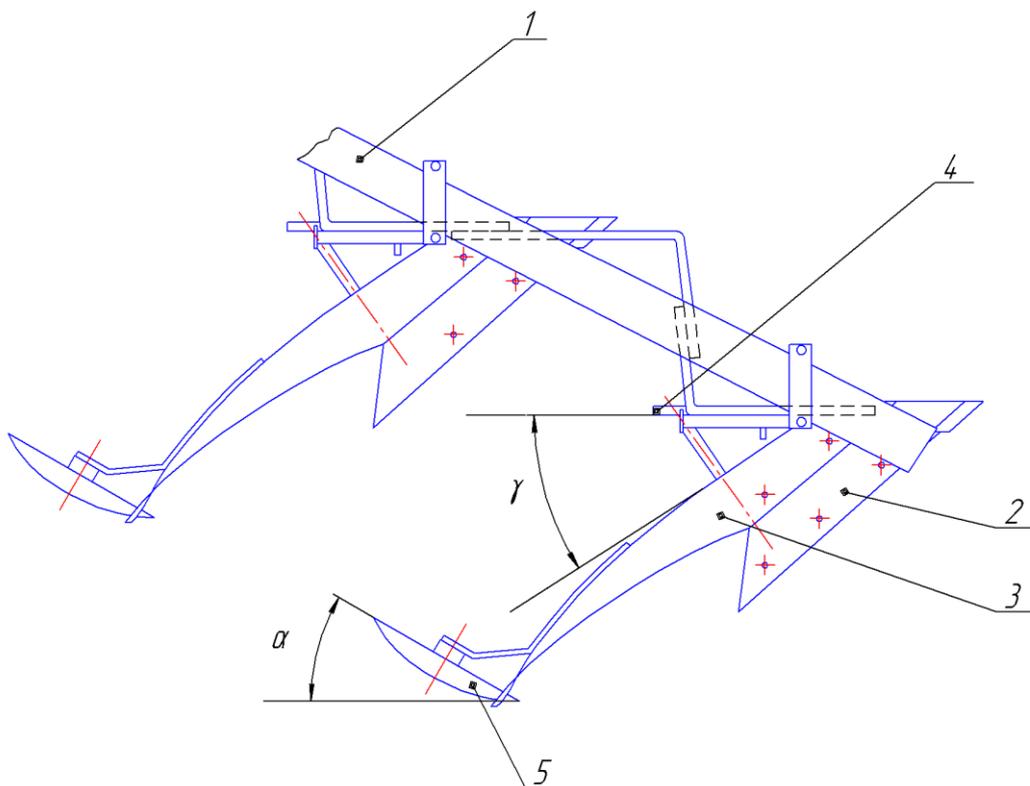


Рисунок 1.20 – Размещение симметричных корпусов на раме фронтального плуга



1 – рама плуга; 2 – лемех; 3 – отвал; 4 – полевая доска; 5 – диск

Рисунок 1.21 – Дополнительные почвообрабатывающие диски за отвалами плуга

Диски устанавливаются под углом атаки α и крепятся к отвалам [80, 30], Каждый из них отрезает угловую часть предыдущего пласта и перемещает её влево, в сторону непаханого поля. Перемещаемая часть почвы расстилается по дну борозды и не мешает следующему пласту уложиться на дно борозды всей плоскостью.

1.6 Степень разработанности темы и задачи исследования

Вопросами совершенствования рабочих органов плуга, в частности развитием косо поставленного клина в лемешно-отвальную поверхность, процессу переворота пласта, комбинированием с дополнительными рабочими органами и снижением энергозатрат на вспашку посвящены многие работы В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, Г.Н. Синеокова, Н.В. Щучкина, М.Н. Летошнев, Г.Е. Листопада, А.Н. Гудкова, В.М. Бойкова, Л.В. Гячева и многих других учёных [43, 49, 109, 124, 62, 106, 44, 9, 46]. Вопросы комбинирования рабочих органов, дифференциации способов обработки почвы по слоям, определения действующих сил и агротехнических показателей работы различных почвообрабатывающих орудий занимались А.С. Кушнарёв, С.И. Коржов, И.М. Панов, А.Г. Уфаев, И.Б. Борисенко, И.М. Бартенев, В.М. Кряжков и др. [60, 71, 76, 118, 13, 5, 6, 7, 58]. Анализ приведенных источников позволяет сформулировать выводы по степени разработанности выбранной темы и наметить цель и задачи исследований.

1. Отвальная обработка почвы, существующая более 4 тыс. лет с времён создания римского плуга, считается основой формирования урожая культивируемых растений. С середины 20 века ей стали противопоставлять безотвальную, минимальную, полосовую и другие варианты обработки с целью уменьшения энергозатрат и вреда экологии.

2. При отвальной обработке констатируется более высокая урожайность возделываемых культур, которая обуславливает компромиссное решение многих учёных и аграриев применять обе технологии с чередованием по мере необходимости в соответствии с засорённостью полей, глубоким уплотнени-

ем почвы, образованием плужной подошвы и других факторов. Отвальная вспашка будет применяться в обозримом будущем примерно на половине обрабатываемых площадей. Основные направления совершенствования плугов касаются создания оборотных орудий, полосовых отвалов, комбинированных органов, применения вибрации, но улучшению оборота пласта посвящается меньше внимания.

3. Полный оборот пласта считается преимущественным способом отвальной вспашки, он всё больше распространяется при основной обработке, но до настоящего времени реализован только в создании фронтальных плугов. Фронтальные плуги имеют свои недостатки, сдерживающие их широкое распространение, и требуются поиски других, более простых конструкций, обеспечивающих надёжность технологического процесса при изменении настроечных параметров орудия.

4. Существуют способы увеличения угла оборота пласта за счёт изменения ширины захвата корпусов, применения предплужников, углоснимов, бокового смещения предплужников, изменения формы отвала и т.д., но они приводят лишь к частичному перевороту, оставляя резерв для дальнейших исследований по затронутой теме. На этой основе нами намечены цель и задачи исследования, сформулированные во введении к диссертационной работе.

2 ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ОБОРОТА ПЛАСТА И УСТРОЙСТВА РАБОЧИХ ОРГАНОВ

2.1 Технологическая эффективность способов увеличения угла оборота пластов

По требованиям агротехники к качеству вспашки, заделка растительных остатков, а главное, и осыпавшихся семян сорняков, должна быть глубже 10-12 сантиметров. Такая глубина считается недоступной для прорастания, проростки погибают на полпути до дневной поверхности, а плуг приобретает почётное звание у земледельцев санитара полей. Это особенно важно в качестве противовеса применению гербицидов и резко отличает плуг от всех других почвообрабатывающих орудий [120].

Однако, кинематика переворота пластов такова, что они мешают друг другу и ложатся на дно борозды с неполным углом переворота. До 180° остаётся угол δ , который зависит по выражению (1.1) от размера сторон обрабатываемого пласта. Эта зависимость вытекает из схемы оборота пласта по методике Н.В. Щучкина (рисунок 2.1).

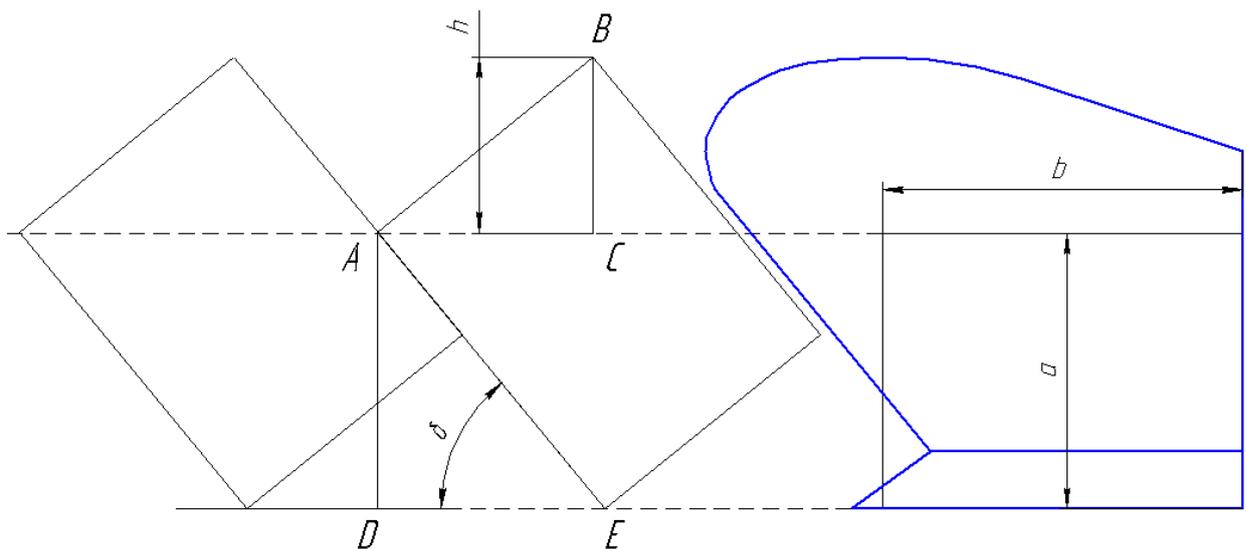


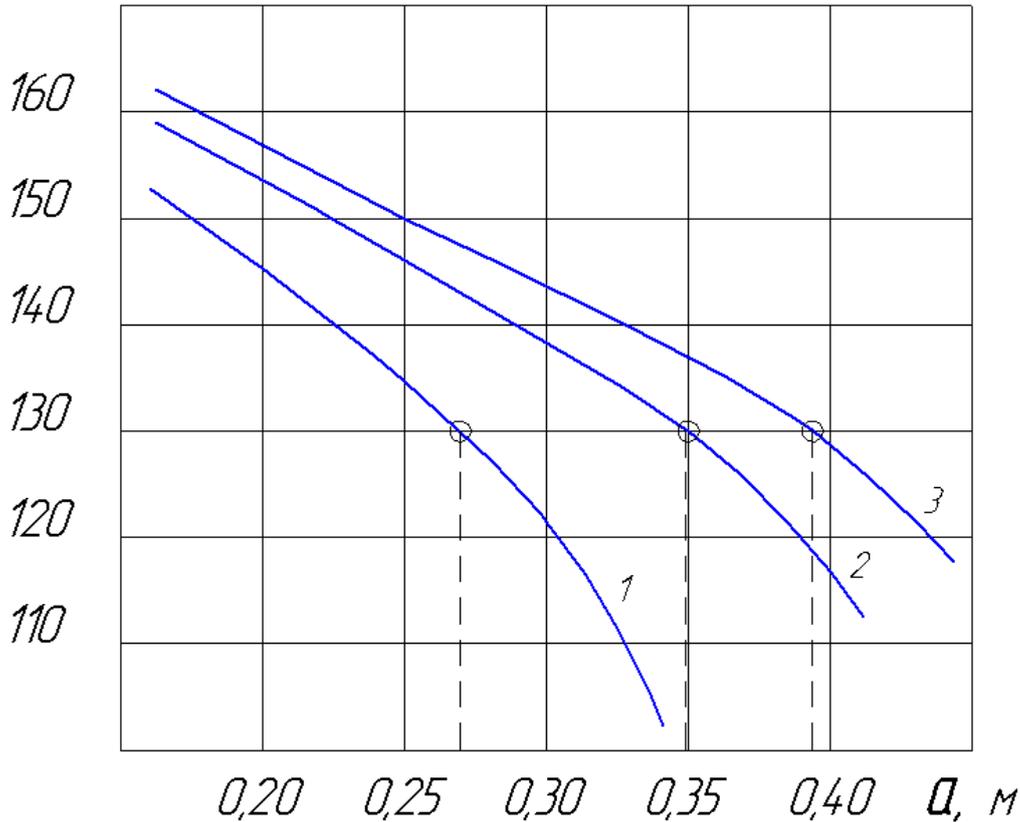
Рисунок 2.1 – Схема оборота пласта по методике Н.В. Щучкина

Если глубина вспашки равна a , а ширина пласта равна b , то из треугольника ADE очевидно $\sin\delta=a/b$, а высота гребней после вспашки

$$h=a \cdot \sin(90^\circ - \delta). \quad (2.1)$$

Варьируя глубиной обработки при заданной ширине пласта, получим графическую зависимость угла оборота $\omega=\pi-\delta$ (рисунок 2.2).

ω , град



1 – $b=0,35$ м; $a_{крит}=0,27$ м;

2 – $b=0,45$ м; $a_{крит}=0,35$ м;

3 – $b=0,50$ м; $a_{крит}=0,39$ м

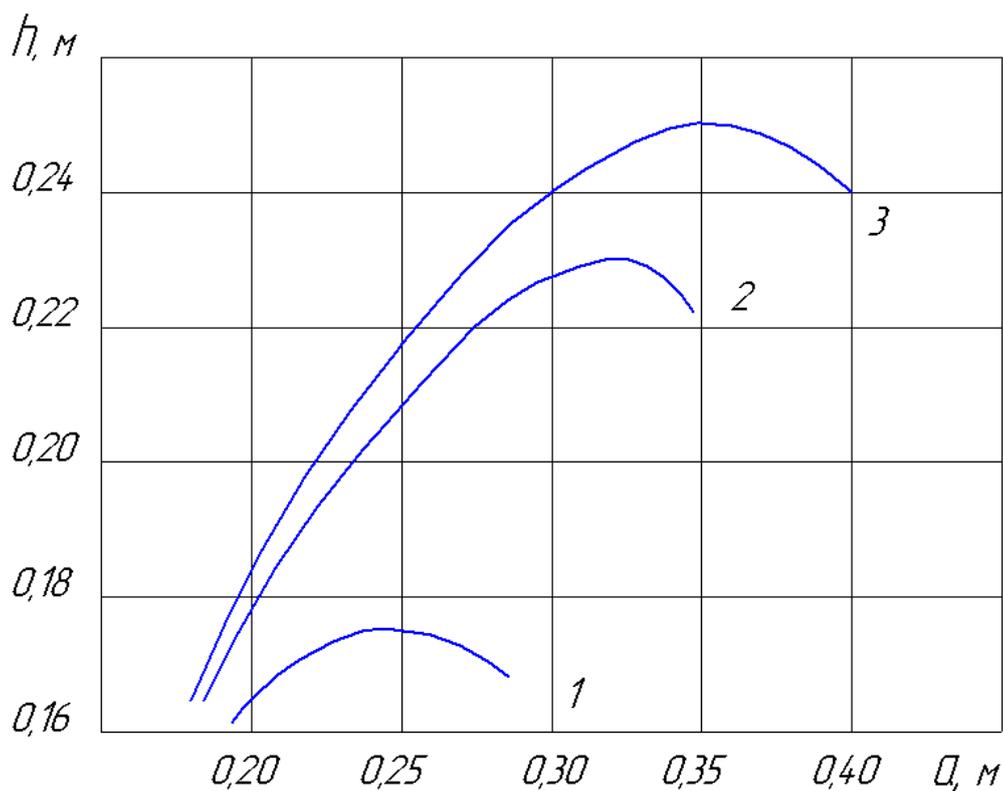
Рисунок 2.2 – Зависимость угла оборота пласта от глубины вспашки при различной ширине захвата рабочего корпуса

Из условия устойчивости перевёрнутого пласта известно, что отношение k ширины захвата корпуса к глубине обработки должно быть больше 1,27, то есть для каждой ширины захвата корпуса имеется критическая глубина вспашки $a_{крит}=b/1,27$, при которой перевёрнутый пласт неустойчив. Гра-

фик на рисунке 2.2 показывает, что критической глубине вспашки всегда соответствует угол оборота пласта 130° при любой ширине захвата корпуса. А поскольку пахать следует на глубину меньше критической, то преимущество имеют широкие пласты. Допустим, при $a=0,2$ м пласт шириной $0,35$ м оборачивается на 145° , пласт шириной $0,45$ м – на 154° и пласт $0,5$ м – на 157° .

Ширина захвата корпуса плуга в подавляющем большинстве моделей варьирует от $0,2$ до $0,5$ м, поэтому максимальное значение угла оборота пласта можно достичь этим способом $\omega=157^\circ$.

По выражению (2.1) можно проследить, как влияют параметры a и b пласта на высоту гребней после вспашки и как она соответствует агротребованиям (рисунок 2.3).



1 – $b = 0,35$ м; $a_{\text{крит}} = 0,27$ м;

2 – $b = 0,45$ м; $a_{\text{крит}} = 0,35$ м;

3 – $b = 0,50$ м; $a_{\text{крит}} = 0,39$ м

Рисунок 2.3 – Зависимость высоты гребней от глубины вспашки при различной ширине захвата рабочего корпуса

В реальности пики гребней несколько ниже из-за рыхления пластов, но рыхление зависит от состояния почвы и не всегда эффективно. По агротребованиям к вспашке [72], высота гребней не должна превышать 7 см, однако проведенный теоретический анализ доказывает, что при глубине вспашки 20-32 см этот показатель недостижим без дополнительной поверхностной обработки.

В подавлении сорных растений при вспашке участвуют два фактора – непосредственное уничтожение вегетирующих сорняков и заделка их семян на недоступную для прорастания глубину, равную или больше 12 см. Рассмотрим возможность достаточно глубокой заделки при перевороте пластов (рисунок 2.4). Если семена сорняков располагаются по линии CD, которая до вспашки являлась частью поверхности поля, то взойти смогут только те из них, которые располагаются на глубине менее $l_{min} = 12$ см. Точка F находится там, где отрезок FG равен 12 см, следовательно, семена, расположенные на отрезке FC, взойдут, а на отрезке FD – нет.

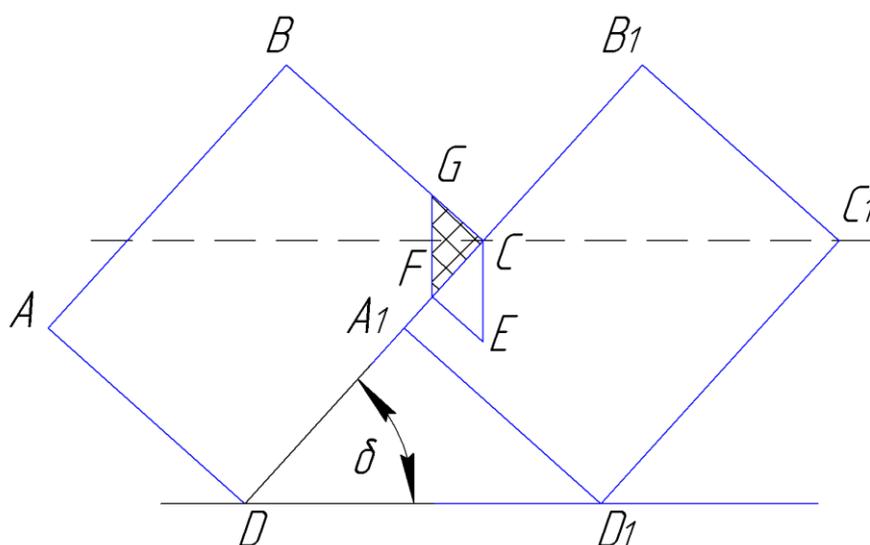


Рисунок 2.4 – Благоприятная зона для всхожести сорняков

Отношение отрезков FC к CD является частью поля с благоприятной зоной для всхожести сорняков, его можно назвать коэффициентом выживания сорняков, обозначив μ .

Из треугольника FGC следует $CF = FG \cdot \sin \delta$, а сторона $CD = b$, поэтому

$$\mu = \frac{l_{\min} \cdot \sin \delta}{b}, \quad (2.2)$$

где μ – коэффициент выживания сорняков, или часть поля с недостаточной глубиной заделки их семян;

l_{\min} – минимально необходимая глубина заделки семян сорняков для их подавления;

δ – угол наклона пластов к горизонту;

b – ширина захвата рабочего корпуса плуга.

Имея в виду равенство (1.1), можно записать выражение (2.2) в виде

$$\mu = \frac{l_{\min} \cdot a}{b^2}. \quad (2.3)$$

Коэффициент выживания сорняков, характеризуемый выражением (2.3), является новым термином, введённым нами для оценки качества вспашки. Графически эта зависимость для глубины обработки $a = 26$ см представлена на рисунке 2.5. При ширине захвата рабочего корпуса $b = 35$ см следует ожидать, что после вспашки сорняки взойдут на 25% площади поля, а при ширине корпуса $b = 45$ см засорённой окажется 15% площади. График показывает, что дальнейшее увеличение ширины захвата рабочего корпуса продолжает уменьшать выживаемость сорняков, но ради этого увеличивать ширину более 45 см нецелесообразно, тем более, что в засушливые периоды наблюдаются очень крупные глыбы, вывороченные при вспашке.

Двухфакторная аналитическая зависимость коэффициента выживания сорняков (по выражению (2.3)), показанная в виде карты линий уровня (рисунок 2.6), свидетельствует о большем влиянии ширины захвата корпуса, чем глубины вспашки. Самым опасным для сорняков является левый верхний угол карты.

При работе с предплужниками укладка пластов более плотная [24], и угол их наклона $\delta_l < \delta$ (см. рисунок 1.16). На схеме укладки видно, что вся зона недостаточно глубокой заделки семян срезана предплужником и сброшена на дно борозды, что значительно влияет на коэффициент выживания сорня-

ков. Однако в реально протекающем процессе переворота пластов подрезанная предплужником часть распадается и перемешивается на отвале с остальной частью пласта, и не все сорные семена оказываются заделанными глубоко. Что касается гребнистости поля, то она всё равно не укладывается в агро-

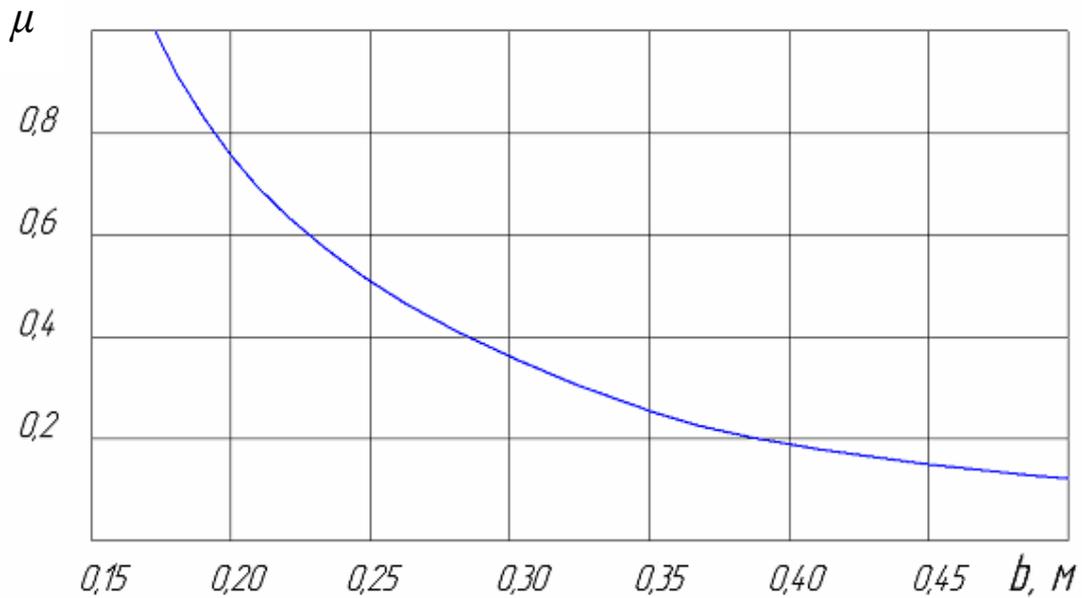


Рисунок 2.5 – Влияние ширины пласта на коэффициент выживания сорняков после вспашки

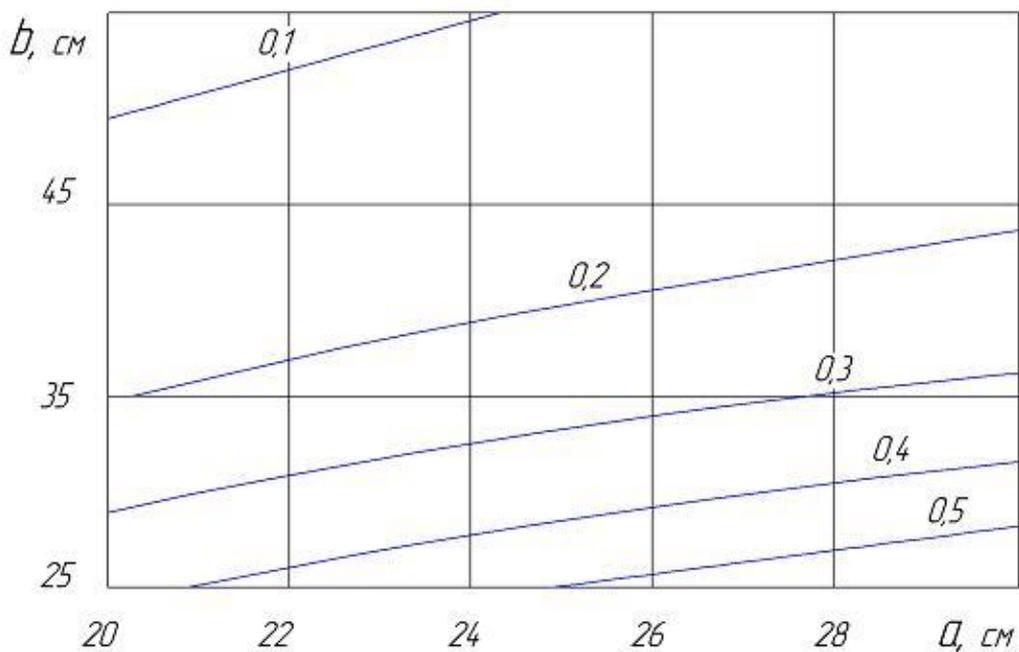


Рисунок 2.6 – Карта линий уровня коэффициента выживания сорняков в зависимости от глубины вспашки и ширины пласта

требования, так как даже при самых благоприятных условиях (по рисунку 2.3), когда $a=0,24$ м, $b = 0,35$ м по выражениям (1.2) и (1.3) с параметром $a_1=0,1$ м получаем $h=0,13$ м вместо требуемых по агротехнике $h<0,07$ м. Из этих теоретических рассуждений о влиянии размеров поперечного сечения пласта и наличия предплужников на угол оборота пахотного слоя, подавление сорняков и высоту гребней становится очевидным, что вариацией этих настроечных параметров процесса вспашки можно только улучшить качество работы плуга, но удовлетворить агротребования невозможно.

Способ увеличения угла оборота пластов по патенту РФ 2479180 [80] (см. рисунок 1.21) предполагает смещение части перевёрнутого пласта навстречу очередному пласту, чтобы удалить точки опоры, мешающие его полному обороту. Это смещение выполняется сферическим почвообрабатывающим диском (рисунок 2.7).

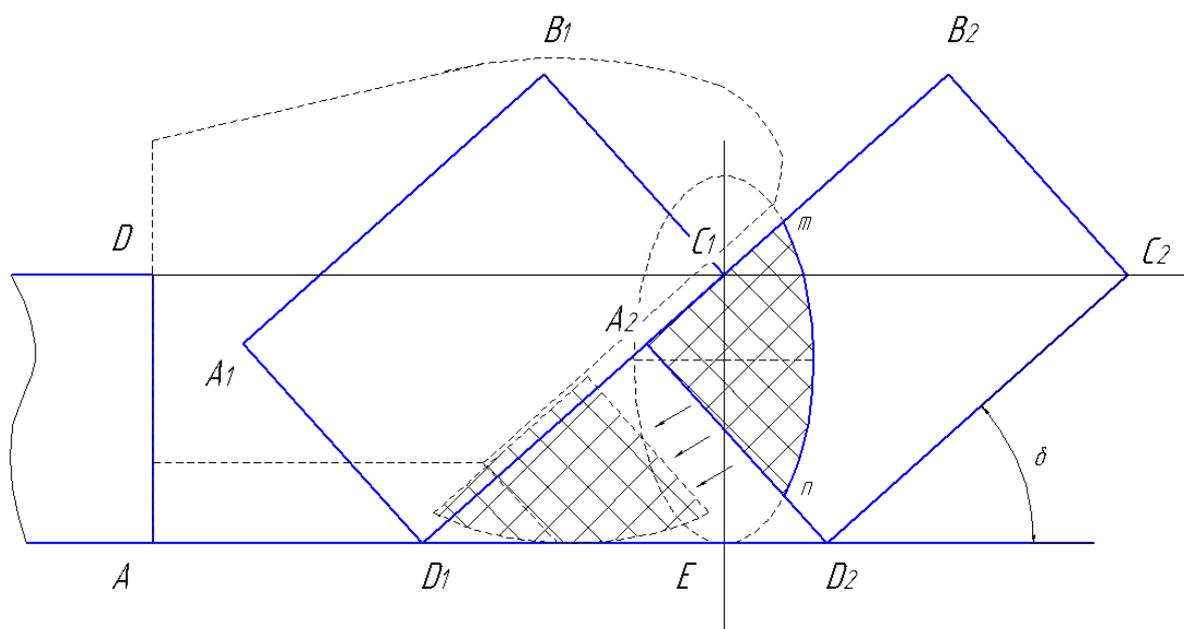


Рисунок 2.7 – Схема перемещения части пласта сферическим диском

На этой схеме представлен вид сзади на удаляющиеся вглубь чертежа пунктирный контур рабочего корпуса плуга и идущий за ним следом пунктирный овальный контур почвообрабатывающего сферического диска. Рабочий корпус уложил пласт $A_2B_2C_2D_2$ и т.д. , а диск отрезал от него нависающую над бороздой угловую часть nA_2m и сдвинул её влево по дну борозды в

положение ED_1A_2 . Теперь пласт $A_1B_1C_1D_1$, который будет уложен другим рабочим корпусом, должен опрокинуться на больший угол, так как не встретит препятствия на отрезке A_2C_1 .

При всей полезности такого конструктивного решения оно имеет существенный недостаток в том, что удаляемая часть пласта (криволинейный треугольник A_2mn) сопоставима по размерам с пустотой под надвигающимся пластом, и он получит новую опору, которая тоже будет мешать перевороту. Авторы утверждают, что в устоявшемся режиме работы, когда пласти всё-таки повернутся на больший угол, срезаемая часть пласта не превысит 3% его объёма, и процесс пойдёт нормально. С этим можно согласиться, но стадия входа технологического процесса в устоявшийся режим может затянуться.

Устоявшийся режим работы со сферическими дисками обеспечивает почти полный оборот пластов (рисунок 2.8), но высота гребней остаётся больше агротехнического допуска: $h = 9-11$ см при $[h] < 7$ см.

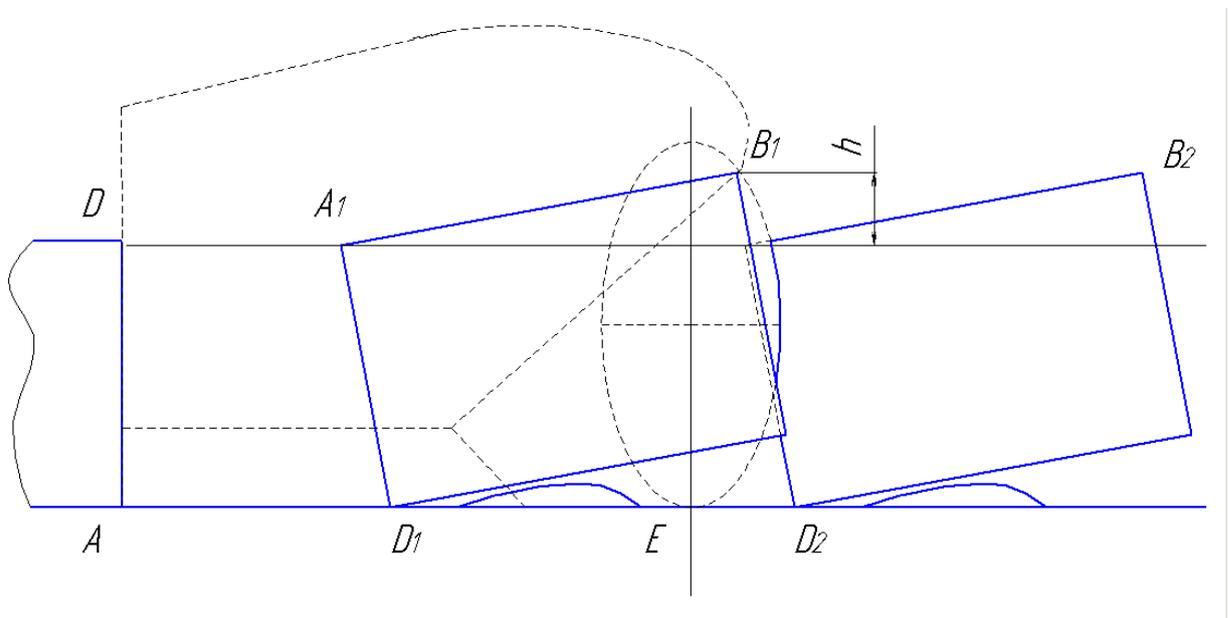


Рисунок 2.8 – Положения пластов при устоявшемся режиме работы со сферическими дисками

Таким образом, сравнительный анализ существующих способов увеличения угла оборота пластов показал, что ни один из них не удовлетворяет

полностью условий, сформулированных в агротребованиях. Предварительная расчистка борозды – самый эффективный способ, но удаление лишней почвы должно быть не навстречу очередному пласту, а в сторону вспаханного поля.

2.2 Обоснование способа и технического решения для расширения борозды путём сдвига части пласта

Кинематика переворота пласта по Н.В. Щучкину показывает, что чисто теоретически сохраняющий свою прямоугольную форму пласт мог бы перевернуться полностью без всяких препятствий, если бы самый первый из них был перевернут полностью. Однако при первом рабочем проходе плуга такой возможности нет, и установившийся процесс начнётся не сразу. Сначала надо отодвинуть в сторону довольно значительную часть предыдущего пласта, нависающую над открытой бороздой, после чего расчистка борозды будет значительно более лёгкой, устраняя только осыпавшуюся почву.

Рассмотрим теоретическую возможность сдвига части пласта при неустановившемся режиме во время первого прохода вслед за обычным плугом [119]. Процесс переворота почвы удобно проследить на виде рабочих корпусов спереди (рисунок 2.9).

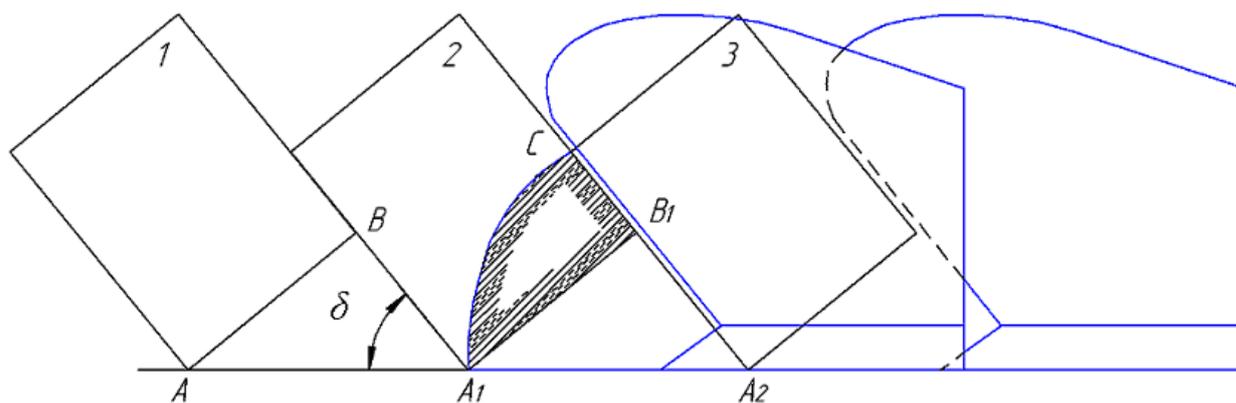


Рисунок 2.9 – Схема к расчёту максимально возможного объёма почвы,
сдвигаемой щитком

Пласт 1 был уложен при предыдущем проходе другим плугом с обычным процессом вспашки. Передний корпус опытного плуга укладывает пласт

2, и его заштрихованная часть A_1B_1C мешает последующему пласту 3 завершить полный переворот. Эту часть пласта можно отодвинуть вертикальным щитком, установленным на плуге. Щиток, установленный за передним корпусом, должен сдвинуть эту часть пласта в пустое пространство ABA_1 . Тогда пласт 3 перевернется полностью, и всем последующим щиткам предстоит очень мало работы по расчистке борозды. Чтобы сдвигаемая почва могла разместиться в пространстве ABA_1 , площадь заштрихованной фигуры должна быть меньше или равна площади треугольника ABA_1 . В соответствии с кинематикой переворота пластов, отрезок AA_1 равен ширине захвата корпуса b , отрезок AB – это глубина вспашки a . Тогда площадь треугольника ABA_1 определяется по выражению

$$S = 0,5 a \sqrt{b^2 - a^2}, \quad (2.4)$$

а площадь фигуры A_1B_1C можно вычислить как разницу между площадью сектора A_1A_2C и треугольника $A_1A_2B_1$, то есть $A_1B_1C = A_1A_2C - A_1A_2B_1$.

Площадь сектора A_1A_2C

$$S_1 = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot \delta}{2\pi} = 0,5 b^2 \cdot \arcsin \frac{a}{b}, \quad (2.5)$$

и искомая площадь фигуры A_1B_1C

$$S_2 = 0,5 \left(b^2 \cdot \arcsin \frac{a}{b} - a \sqrt{b^2 - a^2} \right). \quad (2.6)$$

Достаточность места для размещения сдвигаемой почвы можно обозначить коэффициентом λ заполнения пустот – это отношение площади фигуры A_1B_1C к площади треугольника ABA_1 :

$$\lambda = \frac{b^2 \cdot \arcsin \frac{a}{b} - a \sqrt{b^2 - a^2}}{a \sqrt{b^2 - a^2}}. \quad (2.7)$$

График зависимости (2.7) коэффициента заполнения пустот от глубины вспашки при ширине захвата рабочего корпуса $b=0,35$ м показан на рисунке 2.10.

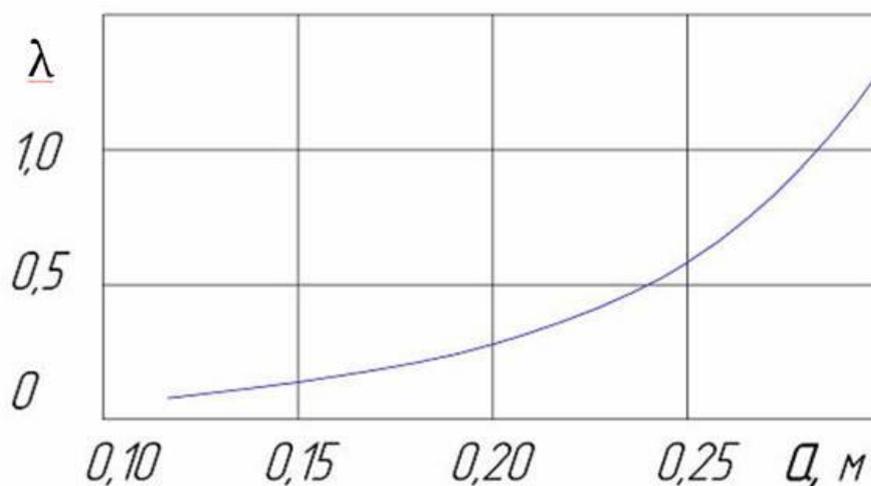


Рисунок 2.10 – Влияние глубины вспашки на коэффициент заполнения пустот

График показывает, что сдвиг щитками нависающей части пласта для освобождения места последующему пласту почвы целесообразно выполнять при наличии достаточного объема пустот на дне борозды, то есть до коэффициента заполнения пустот $\lambda < 1$. При ширине захвата корпуса 0,35 м это неравенство справедливо до глубины вспашки 0,28 м. Если требуется более глубокая вспашка с полным переворотом пластов, то ширина захвата рабочих корпусов должна быть увеличена.

Техническое решение по патенту РФ № 2549776 (Приложение А) [91] представлено на рисунке 2.11.

На главной балке 1 плуга размещены лемешноотвальные корпуса, каждый из которых имеет лемех 2, отвал 3 и полевую доску 4. К дополнительной балке 5 за каждым корпусом плуга прикреплены стойки 6 и регулируемые по длине упорные штанги 7. На каждой стойке шарнирно закреплён щиток 8 с возможностью поворота вокруг неё. Угол атаки γ у щитка меньше, чем соответствующий угол γ_1 у отвала.

При движении плуга в борозде он своими лемешно-отвальными корпусами опрокидывает пласты почвы в сторону под действием угла сдвига γ_1 . Передний корпус формирует пласт 10, следующий корпус формирует пласт

11. Часть b пласта 10 мешает пласту 11 перевернуться на 180° и лечь на дно борозды. Щиток 8 отодвигает её под действием своего угла атаки, освобождая место для пласта 11.

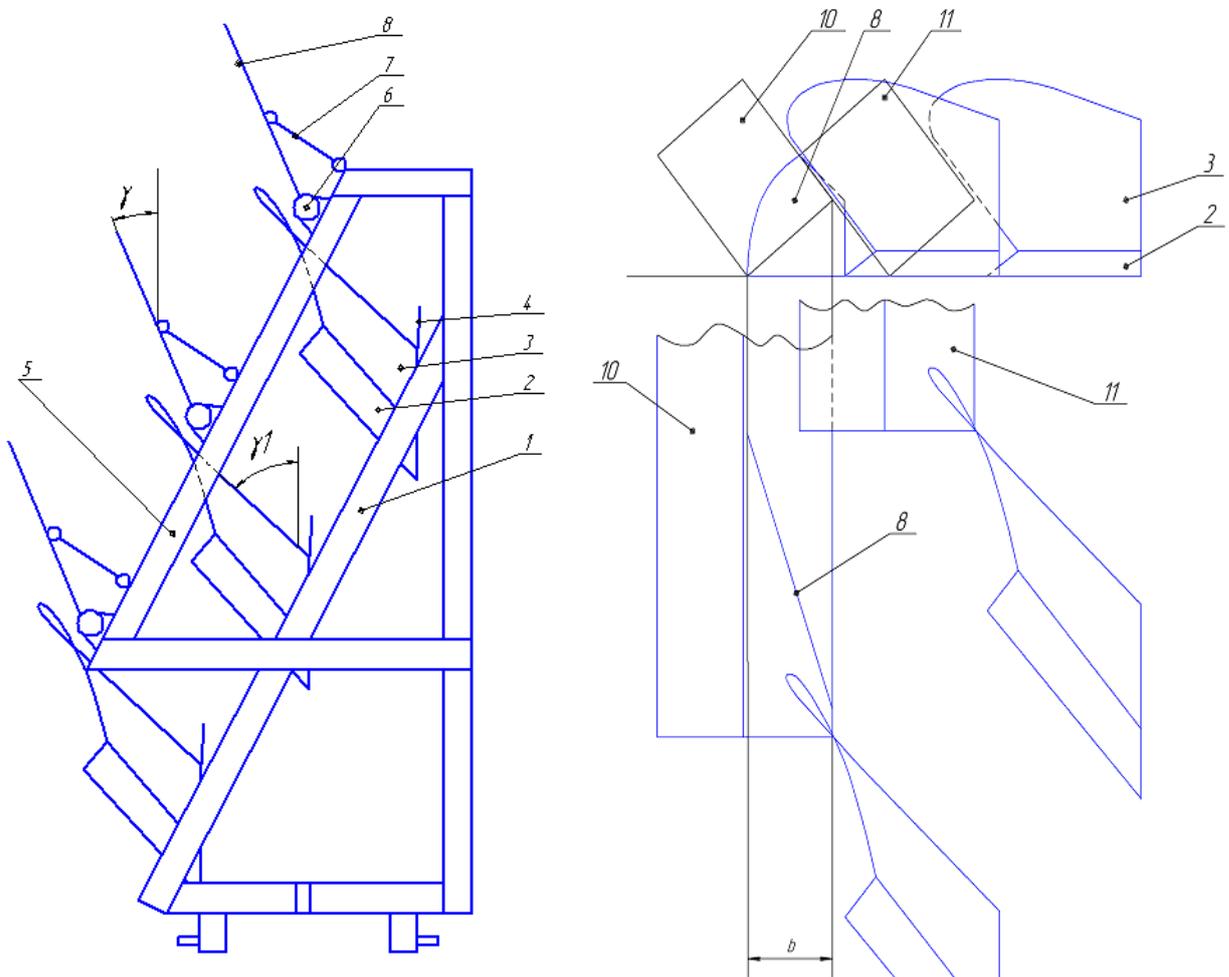


Рисунок 2.11 – Схема расположения щитков на раме плуга

Таким образом, дополнительные рабочие органы в виде вертикальных щитков расширяют борозду перед непосредственной укладкой очередного пласта и обеспечивают ему условия для полного переворота.

2.3 Графоаналитическое обоснование дистанции между рабочими корпусами и размеров щитка

Габаритные размеры и масса сельскохозяйственных орудий ограничены условием устойчивости агрегата в транспортном положении. Для увеличения

ширины захвата и производительности навесных плугов, а также для обоснования размеров щитка надо обосновать минимально возможную дистанцию между рабочими корпусами.

Для обычных плугов расчётная дистанция между корпусами по методикам В.П. Горячкина и Г.Н. Синеокова [42, 109, 23] равна 0,79 м, что и наблюдается в серийных плугах с шириной захвата корпуса 0,35 м. Дальнейшие многочисленные исследования рабочей поверхности плужных корпусов [64, 46, 122, 16, 17, 61, 69] привели к созданию рабочих органов с рациональными параметрами для различных условий работы орудия.

При увеличении ширины захвата корпусов дистанция между ними увеличивается пропорционально. Многолетняя практика применения таких плугов подтвердила правильность размещения рабочих органов на раме плуга. Однако в последние годы в Саратовском ГАУ под руководством профессора В.М. Бойкова разработаны корпуса с дополнительным лемехом, который компенсирует боковую нагрузку и стабилизирует ориентацию плуга без полевых досок [11]. Такие корпуса применены на плугах ПБН-8П, ПБС-4М и других. На многих моделях выпускаемых плугов отсутствуют также и предплужники, их роль выполняют углоснимы. В перспективе возможны также технические решения, которые обеспечат полный переворот пласта, и тогда не потребуются ни предплужники, ни углоснимы [23]. Плуг без полевых досок и предплужников имеет слишком широкие проходы для переворачиваемых пластов почвы, поэтому продольный размер этого орудия может быть уменьшен [33].

Проанализируем движение почвенного пласта по рабочей поверхности лемеха и отвала. Для этого воспользуемся методикой профессора Н.В. Щучкина [23, 124] построения лемешно-отвальной поверхности в трёх проекциях. В качестве исходных данных выберем ширину захвата корпуса $b = 0,35$ м, глубину вспашки $a = 0,27$ м, угол наклона лемеха к дну борозды $\varepsilon = 26^\circ$, углы наклона образующих к стенке борозды $\gamma_0 = 42^\circ$, $\gamma_{min} = 39^\circ$, $\gamma_{max} = 49^\circ$, тип отвала полувинтовой. Глубина вспашки выбрана максимально возможной по

условию устойчивости перевёрнутого пласта при вспашке без предплужников корпусами с шириной захвата 0,35 м.

Проследим траекторию движения угловых точек пласта $ABCD$ (рисунок 2.12) до положения $AB_1C_1D_1$, когда пласт становится вертикально. Именно в этой первой стадии его переворота наблюдается тесное соседство с впереди идущим корпусом. Угловая точка B пласта оказывается наиболее удалённой от рабочей поверхности, и её траектория перемещения в пространстве определяет возможную дистанцию до впереди идущего корпуса.

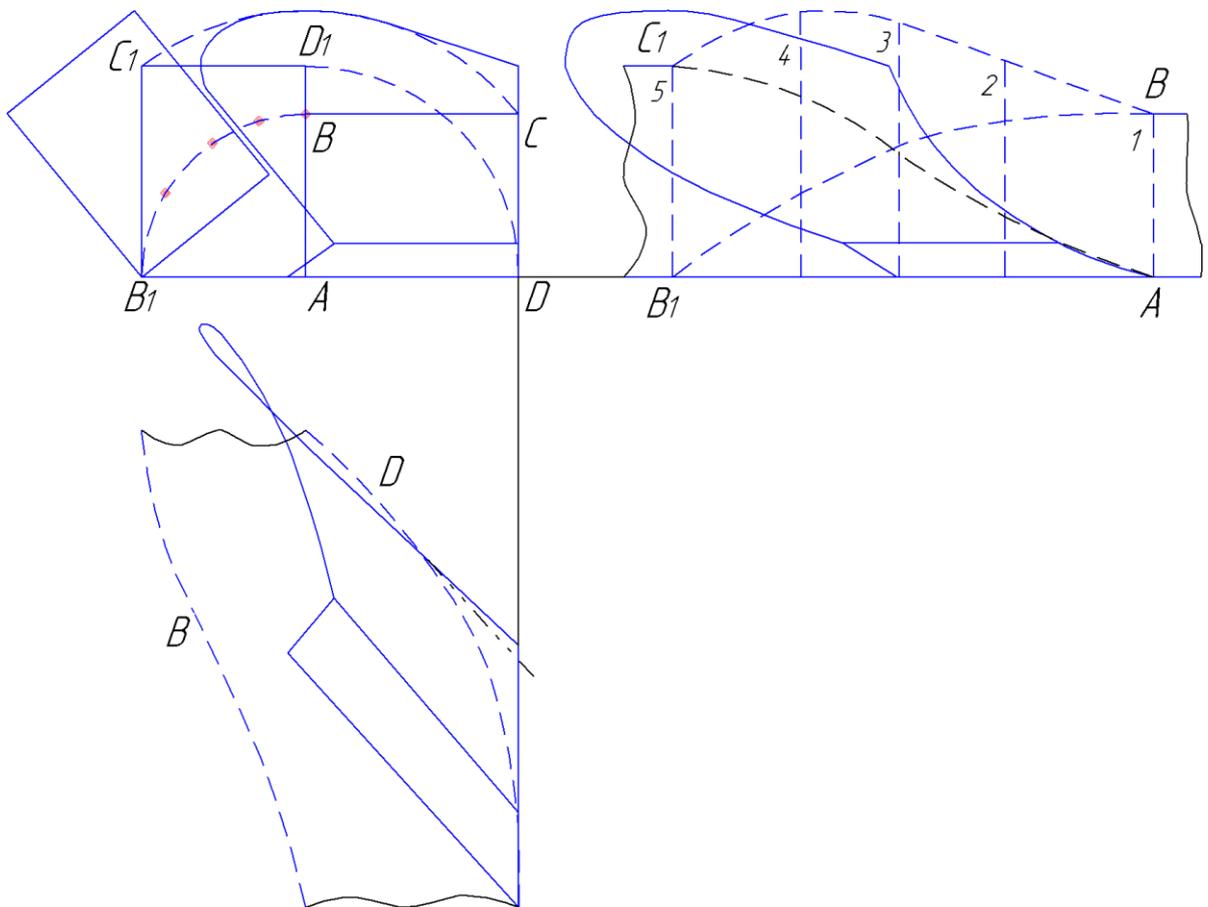
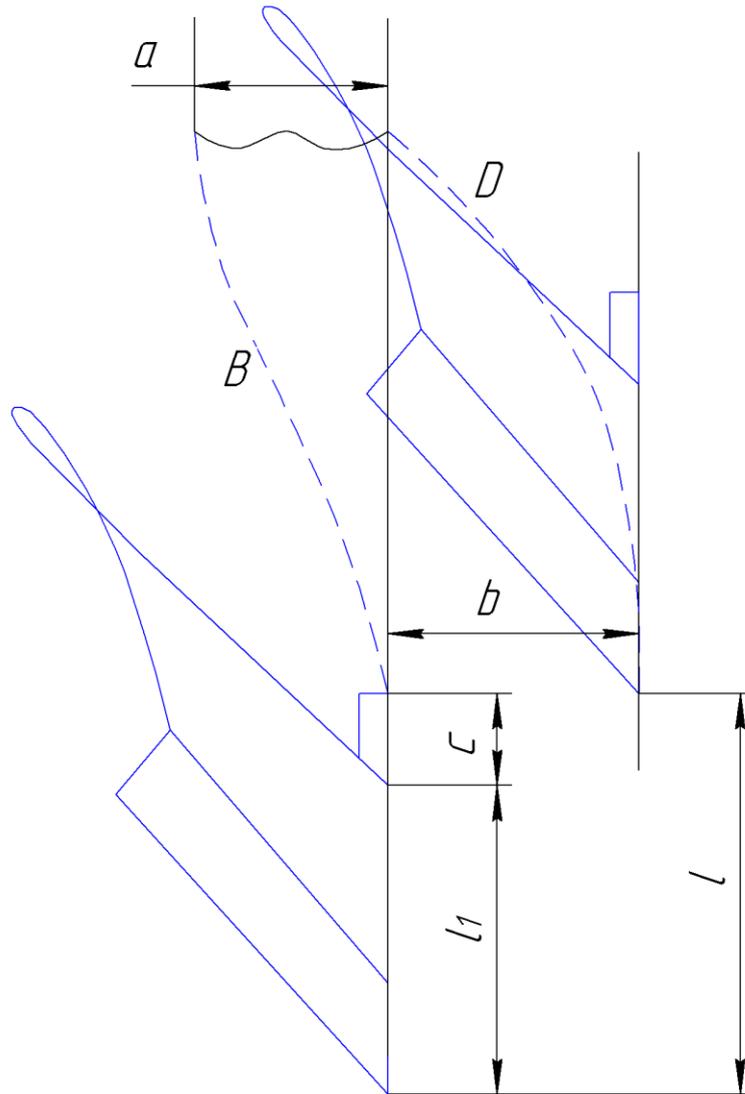


Рисунок 2.12 – Построение траектории переворота пласта

На виде сверху это траектория B , а на виде сбоку – BB_1 . Кривые BB_1 и BC_1 на виде сбоку получены путём построения сечений 1, 2, ... 5.

Очевидно, что переворот пласта начинается, когда он надвигается на носок лемеха (рисунок 2.13). С этого момента траектория точки B отклоняет-

ся в сторону переднего корпуса, и этот корпус следует разместить так, чтобы его полевой обрез и стойка не мешали пласту опрокидываться.



a – толщина пласта (глубина вспашки); b – ширина пласта; c – продольный размер сечения стойки; l – минимально возможное расстояние между корпусами в продольном направлении; l_1 – горизонтальная проекция полевого обреза

Рисунок 2.13 – Взаимное расположение корпусов на виде сверху

Это же взаимное расположение корпусов показано и на рисунке 2.14: носок лемеха заднего корпуса должен располагаться сразу за стойкой переднего корпуса.

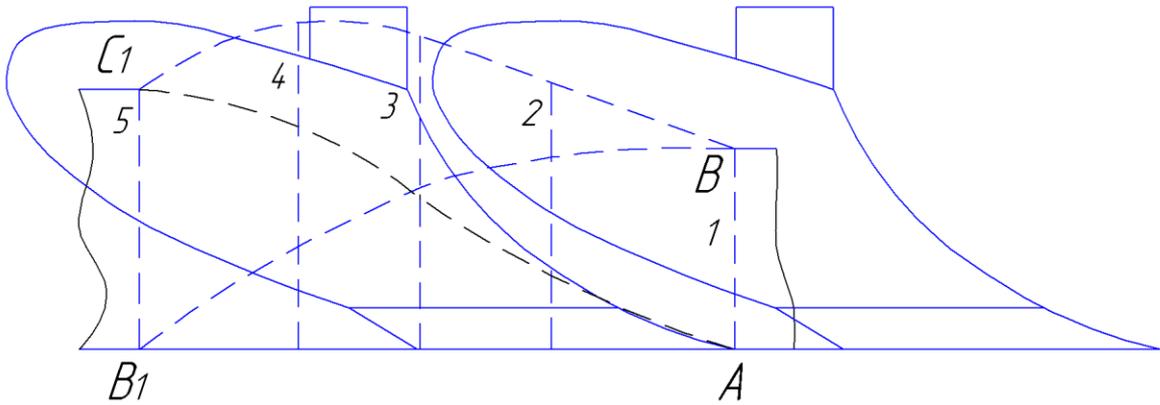


Рисунок 2.14 – Взаимное расположение корпусов на виде сбоку

Итак, минимальная дистанция l между корпусами равна проекции l_1 полевого обреза на дно борозды плюс выступание c стойки корпуса за полевой обрез (см. рисунок 2.13). Длину l_1 можно вычислить на основании методики построения лемешноотвальной поверхности [23]. При проектировании корпуса плуга выбирается радиус R направляющей кривой (рисунок 2.15) $R = 1,5b$, где b – ширина захвата корпуса. Направляющая кривая EF имеет свою полноту $E_1F_1 = l_2$, которую можно определить как

$$l_2 = R - R \sin \varepsilon, \quad (2.8)$$

где l_2 – полнота направляющей кривой, или длина её горизонтальной проекции, м;

R – радиус направляющей кривой, м;

ε – угол наклона лемеха к дну борозды.

В силу неравенства углов γ по высоте расположения сечений отвала проекция шаблона $E_2M = l_3$ оказывается несколько большей, чем проекция направляющей кривой E_1F_1 , вычисленная по выражению (2.8). Не вдаваясь в подробности этого приращения, его можно принять равным 10% полноты l_2 направляющей кривой, тогда

$$l_3 = 1,1R(1 - \sin \varepsilon), \quad (2.9)$$

где l_3 – длина горизонтальной проекции шаблона E_2M , м.

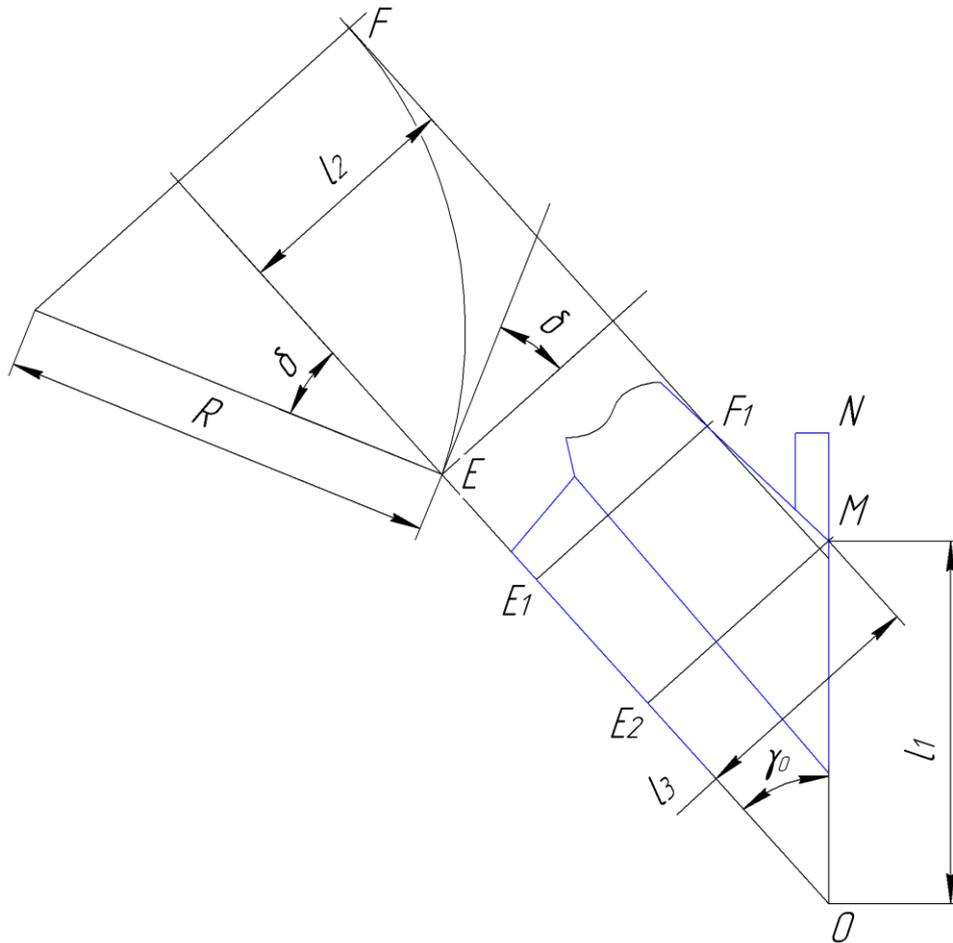


Рисунок 2.15 – Определение длины проекции полевого обреза

Длина проекции полевого обреза на дно борозды

$$l_1 = \frac{l_3}{\sin \gamma_0}. \quad (2.10)$$

Минимальная дистанция между корпусами в продольном направлении зависит от выражения (2.9), и в конечном итоге её можно вычислить на стадии проектирования плуга:

$$l = \frac{1,1R(1 - \sin \varepsilon)}{\sin \gamma_0} + c, \quad (2.11)$$

где R – радиус направляющей кривой, м;

ε – угол наклона лемеха к дну борозды;

γ_0 – угол наклона лезвия лемеха к стенке борозды;

c – выступание стойки корпуса назад за полевой обрез, м.

Если принять продольный размер сечения стойки $c = 0,1$ м, то, в соответствии с исходными данными, минимальная дистанция между корпусами $l = 0,58$ м.

Таким образом, при конструировании отвальных плугов, у которых нет предплужников и полевых досок, имеется возможность уменьшить дистанцию между корпусами на $0,2$ м, то есть с $0,79$ до $0,58$ м, если ширина захвата корпуса равна $0,35$ м, что сокращает продольный габарит шестикорпусного плуга на один метр. При другой ширине захвата корпусов их расстановка на раме плуга может быть рассчитана по выражению (2.11).

Для определения размеров щитка путём графоаналитического анализа переворота пласта [23, 124] вычертим два корпуса плуга, наметим направление координатных осей X и Y и перенесём найденные траектории угловых точек B , C и D сечения пласта, проходящего по второму отвалу (рисунок 2.16). Пласт $ABCD$, начиная переворот, становится вертикально на линии L_2D_1 , где траектории B и C пересекаются в совпадающих точках B_1 и C_1 . В дальнейшем точка B остаётся на месте, а точка C продолжает движение до контакта с предыдущим пластом в точке C_2 .

Поскольку первый пласт опрокинут не полностью, а с остаточным углом δ , он мешает второму пласту уложиться горизонтально, и его надо отодвинуть до линии, проходящей через точки L_1 и L_2 . Для этого устанавливается вертикальный щиток с началом в точке O . В этой точке расположена вертикальная ось возможной регулировки щита по углу поворота. Она доходит до дна борозды, оставляя зазор $2-3$ см во избежание излишнего торможения. По оси Y точка O имеет удаление $b-0,03$ м, чтобы располагаться в пределах борозды своего корпуса:

$$Y_O = b - 0,03. \quad (2.12)$$

По оси X точка O отстоит от начала координат на удалении

$$X_O = -l_1 - \frac{b - 0,03}{\operatorname{tg} \gamma_{cp}} - 0,03, \quad (2.13)$$

чтобы располагаться вплотную к задней поверхности отвала.

Конец щитка находится между крайними точками L_1 и L_2 , возможной его конструкции. Точка L_1 означает, что угол наклона щитка к направлению движения будет равен среднему значению углов γ_i на отвале, и увеличить

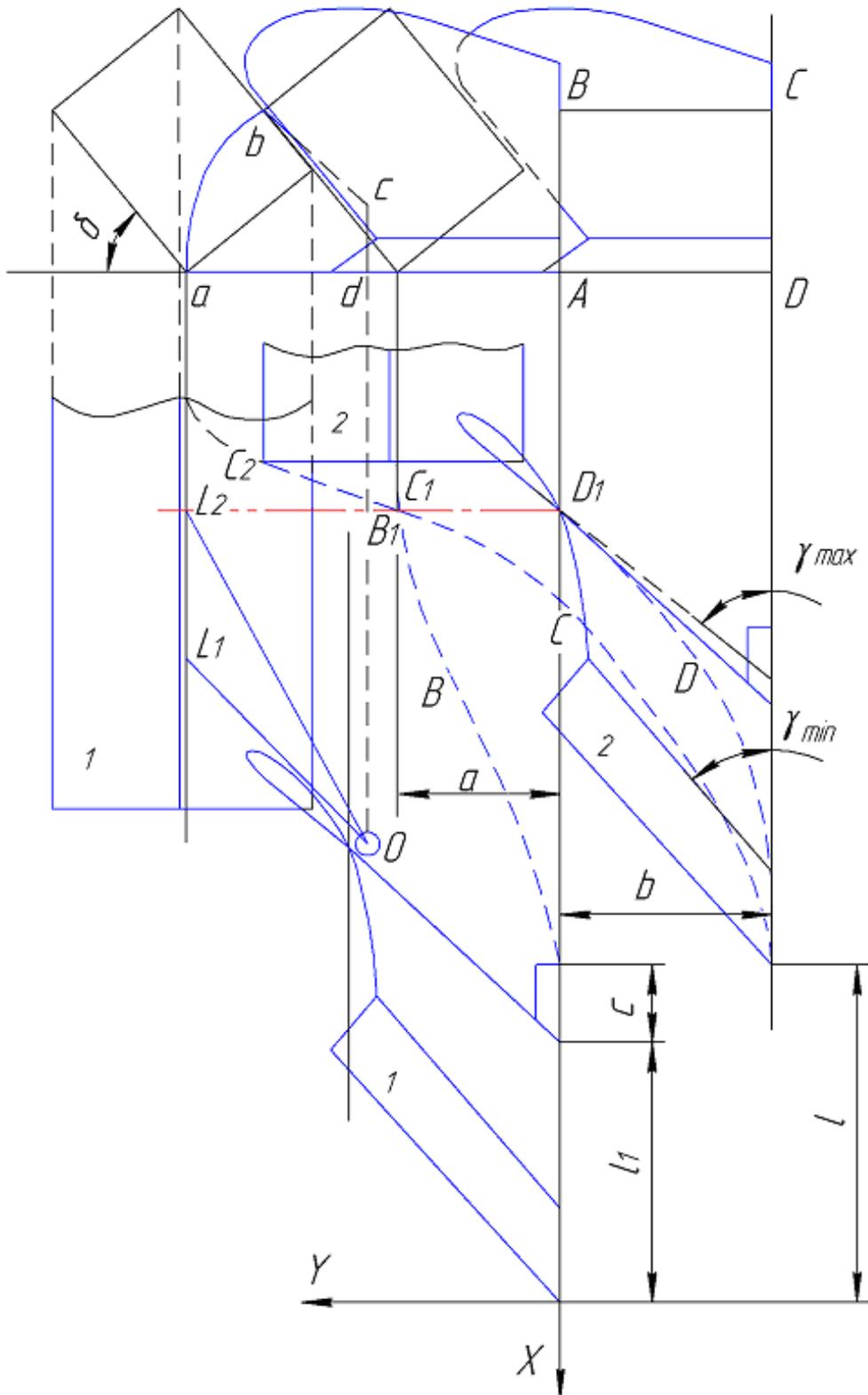


Рисунок 2.16 – К определению длины щитка

этот угол нельзя, так как мешает отвал. Точка L_2 означает, что отодвигание пласта закончится в тот момент, когда последующий пласт стоит вертикально и не сваливается на щиток. Найдём координаты точек L_1 и L_2 .

$$X_{L1} = -l_1 - \frac{a+b}{tg\gamma_{cp}} - 0,03, \quad (2.14)$$

$$Y_{L1} = Y_{L2} = a + b. \quad (2.15)$$

При минимальной дистанции (2.11) между корпусами плуга

$$X_{L2} = -2l_1 - c - \frac{b}{tg\gamma_{cp}}. \quad (2.16)$$

По координатам из равенств (2.12), (2.13), (2.14) и (2.15) вычисляется длина минимально возможного щитка:

$$l_{щ\min} = \sqrt{\frac{(a+0,03)^2}{(tg\gamma_{cp})^2} + (a+0,03)^2}. \quad (2.17)$$

Однако, такой щиток будет ориентирован под углом γ_{cp} к направлению движения, частично сгруживать почву перед собой и возможно создавать помехи своему пласту при завершении его оборота. Целесообразно уменьшить его угол наклона, чтобы уменьшить вероятность сгруживания почвы, дать возможность уложиться пласту без помех и снизить силу трения щитка о пласт. Если плуг изготовлен с минимальной дистанцией между корпусами, то целесообразно продлить щиток до той зоны, где очередной пласт становится вертикально (линия L_2D_1). Тогда длина щитка вычисляется по координатам его концов из уравнений (2.12), (2.13), (2.15) и (2.16):

$$l_{щ\max} = \sqrt{\left(l_1 + c + \frac{0,03}{tg\gamma_{cp}}\right)^2 + (a+0,03)^2}, \quad (2.18)$$

где a – глубина пахоты, м;

b – ширина пласта, м;

c – выступание стойки корпуса назад за полевой обрез, м;

l_1 – длина проекции полевого обреза на дно борозды, м;

γ_{cp} – среднее значение углов наклона образующих отвала к направлению движения.

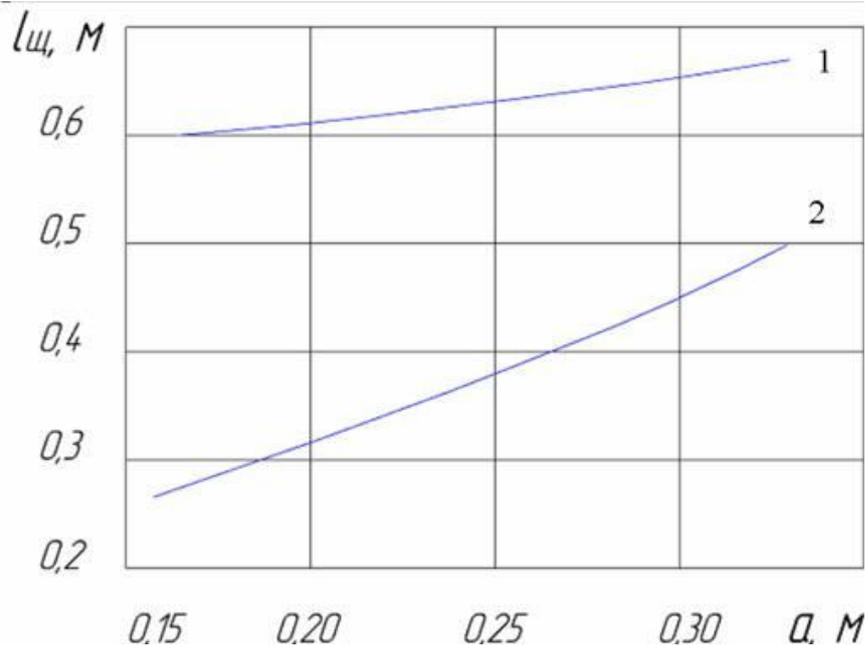
Учитывая равенства (2.9) и (2.10), а также $R \approx (1,35 \dots 1,40)b$, выражение (2.18) можно представить в тех параметрах, которые, обычно, задаются для проектирования плужных корпусов:

$$l_{щ\max} = \sqrt{\left(\frac{1,5b(1-\sin \varepsilon)}{\sin \gamma_0} + c + \frac{0,03}{\operatorname{tg} \gamma_{cp}}\right)^2 + (a+0,03)^2}, \quad (2.19)$$

где R – радиус направляющей кривой, м;

γ_0 – угол наклона лезвия лемеха к направлению движения.

Таким образом, уравнения (2.17) и (2.19) определяют пределы для длины щитка, в рамках которых выбирается этот параметр в качестве исходного для проектирования комбинированного плужного корпуса. Поскольку глубина вспашки является регулируемой величиной, представим графически, как она влияет на эти пределы (рисунок (2.17)).



1 – верхний предел рациональной длины щитка (до начала опускания очередного пласта); 2 – нижний предел рациональной длины щитка (до равенства углов γ у щитка и отвала)

Рисунок 2.17 – Влияние глубины вспашки на предельные значения длины щитка

По характеру кривых на графике заметно, что глубина вспашки больше влияет на нижний предел длины щитка, а что касается верхнего предела, он изменяется слабо. Учитывая ранее приведенные доводы в пользу верхнего предела, можно рекомендовать для плугов с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м длину щитка $l_{щ} = 0,58 \dots 0,62$ м. При большей ширине захвата корпуса щиток увеличивается пропорционально.

По своей высоте щиток должен соответствовать объёму сдвигаемой почвы. На рисунке 2.16 в фронтальной проекции он изображён в виде криволинейной фигуры $abcd$. Высота точки b над дном борозды определяет максимальную высоту его конфигурации.

2.4 Сила сопротивления почвы, действующая на щиток

2.4.1 Неустановившийся режим работы плуга

Условимся считать неустановившимся режимом первый рабочий проход плуга, когда щиток первого корпуса отодвигает неполностью перевёрнутый пласт. Эта ситуация возникает, если плуг начинает работу вдоль открытой борозды, сформированной обычным плугом без приспособления для полного оборота пластов, либо сам начинает вспашку, и тогда при первом проходе щиток первого корпуса должен быть освобождён от упора и не работать, а работу начинает щиток второго корпуса в неустановившемся режиме.

Щиток $CA_{щ}$, будучи поставленным под углом атаки к направлению движения, отодвигает часть пласта 2 (рисунок 2.18) в сторону вспаханного поля. Для того, чтобы пласт 3 опрокинулся полностью до дна борозды, необходимо нижнюю часть пласта 2 отодвинуть. Это возможно благодаря наличию пустоты ABA_1 . Под действием щита на отрезке $CA_{щ}$ пласт 2 подвергается сдвигу (срезу) по площади A_1BCB_1 и перемещению по дну борозды на расстояние $A_{щ}A_1$. Подсчитаем энергетические затраты на эту дополнительную операцию рабочего процесса вспашки [34].

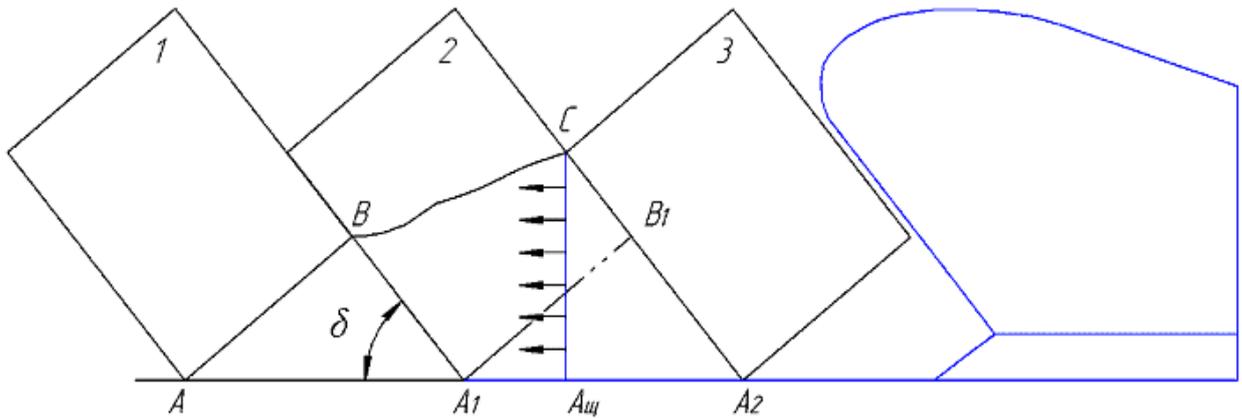


Рисунок 2.18 – Схема действия вертикального щитка при расширении борозды

Сечение каждого пласта является прямоугольником, длинная сторона которого – это ширина захвата b рабочего корпуса, а короткая сторона – это глубина вспашки a . Если линию скола BC считать прямой, то фигура A_1BCB_1 – это трапеция с основаниями A_1B и B_1C . Эти основания можно вычислить:

$A_1B = \sqrt{b^2 - a^2}$ и $B_1C = b - \sqrt{b^2 - a^2}$. Тогда площадь трапеции $S_{mp} = 0,5ab$, а на щиток действует нормальная сила

$$N_1 = 0,5abt_{\theta}, \quad (2.20)$$

где t_{θ} – временное напряжение почвы на срез.

Кроме усилия среза пласта щиток должен преодолеть сопротивление почвы передвижению по дну борозды:

$$N_2 = 0,5abl\psi f', \quad (2.21)$$

где l – рабочая длина щита;

ψ – сила веса 1 м^3 почвы;

f' – коэффициент внутреннего трения почвы.

Существует ещё и третья сила N_3 , это сила инерции покоя пласта:

$$N_3 = M \cdot j, \quad (2.22)$$

где M – масса сдвигаемой части пласта;

j – ускорение сдвига.

Масса сдвигаемой части пласта

$$M = 0,5abl\rho, \quad (2.23)$$

где ρ – плотность почвы.

Чтобы определить ускорение сдвига, рассмотрим разложение скорости v движения агрегата на скорость v_1 поперечного сдвига почвы и скорость v_2 скольжения щитка по сдвигаемой почве (рисунок 2.19).

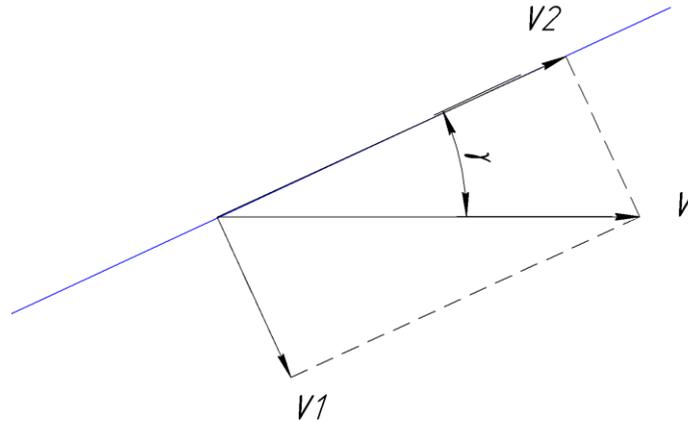


Рисунок 2.19 – Разложение скорости движения агрегата

$$v_1 = v \cdot \sin \gamma; \quad v_2 = v \cdot \cos \gamma \quad (2.24)$$

где γ – угол наклона щитка к направлению движения агрегата.

Ускорение сдвига почвы зависит от времени действия скорости v_1 :

$$j = \frac{v_1}{t},$$

а время действия принимаем равным продолжительности передвижения почвы по щитку на расстояние его рабочей длины:

$$t = \frac{l}{v \cdot \cos \gamma},$$

тогда

$$j = \frac{v^2 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma}{l}. \quad (2.25)$$

Сила инерции покоя сдвигаемой почвы принимает вид

$$N_3 = 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \rho \cdot v^2 \sin \gamma \cdot \cos \gamma. \quad (2.26)$$

Суммарная нормальная сила, действующая на щиток, определяется выражением

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 0,5ab(\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma + \tau_v + l\psi f'). \quad (2.27)$$

Поскольку почва скользит вдоль щитка OL, появляется сила трения F (рисунок 2.20):

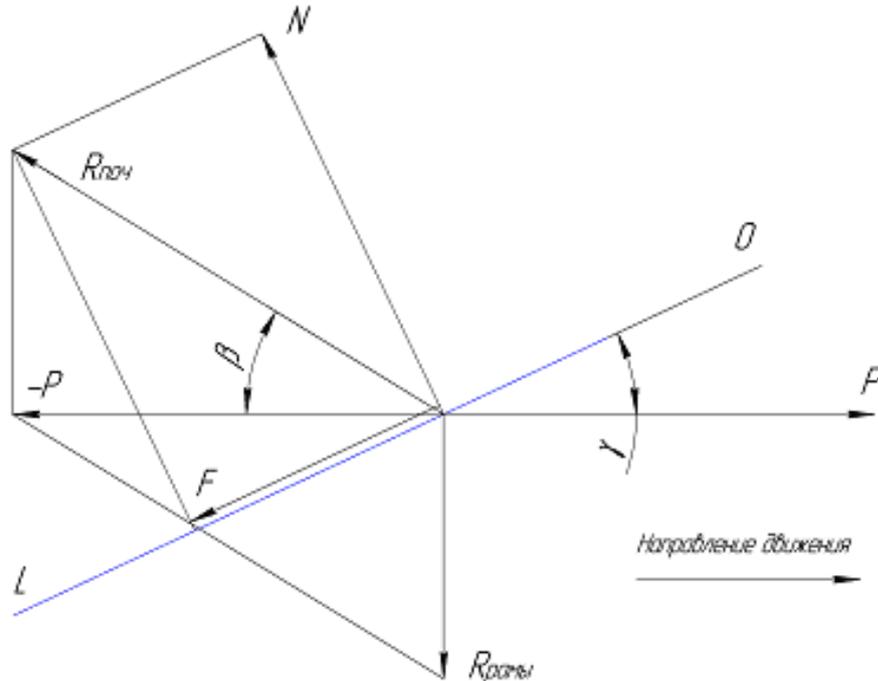


Рисунок 2.20 – Схема сил, действующих на щиток

$$F = 0,5abf(\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma + \tau_v + l\psi f'), \quad (2.28)$$

где f – коэффициент внешнего трения почвы.

Две силы (нормальная и касательная) создают на щитке общую силу сопротивления почвы:

$$R_{ноч} = \sqrt{N^2 + F^2},$$

$$R_{ноч} = 0,5ab(\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma + \tau_v + l\psi f')\sqrt{1 + f^2}, \quad (2.29)$$

расположенную под углом β к встречному направлению движения:

$$\beta = \arctg \frac{N}{F} - \gamma, \quad (2.30)$$

где γ – угол наклона щитка к направлению движения.

Проекция вектора силы R_{noch} на направление движения равна силе тягового сопротивления щитка:

$$P = R_{noch} \cdot \cos\beta = 0,5ab(\rho v^2 \sin\gamma \cos\gamma + \tau_b + l\psi f') \sqrt{1 + f^2} \cdot \cos(\arctg \frac{1}{f} - \gamma). \quad (2.31)$$

Для полного уравнивания всех сил, действующих на щиток, появляется боковая сила, которая передаётся на раму плуга и практически не влияет на тяговое сопротивление всего орудия:

$$R_{рамы} = P \cdot \operatorname{tg}\beta. \quad (2.32)$$

Наибольший интерес для практического применения щитков представляет информация о тяговом сопротивлении и силе нормального давления на них. Поскольку в аналитических выражениях действующих сил (2.27), (2.28), (2.31), (2.32) регулируемые параметрами являются глубина вспашки и скорость движения, построим графики зависимости этих сил от глубины вспашки при постоянной скорости движения агрегата (1,5 м/с). За исходные данные принимаем размеры рабочей зоны щитка (0,30x0,27 м²), ширину захвата плужного корпуса (0,35 м), коэффициент внутреннего трения почвы (0,95), коэффициент трения почвы по стали (0,55), временное сопротивление почвы сдвигу (8 кПа), удельный вес почвы (11 кН/м³), угол постановки щитка к направлению движения (25°) (рисунок 2.21).

Судя по графику, максимальной силой является нормальная составляющая. При вспашке на глубину 27 см она достигает до 570 Н. Что касается боковой силы, действующей на плуг в целом от одного щитка, то она оказалась незначительной (380 Н). Все эти силы линейно зависят от глубины вспашки.

Однако, пласты редко сохраняют свою прямоугольную форму. По требованиям агротехники, они должны быть разрыхлены, что и достигается в большинстве случаев. В этом случае среза части пласта не существует, и

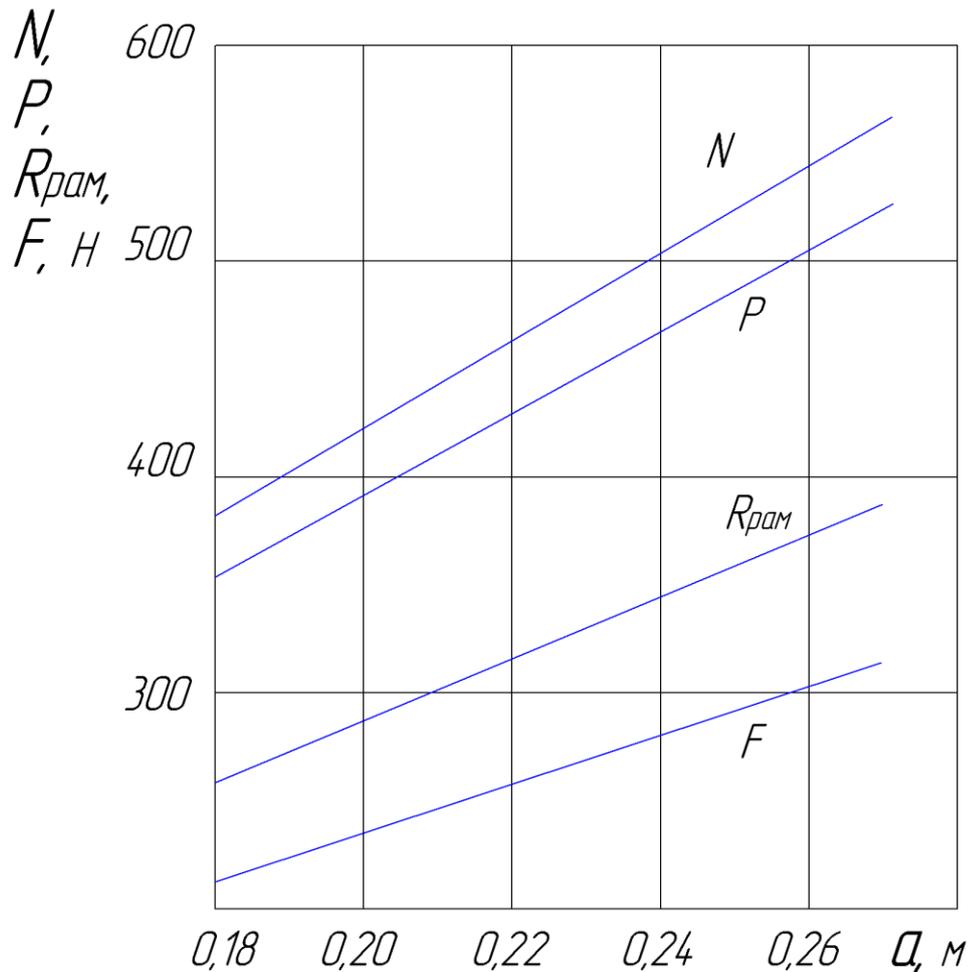


Рисунок 2.21 – Зависимость сил, действующих на щиток, от глубины вспашки при связных пластах (при скорости 1,5 м/с)

остаются только сдвиг и инерция покоя. Тогда силы, действующие на щиток, вычисляются по выражениям (2.21) и (2.22). Для этого случая расчётный график сил, построенный по тем же исходным данным, представлен на рисунке 2.22.

При установившемся режиме работы эти силы станут значительно меньше, так как передний щиток, отодвинув первый пласт, освободит пространство для полного переворота следующего пласта, а при полном перевороте все остальные пласты по геометрическим соображениям тоже будут иметь необходимое пространство. Щитки будут подгрести только случайно осыпавшуюся почву с незначительным усилием.

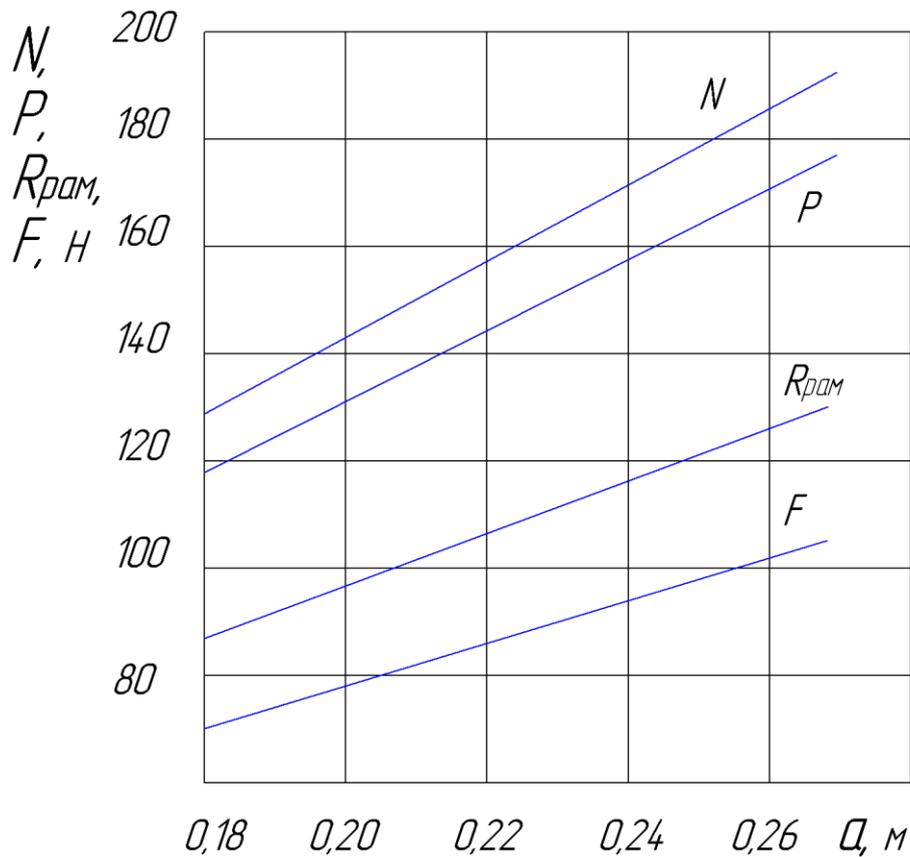


Рисунок 2.22 – Зависимость сил, действующих на щиток, от глубины вспашки при разрыхленных пластах (скорость 1,5 м/с)

В нормальных условиях вспашки, когда имеет место крошение пластов на отвале, дополнительная мощность на первый проход четырёхкорпусного плуга со щитками определяется произведением $N_m = 4VP$. При максимальной глубине вспашки $a = 0,27$ м и скорости движения 6 км/ч она не превысит 1,0 кВт.

Таким образом, предложенный способ увеличения угла переворота пласта при вспашке приводит к незначительному росту сопротивления плуга при первом проходе, возрастание затрат мощности не превышает 0,25 киловатта на один плужный корпус и не потребует увеличения тягового класса трактора по сравнению со вспашкой обычным плугом.

По схеме сил, действующих на щиток (см. рисунок 2.20) можно заключить, что достаточно измерить нормальную силу N , чтобы по геометрическим зависимостям доподлинно определить все остальные силы.

Поскольку нормальная сила зависит от глубины вспашки и скорости движения агрегата, представим график её теоретической зависимости от двух переменных по выражению (2.27). Применим это выражение для наиболее типичного случая, когда почвенные условия нормальные, и пласты крошатся на отвалах в процессе подъёма и переворота. В этих условиях не существует отрезания части пласта силой действия щитка, и $\tau_e \rightarrow 0$. Исходные данные примем по графику из рисунка 2.22, но скорость движения станет переменной от 1,5 до 2,25 м/с. Тогда равенство (2.27) принимает вид

$$N = 0,5ab(\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma + l\psi f') = 73,54av^2 + 548,62a. \quad (2.33)$$

График зависимости (2.33) показывает, что в принятых границах изменчивости переменных функция изменяется практически линейно от каждой из них (рисунок 2.23).

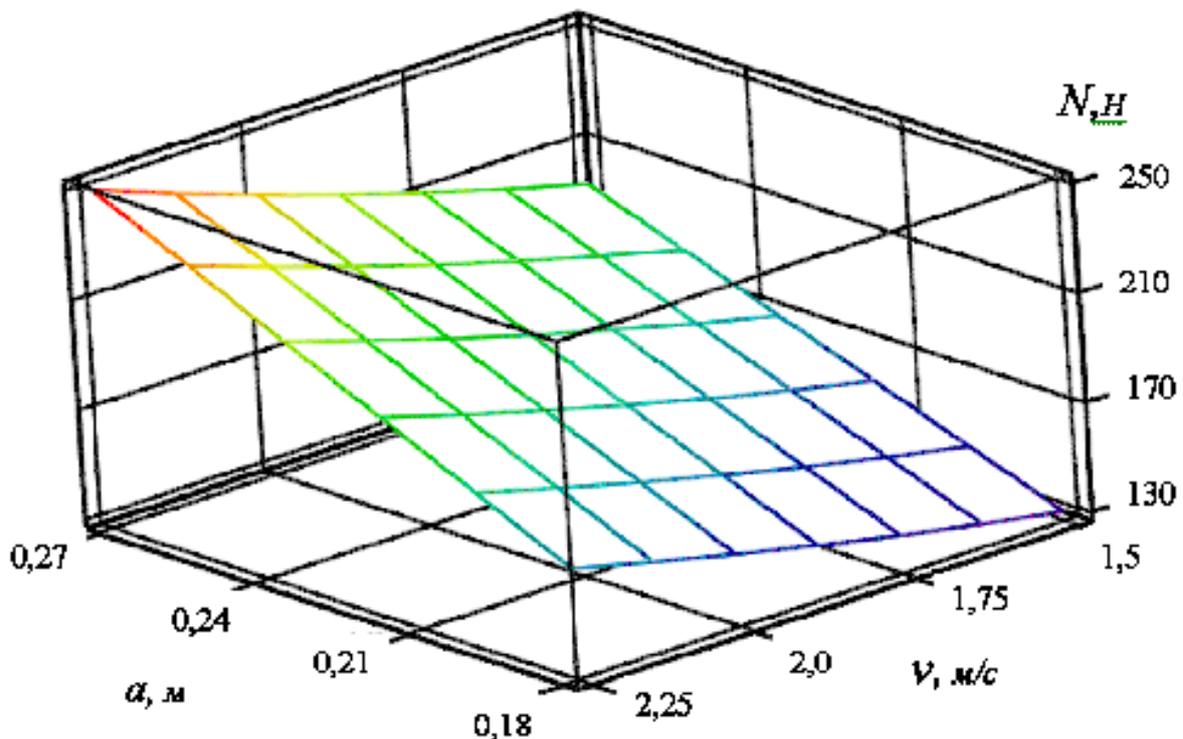


Рисунок 2.23 – Теоретическая зависимость нормальной силы действия почвы на щиток от глубины вспашки и скорости движения агрегата

2.4.2 Установившийся режим работы плуга

Установившийся режим работы наступает, когда плуг идёт по своей борозде, перед каждым щитком лежат полностью перевёрнутые пласты почвы, и каждому щитку приходится только подгрести осыпавшиеся фрагменты этих пластов.

Предыдущий пласт $A_1B_1D_1C_1$ (рисунок 2.24), уложенный в расширенную борозду в раскрошенном состоянии, формирует наклонную линию MN под углом естественного откоса φ' . Щиток $A_{щ}$ сдвигает осыпавшиеся фрагменты почвы от точки M к точке A_1 , восстанавливая вертикальную стенку A_1B_1 . Силу сдвига можно разложить на три составляющие: преодоление трения почвы по почве и инерции покоя, а также на подъём площадки A_1MK в положение NB_1K на высоту, равную расстоянию между центрами тяжести этих треугольных площадок.

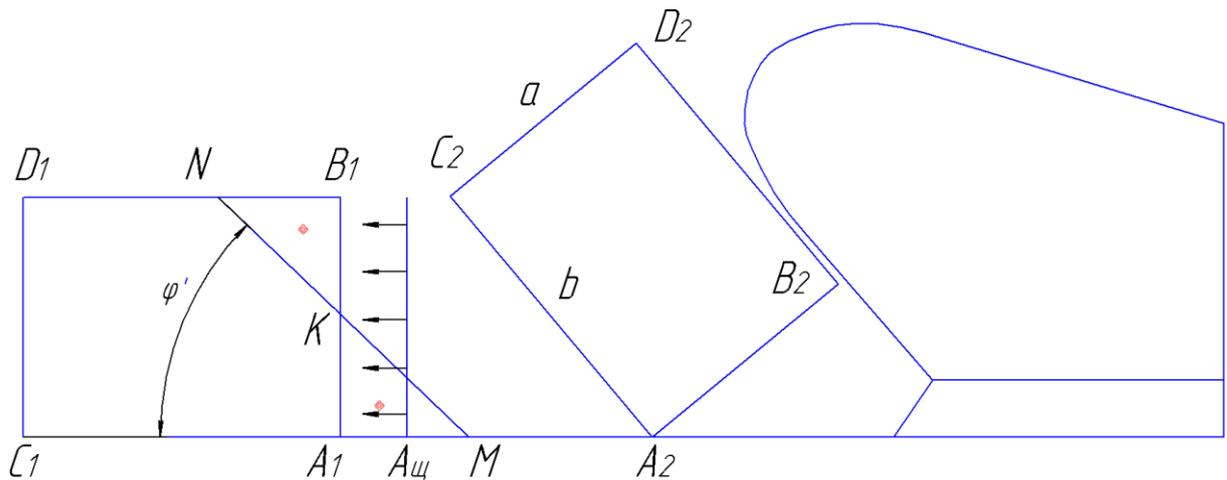


Рисунок 2.24 – Схема действия вертикального щитка в установившемся режиме работы

По аналогии с неустановившимся режимом работы определим силу сопротивления почвы передвижению по дну борозды:

$$N_2 = Sl\psi f', \quad (2.34)$$

где S – площадь треугольника A_1MK ;

l – рабочая длина щитка;

ψ – сила веса 1 м³ почвы;

f' – коэффициент внутреннего трения почвы.

Сторона A_1K треугольника A_1MK равна $0,5a$, где a – глубина вспашки, а

$$A_1M = \frac{A_1K}{\operatorname{tg}\varphi'} = \frac{A_1K}{f'} = \frac{0,5a}{f'}. \text{ Тогда}$$

$$S = \frac{0,125a^2}{f'},$$

$$N_2 = 0,125a^2l\psi. \quad (2.35)$$

Сила инерции покоя сдвигаемой части почвы вычисляется по выражению (2.22), но масса сдвигаемой почвы будет меньше:

$$M = Sl\rho = \frac{0,125a^2l\rho}{f'}.$$

Ускорение перемещения почвы остаётся тем же (выражение 2.25), тогда сила инерции покоя

$$N_3 = \frac{0,125a^2\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'}. \quad (2.36)$$

Чтобы поднять массу сдвигаемой почвы на перепад высоты между центрами тяжести треугольников A_1MK и B_1NK потребуется работа

$$A = 0,66aSl\psi = \frac{0,0825a^3l\psi}{f'}, \quad (2.37)$$

которая выполняется щитком на расстоянии перемещения $MA_1 = \frac{0,5a}{f'}$. Тогда сила, приложенная щитком для совершения этой работы,

$$N_4 = 0,165a^2l\psi. \quad (2.38)$$

В целом нормальная сила, действующая на щиток при установившемся режиме работы в условиях разрыхленных почвенных пластов складывается из трёх составляющих:

$$N = N_2 + N_3 + N_4 = 0,125a^2l\psi + \frac{0,125a^2\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'} + 0,165a^2l\psi.$$

После упрощения

$$N=0,125a^2\left(2,32l\psi+\frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'}\right). \quad (2.39)$$

В соответствии с рисунком 2.20, сила трения, действующая на щиток, равна

$$F=0,125a^2 f\left(2,32l\psi+\frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'}\right), \quad (2.40)$$

общая сила сопротивления почвы действию щитка

$$R_{поч}=0,125a^2\left(2,32l\psi+\frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'}\right)\sqrt{1+f^2}, \quad (2.41)$$

сила тягового сопротивления щитка

$$P=0,125a^2\left(2,32l\psi+\frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'}\right)\sqrt{1+f^2} \cdot \cos\left(\arctg\frac{1}{f}-\gamma\right), \quad (2.42)$$

боковая сила, передающаяся от щитка на раму, вычисляется аналогично выражению (2.32). Проследим влияние глубины вспашки при постоянной скорости движения (1,5 м/с) на эти силы в установившемся режиме при нормальном состоянии почвы с разрыхляющимися пластами (рисунок 2.25). За исходные данные принимаем рабочую длину щитка $l=0,30$ м, коэффициенты трения $f=0,55$ и $f'=0,95$, удельный вес почвы $\psi=11$ кН/м³, угол атаки щитка $\gamma=25^\circ$.

В аналитических выражениях действующих сил нет влияния ширины пласта. Осыпающаяся почва формирует откос на одной из сторон перевёрнутого пласта, а размеры откоса зависят только от его высоты и коэффициента внутреннего трения почвы. При постоянстве коэффициента трения остаётся влияние только глубины вспашки, но это влияние проявляется во второй степени, поэтому графики имеют параболический вид.

Как и в случае с неустановившимся режимом работы плуга, нормальная сила, действующая на щиток, является определяющей для остальных сил, они зависят от её векторного разложения. Построим поверхность её теорети-

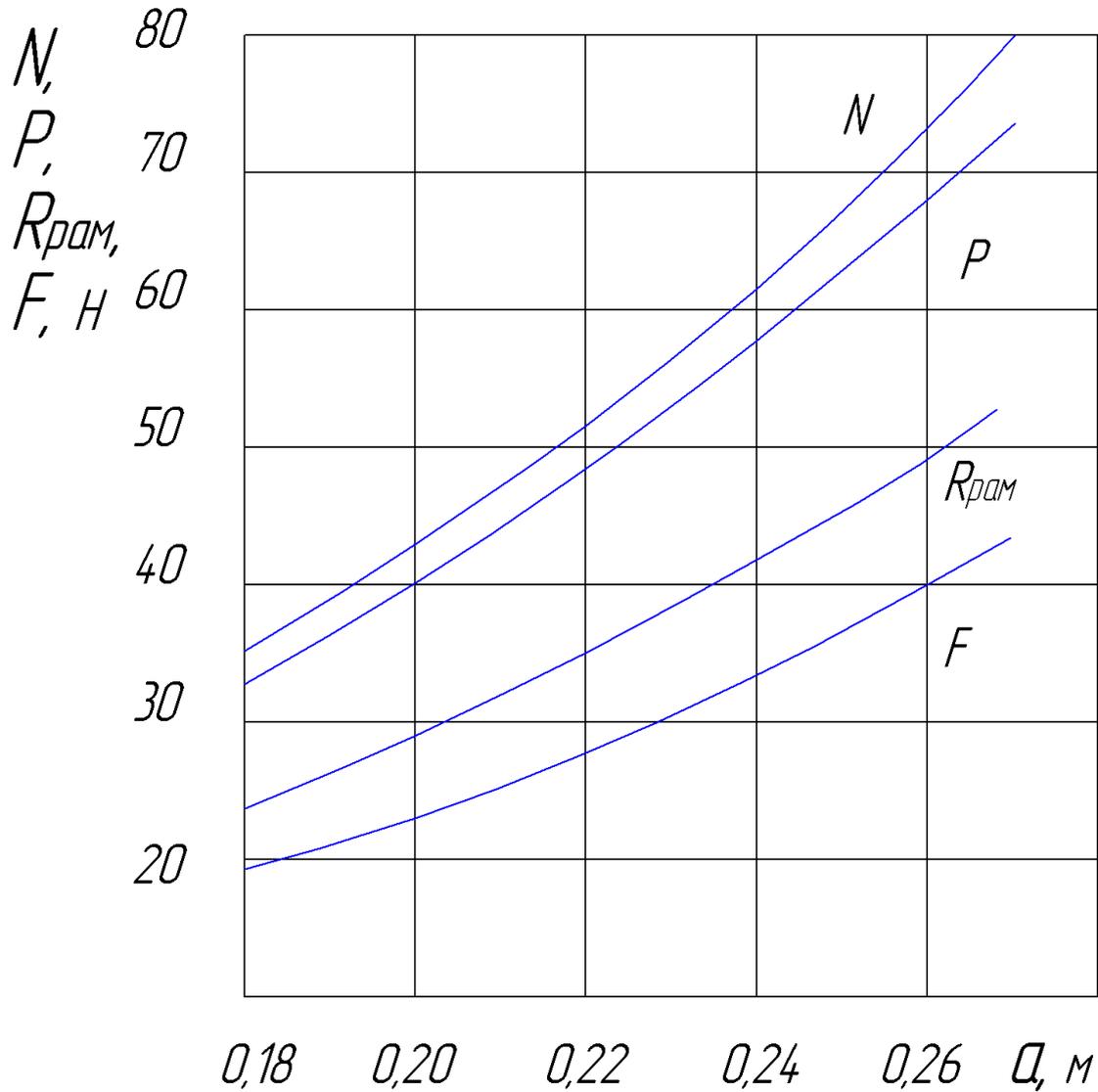


Рисунок 2.25 – Влияние глубины вспашки на силы, действующие на щиток в установившемся режиме работы с почвой с нормальным крошением (скорость движения 1,5 м/с)

ческой зависимости от двух переменных с теми же исходными данными, но изменяющейся скорости от 1,5 до 2,25 м/с (рисунок 2.26). Для этого используем выражение (2.39):

$$N = 0,125a^2 \left(2,32l\psi + \frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'} \right) = 957a^2 + 55,4a^2 v^2.$$

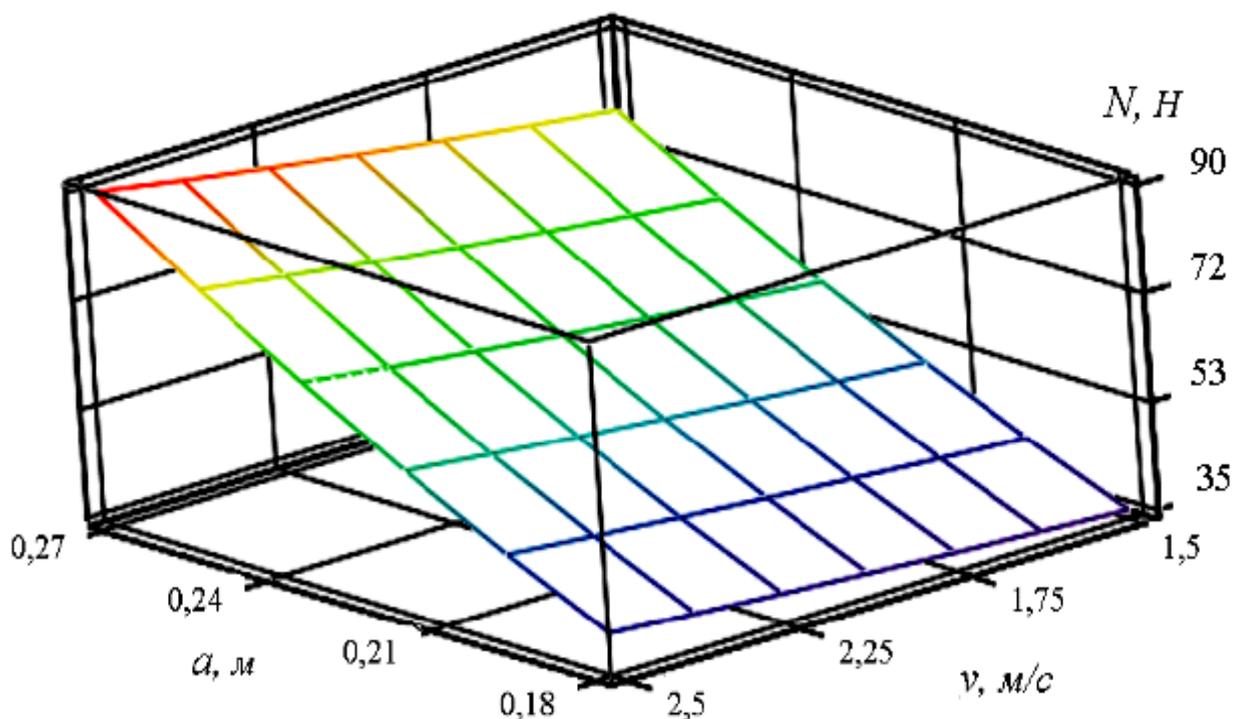


Рисунок 2.26 – Теоретическая зависимость нормальной силы действия почвы на щиток от глубины вспашки и скорости движения агрегата при установившемся режиме

Выводы по главе 2

1. При вспашке без предплужников минимально допустимый угол оборота пласта по условию его устойчивости равен 130° независимо от ширины захвата рабочего корпуса. Максимальный угол оборота зависит от ширины пласта b и глубины вспашки a . При $b=0,50$ м и $a=0,27$ м он достигает 148° . Высота гребней варьирует от 0,17 до 0,23 м и не соответствует агротребованиям.

2. Коэффициент выживания сорняков при их подавлении методом заделки семян на недоступную для прорастания глубину с увеличением шири-

ны пласта от 0,35 до 0,5 м (глубина вспашки 0,27 м) снижается от 0,25 до 0,13.

3. При работе с предплужниками все семена сорняков заделываются на глубину невсхожести, а высота гребней превышает допустимую почти в два раза.

4. Предварительная расчистка борозды перед укладкой пласта – самый эффективный способ увеличения угла оборота, но удаление лишней почвы должно быть не навстречу очередному пласту, а в сторону вспаханного поля.

5. При сдвиге части пласта в сторону объём пустот под пластами должен быть больше объёма сдвигаемой почвы, что и наблюдается в геометрии пластов при вспашке до предельной глубины, соответствующей устойчивости пласта.

6. У перспективных конструкций плугов минимальная дистанция между корпусами по ходу движения может быть сокращена до длины горизонтальной проекции полевого обреза плюс выступание стойки корпуса назад за полевой обрез при условии работы без предплужников и полевых досок.

7. Для плугов с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м рациональная конструктивная длина щитка составляет 0,58 ... 0,62 м и угол его постановки к направлению движения $23 \dots 25^\circ$.

8. Сила тягового сопротивления плуга на один рабочий корпус при постановке щитков увеличивается на 0,5 ... 0,6 кН при связных пластах и на 0,2 кН при нормальных почвенных условиях с крошением на отвалах, она линейно зависит от глубины вспашки. Это увеличение силы сопротивления снижается в два-три раза при установившемся режиме вспашки и составляет 74 Н на один щиток при скорости движения 1,5 м/с.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Изготовление макетного образца. Увеличение угла оборота пластов с предварительным расширением борозды является новым приёмом в технологии вспашки. Поскольку аналогов рабочих органов подобного типа в плугостроении не было, в программу проведения экспериментов включена разработка и изготовление макетного образца плуга, оборудованного вертикальными щитками.

Проверка работоспособности макетного образца. Идея возможности полного оборота пластов за счёт расширения борозды существовала только в виде научной гипотезы, поэтому на начальном этапе экспериментальных исследований в программу включили испытание макетного образца на вспашке культивированного пара и на стерневом фоне, а также его способность увеличивать свободное пространство борозды.

Определение качественных показателей вспашки макетным образцом плуга. В программу опытов включили определение полноты оборота пахотного слоя почвы, определение ширины дна борозды, степень заделки растительных остатков, глыбистость и гребнистость вспаханной поверхности. Все показатели сравнивали с показателями качества работы того же агрегата со снятыми щитками, то есть с обычной вспашкой без предплужников.

Определение силового воздействия щитка на пласт в полевых условиях. Для определения силы, действующей на щиток, был разработан и изготовлен тензометрический датчик (тензобалка), установлен на рабочий орган, изготовлен тарировочный стенд с регистрирующим оборудованием и проведены измерения силы в полевых условиях с вариацией глубины вспашки и скорости движения агрегата.

Разработка и изготовление промышленного образца плуга. Внесение конструктивных изменений по сравнению с макетным образцом, подго-

товка рабочих чертежей, авторский контроль за изготовлением плуга на машиностроительном предприятии ООО «ВСЗ_Холдинг», производственные испытания заводского образца плуга в учебно-научном техническом центре ВГАУ «Агротехнология».

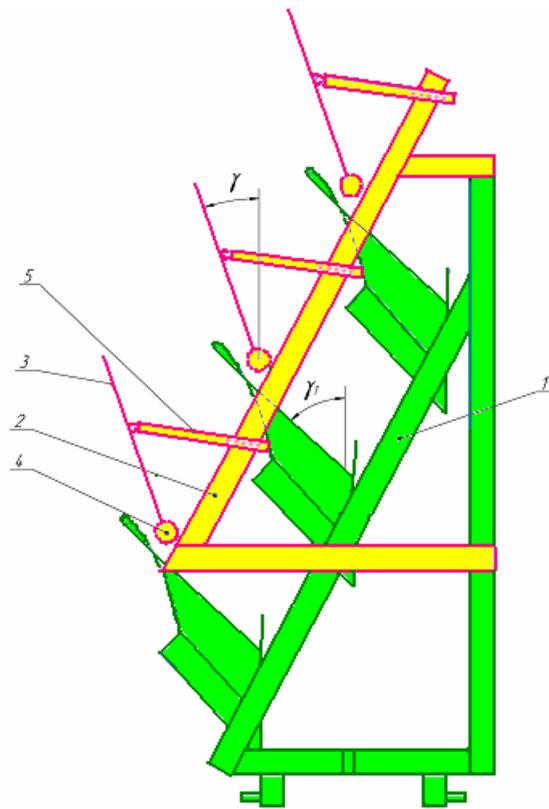
3.2 Объекты исследования

3.2.1 Макетный образец плуга

Научная гипотеза о возможности полного оборота пахотного горизонта при расчистке борозды от нависающих частей предыдущих пластов проверялась на макетном образце плуга (приложение А). Его концепция представлена на рисунке 3.1, а внешний вид показан на рисунке 3.2.

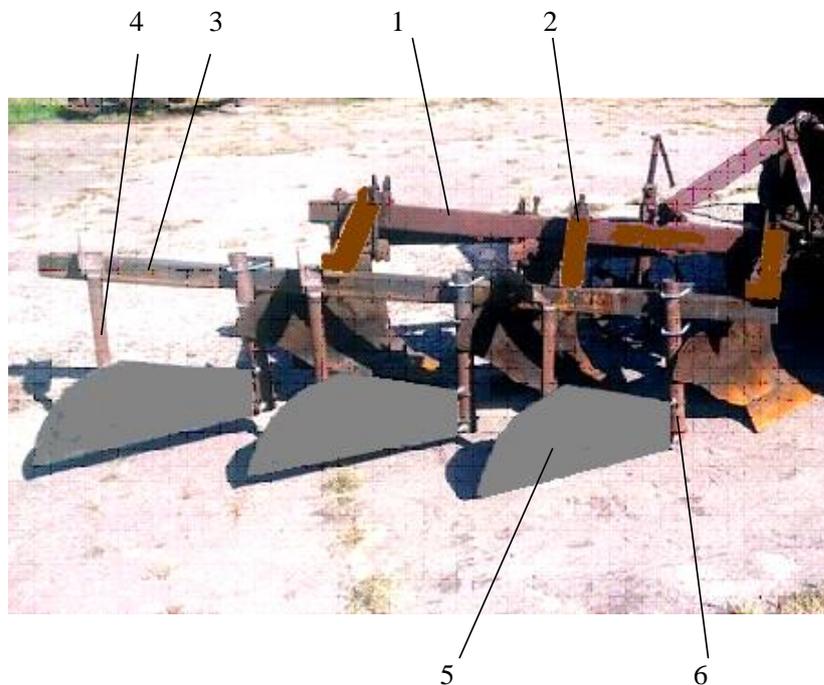
К раме 1 навесного трёхкорпусного плуга ПН-3-35 со снятыми предплужниками при помощи трёх кронштейнов 2 жёстко прикреплена дополнительная горизонтальная балка 3 (рисунок 3.2). По высоте она опущена до касания верхних обрезов отвалов. Эта балка несёт на себе задние опоры 4 щитов 5 и оси 6, которые служат для крепления щитов и регулировки их ориентации по углу поворота к направлению движения агрегата. Для изменения угла атаки щитков опоры 4 могут смещаться в поперечном направлении. Кроме того, оси 6 вместе со своими щитками могут регулироваться по высоте расположения относительно дна борозды. Оси 6 должны быть расположены в пределах ширины захвата впереди стоящего плужного лемеха, чтобы не опираться на непаханое поле при первом рабочем проходе плуга.

Форма и размеры щитка были определены по размерам, обоснованным в разделе 2.3. Эти дополнительные рабочие органы были изготовлены из листовой стали толщиной 8 мм и жёстко скреплены со своими осями поворота. (рисунок 3.3).



1 – плуг ПН-3-35; 2 – дополнительная балка; 3 – щиток; 4 – ось поворота;
5 – задний упор щитка

Рисунок 3.1 – Конструктивная схема макетного образца плуга



1 – плуг ПН-3-35; 2 – кронштейн крепления дополнительной балки;
3 – дополнительная балка; 4 – задняя опора щита; 5 – щит; 6 – ось поворота
щита

Рисунок 3.2 – Макетный образец плуга

Для измерения силы сопротивления почвы при отодвигании части пласта в сторону применялся щиток с тензометрическим датчиком (рисунок 3.4).

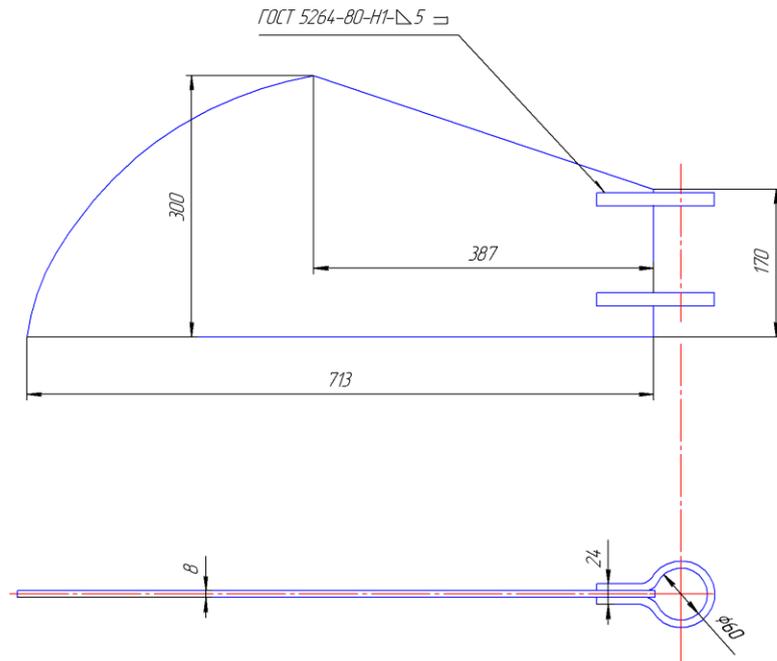
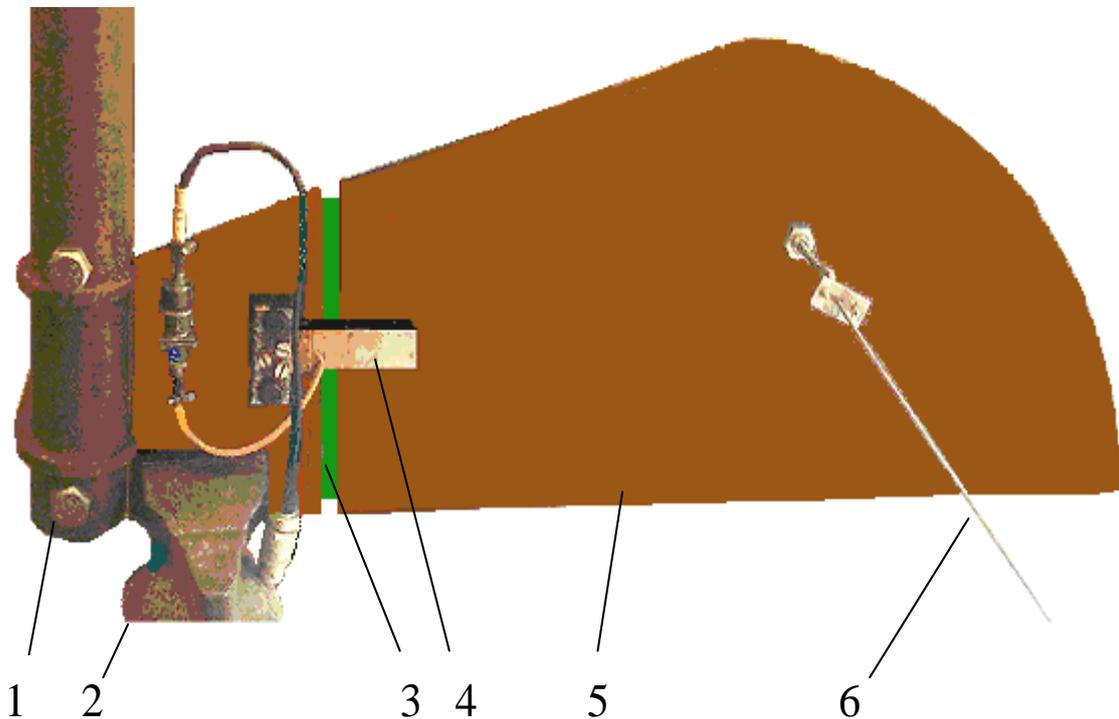


Рисунок 3.3 – Щиток макетного образца плуга



1 – стойка; 2 – тиски; 3 – ось поворота при измерении силы; 4 - тензометрический датчик (тензобалка); 5 – щиток, 6 – нагрузочный трос от динамометра

Рисунок 3.4 – Щиток с тензометрическим датчиком при тарировке на стенде

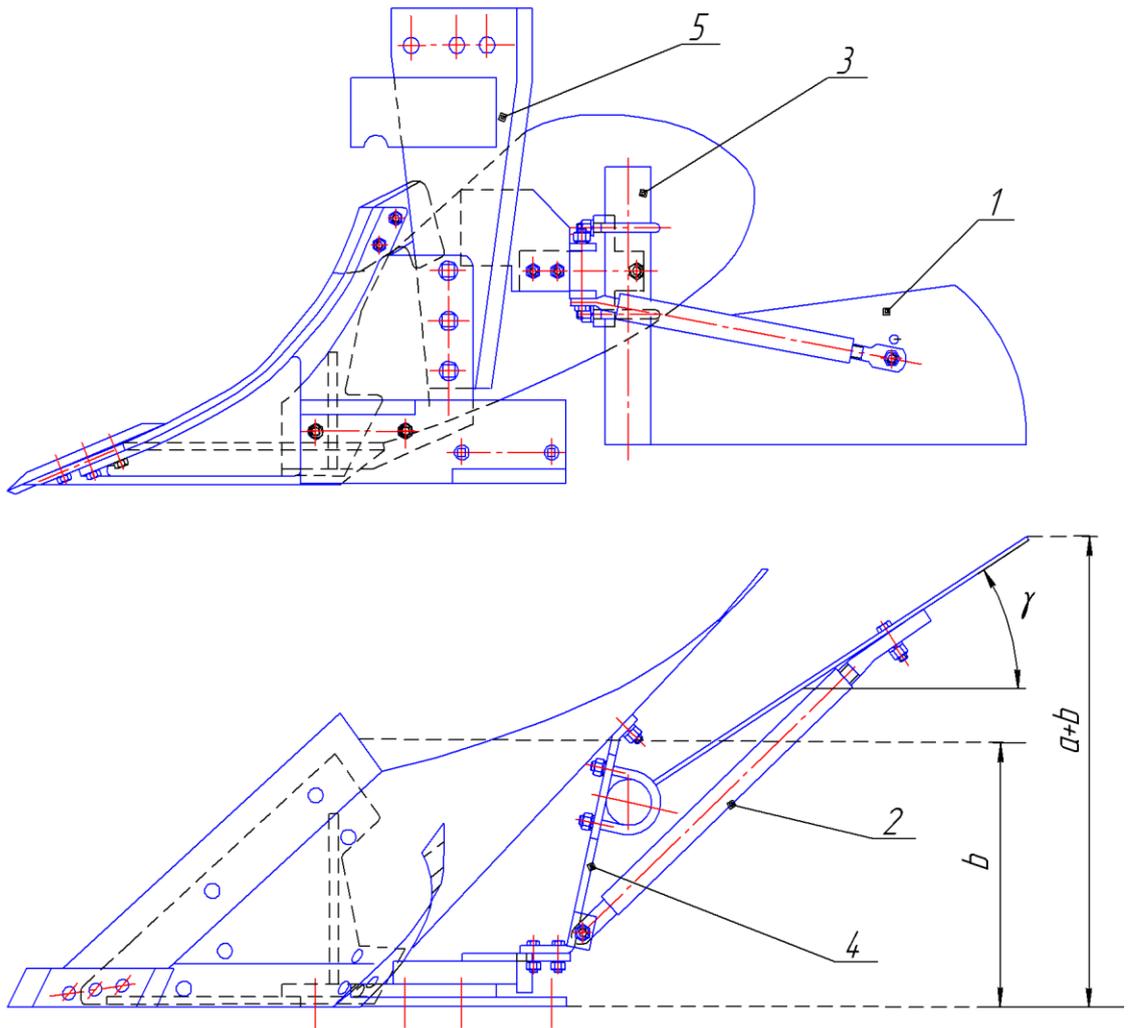
3.2.2 Промышленный образец плуга

Промышленный образец плуга с увеличенным углом оборота пластов отличается от макетного образца заводским изготовлением и некоторыми конструктивными изменениями в приспособлении для расширения борозды с целью упрочнения, удобства регулировок и большей компактности почвообрабатывающего орудия [36]. Заводское изделие представляет собой навесной четырёхкорпусный плуг без предплужников с шириной захвата рабочих корпусов 0,35 м (рисунок 3.5). Его комбинированные корпуса состоят из традиционных рабочих органов (лемехи, отвалы, углоснимы) и дополнительных органов в виде вертикальных щитков. Плуг имеет плоскую треугольную раму с жёсткой трёхточечной навеской и опорное колесо с винтовым механизмом для изменения глубины вспашки. По своему тяговому сопротивлению и условиям агрегатирования плуг предназначен для трактора Беларус МТЗ-1221.2 и ему подобных импортных моделей класса 2. Навеска плуга может переставляться по передней балке рамы для возможности работы трактора как в открытой борозде, так и на непаханом поле.



Рисунок 3.5 – Промышленный образец плуга

Вертикальные щиты крепятся непосредственно к стойкам основных рабочих органов без дополнительной балки рамы (рисунки 3.6 и 3.7). К щиту 1 подведен задний упор 2 с регулируемой длиной. Это даёт возможность изменять угол наклона щита к направлению движения путём его поворота относительно оси 3. Задний конец щитка должен отстоять от стенки борозды на расстояние $(a+b)$, где a и b – размеры сечения почвенного пласта. При изменении глубины обработки надо соответственно изменять положение щитка.



1 – щиток; 2 – задний упор щитка; 3 – ось поворота; 4 – задний упор отвала; 5 – стойка рабочего корпуса плуга

Рисунок 3.6 – Крепление щитка к рабочему корпусу

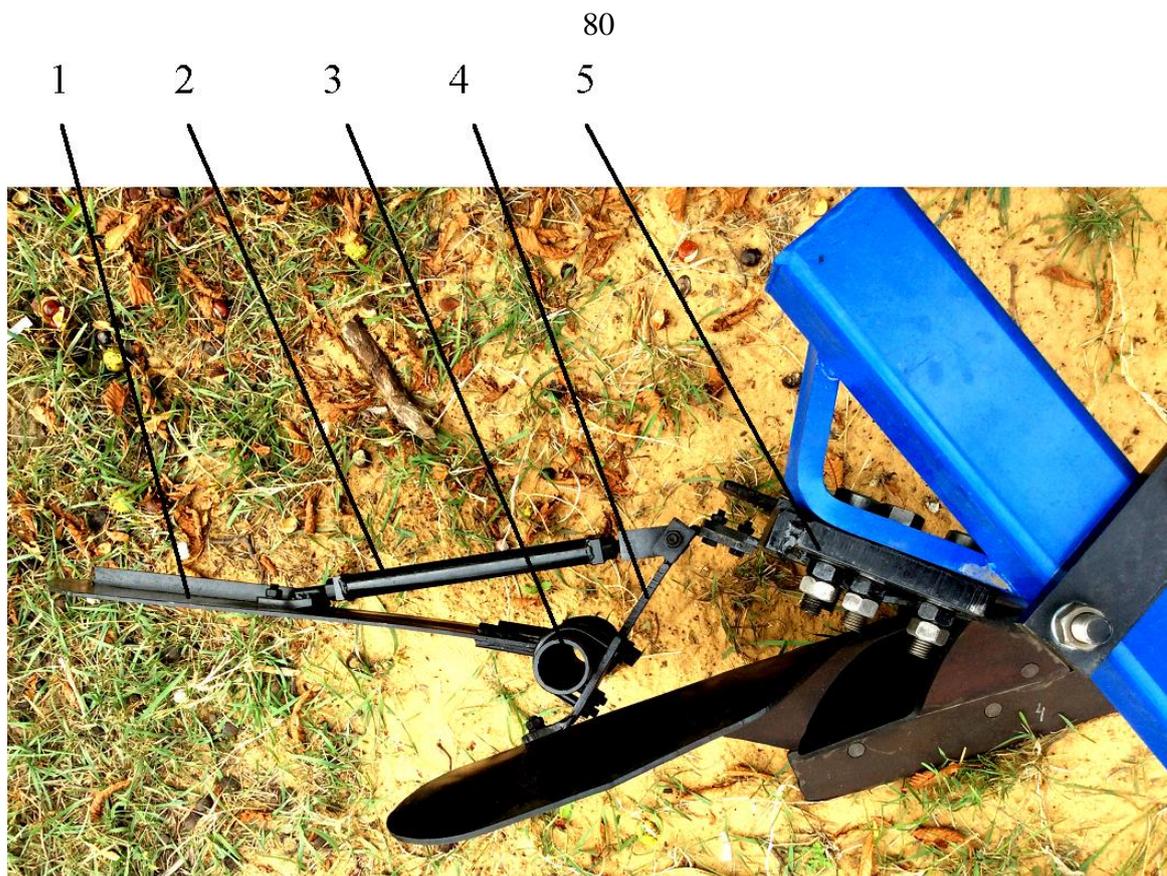


Рисунок 3.7 – Вид сверху на комбинированный рабочий корпус

Задний упор щитка и ось поворота крепятся к существующему на плугах заднему упору 4 отвала, который в данной конструкции видоизменён и усилен. Весь ансамбль крепится к стойке 5 основного рабочего корпуса.

3.3 Перечень средств измерений и оборудования, применяемых при проведении экспериментов

Лабораторно-полевые опыты проводились на полях Воронежского ГАУ им. императора Петра I в учебно-научном техническом центре «Агротехнология». При исследовании агротехнических показателей процесса вспашки с применением приспособления для более полного оборота пластов и без него руководствовались методикой в соответствии со стандартом СТО АИСТ 4.1 - 2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей» [113]. Оценка качества функционирования орудия проводилась с применением

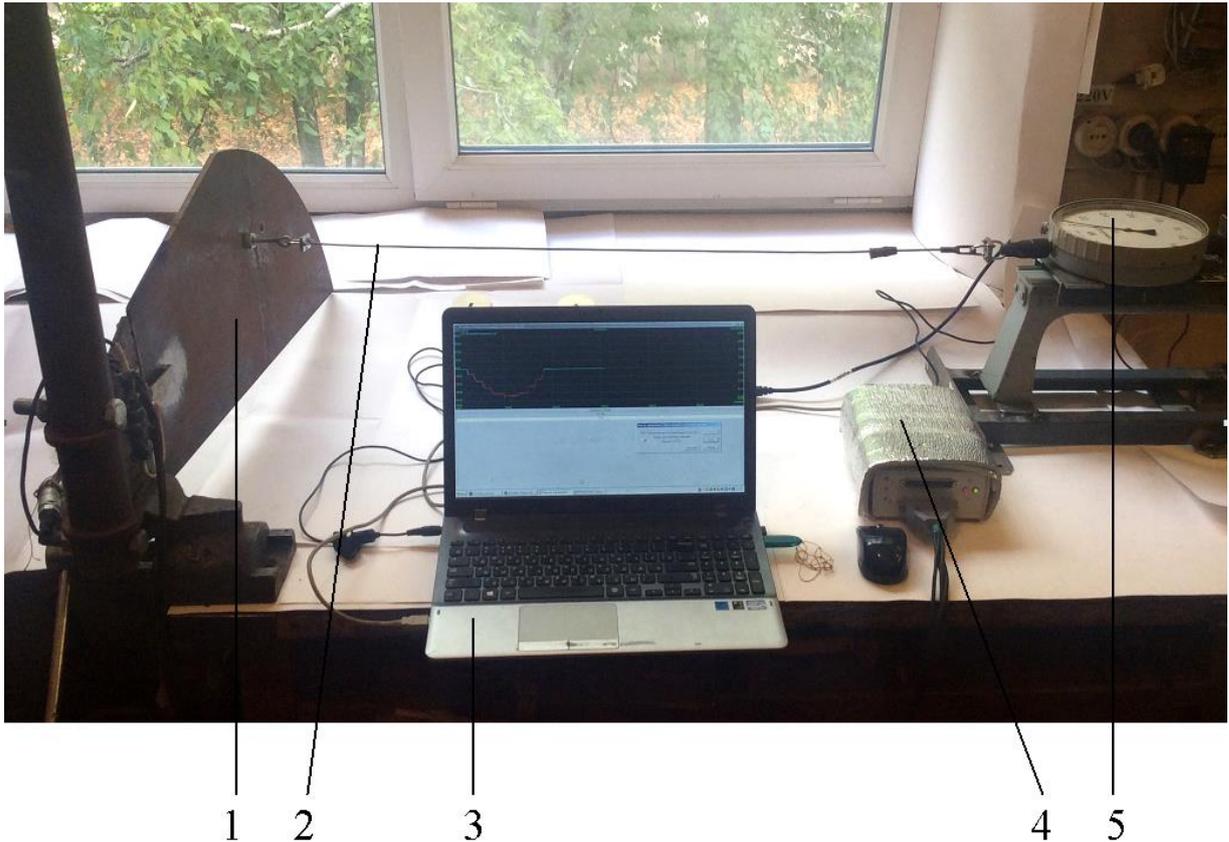
набора рекомендуемого этим стандартом оборудования, имеющегося в меж-кафедральной тензоизмерительной лаборатории агроуниверситета, в том числе:

1. Пробоотборник почвы.
2. Весы с погрешностью измерений ± 10 мг, ± 20 мг (ГОСТ Р 53228).
3. Почвенный бур.
4. Сушильный шкаф с погрешностью измерений $\pm 1^\circ$.
5. Твердомер почвы с погрешностью измерений $\pm 5\%$.
6. Координатная линейка с погрешностью измерений ± 1 см.
7. Линейка с погрешностью измерений ± 1 см (ГОСТ 427).
8. Бороздомер с погрешностью измерений ± 1 см.
9. Эксикатор (ГОСТ 25336).
10. Секундомер с погрешностью измерений $\pm 0,2$ с.
11. Рамка деревянная размером 100x100 см.
12. Щуп-линейка с погрешностью измерений ± 1 см.
13. Рулетка с погрешностью измерений \pm мм (ГОСТ 7592).
14. Комплект почвенных решет с погрешностью измерений ± 1 мм.
15. Угломер с погрешностью измерений \pm° .
16. Топливный расходомер ИП-154.
17. Динамометр.
18. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП).
19. Персональный компьютер.

Производственная проверка работоспособности, качества работы и эксплуатационных показателей промышленного образца плуга проводилась тоже в центре «Агротехнология». При этом использовались перечисленные средства измерения, предложенный способ определения угла переворота пластов посредством вспомогательных вешек, цифровая камера, фотоаппарат.

Для измерения усилия, действующего на щиток со стороны отодвигаемой почвы, был изготовлен тензодатчик с мостовой схемой соединения элект-

трических контуров, который был наклеен на тензобалку, контактирующую с подвижной частью щитка. Сигнал от датчика передавался через аналого-цифровой преобразователь на персональный компьютер, где полученные данные обсчитывались и накапливались. Монтаж датчика показан на рисунке 3.4. Тарировка измерительной системы проводилась в лабораторных условиях на специально собранной установке (рисунок 3.8, приложение Г).



1 – щиток; 2 – нагрузочный трос; 3 – персональный компьютер;
4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – динамометр с винтовым механизмом перемещения (нагружения)

Рисунок 3.8 – Тарировочная установка

3.4 Измерение качественных показателей процесса вспашки

Методика агрооценки полевых операций, принятая в техническом центре «Агротехнология», использовалась ранее при испытании навесного оборотного плуга [35]. При вспашке чёрного пара влажность почвы на глубине от

нуля до 30 см изменялась от 11 до 17% и твёрдость – от 0,13 до 0,94 МПа. Опыты на стерне проводились в условиях низкой влажности почвы и, как следствие, довольно высокой твёрдости. Условия испытаний: трактор МТЗ-82.1, плуг ПН-3-35, фон поля – пар и стерня амаранта, глубина вспашки варьировалась от 18 до 26 см, скорость движения – от 1,33 до 2,20 м/с, влажность и твёрдость почвы на глубине от нуля до 30 см изменялась соответственно от 8 до 15% и от 0,32 до 0,97 МПа [103]. Более подробно условия проведения полевых испытаний изложены в подразделах четвертой главы применительно к различным агрофонам и целям испытаний.

Объектом исследования был трёхкорпусный навесной плуг ПН-3-35 без предплужников в экспериментальной комплектации (макетный образец) с тремя вертикальными щитками (см. рисунок 3.2). Сравнение показателей качества вспашки проводилось при работе в тех же условиях агрегата со снятыми щитками.

Цель опытов – проверить работоспособность конструкции, определить угол переворота пластов, гребнистость вспаханной поверхности, ширину борозды, заделку стерни.

Густота пожнивных остатков и степень их заделки в почву измерялись подсчётом числа стеблей внутри рамки размерами 0,5x0,5 м, наложенной на поле в случайном месте с тремя повторностями (рисунок 3.9).

У распадающихся пластов их угол переворота можно определить лишь ориентировочно по положению наиболее крупных глыб. По стандарту СТО АИСТ 4.1 – 2010 он измеряется как угол наклона скошенной стороны у борозды. Если перед проходом плуга воткнуть вертикально в почву вешки длиной, равной глубине вспашки, то после прохода плуга можно оценить их угол переворота.

Гребнистость вспаханной поверхности, измеренная в поперечном направлении, характеризуется высотой оставляемых гребней или глыб. Этот показатель измерялся относительной величиной удлинения ломаной линии, копирующей гребни, по сравнению с расстоянием между началом и концом

измерений [66]. Гребнистость обработанной поверхности оценивали измерением удлинения шнура при копировании рельефа поверхности почвы. Для этого на замеряемой площадке забивали колышек и привязывали к нему шнур с мерной лентой на конце. Шнур натягивали поперек направления обработки и на расстоянии 10 м забивали второй колышек. Если длина натянутого шнура между колышками равнялась 10 м, то при освобождении шнура его длина между колышками увеличивалась вследствие копирования неровностей поверхности пашни. Удлинение шнура определяли по мерной ленте. Отношение удлинения шнура (см) к базисной длине его (м) дает процент гребнистости пашни. Процент гребнистости условно переводится в балльную оценку: <5,0 5 – отлично; 5,0 – 10,0 4 – хорошо; 10,1 – 15,0 3 – удовлетворительно; 15,1 – 20,0 2 – плохо; 20,0 1 – очень плохо. Для наглядности результата путём построения профиля гребнистость измерялась также координатной линейкой (рисунок 3.10).

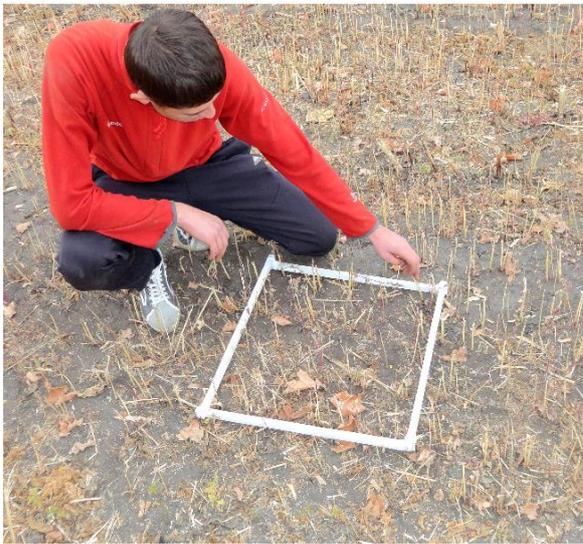


Рисунок 3.9 – Подсчёт густоты пожнивных остатков



Рисунок 3.10 – Измерение гребнистости после вспашки чёрного пара

Глыбистость поверхности обработанного поля определяется квадратной метровой рамкой, накладываемой на поверхность. В наших опытах применя-

лась та же рамка, что и при измерении процента заделки растительных остатков. Все глыбы диаметром более 5 см, которые находятся в площади рамки, замеряли по длине и ширине с точностью до 1 см, а затем вычисляли занимаемую ими площадь. О величине глыбистости поверхности поля судят по отношению суммарной площади глыб с указанным размером к площади рамки, выраженному в процентах. По агротребованиям, допустимый предел глыбистости 10 – 15%. Подобно гребнистости, глыбистость обработанного поля оценивали по пятибалльной шкале: <10,0 5 – отлично; 10,0 – 15,0 4 – хорошо; 15,1 – 20,0 3 – удовлетворительно; 20,1 – 25,0 2 – плохо; >25,0 1 – очень плохо.

Показатель крошения почвы характеризуется величиной, обратной глыбистости. Это значит, если известна глыбистость пашни (Г), то показатель крошения (К) дополняет глыбистость поверхности пашни до 100%:

$$K = 100 - Г.$$

Качество крошения почвы можно оценивать также по пятибалльной шкале: >90,0 5 – отлично; 90,0 – 85,1 4 – хорошо; 85,0 – 80,1 3 – удовлетворительно; 80,0 – 75,0 2 – плохо.

3.5 Методика измерений силы сопротивления щита

Первый рабочий проход плуга с приспособлением для увеличения угла оборота пластов проводится без расширения первой борозды, так как она не имеет пространства для этой цели. Передний щиток следует освободить, сняв его задний упор. При втором и всех последующих проходах работают все щитки. Если плуг начинает работу по уже существующей борозде, то и при первом проходе передний щиток не отключается. Однако он при первом проходе нагружен больше, чем другие щитки, так как работает в неустановившемся режиме.

На поле отмерялась учётная длина рабочего прохода 50 м для измерения скорости движения и других исследуемых параметров. Агрегат выполнял первый рабочий проход для подготовки условий измерения параметров. При

втором и последующих проходах измерялась сила сопротивления щитка с вариациями по глубине пахоты и скорости движения.

Измерительная система была установлена на втором рабочем корпусе, чтобы можно было измерять силу сопротивления при неустановившемся режиме, когда щиток отодвигает пласт с неполным оборотом, и установившимся режимом, когда все предыдущие пласты перевёрнуты полностью. Опыты с неустановившимся режимом проводились при снятом переднем щитке (рисунок 3.11 *а*), а с установившимся – при всех работающих щитках (рисунок 3.11 *б*).

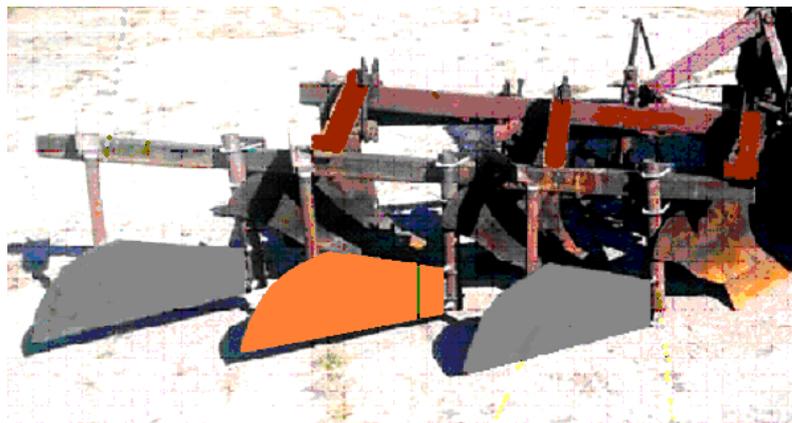
*а**б*

Рисунок 3.11 – Комплектация макетного образца плуга для измерения силы сопротивления щитка с неустановившимся (*а*) и установившимся (*б*) режимами работы

3.6 Обработка экспериментальных данных

Опытные данные обрабатывались методами вариационной статистики, при этом определялись следующие показатели [54].

1. Среднее арифметическое результатов измерений $M = \frac{\sum x_i}{n}$,

где $\sum x_i$ – сумма результатов измерений;

n – число измерений.

2. Дисперсия $D_x = \frac{\sum (M - x_i)^2}{n-1}$,

где $\sum (M - x_i)$ – сумма отклонений результатов измерений от среднего значения.

3. Основное (среднее квадратичное) отклонение $\sigma = \sqrt{D_x}$.

4. Коэффициент вариации измеряемого параметра в процентах $V = \frac{100\sigma}{M}$.

5. Средняя ошибка опыта $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

6. Показатель точности опыта в % $p = \frac{100m}{M}$.

Для обработки экспериментальных данных с целью их аппроксимации подходящей математической зависимостью от двух переменных использовался метод наименьших квадратов [65]. Этот метод применялся для обработки опытных данных по определению нормальной силы сопротивления почвы, действующей на щиток. Опыты проводились в зависимости от глубины вспашки и скорости движения агрегата в установившемся и неустойчивом режиме его работы. В обоих случаях тип аппроксимирующих эмпирических уравнений выбирался аналогичным типу аналитических зависимостей действующих сил от глубины обработки и скорости движения пахотного агрегата. Выполнялся полный факторный эксперимент для двух факторов с тремя уровнями варьирования [93].

Для проверки соответствия опытных данных и выведенной аналитической зависимости силы, действующей на щиток, применялись критерии согласия Пирсона и А.Н. Колмогорова [38]. Критерии согласия вычислялись для плоских кривых (аналитических и эмпирических), полученных из двухфакторных зависимостей путём фиксации одного из них на постоянном уровне.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Определение качественных показателей вспашки

макетным образцом плуга

4.1.1 Вспашка чёрного пара

Для проверки работоспособности и агротехнической оценки макетного образца плуга он был испытан в полевых условиях учебно-научного технического центра ВГАУ «Агротехнология» (рисунок 4.1, приложение Б). Условия проведения испытаний приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Условия проведения полевых испытаний макетного образца плуга на вспашке чёрного пара

| Показатели | Значение показателей |
|---|--|
| Состав агрегата | МТЗ-82.1 + ПН-3-35 Э |
| Характеристика условий: - тип почвы и название по механическому составу - рельеф - микрорельеф - предшественник - влажность почвы, % в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см | Выщелоченный чернозём Ровный, уклон 1° Выровненный Чёрный пар 11 13 17 0,13 0,71 0,94 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 0 |
| Температура воздуха, град. | 15 |

Для сравнения качественных показателей с обычной вспашкой на том же агрегате снималось приспособление для увеличения угла оборота, и орудие превращалось в обычный навесной трёхкорпусный плуг. В обоих вариантах работы трактор двигался правыми колёсами в открытой борозде. Настроены параметры обоих агрегатов – глубина обработки и скорость движения – поддерживались на одинаковом уровне. Полученные результаты измерений приведены в таблице 4.2.



Рисунок 4.1 – Макет плуга на вспашке чёрного пара

Таблица 4.2 – Агротехническая оценка вспашки макетным образцом плуга на фоне чёрного пара

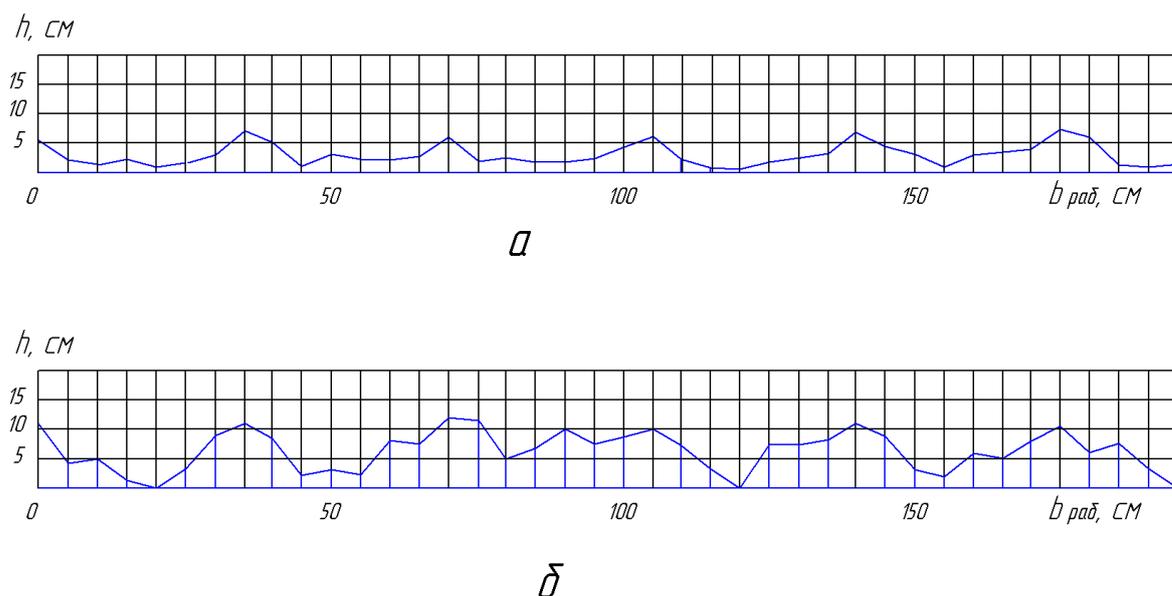
| Наименование показателей | Макетный образец | Серийный плуг |
|-------------------------------------|------------------|---------------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,67 | 1,69 |
| Средняя глубина обработки почвы, см | 25,6 | 25,4 |
| Среднее квадратичное отклонение, см | 0,7 | 0,7 |
| Коэффициент вариации, % | 2,7 | 2,7 |

Окончание таблицы 4.2

| Наименование показателей | Макетный образец | Серийный плуг |
|---|------------------|-----------------------|
| Гребнистость поверхности: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 4,6 «отлично» | 15,9 «плохо» |
| Глыбистость поверхности: - процент площади глыб более 5 см - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 13,2 «хорошо» | 35,8 «очень плохо» |
| Крошение почвы: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 86,8 «хорошо» | 64,2 «очень плохо» |
| Угол оборота пластов, градус | 165-170 | 125-130 |
| Среднее квадратичное отклонение, градус | 6 | 6 |
| Коэффициент вариации, % | 3,6 | 4,7 |
| Средняя ошибка опыта, градус | 1,1 | 1,1 |
| Показатель точности опыта, % | 0,65 | 0,86 |

Гребнистость поверхности проверялась методом наложения шнура поперёк направления движения агрегата (стандарт СТО АИСТ 4.1 – 2010) и путём снятия профилограммы координатной линейкой. Профилограммы приведены на рисунке 4.2.

Уменьшенная гребнистость поверхности поля при вспашке макетным образцом объясняется тем, что щитки не только расширяют борозду для лучшего оборота почвы, но и дополнительно воздействуют на пласты, сгла-



a – макетный образец; *б* – серийный плуг

Рисунок 4.2 – Профилограммы поверхности поля после вспашки

живая их вершины. Это положительный эффект, так как облегчается последующая обработка поверхностного слоя при доведении его до посевных кондиций.

Глыбистость поверхности значительно уменьшилась по сравнению со вспашкой без щитков из-за дополнительного воздействия на пласты после их переворота. Поскольку показатели глыбистости и крошения в сумме составляют 100%, то с уменьшением одного показателя увеличивается второй, и в результате оказалось, что опытный образец плуга лучше крошит слежавшиеся комья.

При вспашке чёрного пара угол оборота пласта просматривается очень неявно из-за полного разрыхления обрабатываемых слоёв почвы. В течение всего лета пар поддерживался в рыхлом состоянии, особенно в его поверхностном горизонте, никакой растительности не было, поэтому связность почвы была недостаточной для удержания прямоугольной формы сечения пластов. Такая малосвязная почва сползала с отвала и формировала насыпь с определённым углом скоса стенки борозды. Эта насыпь сдвигалась в сторону щитками приспособления, и угол скоса изменялся, никогда не доходя до раз-

вёрнутого угла 180° . По стандарту СТО АИСТ 4.1 – 2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей» угол оборота пласта определяли при помощи угломера. Угломер накладывали на откос борозды так, чтобы его основание плотно прилегало к скосу борозды по большей части длины пласта. Угол измеряли с числом повторностей не меньше 30, чтобы погрешность измерений не превышала $\pm 1^\circ$. По этим тридцати измерениям определяли математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение: $M=167^\circ$, $\sigma=6^\circ$. Средняя ошибка опыта

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,09^\circ.$$

Показатель точности опыта

$$p = \frac{100m}{M} = 0,65\%.$$

Влияние глубины вспашки на угол оборота пластов при работе опытного образца плуга изучалось при скорости движения агрегата 1,67 м/с. В результате измерений оказалось, что с увеличением глубины обработки угол оборота пластов слабо уменьшается (таблица 4.3), и эту зависимость можно считать линейной (рисунок 4.3). Ранее приведенные теоретические исследования для пластов с прямоугольным сечением показали ту же зависимость, но более явно выраженную (см. рисунок 2.2, кривая 1).

Таблица 4.3 – Влияние глубины вспашки на оборот пластов (чёрный пар, макетный образец)

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Глубина вспашки, см | 18,0 | 20,0 | 23,0 | 25,6 |
| Среднее значение угла оборота пластов, град. | 173 | 172 | 169 | 166 |

Однако, прямой аналогии здесь нет, можно констатировать только общую тенденцию. Дополнительное воздействие на пласты щитами завершает их крошение, и с увеличением глубины вспашки просто увеличивается объём переворачиваемой почвы, высота гребней увеличивается. Вместе с этим

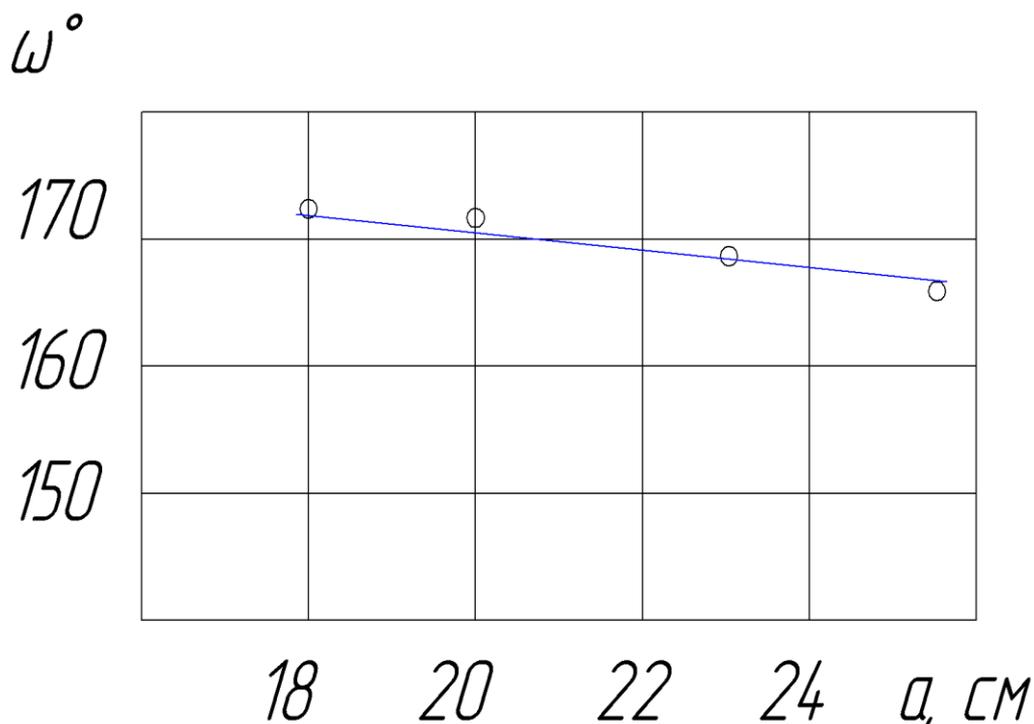


Рисунок 4.3 – Влияние глубины вспашки макетным образцом плуга на угол оборота пластов (чёрный пар, экспериментальные данные)

увеличивается крутизна откоса борозды, что и регистрируется как уменьшение угла оборота пласта.

По результатам опытов оказалось, что скорость движения агрегата способствует перевороту пластов (таблица 4.4, рисунок 4.4).

Таблица 4.4 - Влияние скорости движения на оборот пластов (чёрный пар, макетный образец)

| | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,38 | 1,67 | 1,84 | 2,04 | 2,20 |
| Среднее значение угла оборота пластов, град. | 165 | 167 | 167 | 170 | 172 |

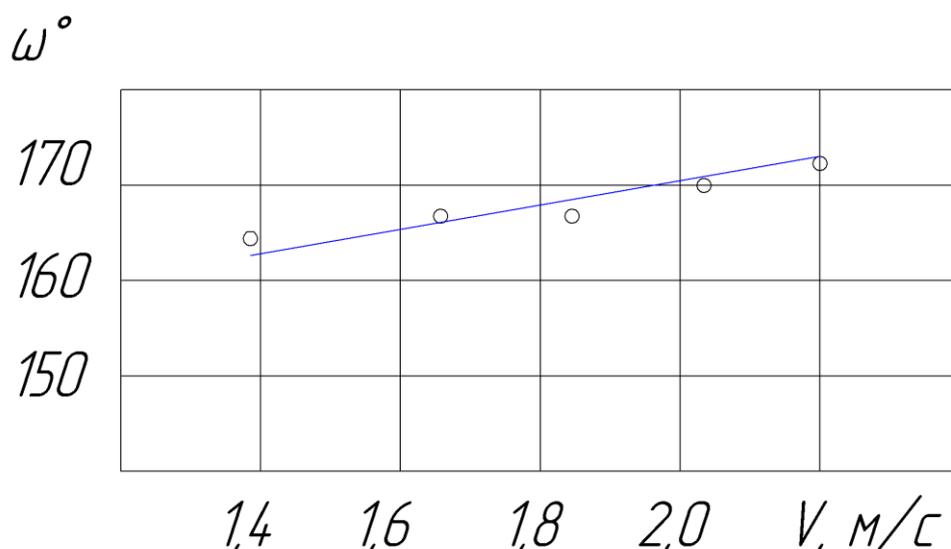


Рисунок 4.4 – Влияние скорости движения макетного образца плуга на угол оборота пластов (чёрный пар, экспериментальные данные)

С увеличением скорости движения возрастает кинетическая энергия отброса пластов в сторону, они полностью разрушаются, и поверхность вспаханного поля нивелируется полностью [27]. Это происходит и на обычных плугах. На макетном образце плуга действие щитов усугубляет выравнивание поверхности почвы, и при увеличении скорости углы откосов у борозд становятся менее крутыми, что по методике стандарта СТО АИСТ 4.1 – 2010 считается увеличением угла оборота пластов.

4.1.2 Вспашка по стерневому фону

Как и предыдущие опыты, испытания плуга по стерне проведены на полях того же подразделения Воронежского ГАУ [35]. В отличие от чёрного пара, стерневой фон обладает гораздо большей твёрдостью поверхностного слоя и меньшей влажностью. Условия проведения испытаний на стерне приведены в таблице 4.5.

На этом поле определялись все те же показатели, что и при вспашке чёрного пара (таблица 4.6).

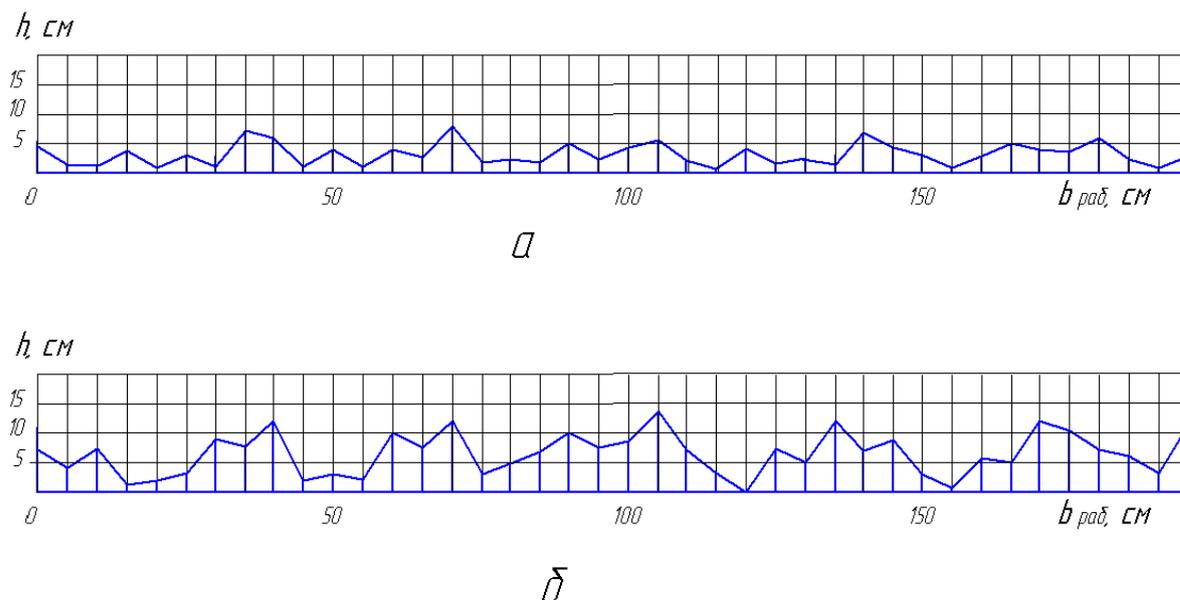
Таблица 4.5 – Условия проведения полевых испытаний макетного образца плуга на стерневом фоне

| Показатели | Значение показателей |
|---|--|
| Состав агрегата | МТЗ-82.1 + ПН-3-35 Э |
| Характеристика условий: - тип почвы и название по механическому составу - рельеф - микрорельеф - предшественник - влажность почвы, % в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см | Выщелоченный чернозём Ровный, уклон 1° Выровненный Амарант 8 12 15 0,32 0,88 0,97 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 147 |
| Высота пожнивных остатков, см | 15 |
| Густота пожнивных остатков шт./м ² | 260 |
| Температура воздуха, град. | 11 |

По сравнению с предыдущим опытом гребнистость вспаханной поверхности увеличилась из-за меньшей влажности и повышенной твердости почвы (рисунок 4.5). Но и здесь проявилась сглаживающая роль щитков, которые дополнительно разбивали комья и выравнивали поверхность.

Таблица 4.6 – Агротехническая оценка вспашки макетным образцом плуга на фоне стерни амаранта

| Наименование показателей | Макетный образец | Серийный плуг |
|---|-----------------------------|-----------------------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,70 | 1,70 |
| Средняя глубина обработки почвы, см | 24,5 | 24,6 |
| Среднее квадратичное отклонение, см | 0,6 | 0,6 |
| Коэффициент вариации, % | 2,4 | 2,4 |
| Гребнистость поверхности: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 5,3 «хорошо» | 17,0 «плохо» |
| Глыбистость поверхности: - процент площади глыб более 5 см - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 17,3 «удовлетворительно» | 46,2 «очень плохо» |
| Крошение почвы: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 82,7 «хорошо» | 53,8 «очень плохо» |
| Угол оборота пластов, градус | 160-180 | 120-140 |
| Среднее квадратичное отклонение, градус | 7,1 | 7,0 |
| Коэффициент вариации, % | 4,2 | 5,4 |
| Средняя ошибка опыта, градус | 1,3 | 1,3 |
| Показатель точности опыта, % | 0,76 | 1,0 |
| Заделка в почву стерни и растительных остатков, % | 98 | 56 |



a – макетный образец; *b* – серийный плуг

Рисунок 4.5 – Профилограммы поверхности поля после вспашки на стерневом фоне

Глыбистость поверхности тоже уменьшилась по сравнению со вспашкой без щитков из-за дополнительного воздействия на пласты после их переверота. Соответственно улучшился показатель крошения почвы.

Угол оборота пластов при вспашке более сухой и плотной почвы имеет большой разброс, так как отдельные глыбы зачастую занимают произвольное положение. У макетного образца плуга среднее значение угла оборота $M=170^\circ$, среднее квадратичное отклонение $\sigma=7,1^\circ$. Средняя ошибка опыта

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1,29^\circ.$$

Показатель точности опыта

$$p = \frac{100m}{M} = 0,76 \text{ \%}.$$

Глубина обработки мало влияет на угол оборота пластов при вспашке плуга со щитами. Эта зависимость изучалась при скорости движения агрегата 1,70 м/с (таблица 4.7). Из-за большой глыбистости увеличился разброс результатов измерений при общей тенденции к уменьшению угла (рисунок 4.6).

Таблица 4.7 – Влияние глубины вспашки на оборот пластов (стерневой фон, макетный образец)

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Глубина вспашки, см | 16,8 | 18,7 | 22,4 | 24,9 |
| Среднее значение угла оборота пластов, град. | 178 | 177 | 162 | 172 |

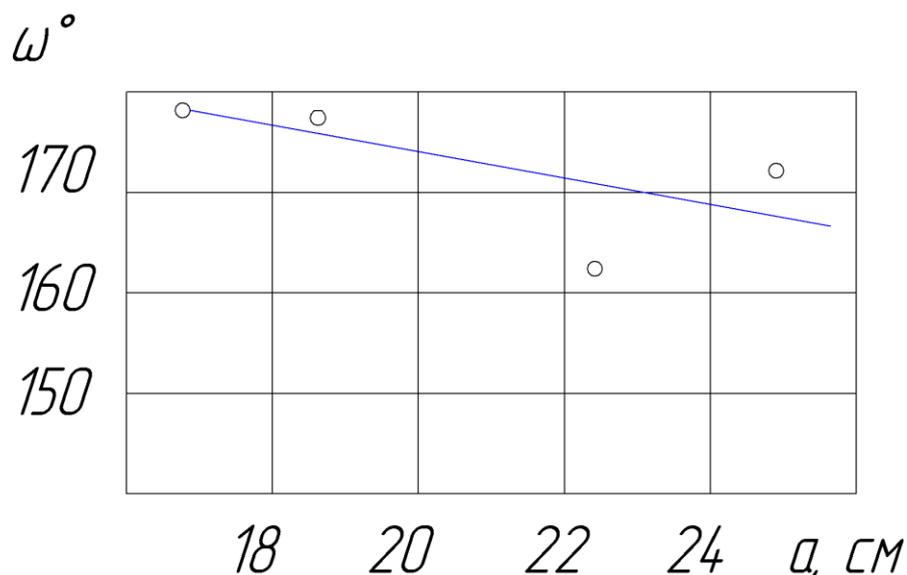


Рисунок 4.6 – Влияние глубины вспашки макетным образцом плуга на угол оборота пластов (стерневой фон, экспериментальные данные)

Как и на фоне чёрного пара, при работе на стерне скорость движения агрегата благотворно влияет на переворот пахотного слоя почвы, хотя и незначительно в пределах опробованных скоростей от 1,3 до 2,2 м/с (таблица 4.8, рисунок 4.7).

Таблица 4.8 – Влияние скорости движения на оборот пластов (стерневой фон, макетный образец)

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,32 | 1,70 | 1,98 | 2,18 |
| Среднее значение угла оборота пластов, град. | 160 | 173 | 165 | 177 |

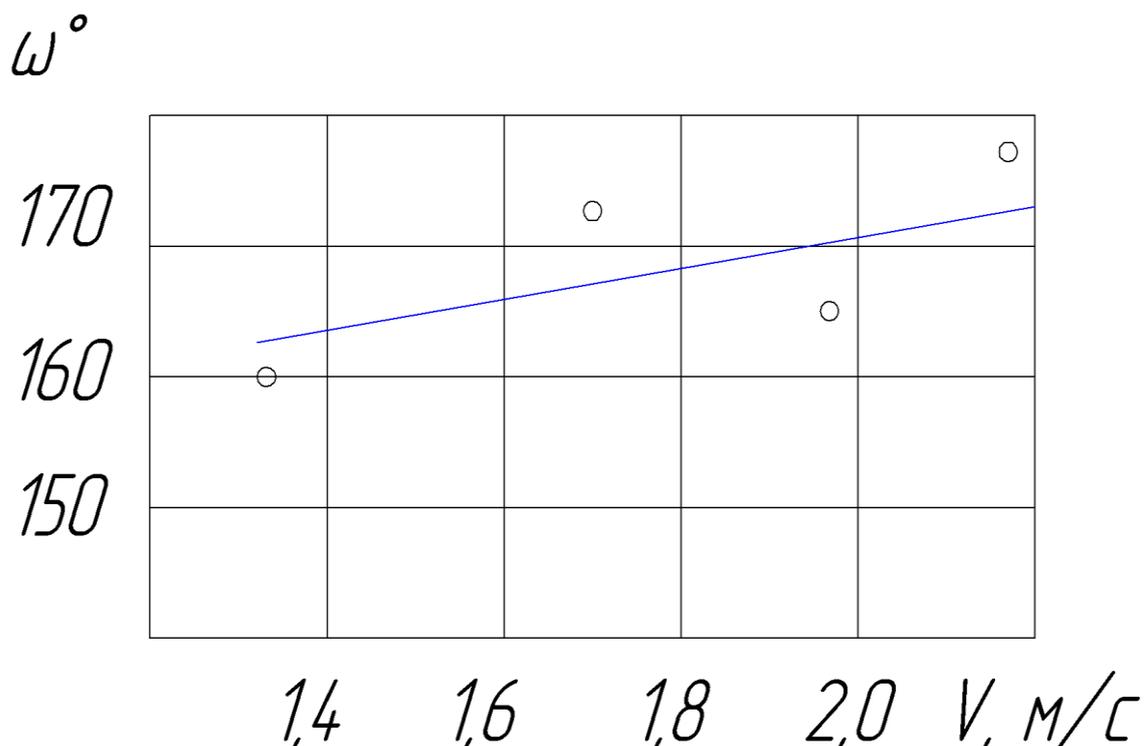
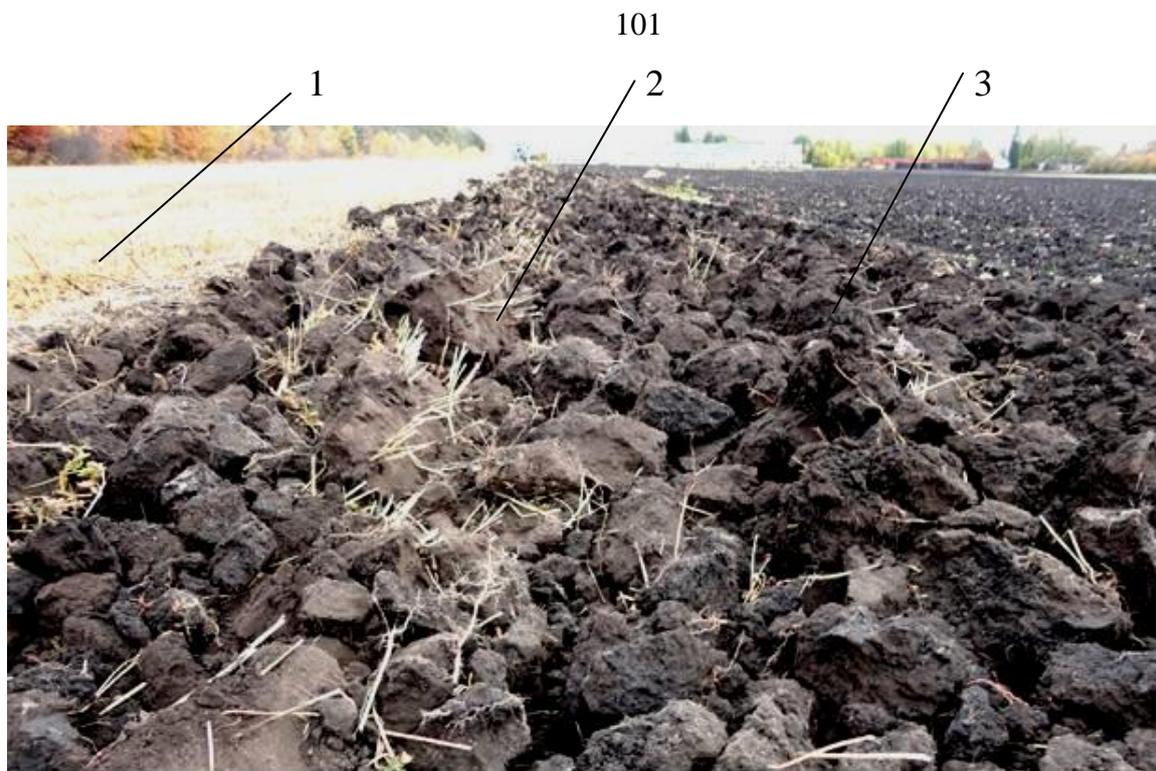


Рисунок 4.7 – Влияние скорости движения макетного образца плуга на угол оборота пластов (стерневой фон, экспериментальные данные)

Увеличение угла оборота пластов макетным образцом плуга по сравнению с обычной вспашкой особенно наглядно проявилось в заделке растительных остатков и стерни в почву. При постановке щитков на плуг практически полный оборот пластов обеспечивал закрытие почвой 98% растительных остатков (рисунок 4.8).

4.2 Определение силы взаимодействия щитка с почвой

Тензометрические измерения нормальной силы, действующей на щиток, проводились в полевых условиях учебно-научного технического центра ВГАУ «Агротехнология». Агрофоном являлась стерня амаранта. Условия опытов приведены в таблице 4.9.



1 – стерня амаранта; 2 – вспашка без щитков; 3 – вспашка со щитками

Рисунок 4.8 – Вид вспаханной поверхности после проходов плуга без щитков и со щитками

Таблица 4.9 – Условия проведения полевых опытов по определению сил, действующих на щиток.

| Показатели | Значение показателей |
|---|-----------------------|
| Состав агрегата | МТЗ-82.1 + ПН-3-35 Э |
| Характеристика условий: | |
| - тип почвы и название по механическому составу | Выщелоченный чернозём |
| - рельеф | Ровный, уклон 1° |
| - микрорельеф | Выровненный |
| - предшественник | Амарант |
| - влажность почвы, % | |
| в слое 0-10 см | 7 |
| в слое 10-20 см | 10 |

Окончание таблицы 4.9

| Показатели | Значение показателей |
|---|----------------------|
| в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа | 13 |
| в слое 0-10 см | 0,38 |
| в слое 10-20 см | 0,91 |
| в слое 20-30 см | 0,97 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 94 |
| Высота пожнивных остатков, см | 15 |
| Густота пожнивных остатков шт./м ² | 110 |
| Температура воздуха, град. | 8 |

Программой опытов было предусмотрено измерение силы действия почвы на щиток, отодвигающий часть перевёрнутого пласта в сторону вспаханного поля для расширения дна борозды, в которую должен опрокинуться следующий пласт (рисунок 4.9). При работе агрегата существует две ситуации – неустановившийся режим и установившийся. Первый из них характеризуется тем, что перед щитком лежит неполностью опрокинутый пласт, когда, допустим, поле пахалось обычным плугом, и осталась открытая борозда. Установившийся режим существует, когда опытный плуг уже выполнил хотя бы один рабочий проход, и перед щитком лежит полностью опрокинутый пласт. В этом случае расширение дна борозды требует значительно меньших усилий. По программе опытов измерение силы проводилось в обеих ситуациях.

Неустановившийся режим работы плуга

Для воссоздания неустановившегося режима работы на макетном образце плуга был снят щиток переднего рабочего корпуса, чтобы перед щитком второго корпуса, оборудованного измерительной аппаратурой, был неполностью перевёрнутый почвенный пласт (см. рисунок 3.10 а).



Рисунок 4.9 – Расширение дна борозды щитком

Сила сопротивления плугов, судя по рациональной формуле академика В.П. Горячкина [23], а также по многочисленным исследованиям последующих научных работников и инженеров-эксплуатационников, линейно зависит от размеров пласта и в квадрате – от скорости движения агрегата. Эти два фактора были выбраны нами в качестве переменных для определения силы, действующей на щиток. При выборе формы уравнения от двух переменных было учтено, что свободного члена быть не может, так как при нулевых значениях глубины обработки или скорости движения сила сопротивления тоже должна быть нулевой. По аналогии с аналитическим выражением (2.27) был выбран тип эмпирического уравнения

$$N = b_1 a + b_2 a v^2, \quad (4.1)$$

где N – нормальная сила, действующая на щиток, H ;

b_i – неизвестные коэффициенты;

a – глубина вспашки, $см$;

v – скорость движения, м/с.

Поскольку один из факторов в выбранном типе уравнения имеет вторую степень, при планировании эксперимента предусмотрено три уровня варьирования обоих факторов. Тогда матрица планирования полного факторного эксперимента [93] типа 3^2 имеет вид таблицы 4.10.

Таблица 4.10 – Матрица планирования эксперимента типа ПФЭ 3^2

| Номер опыта | Уровень фактора 1 | Уровень фактора 2 |
|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 2 |
| 4 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 |
| 7 | 2 | 0 |
| 8 | 2 | 1 |
| 9 | 2 | 2 |

Для фактора 1 (глубина обработки) выбраны следующие уровни: нулевой – 18 см, первый – 22 см, второй – 27 см. Для фактора 2 (скорость движения) нулевой уровень соответствует 1,48 м/с, первый уровень 1,90 м/с и второй уровень 2,25 м/с.

При определении средних показателей аргумента N их достоверность зависит от числа параллельных опытов с неизменными аргументами [102]. В случае применения регистрирующей аппаратуры с непрерывной записью достоверность зависит от продолжительности снятия осциллограммы или записи на цифровое устройство. В опытах продолжительность записи составляла около 60 секунд (приложение Г).

В результате обработки результатов измерений были получены следующие данные, представленные в таблице 4.14.

Между результатом измерения N и вычислением его по выражению (4.1) всегда будет разница δ , которая должна быть сведена к минимуму в результате рационального подбора коэффициентов b_i . Для подбора коэффициентов по способу наименьших квадратов составляли все девять уравнений:

Таблица 4.11 – Результаты измерения нормальной силы, действующей на щиток в неустановившемся режиме работы плуга

| Номер опыта | $a, м$ | $v, м/с$ | $N, Н$ |
|-------------|--------|----------|--------|
| 1 | 0,18 | 1,48 | 128,5 |
| 2 | 0,18 | 1,90 | 149,4 |
| 3 | 0,18 | 2,25 | 166,3 |
| 4 | 0,22 | 1,48 | 157,7 |
| 5 | 0,22 | 1,90 | 185,2 |
| 6 | 0,22 | 2,25 | 200,3 |
| 7 | 0,27 | 1,48 | 192,9 |
| 8 | 0,27 | 1,90 | 228,2 |
| 9 | 0,27 | 2,25 | 248,1 |

$$N_1 - b_1 a_1 - b_2 a_1 (v_1)^2 = \delta_1$$

$$N_2 - b_1 a_2 - b_2 a_2 (v_2)^2 = \delta_2$$

.....

$$N_z - b_1 a_z - b_2 a_z (v_z)^2 = \delta_z .$$

Поскольку разница δ может быть положительной и отрицательной, следует избавиться от знака, возведя суммарное равенство в квадрат:

$$\Sigma (N - b_1 a - b_2 a (v)^2)^2 = \Sigma \delta^2 . \quad (4.2)$$

Коэффициенты выражения (4.2) должны обеспечить минимум этому выражению, а минимум (или максимум) бывают при таких коэффициентах, которые превращают в нуль первые частные производные по коэффициентам данного уравнения:

$$\frac{d(\Sigma \delta^2)}{db_1} = 0; \quad \frac{d(\Sigma \delta^2)}{db_2} = 0; \quad (4.3)$$

После подстановки в (4.3) уравнений (4.2) и соответствующих преобразований имеем систему двух уравнений

$$\begin{cases} b_1 \Sigma a^2 + b_2 \Sigma a^2 v^2 - \Sigma a N = 0 \\ b_1 \Sigma a^2 v^2 + b_2 \Sigma a v^2 - \Sigma a v^2 N = 0 \end{cases} . \quad (4.4)$$

Для упрощения записи введём обозначения:

$\Sigma a^2 = m$; $\Sigma a^2 v^2 = l$; $\Sigma aN = q$; $\Sigma av^2 = r$; $\Sigma av^2 N = s$. После подстановки обозначений система (4.4) принимает вид

$$\begin{cases} mb_1 + lb_2 - q = 0 \\ lb_1 + rb_2 - s = 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

Для нахождения численных значений принятых обозначений составляется таблица 4.12.

Таблица 4.12 – Значения переменных параметров системы эмпирических уравнений для неустановившегося режима работы плуга

| a^2 | $a^2 v^2$ | aN | aV^2 | $aV^2 N$ |
|--------|-----------|--------|--------|----------|
| 0,0324 | 0,0710 | 22,41 | 0,39 | 48,56 |
| 0,0324 | 0,1170 | 26,89 | 0,65 | 97,11 |
| 0,0324 | 0,1640 | 29,93 | 0,91 | 151,33 |
| 0,0484 | 0,1060 | 34,25 | 0,48 | 74,74 |
| 0,0484 | 0,1747 | 40,74 | 0,79 | 146,31 |
| 0,0484 | 0,2450 | 44,29 | 1,11 | 223,44 |
| 0,0729 | 0,1597 | 51,27 | 0,59 | 112,04 |
| 0,0729 | 0,2632 | 61,61 | 0,97 | 221,35 |
| 0,0729 | 0,3691 | 67,53 | 1,37 | 342,64 |
| | | | | |
| m | l | q | r | s |
| 0,4611 | 1,6697 | 378,92 | 7,26 | 1417,46 |

После подстановки численных значений переменных в систему уравнений (4.5) получаем коэффициенты: $b_1 = 688,57$; $b_2 = 36,88$, а выражение (4.1) конкретизируется в рабочую формулу

$$N = 688,57a + 36,88av^2, \quad (4.6)$$

где глубина вспашки выражается в метрах, а скорость движения в метрах в секунду. Оба фактора оказывают возрастающее влияние по мере своего роста. Это заметно на графическом изображении поверхности отклика по уравнению (4.6) (рисунок 4.10).

Сопоставив данные по измерению силы давления почвы и расчёта этой силы по эмпирическому уравнению (4.6) (таблица 4.13), можно заключить,

что уравнение соответствует результатам измерений с незначительными отклонениями.

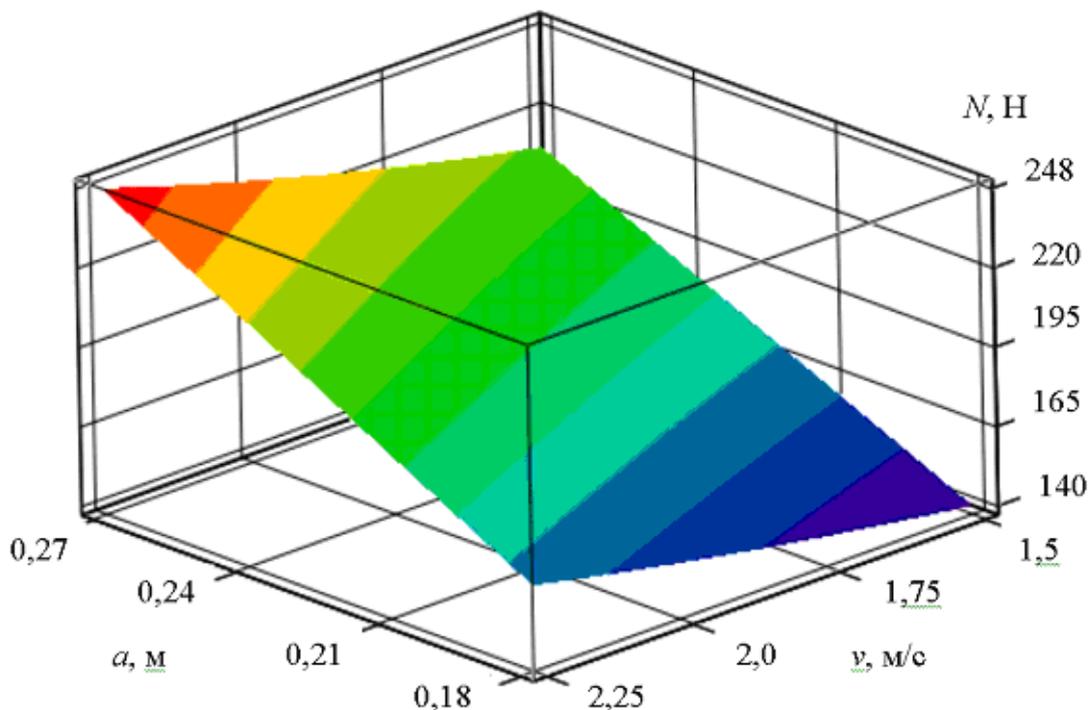


Рисунок 4.10 – Поверхность отклика статистической зависимости силы давления почвы на щиток от глубины вспашки и скорости движения при неустановившемся режиме работы плуга

Таблица 4.13 – Результаты измерения и расчёта по эмпирической формуле нормальной силы, действующей на щиток в неустановившемся режиме работы плуга

| Номер опыта | $a, м$ | $v, м/с$ | $N, Н$ | |
|-------------|--------|----------|--------------|------------|
| | | | по измерению | по формуле |
| 1 | 0,18 | 1,48 | 124,5 | 138,5 |
| 2 | 0,18 | 1,90 | 149,4 | 147,9 |
| 3 | 0,18 | 2,25 | 166,3 | 157,6 |
| 4 | 0,22 | 1,48 | 155,7 | 169,3 |
| 5 | 0,22 | 1,90 | 185,2 | 180,8 |
| 6 | 0,22 | 2,25 | 201,3 | 192,6 |
| 7 | 0,27 | 1,48 | 189,9 | 207,7 |
| 8 | 0,27 | 1,90 | 228,2 | 221,9 |
| 9 | 0,27 | 2,25 | 250,1 | 236,3 |

Чтобы выявить соответствие экспериментальных данных теоретическим представлениям о силе взаимодействия почвы со щитком, сопоставим одно из сечений поверхности отклика при постоянной скорости, допустим, $v=2,0$ м/с. Экспериментально полученное выражение (4.6) при этом принимает вид

$$N_{\text{э}} = 836,09 \cdot a, \quad (4.7)$$

а теоретическое выражение (2.33) становится

$$N_m = 842,78 \cdot a. \quad (4.8)$$

Графическое представление этих выражений (рисунок 4.11) показывает незначительную разницу между теоретическими и опытными данными в зоне наиболее применимых на практике значений переменных параметров.

Соответствие экспериментально полученных данных с выведенной теоретической зависимостью силы нормального давления от глубины обработки проверим по критериям согласия Пирсона и А.Н. Колмогорова.

Составим сравнительную таблицу значений нормальной силы, вычисленной по аналитическому выражению (N_m) и аппроксимирующему выражению экспериментальных данных ($N_{\text{э}}$) для десяти значений глубины вспашки с указанием разницы (δ) (таблица 4.14).

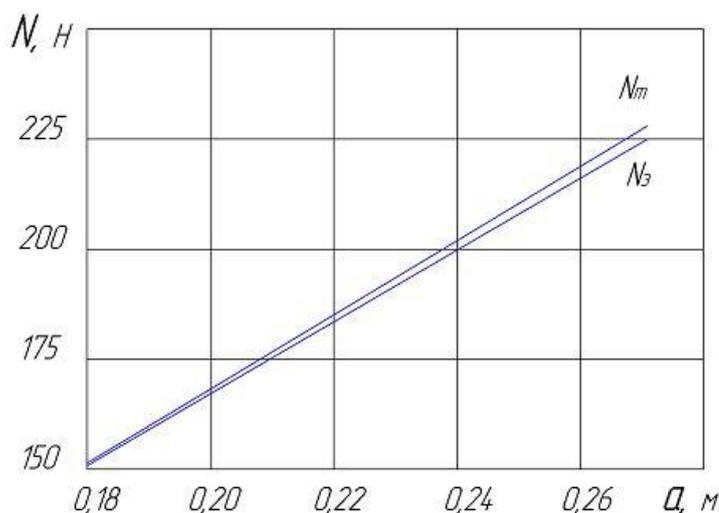


Рисунок 4.11 – Графики экспериментальной и теоретической зависимостей нормальной силы давления почвы на щиток от глубины вспашки при скорости движения агрегата 2,0 м/с

Таблица 4.14 – Сравнительная таблица теоретических и экспериментальных данных по измерению силы нормального давления почвы на щиток

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a , м | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
| N_m , Н | 151,7 | 160,1 | 168,6 | 177,0 | 185,4 | 193,8 | 202,3 | 210,7 | 219,0 | 227,6 |
| N_s , Н | 150,5 | 158,9 | 176,5 | 185,3 | 194,2 | 202,9 | 211,8 | 220,6 | 229,4 | 238,3 |
| δ | 1,2 | 1,2 | 7,9 | 8,3 | 8,8 | 9,1 | 9,5 | 9,9 | 10,4 | 10,7 |

Мера расхождения χ^2 по критерию согласия Пирсона вычисляется как сумма квадратов отклонений N_s от N_m , поделённых на N_{mi} :

$$\chi^2 = \frac{\sum \delta_i^2}{N_{mi}} = 3,53.$$

Накладывается число степеней свободы r , которое равно числу разрядов статистического ряда результатов измерений (в нашем случае – числу вычислений) минус число независимых условий, или связей, накладываемых на результаты измерений. Обычно число связей выбирается равным трём, чтобы совпадали математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение и дисперсия опытных и теоретических данных при многократных измерениях [38], тогда $r = 10 - 3 = 7$. По таблице значений показателя χ^2 при различных вероятностях совпадений находим $p=0,83$. Как указывает Е.С. Вентцель, «на практике, если p оказывается меньшим чем 0,1, рекомендуется проверить эксперимент» и подобрать более подходящую математическую зависимость. В нашем случае оказалось, что аналитическое выражение не противоречит опытными данным.

По А.Н. Колмогорову, оценивается максимальная разница D в долях от ожидаемого значения функции, по ней определяется величина $\lambda = D\sqrt{n}$, где n – число разрядов статистического ряда результатов измерений. Вероятность того, что опытные данные не противоречат теоретическому выражению, определяется по таблице А.Н. Колмогорова для значений $P(\lambda)$. В нашем слу-

чае $D = 10,7 / 227,6 = 0,047$; $n = 10$; $\lambda = 0,149$, и искомая вероятность равна единице.

Установившийся режим работы плуга

После первого рабочего прохода плуга, когда открытая борозда подверглась расширению щитком, и созданы условия для полного переворота пластов, режим работы плуга считается устоявшимся. Теперь каждый щиток нагружен значительно меньше, так как пласты перекатываются (или пересыпаются) под действием отвалов дальше, чем в обычной борозде. Такой вариант работы воссоздан на макетном образце постановкой щитка на переднем рабочем корпусе плуга, предшествующем рабочему корпусу с тензометрическим измерением силы, действующей на щиток (см. рисунок 3.10 б). Для получения эмпирической зависимости силы нормального давления на щиток в этом режиме была составлена матрица планирования эксперимента типа ПФЭ 3^2 по аналогии с таблицей 4.10. Уровни варьирования факторов остались теми же. Полученные данные представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Результаты измерения нормальной силы, действующей на щиток в установившемся режиме работы плуга

| Номер опыта | $a, м$ | $v, м/с$ | $N, Н$ |
|-------------|--------|----------|--------|
| 1 | 0,18 | 1,48 | 34,7 |
| 2 | 0,18 | 1,90 | 38,9 |
| 3 | 0,18 | 2,25 | 42,2 |
| 4 | 0,22 | 1,48 | 52,3 |
| 5 | 0,22 | 1,90 | 57,4 |
| 6 | 0,22 | 2,25 | 61,5 |
| 7 | 0,27 | 1,48 | 77,6 |
| 8 | 0,27 | 1,90 | 85,2 |
| 9 | 0,27 | 2,25 | 92,0 |

Теоретическая модель взаимодействия щитка с почвой, представленная рисунком 2.24, может не совсем точно отражать реальное действие, так как в этом процессе могут быть и другие, малозначимые перемещения почвы. Но зависимость функции от квадрата глубины вспашки и совместного влияния глубины вспашки и скорости движения представляется очевидной, поэтому

эмпирическое уравнение, составленное по статистическим данным, должно иметь общий вид

$$N = b_1 a^2 + b_2 a^2 v^2. \quad (4.9)$$

Коэффициенты b_1 и b_2 , как и в случае с неустановившимся режимом работы, определены методом наименьших квадратов, по которому

$$\Sigma(N - b_1 a^2 - b_2 a^2 v^2)^2 = \Sigma \delta^2. \quad (4.10)$$

Система двух уравнений с неизвестными коэффициентами b_1 и b_2 получена в виде

$$\begin{aligned} b_1 \Sigma a^4 + b_2 \Sigma a^4 v^2 - \Sigma a^2 N &= 0 \\ b_1 \Sigma a^4 v^2 + b_2 \Sigma a^4 v^4 - \Sigma a^2 v^2 N &= 0. \end{aligned} \quad (4.11)$$

В результате решения системы получены коэффициенты: $b_1 = 920,43$; $b_2 = 69,47$, а выражение (4.9) принимает вид рабочей формулы

$$N = 920,43 a^2 + 69,47 a^2 v^2, \quad (4.12)$$

где глубина вспашки выражается в метрах, а скорость движения в метрах в секунду.

Таблица 4.16 – Значения переменных параметров системы эмпирических уравнений для установившегося режима работы плуга

| a^4 | $a^4 v^2$ | $a^2 N$ | $a^4 v^4$ | $N a^2 v^2$ |
|----------|-----------|----------|-----------|-------------|
| 0,001050 | 0,002300 | 1,12428 | 0,005038 | 2,46262 |
| 0,001050 | 0,003791 | 1,26036 | 0,013685 | 4,54990 |
| 0,001050 | 0,005316 | 1,36728 | 0,026912 | 6,92186 |
| 0,002343 | 0,005132 | 2,53132 | 0,011241 | 5,54460 |
| 0,002343 | 0,008458 | 2,77816 | 0,030533 | 10,02916 |
| 0,002343 | 0,011861 | 2,97660 | 0,060046 | 15,06903 |
| 0,005314 | 0,011640 | 5,65704 | 0,025496 | 12,39118 |
| 0,005314 | 0,019183 | 6,21108 | 0,069251 | 22,42200 |
| 0,005314 | 0,026902 | 6,70680 | 0,136191 | 33,95317 |
| | | | | |
| m | n | k | l | s |
| 0,026121 | 0,094583 | 30,61292 | 0,378393 | 113,34352 |

Сопоставив данные по измерению силы давления почвы и расчёта этой силы по эмпирическому уравнению (4.12) (таблица 4.17), можно заключить,

что эмпирическое уравнение соответствует результатам измерений с незначительными отклонениями.

Таблица 4.17 – Результаты измерения и расчёта по эмпирической формуле нормальной силы, действующей на щиток в установившемся режиме работы плуга

| Номер опыта | $a, м$ | $v, м/с$ | $N, Н$ | |
|-------------|--------|----------|--------------|------------|
| | | | по измерению | по формуле |
| 1 | 0,18 | 1,48 | 34,7 | 34,8 |
| 2 | 0,18 | 1,90 | 38,9 | 37,9 |
| 3 | 0,18 | 2,25 | 42,2 | 41,2 |
| 4 | 0,22 | 1,48 | 52,3 | 51,9 |
| 5 | 0,22 | 1,90 | 57,4 | 56,6 |
| 6 | 0,22 | 2,25 | 61,5 | 61,6 |
| 7 | 0,27 | 1,48 | 77,6 | 78,2 |
| 8 | 0,27 | 1,90 | 85,2 | 85,4 |
| 9 | 0,27 | 2,25 | 92,0 | 92,8 |

Поверхность отклика функции на обе переменные (рисунок 4.12) показывает слабо выраженную параболическую зависимость по обеим осям, но глубина вспашки оказывает большее влияние, чем скорость движения.

Для оценки соответствия экспериментальных данных с теоретическими доводами по критериям согласия сопоставим с ними одно из сечений поверхности отклика при постоянной скорости ($v=2,0$ м/с). Теоретическое выражение (2.39) при $v=2,0$ м/с принимает вид

$$N_m = 1178,6 \cdot a^2, \quad (4.13)$$

где N_m – теоретически вычисленная нормальная сила, действующая на щиток;
 a – глубина вспашки, м.

Сечение поверхности отклика по $v=2,0$ м/с представляет собой равенство

$$N_3 = 1198,31 \cdot a^2. \quad (4.14)$$

где N_3 – сила по экспериментальному уравнению отклика.

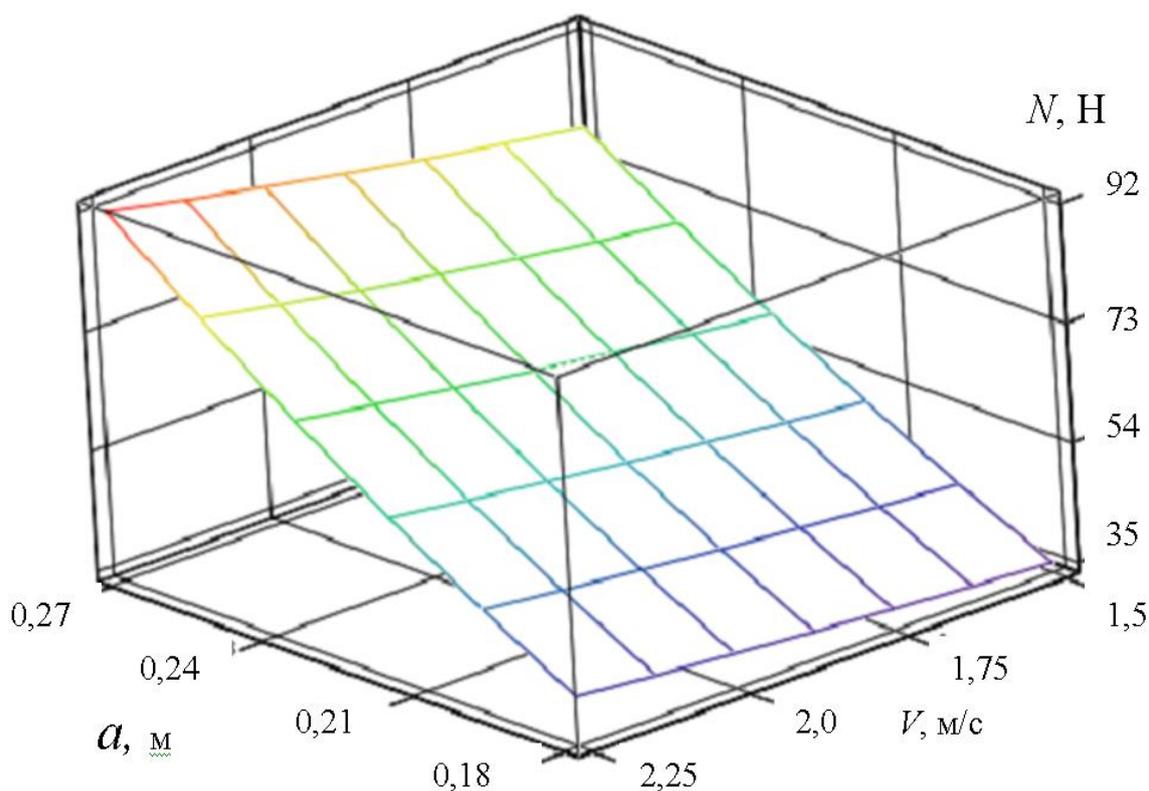


Рисунок 4.12 – Поверхность отклика статистической зависимости силы давления почвы на щиток от глубины вспашки и скорости движения при установленном режиме работы плуга

Графическое представление этих выражений (рисунок 4.13) показывает, что разница между теоретическими и опытными данными в зоне наиболее применимых на практике значений переменных параметров пренебрежимо мала.

Соответствие экспериментально полученных данных с выведенной теоретической зависимостью силы нормального давления от глубины обработки проверим по критериям согласия Пирсона и А.Н. Колмогорова.

Для оценки расхождений составим сравнительную таблицу значений нормальной силы, вычисленной по аналитическому выражению (N_m) и аппроксимирующему выражению экспериментальных данных (N_s) для десяти значений глубины вспашки с указанием разницы (δ) (таблица 4.18).

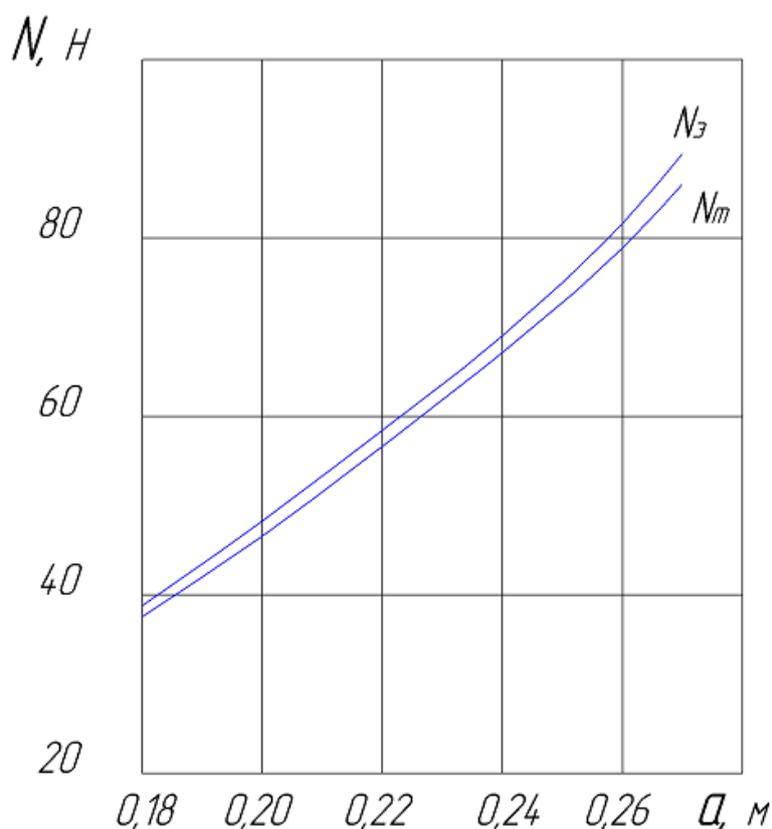


Рисунок 4.13 – Графики экспериментальной и теоретической зависимостей нормальной силы давления почвы на щиток от глубины вспашки при установившемся режиме и скорости движения агрегата 2,0 м/с

Таблица 4.18 – Сравнительная таблица теоретических и экспериментальных данных по измерению силы нормального давления почвы на щиток в установившемся режиме работы

| a | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N_m | 38,19 | 42,55 | 47,14 | 51,98 | 57,04 | 62,35 | 67,89 | 73,66 | 79,67 | 85,92 |
| $N_{\text{э}}$ | 38,83 | 43,26 | 47,93 | 52,85 | 58,00 | 63,39 | 69,02 | 74,89 | 81,00 | 87,36 |
| δ | 0,64 | 0,71 | 0,79 | 0,87 | 0,96 | 1,04 | 1,13 | 1,23 | 1,33 | 1,44 |

Мера расхождения χ^2 по критерию согласия Пирсона

$$\chi^2 = \frac{\sum \delta_i^2}{N_{mi}} = 0,17,$$

выбирается число связей равным трём, тогда число степеней свободы $r = 10 - 3 = 7$. По таблице значений показателя χ^2 при различных вероятностях совпадений находим $p=0,99$, что указывает на высокую вероятность того, что опытные данные не противоречат теоретической зависимости.

По А.Н. Колмогорову, находим максимальную разницу D в долях от ожидаемого значения функции. Разница $D = 1,44$, по ней определяется величина $\lambda = D\sqrt{n}$, где n – число разрядов статистического ряда результатов измерений. Вероятность того, что опытные данные не противоречат теоретическому выражению, определяется по таблице А.Н. Колмогорова для значений $P(\lambda)$. В нашем случае $D = 1,44 / 85,92 = 0,017$; $n = 10$; $\lambda = 0,054$, и искомая вероятность равна единице.

Поскольку полевые опыты подтвердили достоверность аналитических зависимостей сил, действующих на щиток, можно использовать эти зависимости для расчёта дополнительного тягового сопротивления плуга, оборудованного приспособлением для полного оборота пластов и дополнительных затрат мощности этого плуга. В качестве примера рассчитаем эти показатели для четырёхкорпусного плуга с шириной захвата рабочих корпусов 0,35 м. Дополнительное тяговое сопротивление равно учетверённому результату, вычисляемому по выражению (2.42), то есть

$$\Delta P = 0,5a^2 \left(2,32l\psi + \frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'} \right) \sqrt{1+f^2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{1}{f} - \gamma \right), \quad (4.15)$$

а дополнительные затраты мощности

$$\Delta N_{\text{мощ}} = 0,5a^2 v \left(2,32l\psi + \frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'} \right) \sqrt{1+f^2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{1}{f} - \gamma \right). \quad (4.16)$$

За исходные данные принимаем рабочую длину щитка $l=0,30$ м, коэффициенты трения $f=0,55$ и $f'=0,95$, удельный вес почвы $\psi=11$ кН/м³, угол атаки щитка $\gamma=25^\circ$. Тогда равенство (4.15) принимает вид

$$\Delta P = 3522a^2 + 204a^2v^2, \quad (4.17)$$

где ΔP – приращение силы сопротивления плуга, Н;

a – глубина вспашки, м;

v – скорость движения агрегата, м/с.

Графически равенство (4.17) выгидит трёхмерной поверхностью или картой линий уровня (рисунки 4.14 и 4.15).

Подставив исходные данные в уравнение (4.16), получим форму, удобную для построения пространственных графиков приращения затрат мощности:

$$\Delta N_{\text{мощ}} = 3522a^2v + 204a^2v^3, \quad (4.18)$$

где ΔN – приращение затрат мощности, Вт.

Графически зависимость (4.18) представлена на рисунках 4.16 и 4.17.

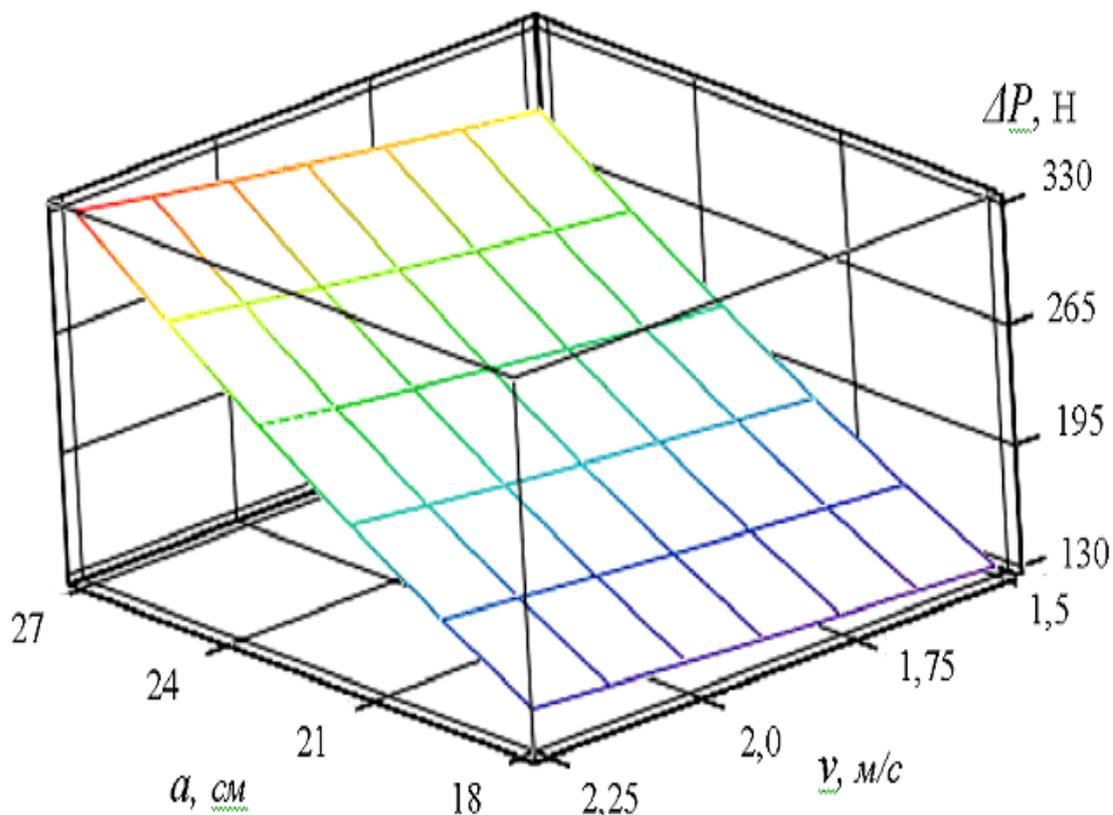


Рисунок 4.14 – Приращение тягового сопротивления четырёхкорпусного плуга при постановке щитков в зависимости от глубины вспашки и скорости движения (почвенные условия нормальные, режим работы установившийся)

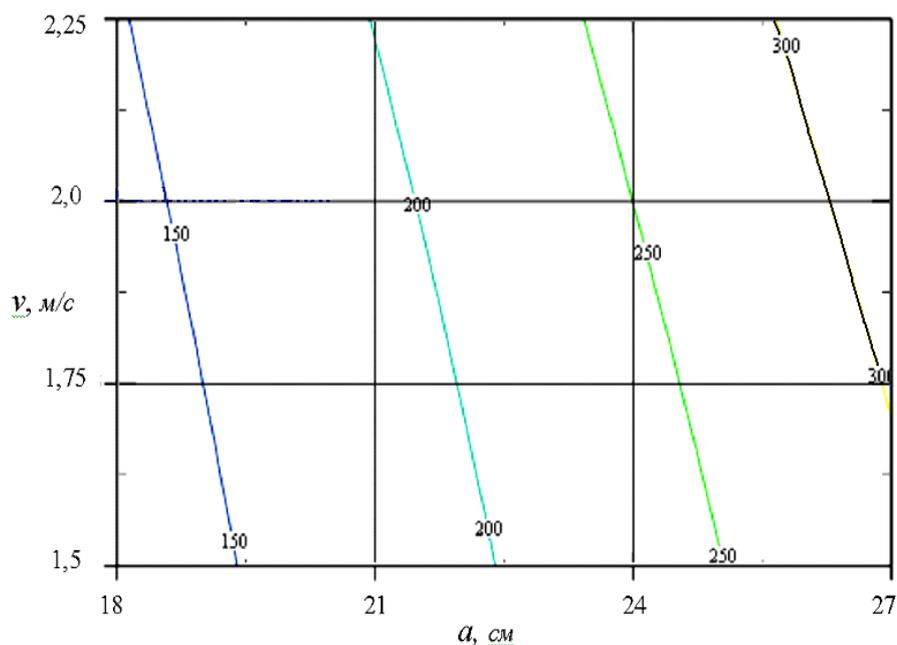


Рисунок 4.15 – Карта линий уровня приращения силы тяги плуга (Н) в зависимости от глубины вспашки и скорости движения (почвенные условия нормальные, режим работы установившийся)

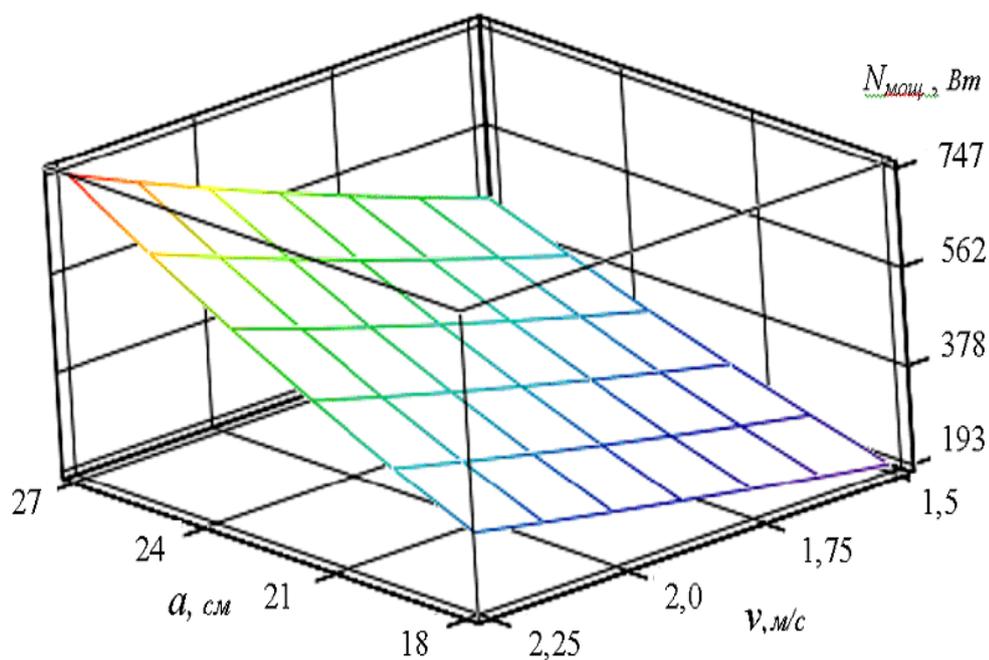


Рисунок 4.16 – Приращение затрат мощности на вспашку четырёхкорпусным плугом при постановке щитков в зависимости от глубины обработки и скорости движения (почвенные условия нормальные, режим работы установившийся)

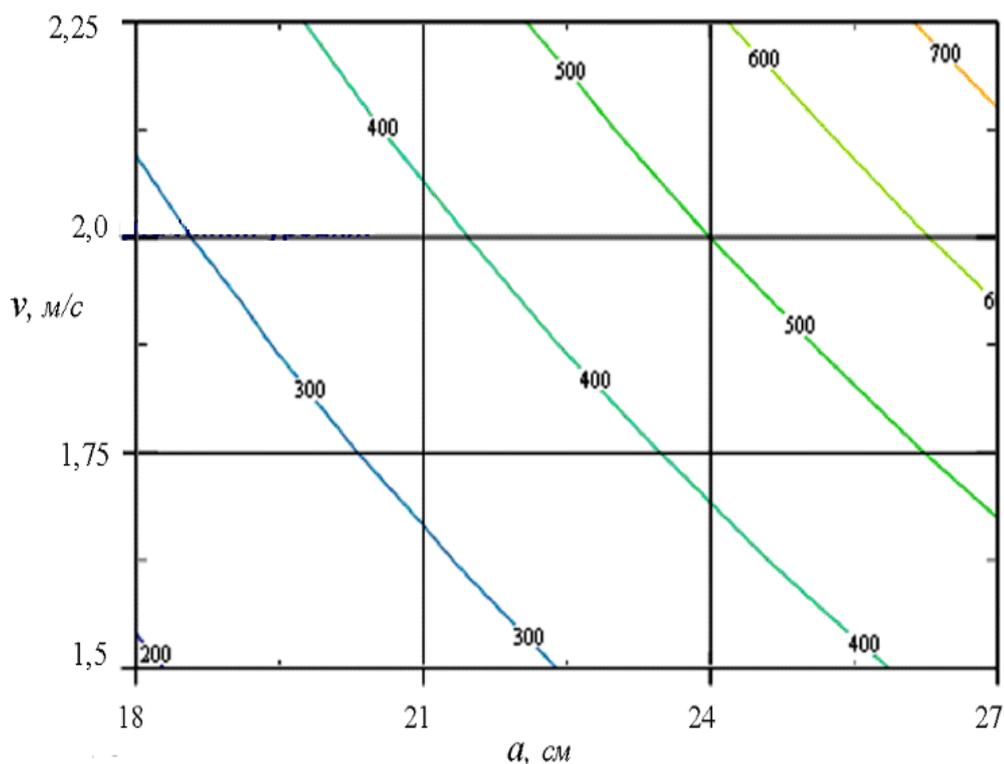


Рисунок 4.17 – Карта линий уровня приращения затрат мощности (Вт) в зависимости от глубины вспашки и скорости движения (почвенные условия нормальные, режим работы установившийся)

4.3 Опытно-производственная проверка промышленного образца плуга с увеличенным углом оборота пластов

Полевые испытания плуга заводского производства [121] совмещались с производственной необходимостью Воронежского ГАУ и его учебно-научного центра «Агротехнология». За 6 дней полевых работ была вспахана площадь 7,2 га на глубину 24-25 см. Промышленный образец плуга отличался от макетного как способом крепления щитков к раме, так и качеством изготовления. Поэтому целью полевых испытаний была проверка работоспособности промышленного образца плуга, эффективности воздействия щитков на угол оборота пластов и состояние вспаханной поверхности почвы. Почвенные условия приведены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Условия проведения полевых испытаний промышленного образца плуга

| Показатели | Значение показателей |
|---|---|
| Состав агрегата | МТЗ-1221.2 + ПН-4-35 П |
| Характеристика условий: - тип почвы и название по механическому составу - рельеф - микрорельеф - предшественник - влажность почвы, % в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см | Выщелоченный чернозём Ровный, уклон 1° Выровненный Амарант 18 17 16 0,21 0,42 0,67 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 144 |
| Высота пожнивных остатков, см | 15 |
| Густота пожнивных остатков шт./м ² | 180 |
| Температура воздуха, град. | 5 |

В этих условиях пласты полностью крошились на отвалах, не сохраняя свою прямоугольную форму. Почва опрокидывалась отвалом в виде насыпи, а щитки эту насыпь частично отодвигали, расширяя борозду. При этом комья дополнительно разрушались, а гребни становились более пологими. По стандарту СТО АИСТ 4.1 – 2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей» угол оборота пласта определяют при помощи угломера (рисунок 4.18). Угломер накладывали на откос борозды так, чтобы его основание плотно прилегало к скосу борозды по большей части длины пласта.



Рисунок 4.18 – Измерение угла оборота пласта

Измеренный по такой методике угол оборота пластов составлял 165 ... 170°. Поскольку угломер регистрирует угол откоса, а не угол оборота, нами применялась импровизированная методика измерения углов переворота заранее вставленных в почву вертикальных вешек диаметром 15 мм и длиной 200 мм (рисунок 4.19).

После прохода плуга вешки располагались во вспаханной почве острыми концами кверху (рисунок 4.20). Их находили в почве, приподнимали по осевой линии и измеряли угол переворота. Если вешка располагалась не по центру перевернутого пласта, её угол оборота мог резко отличаться от 180° в ту или другую сторону под действием самоосыпания почвы на откосах, и этот результат выбраковывался. Гребнистость и глыбистость поверхности почвы после вспашки измерялись по методике СТО АИСТ 4.1 – 2010. Полученные показатели приведены в таблице 4.20.



Рисунок 4.19 – Положение вешек до прохода плуга



Рисунок 4.20 – Положение вешек после прохода плуга

Таблица 4.20 – Агротехническая оценка вспашки промышленным образцом плуга

| Наименование показателей | Плуг с приспособлением | Серийный плуг |
|---|------------------------|-----------------------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,72 | 1,72 |
| Средняя глубина обработки почвы, см | 25,1 | 25,2 |
| Среднее квадратичное отклонение, см | 0,8 | 0,8 |
| Коэффициент вариации, % | 3,2 | 3,2 |
| Коэффициент буксования колёс трактора, % | 8,5 | 8,3 |
| Удельный расход топлива, кг/ч чистой работы | 14,8 | 14,4 |
| Гребнистость поверхности: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 4,8 «отлично» | 16,3 «плохо» |
| Глыбистость поверхности: - процент площади глыб более 5 см - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 13,4 «хорошо» | 36,3 «очень плохо» |
| Крошение почвы: - проценты - балльная оценка по СТО АИСТ 4.1 – 2010 | 86,6 «хорошо» | 63,7 «очень плохо» |
| Угол оборота пластов, градус | 177 | 130 |
| Среднее квадратичное отклонение, градус | 7,6 | 6,8 |
| Коэффициент вариации, % | 4,3 | 5,2 |
| Средняя ошибка опыта, градус | 1,4 | 1,2 |
| Показатель точности опыта, % | 0,79 | 0,96 |
| Заделка в почву стерни и растительных остатков, % | 99 | 61 |

Приведенные в таблице 4.20 данные свидетельствуют о том, что промышленный образец плуга с приспособлением для увеличения угла оборота пластов удовлетворяет агротехнические требования по гребнистости, глыбистости и крошению почвы, так как достигнуты хорошая и отличная балльные оценки качества вспашки. За счёт дополнительного воздействия щитков на пласты они лучше рыхлятся и разглаживаются по поверхности почвы. Это особенно полезно для свекловичных плугов с широким захватом корпусов и глубокой пахотой. Примечательно, что требуемые по агротехнике показатели качества вспашки достигнуты без применения предплужников, что сокращает габарит плуга по длине при его проектировании.

Среднее значение угла оборота почвенных пластов приблизилось вплотную к 180° , и это сказалось на заделке растительных остатков. На вспаханной поверхности практически не было стерни или других фрагментов растений, их масса не превышала $2...3 \text{ г/м}^2$.

Разницу в энергетических затратах на вспашку плугом с приспособлением и без него оценивали по коэффициенту буксования задних колёс и по удельному расходу топлива.

Коэффициент буксования определяли по выражению

$$\delta = \frac{A-100}{A},$$

где δ – коэффициент буксования;

A – теоретическая длина пути при отсутствии буксования, м.

$$A = n \cdot \pi \cdot D,$$

где n – количество оборотов ведущего колеса на длине гона 100 м;

D – диаметр колеса трактора, м. У трактора МТЗ-1221 $D = 1,77$ м.

Сравнительные данные по буксованию колёс представлены в таблице 4.21.

Удельный расход топлива определяли расходомером ИП-154. На табло расходомера высвечивалось число импульсов на длине рабочего прохода 100 метров. Каждый импульс свидетельствовал о расходе 20 миллилитров топлива. Подсчитывался расход топлива на 100 м рабочего хода в миллилитрах, а

затем с учётом скорости движения агрегата (1,72 м/с) и удельного веса дизельного топлива (0,86 г/см³) этот расход выражался в кг/ч чистой работы агрегата. На длине прохода 100 м регистрировалось 13-14 импульсов.

Таким образом, полевые испытания промышленного образца плуга показали отличное качество вспашки при дооборудовании плуга приспособлением для полного оборота пластов. Такое оборудование может быть поставлено на любые модификации плугов, в том числе оборотных с симметричным расположением левосторонних и правосторонних корпусов.

Таблица 4.21 – Результаты измерения буксования колёс трактора

| Показатели | Значение показателей | |
|--|--|-------------------------|
| | плуг с приспособлением для полного оборота пластов | плуг без приспособления |
| Базовая длина гона, <i>м</i> | 100 | 100 |
| Диаметр колеса трактора, <i>м</i> | 1,77 | 1,77 |
| Глубина вспашки, <i>см</i> | 26 | 26 |
| Скорость движения, <i>м/с</i> | 1,75 | 1,75 |
| Количество <i>n</i> оборотов колеса на длине гона по повторностям: | | |
| 1 | 19,8 | 19,5 |
| 2 | 19,8 | 19,8 |
| 3 | 19,4 | 19,5 |
| среднее | 19,67 | 19,60 |
| Теоретическая длина пути <i>A</i> , <i>м</i> | 109,38 | 108,99 |
| Коэффициент буксования δ , % | 8,5 | 8,3 |

Выводы по главе 4

1. Гипотеза об улучшении качественных показателей вспашки путём большего угла оборота пластов за счёт расширения борозды вертикальными щитками перед укладкой очередного пласта подтвердилась. При вспашке чёрного пара достигнут угол оборота пластов $165-172^\circ$ по сравнению с $125-130^\circ$ в контрольном варианте. Гребнистость поверхности уменьшилась с 15,9 до 4,6%, глыбистость – с 35,8 до 13,2%, крошение почвы улучшилось с 64,2 до 86,8%.

2. При вспашке по стерневому фону показатели опытного образца плуга оказались тоже лучше контрольного: угол оборота пластов $160-180^\circ$ против $120-140^\circ$, гребнистость уменьшилась с 17,0 до 5,3%, глыбистость – с 46,2 до 17,3%, крошение почвы улучшилось с 53,8 до 82,7%. Заделка в почву стерни и растительных остатков улучшилась весьма значительно – с 56 до 98%.

3. Глубина вспашки и скорость движения агрегата влияют на угол оборота пластов так же, как и по теоретическим представлениям для обычной вспашки: рост глубины вспашки снижает, а скорость увеличивает угол оборота.

4. Нормальная сила сопротивления почвы, действующая на щиток, зависит как от настроечных параметров плуга, так и от режима работы – неустановившегося или установившегося. Неустановившийся режим существует только при первом рабочем проходе и исследовался для дальнейших расчётов прочностных характеристик крепления щитков. Установившийся режим существует в течение всей рабочей смены и определяет энергетические затраты на вспашку.

5. Теоретическая зависимость силы нормального давления почвы на щиток от глубины вспашки и скорости движения агрегата подтверждена экспериментально, о чём свидетельствуют критерии согласия Пирсона и А.Н. Колмогорова, а также характер поверхностей отклика и кривых однофакторной зависимости.

6. В нормальных почвенных условиях работы с пластами, крошащимися на отвале, сила нормального давления почвы на щиток у плуга с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м варьирует от 130 до 250 Н при неустановившемся режиме и от 35 до 86 Н при установившемся режиме. Эти показатели получены при регулировании глубины вспашки от 0,18 до 0,27 м и скорости движения от 1,48 до 2,25 м/с.

7. Приращение тягового сопротивления четырёхкорпусного плуга с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м при постановке щитков для расширения борозды составляет 130-330 Н с теми же вариациями глубины вспашки и скорости движения, а приращение затрат мощности составляет 190-750 Вт.

5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К ПЛУГАМ ДЛЯ УВЕЛИЧЕННОГО УГЛА ОБОРОТА ПЛАСТОВ

5.1 Технико-экономические предпосылки для экономии затрат при использовании предлагаемого приспособления

Предлагаемое приспособление к плугам для увеличения угла оборота почвенных пластов призвано улучшать качество отвальной вспашки, которое в последствии скажется как на количестве повторных поверхностных операций, так и на урожайности возделываемых культур. Качество вспашки оценивается, прежде всего, полнотой переворота корнеобитаемого горизонта. При полном обороте пластов в глубь почвы заделываются послеуборочные растительные остатки, а это обеспечивает оптимальные условия трансформации их органического вещества [71].

При заделке семян и других органов размножения сорняков на максимально возможную глубину достигается больший эффект в борьбе с ними и почти полное подавление сорной растительности без применения гербицидов. С учётом высокой стоимости гербицидов, особенно импортных, в настоящее время в хозяйствах более половины всех затрат приходится на борьбу с сорняками. Засорённость полей отражается и на урожайности, так как она приводит к нерациональному использованию основных доз удобрений в земледелии. Борьба с сорняками химическими средствами обходится дорого и не всегда приводит к желаемому результату, так как сорняки в почве находятся в различных фазах развития, всходы их появляются неравномерно. Ботанический состав сорной растительности зачастую гораздо шире, чем спектр действия гербицидов.

При полном оборачивании пластов уменьшается гребнистость и глыбистость поверхности. Выравнивание поверхности необходимо в целях создания одинаковых условий для развития растений и протекания почвенных процессов, для удобства дальнейшей обработки почвы и посева, ухода за рас-

тениями и уборки урожая. Ровная или даже строго горизонтальная поверхность необходима для выращивания растений при поливе и затоплении полей [71]. Создание на поверхности почвы микро- и мезорельефа проводится чаще всего в районах недостаточного и избыточного увлажнения в целях сохранения или, наоборот, удаления влаги. При полном обороте пластов выполняется ряд сложных технологических операций: рыхление, частичное перемешивание, заделка удобрений на всю глубину пахотного слоя, заделка стерни, растительных остатков, семян сорняков, подрезание подземной части растений. Полный оборот пластов – единственная возможность надёжно закрыть удобрения. Вспашка изменяет строение пахотного слоя. Она придаёт ему рыхлое мелкокомковатое состояние, существенно улучшая водный и воздушный режимы. При контроле качества вспашки особое внимание обращается на «хорошее обрачивание пласта, полную заделку стерни, сорняков и удобрений» [55].

В связи с появлением альтернативной технологии основной обработки почвы без переворота пахотного горизонта сторонники традиционной оборотной вспашки утверждают, что в обозримом будущем вспашка останется доминирующей технологией, так как она обеспечивает прибавку урожая на 12-15% по сравнению с минимальной обработкой. Этой технологии посвящено создание фронтальных плугов. Зона предпочтительного распространения отвальных плугов характеризуется достаточным увлажнением почвы, где количество выпадающих осадков не менее 500 мм в год. Это большая часть пахотной территории РФ [63].

В противовес традиционной вспашке сторонники облегчённой технологии указывают на сравнительно небольшие эксплуатационные издержки при применении плоскорезов, культиваторов или дисковых орудий. Но для достижения нужных агротехнических показателей по всему корнеобитаемому слою приходится проводить повторные обработки, и тогда общие затраты превышают затраты на вспашку.

Из этого краткого перечня достоинств технологии обработки почвы, основанной на полном обороте пластов, становится очевидным, что при применении этого способа создаётся очень много положительных экономических эффектов. Поэтому не существует точного экономического расчёта, который бы учёл все положи-

тельные эффекты от прироста урожайности, экономии топлива и других материальных ресурсов, от повышения качества продукции, от уменьшения химического воздействия на природу в борьбе с сорняками. Учесть всё это в точном экономическом расчёте суммарной выгоды сельскохозяйственному производству не представляется возможным. Можно дать оценку лишь в общих чертах прогнозных предположений, а наиболее очевидный эффект рассчитать с более точным обоснованием затрат и объёма выполняемых работ. Выше были приведены ориентировочные оценки прироста урожайности, затрат на гербициды и топливо, но они находятся в большой зависимости от возделываемой культуры, почвенно-климатических и погодных условий.

Для более точного экономического анализа ограничимся расчётом эксплуатационных затрат на основную обработку почвы разработанным нами плугом ПН-4-35П с приспособлением для увеличения угла оборота пластов в агрегате с трактором Беларус МТЗ-1221.2. Базового варианта машинно-тракторного агрегата с сопоставимым качеством работы нет. Как показали полевые опыты, гребнистость, глыбистость поверхности поля после вспашки и особенно заделка растительных остатков резко отличаются в лучшую сторону от показателей при вспашке без приспособления для полного оборота пластов. Поэтому для достижения примерно одинакового состояния поля потребуется дополнительная обработка культиватором через 7-10 дней, когда прорастут неглубоко заделанные семена сорняков на поле с неполным оборотом пластов. Попутно будут улучшены показатели по гребнистости и глыбистости. При расчёте окупаемости дополнительных капиталовложений на изготовление и внедрение в практику обработки почвы плуга с приспособлением для увеличения угла оборота пластов будем считать базовым вариантом применение двух агрегатов последовательно – того же плуга ПН-4-35, но без приспособления для более полного оборота пластов, в агрегате с тем же трактором Беларус МТЗ-1221.2 и культивирующего агрегата Беларус МТЗ-1221.2 + С-11У+2·КСПС-6Г [59].

5.2 Расчет окупаемости плуга для отвальной обработки, оборудованного приспособлением для увеличенного угла оборота пластов

5.2.1 Обоснование и порядок расчёта

Рассчитаем экономию затрат и срок окупаемости дополнительных капиталовложений в производство и эксплуатацию навесного четырёхкорпусного плуга ПН-4-35П, оборудованного приспособлением для увеличения угла оборота пластов и агрегируемого с трактором Беларусь МТЗ-1221.2. Этот агрегат назовём проектным, а для сравнения примем базовый вариант, состоящий из двух агрегатов: трактор Беларусь МТЗ-1221.2 с тем же плугом, но без приспособления и агрегат для последующей культивации МТЗ-1221.2 + С-11У + 2·КСПС-6Г. Порядок расчёта составлен на основании нормативных документов и методических указаний, изложенных в литературных источниках [67, 41].

За доминирующий положительный фактор в экономическом расчёте примем уменьшение числа полевых операций для достижения состояния поля, удовлетворяющего агротехнические требования к основной обработке почвы. В этих требованиях указано, что размеры поперечного сечения пластов должны быть одинаковыми, а их оборот — полным и с качественной заделкой сорняков, жнивья и внесенных на поверхность поля удобрений (не менее 95%). Поверхность пашни должна быть слитной, а при зяблевой вспашке — слегка гребнистой. Необходимо, чтобы пахотный агрегат двигался прямолинейно и не оставлял огрехов. Высота свального гребня — не более 70 мм, а глубина развальной борозды — не более половины глубины вспашки. Глыбистость, т. е. суммарная площадь, занимаемая комками размером более 10 см, допускается не более 15% от площади пашни. Гребнистость и глыбистость также могут измеряться в процентном отношении занятой поверхности [2, 3, 113]. Оценка достигнутых показателей приведена в таблицах 4.2, 4.6, 4.19.

5.2.2 Определение стоимости техники и дополнительных капиталовложений

Для определения размера дополнительных капиталовложений на производство проектного плуга примем отпускную цену на плуг ПН-4-35П по данным прайс-листов ООО ПФК «Воронежский станкозавод-Холдинг». В соответствии с договором № 28-04/15 от 28.04.2015 между заводом ООО ПФК «ВСЗ-Холдинг» и Воронежским государственным аграрным университетом имени императора Петра I на поставку оборудования, отпускная цена плуга ПН-4-35П с оборудованием для увеличения угла оборота пластов составляет 85 тыс. руб. Выделим из этой суммы стоимость оборудования, или приспособления для лучшего оборота пластов. Общая масса плуга с приспособлением составляет 815 кг, из них на приспособление приходится 78,8 кг. Допуская равенство удельной стоимости одного килограмма металлоконструкций, можно определить отдельно стоимость приспособления

$$C_{пр} = \frac{85000 \cdot 78,8}{815} = 8218 \text{ руб.}$$

и плуга $C_{пл} = 76782$ руб.

Стоимость остальной техники определили по данным Интернета в соответствии с рыночными ценами: трактор Беларусь МТЗ-1221.2 – 1 940 000 руб., культиватор КСПС-6Г – 216 000 руб. [117, 59].

Нормы амортизации для тракторов Минского тракторного завода составляют 9,1% , для плугов общего назначения 11%, для культиваторов сплошной обработки 12,5%, для сцепок и других устройств агрегатирования сельскохозяйственных орудий с тракторами 14,3% [48].

Средняя цена летнего дизельного топлива по Воронежской области на 28 декабря 2015 года по данным Воронежстата составила 34,55 руб./л, или 40,2 руб./кг [70].

5.2.3 Расчёт производительности сравниваемых агрегатов

При вспашке на глубину 26 см плугом с шириной захвата 1,4 м сопротивление почвы может быть рассчитано по выражению

$$R = k_0 \cdot a \cdot B, \text{ Н}, \quad (5.1)$$

где R – сопротивление почвы, Н;

k_0 – удельное сопротивление плуга, Н/см². По данным профессора Н.Д. Лучинского, для Воронежской области можно принять в среднем $k_0 = 8$ Н/см² [64, 37];

a – глубина обработки, см;

B – ширина захвата плуга, см.

Сопротивление плуга равно $R = 29,12$ кН. С учётом потерь на буксование колёс (10%) и на к.п.д. трансмиссии (5%) касательная сила тяги ведущих колёс трактора должна составлять 32,26 кН. При мощности двигателя $N = 96$ кВт и рекомендуемой загрузке двигателя на 90% [125] трактор может развивать скорость 2,67 м/с, или 9,6 км/ч.

По опытным данным, приспособление для увеличения угла оборота пластов на четырёхкорпусном плуге добавляет сопротивление почвы ΔR на величину, определяемую по выражению (4.10). Воспользовавшись этим выражением при $a=26$ см, $l=0,30$ м, $f=0,55$ и $f'=0,95$, $\psi=11$ кН/м³, $\gamma=25^\circ$, имеем $\Delta R = 343$ Н. Тогда сопротивление агрегата равно $R_I = 29,46$ кН, касательная сила тяги 34,66 кН и рациональная скорость движения агрегата 2,49 м/с, или 8,9 км/ч.

Производительность пахотного агрегата за час сменного времени вычислена по выражению

$$W = 0,1BV\tau, \quad (5.2)$$

где W – часовая производительность агрегата, га/ч;

B – рабочая ширина захвата, $B = 1,4$ м;

V – рабочая скорость движения, км/ч;

τ – коэффициент использования рабочего времени, на пахоте принимается $\tau = 0,9$.

Скорость движения агрегата рассчитывается по номинальной нагрузке двигателя (90% мощности двигателя по паспорту) с применением формулы (5.1).

У проектного агрегата производительность равна 1,12 га/ч, а у базового – 1,21 га/ч. Часовой расход топлива принимаем одинаковым для обоих агрегатов, так как у них один и тот же трактор и он одинаково нагружен на 90% своей мощности. По паспортным данным, удельный расход топлива $g_e = 226$ г/кВт·ч при номинальной мощности $N_e = 96$ кВт. Часовой расход топлива при номинальной нагрузке составляет $G_T = 21,7$ кг/ч, а при нагрузке трактора на 90% – $G_T = 19,5$ кг/ч.

У базового варианта основной обработки почвы имеется дополнительная операция культивирующим агрегатом МТЗ-1221.2+КСПС-6Г. Этот культиватор прицепной, он имеет ширину захвата 6 м и способен культивировать почву на глубину 5-12 см. Его масса составляет 1100 кг, а вместе с приспособлением для борон и с боронами – 1500 кг. Рассчитаем производительность и затраты топлива при работе культивирующего агрегата.

Культивация на глубину от 6 до 12 см создаёт удельное сопротивление почвы 1,2 ... 2,6 кН/м [40, 96]. При глубине обработки 10 см удельное сопротивление составляет 2,13 кН/м. По энергетическим способностям трактора Беларусь МТЗ-1221.2, он может работать с двумя культиваторами шириной захвата 6 м каждый. Агрегатируется два культиватора на сцепке к трактору, тогда ширина захвата агрегата составляет $B = 12$ м. Учитывая тяговое сопротивление сцепки массой 400 кг с коэффициентом перекачивания колёс по пахоте $f = 0,5$, общее сопротивление агрегата составит

$$R_{az} = 2,13 \cdot 12 + 3,9 \cdot 0,5 = 27,5 \text{ кН.}$$

Ограничим скорость движения агрегата по пахоте величиной 6 км/ч, или 1,67 м/с. Тогда требуемая мощность составляет $N_{треб} = R_{az} \cdot V_{раб} = 46,0$ кВт. Учитывая затраты мощности на буксование (9%) и на потери в трансмиссии (5%), используемая мощность двигателя при работе агрегата составит

$$N_{исп} = 53,5 \text{ кВт, а часовой расход топлива } G_T = g_e \cdot N_{исп} = 12,1 \text{ кг/ч.}$$

Производительность культивирующего агрегата за час сменного времени вычислена по выражению (5.2) и составляет $W = 6,48$ га/ч.

5.2.4 Исходная информация для экономической оценки проектного агрегата

Исходная информация для экономической оценки проектного агрегата касается стоимости применяемой техники, действующих нормативных отчислений, годовой загрузки машин, стоимости израсходованного топлива и размера часовой оплаты труда механизаторов. Эти сведения помещены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Сведения для экономического расчёта

| Показатели | Проектный вариант | Базовый вариант | |
|--|-------------------|-----------------|-------------|
| | | Пахота | Культивация |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Трактор | МТЗ-1221.2 | МТЗ-1221.2 | МТЗ-1221.2 |
| Марка рабочей машины | ПН-4-35П | ПН-4-35 | КСПС-6Г |
| Стоимость трактора, руб. | 1 940 000 | 1 940 000 | 1 940 000 |
| Стоимость 1 рабочей машины, руб. | 85 000 | 76 782 | 216 000 |
| Стоимость сцепки С-11У | - | - | 93 000 |
| Норма амортизации, % | | | |
| для трактора | 9,1 | 9,1 | 9,1 |
| для рабочей машины | 11 | 11 | 12,5 |
| для сцепки | - | - | 14,3 |
| Норма отчислений на ремонт, ТО, замену шин и хранение техники, % | | | |
| для трактора | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| для рабочей машины | 9 | 9 | 9 |
| для сцепки | - | - | 9 |
| Годовая загрузка, ч | | | |
| для трактора | 1600 | 1600 | 1600 |
| для рабочей машины | 500 | 500 | 500 |
| для сцепки | - | - | 500 |

Окончание таблицы 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------|------|------|
| Производительность за час сменного времени, га/ч | 1,12 | 1,21 | 6,48 |
| Часовой расход топлива, кг/ч | 19,5 | 19,5 | 12,1 |
| Комплексная цена топлива, руб./кг | 40,2 | 40,2 | 40,2 |
| Часовая оплата труда с начислениями, руб./ч | 176 | 176 | 176 |

5.2.5 Расчёт экономии производственных затрат

В расчёте допускается, что агрегат эксплуатируется в течение 9 лет, и каждый год продолжительность эксплуатации плуга составляет 500 часов, а трактора – 1600 часов.

В таблице 5.2 приводится расчёт эксплуатационных затрат на основную обработку площади, которую может вспахать проектный вариант плуга за 500 часов работы, то есть за свой норматив продолжительности годовой эксплуатации. Расчёт приведен в сравнении с базовым вариантом обработки, при котором выполняется две полевые операции, и затраты на их проведение складываются.

Амортизационные отчисления по какой-либо машине [41] определялись по выражению

$$A = \frac{C \cdot a \cdot t}{T}, \quad (6.3)$$

где A – амортизационные отчисления, руб.;

a – норматив отчислений в процентах или в долях от балансовой стоимости машины;

C – балансовая стоимость машины, руб.;

T – общая годовая занятость машины, ч.;

t – занятость машины на выполнение исследуемой операции, ч.

Для плуга параметры T и t принимаются одинаковыми, а для трактора $T > t$, так как он занят ещё и на других работах. Для культиваторов и сцепки все отчисления обратно пропорциональны производительности по отноше-

нию к плугу, так как на одинаковой площади обработки их занятость будет меньшей.

Отчисления на ремонт и техобслуживание определялись аналогично.

Экономия производственных затрат подсчитаем в табличной форме (таблица 5.2).

Из таблицы 5.2 вытекает, что размер инвестиционного эффекта за год работы проектируемого плуга составит

$$\mathcal{E}_T = 677,60 - 627,20 = 50,40 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем экономический эффект за срок эксплуатации проектного агрегата при ставке банковского процента 12%. Для этого применяем формулу

$$K_m = \mathcal{E}_T \cdot \frac{(1 + NS)^T - 1}{NS}, \quad (5.4)$$

где K_m – экономический эффект за срок эксплуатации проектного агрегата, тыс. руб.

\mathcal{E}_T – экономия в издержках производства, тыс. руб.;

NS – ставка банковского процента, $NS = 0,12$;

T – срок эксплуатации агрегата, $T = 9$ лет.

$$K_m = 50,40 \cdot \frac{(1 + 0,12)^9 - 1}{0,12} = 744,69 \text{ тыс. руб.}$$

Определяем цену спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта:

$$D_p = \frac{K_m}{(1 + NS)^T}. \quad (5.5)$$

$$D_p = \frac{744,69}{1,12^9} = 268,54 \text{ тыс. руб.}$$

Цена спроса говорит о том, какую сумму надо положить в банк, чтобы за 9 лет получить в качестве процентов тот же экономический эффект, что и от внедрения проектного варианта почвообрабатывающего агрегата.

Коэффициент эффективности капитальных вложений определяется по формуле:

Таблица 5.2 – Сравнение затрат на 500 часов работы проектного плуга

| Проектный вариант | Базовый вариант | |
|---|---|---|
| | Пахота | Культивация |
| Амортизационные отчисления по агрегату | | |
| Трактор $\frac{1940 \cdot 0,091 \cdot 500}{1600} = 55,17$ тыс. руб. | Трактор $\frac{1940 \cdot 0,091 \cdot 500}{1600} = 55,17$ тыс. руб. | Трактор $\frac{1940 \cdot 0,091 \cdot 500 \cdot 1,21}{1600 \cdot 6,48} = 10,30$ тыс. руб. |
| Плуг $85 \cdot 0,11 = 9,35$ тыс. руб. | Плуг $76,78 \cdot 0,11 = 8,45$ тыс. руб. | Культиваторы $\frac{2 \cdot 216 \cdot 0,125 \cdot 1,21}{6,48} = 10,08$ тыс. руб. |
| | | Сцепка $\frac{93 \cdot 0,143 \cdot 1,21}{6,48} = 2,48$ тыс. руб. |
| Отчисления на ремонт и техобслуживание | | |
| Трактор $\frac{1940 \cdot 0,125 \cdot 500}{1600} = 75,78$ тыс. руб. | Трактор $\frac{1940 \cdot 0,125 \cdot 500}{1600} = 75,78$ тыс. руб. | Трактор $\frac{1940 \cdot 0,125 \cdot 500 \cdot 1,21}{1600 \cdot 6,48} = 14,15$ тыс. руб. |

Окончание таблицы 5.2

| Проектный вариант | Базовый вариант | |
|--|--|--|
| | Пахота | Культивация |
| Плуг $85 \cdot 0,09 = 7,65$ тыс. руб. | Плуг $76,78 \cdot 0,09 = 6,91$ тыс. руб. | Культиваторы $\frac{2 \cdot 216 \cdot 0,09 \cdot 1,21}{6,48} = 7,26$ тыс. руб. |
| | | Сцепка $\frac{93 \cdot 0,09 \cdot 1,21}{6,48} = 1,56$ тыс. руб. |
| Стоимость израсходованных ТСМ | | |
| $19,50 \cdot 40,20 \cdot 500 = 391,95$ тыс. руб. | $19,50 \cdot 40,20 \cdot 500 = 391,95$ тыс. руб. | $\frac{12,1 \cdot 40,20 \cdot 500 \cdot 1,21}{6,48} = 45,41$ тыс. руб. |
| Оплата труда механизатора | | |
| $500 \cdot 176 = 88,00$ тыс. руб. | $500 \cdot 176 = 88,00$ тыс. руб. | $\frac{500 \cdot 176 \cdot 1,21}{6,48} = 16,43$ тыс. руб. |
| Итого 627,90 тыс. руб. | Итого 626,26 тыс. руб. | Итого 107,67 тыс. руб. |
| Наработка за 500 часов работы агрегата | | |
| $500 \cdot 1,12 = 560$ га | $500 \cdot 1,21 = 605$ га | 605 га |
| Себестоимость обработки 1га | | |
| $627,90 : 560 = 1,12$ тыс. руб. | $733,93 : 605 = 1,21$ тыс. руб. | |
| Суммарные затраты на обработку 560 га | | |
| $560 \cdot 1,12 = 627,20$ тыс. руб. | $560 \cdot 1,21 = 677,60$ тыс. руб. | |

$$E_T = T \sqrt[T]{\frac{K_m}{K_0}} - 1, \quad (5.6)$$

где K_0 – капитальные вложения.

$$E_T = \left(\sqrt[9]{\frac{744,69}{85,00}} \right) - 1 = 0,273.$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений должен быть выше ставки банковского процента, то есть $E_T > NS$. $0,27 > 0,12$.

Определим срок окупаемости проекта:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_0 \cdot NS}{\Delta T}\right)}{\ln(1 + NS)}. \quad (5.7)$$

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{85,00 \cdot 0,12}{50,40}\right)}{\ln(1 + 0,12)} = 2,0 \text{ года.}$$

По сравнению с нормативным сроком эксплуатации сельскохозяйственной техники срок окупаемости предложенного плуга с приспособлением для увеличения угла оборота пластов оказался довольно коротким.

Результаты расчёта сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Показатели экономической эффективности четырёхкорпусного навесного плуга с приспособлением для увеличения угла оборота пластов

| Показатели | Значение показателей |
|--|----------------------|
| Срок эксплуатации проекта, год | 9 |
| Инвестиционные вложения, тыс. руб. | 85,00 |
| в т.ч.: в основные средства, тыс. руб. | 85,00 |
| Годовой экономический эффект, тыс. руб. | 50,40 |
| Экономический эффект за срок реализации проекта, тыс. руб. | 744,69 |
| Цена спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта, тыс. руб. | 268,54 |
| Коэффициент эффективности вложений | 0,27 |
| Срок окупаемости, год | 2,0 |

Выводы по главе 5

1. Все положительные эффекты от улучшения качества вспашки плугом с приспособлением для увеличения угла оборота почвенных пластов оценить в точном денежном выражении не представляется возможным, так как составляющие его эффективности слишком многообразны в плане энергетики, экологии, продуктивности растений, стоимости гербицидов и т.д. Сопоставляются только эксплуатационные затраты на проектный и базовый варианты основной обработки почвы.

2. Для достижения сопоставимого качества обработки почвы базовый вариант должен содержать не менее двух полевых операций – для глубокой и поверхностной обработок. При выбранном варианте поверхностной обработки годовая экономия от применения проектного плуга составляет 50,4 тыс. руб., экономический эффект за 9-летний срок реализации проекта составляет 744,7 тыс. руб., и срок окупаемости инвестиционных вложений составляет два года. Внедрение проектного плуга в сельскохозяйственное производство экономически оправдано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы

1 Увеличение угла оборота пластов за счёт приращения ширины захвата корпуса и применения предплужников имеет свои пределы, не удовлетворяющие агротребования к вспашке по состоянию поверхности поля и заделке растительных остатков и семян сорняков. Теоретически максимальный угол оборота не доходит до 150° , а высота гребней превышает требуемые 7 см и варьирует от 17 до 23 см. Неполный оборот пластов создаёт условия для всхожести 25% сорняков из осыпавшихся на поверхность поля семян.

2 Применение оборота пласта с предварительным расширением борозды предлагаемым приспособлением к отвальному плугу при вспашке по чёрному пару и по стерневому фону обеспечило угол оборота пластов $165-180^\circ$, гребнистость поверхности 4,6-5,3%, глыбистость 13,2-17,3, заделку растительных остатков 98-99%, что по балльной оценке (методика СТО АИСТ 4.1 – 2010) оценивается на «хорошо» и «отлично». Плуг без приспособления показал угол оборота пластов $125-140^\circ$, гребнистость 15,9-17,0%, глыбистость 35,8-46,2%, что оценивается на «плохо» и «очень плохо».

3 Глубина вспашки и скорость движения агрегата влияют на угол оборота пластов так же, как и по теоретическим представлениям для обычной вспашки: по чёрному пару и по стерне рост глубины вспашки от 16,8 до 25,0 см снижает угол оборота с 178 до 166° , а увеличение скорости движения агрегата с 1,3 до 2,2 м/с увеличивает угол оборота с 160 до 177° .

4 Для плугов с шириной захвата корпусов 0,35 м минимальная длина щитка, отодвигающего пласт, равна 0,45 м, его угол атаки равен среднему углу сдвига лемешно-отвальной поверхности, а расстояние конца щитка от стенки борозды равно сумме глубины a и ширины b пласта. Максимально возможная длина щитка зависит от продольного расстояния между корпусами плуга. У перспективных конструкций плугов без полевых досок и предплуж-

ников минимальная дистанция между корпусами в продольном направлении при ширине захвата корпуса 0,35 м теоретически может быть уменьшена с 0,79 до 0,58 м. В этом случае максимально возможная длина щитка равна 0,65 м, его угол атаки равен 22° , расстояние от стенки борозды равно $(a+b)$. Рекомендуемая длина щитка 0,58-0,62 м и угол атаки $23-25^\circ$. При другой ширине захвата корпуса указанные размеры изменяются пропорционально.

5 Нормальная сила сопротивления почвы, действующая на щиток, зависит как от настроечных параметров плуга, так и от режима работы – неустановившегося или установившегося. Неустановившийся режим существует только при первом рабочем проходе и исследовался для дальнейших расчётов прочностных характеристик крепления щитков. Установившийся режим существует в течение всей рабочей смены и определяет энергетические затраты на вспашку. В нормальных почвенных условиях работы с пластами, крошащимися на отвале, сила нормального давления почвы на щиток у плуга с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м варьирует от 130 до 250 Н при неустановившемся режиме и от 35 до 86 Н при установившемся режиме. Эти показатели получены при регулировании глубины вспашки от 0,18 до 0,27 м и скорости движения от 1,48 до 2,25 м/с. Приращение тягового сопротивления четырёхкорпусного плуга с шириной захвата рабочего корпуса 0,35 м при постановке щитков для расширения борозды составляет 130-330 Н с теми же вариациями глубины вспашки и скорости движения, а приращение затрат мощности составляет 190-750 Вт.

6 Для достижения сопоставимого качества обработки почвы проектным и базовым вариантами последний должен содержать не менее двух полевых операций – для глубокой и поверхностной обработок. При выбранном варианте поверхностной обработки годовая экономия от применения проектного плуга составляет 50,4 тыс. руб., экономический эффект за 9-летний срок реализации проекта составляет 744,7 тыс. руб., и срок окупаемости инвестиционных вложений составляет два года. Внедрение проектного плуга в сельскохозяйственное производство экономически оправдано.

Рекомендации производству

По результатам научно-исследовательской работы составлена техническая документация на производство четырёхкорпусного навесного плуга с приспособлением для увеличения угла оборота почвенных пластов и передана Воронежскому машиностроительному предприятию ООО «ВСЗ-Холдинг» для расширения номенклатуры выпускаемых почвообрабатывающих орудий (приложение В).

Возможное направление дальнейших исследований

Дальнейшие исследования по улучшению качества отвальной вспашки путём увеличения угла оборота почвенных пластов могут иметь направление по применению подпружиненного крепления щитков к осям поворота, чтобы автоматически подстраиваться под неустановившийся режим работы. Можно исследовать различные формы щитков – от плоских пассивных до рыхлящих перевёрнутый пласт и выравнивающих вспаханную поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агрегат комбинированный чизельный АКЧ-4 (АКЧ-6, АКЧ-8) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.agroserver.ru/b/img/436761/362345/>.
- 2 Агротребования к вспашке [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://kalxoz.ru/str/2vspachka1.htm>.
- 3 Агротребования к вспашке [Электронный ресурс]. – Режим доступа
<http://shsd.kz/selskohozyaystvennye-mashiny/85-selskohozyaystvennye-mashiny.html>.
- 4 Афонин А.Е. Совершенствование почвообрабатывающих орудий основной обработки почвы в среднем Поволжье [Текст] / А.Е. Афонин, И.А. Чуданов, Л.Ф. Лигастаева. – В кн. «Проблемы земледелия среднего Поволжья». – Самара, 1997. – 210 с.
- 5 Бартенева И.М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / И.М. Бартенева, Е.В. Поздняков // Лесотехнический журнал. – 2013 . – №3(11). – С. 114-123.
- 6 Бартенева И.М. Оптимизация параметров комбинированного рабочего органа лесного культиватора [Текст] / И.М. Бартенева, М.Н. Лысых // Лесной журнал. – 2010. – №6. – С. 89-94.
- 7 Бартенева И.М. Аналитические исследования рыхлительно-подрезающих лап культиватора для питомников [Текст] / И.М Бартенева, В.И. Казаков, О.В. Казаков // Лесотехнический журнал . –2011, вып.1(1). – С. 17-21.
- 8 Биологизация и адаптивная интенсификация земледелия в Центральном Черноземье [Текст] / Под ред. В.Е. Шевченко, В.А. Федотова. – Воронеж: ВГАУ, 2000. – 306 с.

9 Бойков В.М. Механико-технологическое обоснование новых способов и технических средств основной обработки почвы [Текст]. – Дис. д-ра техн. наук. Саратов, 1997. – 357 с.

10 Бойков В.М. Новые способы и технические средства основной обработки почвы [Текст] / Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1998. – 56 с.

11 Бойкова Е.В. Разработка энергосберегающего технологического процесса основной обработки почвы и плуга общего назначения: автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Бойкова Елена Васильевна. – Саратов, 2010. – 22 с.

12 Борисенко И.Б. Комплексное орудие для основной обработки почвы [Текст] / И.Б. Борисенко, В.И. Пындак // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №1. – С. 9-10.

13 Борисенко И. Б. Ресурсосберегающий "антинулевой" чизельный орган "РАНЧО" - универсальный помощник аграриям [Текст] / И. Б. Борисенко // Новые технологии АПК. – № 11. – 2009. – С. 15.

14 Булавин С.А. Сельскохозяйственная техника Белогорья [Текст] / С.А. Булавин, В.Н. Любин, А.В. Рыжков, [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 1. – С. 39-41.

15 Булавин С.А. Комплексы машин для возделывания и уборки сахарной свёклы в условиях биологизации земледелия Белгородской области [Текст] / С.А. Булавин, В.Н. Любин, А.В. Рыжков, [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 6. – С. 29-31.

16 Бурченко П.Н. О развёртывающейся лемешно-отвальной поверхности скоростного корпуса [Текст] / П.Н. Бурченко. – Тр. ВИМ, т. 82. – М., 1978. – с. 3-24.

17 Бурченко П.Н. Механико-технологическое обоснование параметров почвообрабатывающих машин нового поколения для работы в оптимальном диапазоне скоростей: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.20.01[Текст] / М., 1987. – 45 с.

18 Василенко В.В. Воронежские плуги [Текст] / В.В. Василенко, Г.А. Халфин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – №6. – С. 16.

19 Василенко В.В. Свекловичные плуги из Воронежа [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Г.А. Халфин // Сахарная свёкла. – 2002. – №7. – С. 27-28.

20 Василенко В.В. Свекловичный плуг для трактора МТЗ-1221 [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Г.А. Халфин // Сахарная свёкла. – 2003. – №6. – С.14.

21 Василенко В.В. Вспашка без глыб [Текст] / В.В. Василенко, Г.А. Халфин // Сахарная свёкла. – 2005. – №7. – С. 39-40.

22 Василенко В.В. Перспективное направление в системе обработки почвы [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Г.А. Халфин // Сахарная свёкла. – 2007. – №1. – С. 8-10.

23 Василенко В.В. Теория и расчёт рабочих органов сельскохозяйственных машин. Курс лекций [Текст]: учебное пособие / В.В. Василенко. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – 2007. – 196 с.

24 Василенко В.В. Технологические особенности плугов серии «Богатырь» [Текст] / В.В. Василенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – №5. – С. 7-8.

25 Василенко В.В. Вибрирующий корпус плуга [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров, Г.А. Халфин, А.И. Сергиенко, В.Ф. Тупикин // Вестник Воронежского ГАУ. – Воронеж, 2009. – №1 (20). – С. 33-36.

26 Василенко В.В. Универсальное орудие для обработки почвы / В.В. Василенко, С.В. Василенко.– Инновационные технологии механизации сельскохозяйственного производства: Сб. науч. тр. ВГАУ. – Воронеж, 2009. – С. 74-77.

27 Василенко В.В. Эталонная вспашка / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров // Вестник Воронежского ГАУ. – Воронеж, 2009. – №3 (22). – С. 25-28.

28 Василенко В.В. История механизации земледелия [Текст]: учебное пособие / В.В. Василенко. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ. – 2010. – 160 с.

29 Василенко В.В. Модернизация плужного корпуса [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров, Г.А. Халфин, А.И. Сергиенко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – №5. – С. 33-35.

30 Василенко В.В. Плуг с улучшенным переворотом почвы / В.В. Василенко, М.В. Зыбин. – Молодёжный вектор развития аграрной науки: Материалы 64-й науч. студ. конф. Ч.1. – Воронеж: ВГАУ, 2013. – С. 157-159.

31 Василенко В.В. К расчёту тягового сопротивления многорядной дисковой бороны [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского ГАУ. – Воронеж. – 2013. – №3 (38). – С. 69-71.

32 Василенко В.В. Влияние вибрации на угол трения почвы по рабочему органу [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.Н. Афоничев, Д.В. Стуров // Лесотехнический журнал. – Воронеж: ВГЛТА. – 2013. – №3 (11). – С. 94-97.

33 Василенко В.В. Минимальная дистанция между корпусами плуга [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.Н. Хахулин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 4. – С. 23-25.

34 Василенко В.В. Затраты мощности на расширение борозды при вспашке [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.Н. Хахулин. – Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сб. науч. тр. по материалам международной научно-практич. конф. «Эколого-ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве». – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – С. 402-406.

35 Василенко В.В. Способы повышения качества отвальной вспашки [Текст] / В.В. Василенко, С.И. Коржов, С.И. Василенко, А.Н. Хахулин // Вестник ВГАУ: Теоретический и научно-практический журнал. – Воронеж: Воронежский гос. аграр. Ун-т. – 2014. – № 3 (42). – С. 118-122.

36 Василенко В.В. Плуг с полным оборотом пластов [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.Н. Хахулин // Вестник ВГАУ: Теоретический и научно-практический журнал. – Воронеж: Воронежский гос. аграр. ун-т. – 2015. – № 4 (47). – С. 122-125.

37 Василенко В.В. Рабочая тетрадь по дисциплине «Инновационные направления в совершенствовании технологий и технических средств в растениеводстве» для подготовки магистров техники и технологии по направлению 35.04.06 «Агроинженерия» [Текст] / В.В. Василенко. – Воронеж, ВГАУ. – 2015. – 26 с.

38 Вентцель Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: «Наука», 1969. – 576 с.

39 Влияние угла подъёма на сопротивление клина в почве [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров // Инновационные технологии механизации сельскохозяйственного производства: Сб. науч. тр. ВГАУ. – Воронеж. – 2009. – С. 77-80.

40 Галиев И.Г. Обоснование дифференциации сельскохозяйственных работ по условию безотказности выполнения технологических операций [Электронный ресурс] / И.Г. Галиев, С.М. Яхин, А.Р. Валиев, А.А. Мухаметшин, Р.К. Хусаинов. – Режим доступа http://www.rusnauka.com/23_NTP_2012/Agricole/2_115406.doc.htm.

41 Горланов С. А. Экономическая оценка проектных разработок в АПК: Учебно-методическое пособие Часть 1. Методические указания [Текст] / С. А. Горланов, Е. В. Злобин. – Воронеж: ВГАУ, 2002. – 66 с.

42 Горячкин В.П. Геометрия отвала [Текст] / Собрание сочинений в 3-х томах. Изд. 2-е, т.2, М.: Колос, 1968. – С. 105.

43 Горячкин В.П. Земледельческая механика [Текст] / Собрание сочинений в трех томах / В.П. Горячкин. – Собрание сочинений, 2-е изд. – М.: «Колос». – 1968. – 455 с.

44 Гудков А.Н. Теоретические основы вспашки твердых почв и обоснование конструкции плуга для обработки твердых почв [Текст] / А.Н. Гудков,

Н.В. Зотов, А.А.Филатов // Труды Волгоградского СХИ. — Волгоград: СХИ, 1968.

45 Гуреев И.И. Производство сахарной свёклы без затрат ручного труда [Текст] / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов. — Курск, 2000. — 124 с.

46 Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности [Текст] /Л.В. Гячев. — Зерноград, 1961. — 256 с.

47 Дисковая борона Кивонь [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.migrt.ru/products/tech/quivogne/Diskovaya_borona_Fleo_Fleo_Quivogne/.

48 Единые нормы амортизационных отчислений [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://zakon.kuban.ru/private4/1072/4.txt>.

49 Желиговский В.А. Теоретические основы технологического процесса вспашки [Текст] / В.А. Желиговский // М.: Тр. ВИСХОМ, 1969. — Вып. 5. — С. 23-30.

50 Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский. — Тбилиси, 1960. — 145 с.

51 Карпенко А.Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. — Учебник. — М.: Колос, 1983. — 495 с.

52 Кашаев Б.А. Тенденции развития технологий и средств механизации обработки почвы [Текст] / Б.А. Кашаев, О.А. Сизов, П.Н. Бурченко. — М.: ВНИИТЭИагропром, 1988. — 50 с.

53 Клёнин Н.И. Сельскохозяйственные машины [Текст] / Н.И. Клёнин, С.Н. Киселёв, А.Г. Левшин. — М.: КолосС, 2008. — 816 с.

54 Кокунин В.А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов [Электронный ресурс] / В.А. Кокунин. — Режим доступа: www.biology.krc.karelia.ru:8080/...Статистическая обработка данных при малом числе...

55 Контроль качества работ при вспашке [Электронный ресурс] / Режим доступа http://cozyhomestead.ru/rastenia_1144.html.

56 Концепция развития технологий и техники для обработки почвы на период до 2010 года [Текст] / М.: ВИМ, 2002. – 102 с.

57 Королёв М.Д. Способы применения вибрации почвообрабатывающего орудия [Текст] / М.Д. Королёв, В.В. Василенко. – Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов, ч. 3. – Воронеж: ВГАУ, 2014. – С. 124-129.

58 Кряжков В.М. Развитие средств механизации обработки почв [Текст] / В.М. Кряжков, П.Н. Бурченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – №5. – с. 16.

59 Культиваторы паровые [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.foragro.ru>.

60 Кушнарёв А.С. Механико-технологические основы обработки почвы [Текст] / А.С. Кушнарёв, В.И. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.

61 Лаврухин В.А. Проектирование развёртывающихся лемешно-отвальных поверхностей по заданному движению пласта [Текст] / В.А. Лаврухин, Г.В. Иванов, И.В. Семик. – Сборник работ ВНИИМЭСХ, выпуск XI. – Ростов-на-Дону, 1969. – с. 33-71.

62 Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины: Теория, расчет, проектирование и испытание [Текст] / М.Н. Летошнев. – М., 1955. – 760 с.

63 Лобачевский Я.П. Современное состояние и тенденции развития 3почвообрабатывающих машин [Текст] / Я.П. Лобачевский, Л.М. Колчина. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 116 с.

64 Лучинский Н.Д. О плужном отвале [Текст] / Н.Д. Лучинский. – Тр. ВИМ, т. 90. – М., 1981. – с. 3-6.

65 Метод наименьших квадратов [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.grandars.ru/student/vysshaya-matematika/metod-naimenshih-kvadratov/html.

66 Методика определения качества полевых работ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://chitalky.ru/?p=3411>.

67 Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [Текст] / [Утв. постановлением ГКНТ СССР, Госплана СССР, Академии наук СССР, Госкомизобретений СССР от 14.02.1977 № 48/16/13/3]. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1979. – 79 с.

68 Механизация обработки почвы [Текст] / Н.А. Венченков, И.Е. Попов, Е.И. Куценко, М.Ф. Пиронков. – М.: Колос, 1972. – 272 с.

69 Новиков Ю.Ф. Исследование геометрии отвальных поверхностей [Текст] / Ю.Ф. Новиков. – Материалы НТС ВИСХОМ. – Выпуск 19. – М., 1965. – с. 101-113.

70 [Новостная лента::Воронежстат](http://voronezhstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/voronezhstat/ru/statistics/prices/) [Электронный ресурс] / Режим доступа:
http://voronezhstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/voronezhstat/ru/statistics/prices/

71 Обработка почвы в ЦЧР: учебное пособие [Текст] / С.И. Коржов, Т.А. Трофимова, В.А. Маслов, А.П. Пичугин. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. – 199 с.

72 Обработка почвы: основные агротребования к вспашке [Электронный ресурс] / Режим доступа:
http://myzooplanet.ru/rasteniievodstvo_850/obrabotka-pochvyi-14040.html.

73 Определение параметров вибрации почвообрабатывающего орудия [Текст] / М.Д. Королёв, В.В. Василенко // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 66-й студенческой научной конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – Ч. I. – 2015. – С. 7-12.

74 Панов И.М. Перспективы развития конструкций почвообрабатывающих машин и орудий [Текст] / И.М. Панов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – №3. – С. 13-15.

75 Панов И.М. Современные тенденции развития техники для обработки почв / И.М. Панов // Тракторы и сельхозмашины. №5, 1998.

76 Панов И.М. Современное состояние и проблемы развития почвообрабатывающей техники / И.М. Панов, А.И. Панов. – Вопросы с.х. производства. Сб. науч. тр. МГАУ. -М., 1998.

77 Пат. на полезную модель 86376 РФ МКИ А01В 15/08 Полосовой отвал почвообрабатывающего орудия / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров (РФ) № 2008102690/22; заявлено 23.01.2008; опубл. 10.09.2009, Бюл. №25.

78 Пат. 2426290 РФ МКИ А01В 15/08 Полосовой отвал плуга / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров, Г.А. Халфин, А.И. Сергиенко (РФ). – № 2010112577/21; заявлено 31.03.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23. – 4 с.

79 Пат. 2478270 Р.Ф. МПК А01В 11/00, А01В 3/36 Навесной вибрирующий плуг / Василенко В.В., Василенко С.В., Мухин А.А.; заявитель и патентообладатель Воронеж, ВГАУ. – № 2011141674/13; заявл. 13.10.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. – 4 с.

80 Пат. 2479180 Р.Ф. МПК А01В 17/00, А01В 3/00 Плуг для отвальной вспашки / Василенко В.В., Василенко С.В., Зыбин М.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж, ВГАУ. – № 2011146778/13; заявл. 17.11.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. – 4 с.

81 Пат. на пол. мод. 144741 РФ, МПК А 01В 15/00. Корпус плуга / В.В. Василенко, А.И. Сергиенко, Г.А. Халфин (РФ). – № 2014115109/13, заявлено 15.04.2014, опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24.

82 Пат. на пол. мод. 152988 РФ, МПК А 01В 35/24. Вибрирующая стойка почвообрабатывающего органа / В.В. Василенко, А.И. Сергиенко, Г.А. Халфин (РФ). – № 2014111580/13, заявлено 25.03.2014, опубл. 27.06.2015. Бюл. № 18.

83 Пат. 2420937 РФ МПК А01В 3/28, А01В 3/46 Плуг для гладкой пахоты / Семёнова Е.И., Семёнов В.А., Семёнов А.В. – № 2009144433/21; заявл. 30.11.2009; опубл. 20.06.2011, Бюл. № 10. – 4 с.

84 Пат. 2229201 РФ МПК А01В 35/22 Комбинированный рабочий орган для обработки почвы / Таранин В.И., Рыков В.Б. – № 2002110628/12; заявл. 19.04.2002; опубл. 20.01.2004.

85 Пат. 2375855 РФ МПК А01В 7/00, А01В 15/16, А01В 23/06 Способ почвообработки и устройство для его осуществления / В.А. Ежов, К.А. Сотх, А.К. Кириченко. – № 2008108115/12; заявлено 03.03.2008; опубл. 20.12.2009.

86 Пат. 2395182 РФ МПК А01В 15/00, А01В 13/08 Полевая доска – рыхлитель подпахотного слоя / В.П. Егоров, И.И. Максимов, В.И. Максимов. – № 2009103498/12; заявлено 02.02.2009; опубл. 27.07.2010.

87 Пат. 2435342 РФ МПК А01В 15/00 Корпус плуга / Скурятин Н.Ф., Баглай Д.С., Капустин В.В. – № 2010123607/13; заявлено 09.06.2010; опубл. 10.12.2011.

88 Пат. 2470502 РФ МПК А01В 15/00, А01В 15/08, А01В 17/00 Скоростной плуг / Титов Д.П. – № 4794190/15; заявлено 02.03.1990; опубл. 0.03.1997.

89 Пат. 2080754 РФ МПК А01В 15/04 Корпус плуга / Афонин А.Е., Милюткин В.А., Панов И.М. [и др.] – № 4765372/13; заявлено 14.12.1989; опубл. 10.06.1997.

90 Пат. 2074592 РФ МПК А01В 15/00 Корпус плуга / Афонин А.Е., Милюткин В.А., Панов И.М. [и др.] – № 2011113297/13; заявлено 06.04.2011; опубл. 27.12.2012.

91 Пат. 2549776 РФ МПК А01В 15/00, А01В 15/10 Плуг с полным переверотом пласта / Василенко В.В., Василенко С.В., Хахулин А.Н.; заявитель и патентообладатель Воронеж, ВГАУ. – № 2013148232/13; заявлено 29.10.2013; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12. – 4 с.

92 Петров В.А. Свекловодство [Текст] / В.А. Петров, В.Ф. Зубенко. – М.: Колос, 1981. – 302 с.

93 Планирование эксперимента. – Электронный учебник по статистике StatSoft. – Электронный ресурс. – Режим доступа <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stexdes.html#3b>

94 Плуги серии ПБС [Электронный ресурс] / Режим доступа: agri-tech.ru/info/cat1/page29.html.

95 Полосовая (комбинированная) технология обработки почвы «СТРИП-ТИЛЛ» (STRIP-TILL, СТРИПТИЛ) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.agrohimmash.ru/Catalog/TechMain_Pochv_StripTill.html.

96 Почвообрабатывающие машины [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=433730>.

97 Проспекты фирмы «Kvernelands» (Норвегия).

98 Проспекты фирмы «Rabewerk» (ФРГ).

99 Проспекты фирмы «Lemken» (ФРГ).

100 Проспекты фирмы «Kuhn» (Франция).

101 Протокол испытания № 11-29-01 (1010142) Комбинированного агрегата для основной безотвальной и поверхностной обработки почвы КАО-10-35 [Электронный ресурс] / Северокавказская государственная МИС. – Режим доступа www.sistemamis.ru/protocols/bd/sk2901.doc.

102 Реброва И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

103 Руководство к полевому плотномеру конструкции Ревякина Ю.Ю. [Текст] / Москва. 1979. – 4 с.

104 Сакур В.А. Современный этап и пути дальнейшего развития пахотных агрегатов [Текст] / В.А. Сакур, Я.П. Лобачевский, О.А. Сизов // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 3. – С. 9-12.

105 Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины Т. 36 [Текст] / М.: ЦНИИТЭИ. – 1985. – 250 с.

106 Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г.Е. Листопад [и др.]; под ред. Г.Е. Листопада. – М.: «Колос», 1976. – 752 с.

107 Сельскохозяйственные машины и орудия, агрегатируемые с трактором «Кировец». Учебное пособие / В.Н. Кольберг [и др.]. – М.: «Высш. школа», 1973. – 192 с.

108 Сельскохозяйственная техника: Каталог. Т. 1. Часть I-II [Текст] / М.: Информагротех, 1991. – 181 с.

109 Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 308 с.

110 Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М., 1977. – 328 с.

111 Современные сельскохозяйственные машины и оборудование для растениеводства [Текст] / М.: Инфра-М, 1997. – С. 13-14.

112 Современные сельскохозяйственные машины и оборудование для растениеводства (конструкции и основные тенденции развития): По материалам Международного салона сельскохозяйственной техники SIMA-2001 [Текст] / М.: ИНФРА-М, 2001. – 136 с.].

113 Стандарт организации СТО АИСТ 4.1 – 2010 Методы испытаний сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей [Текст] / М., 2011. – 15 с.

114 Стойка парашлау [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://dudkoua.com/index.php/home/product-details/87-stojka-paraplau.html>.

115 Сцепка С-11У [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://www.vyatka-agro.ru/scepka-s-11u.html>.

116 Титенок А.В. Развитие механизации сельского хозяйства в России: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 07.00.10 [Текст] / Титенок Александр Владимирович. – М., 2002. – 37 с.

117 Трактор Беларусь МТЗ-1221.2. Новый [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://mtzpro.ru/katalog/universalno-propashnye-traktory/seriya-1200/traktor-mtz-1221-2.html>.

118 Уфаев А.Г. Повышение эффективности технологии основной обработки почвы совершенствованием рабочих органов плугов общего назначения: автореф. дис... канд. техн. наук: 24.10.08 [Текст] / Уфаев Алексей Геннадьевич. – Саратов, 2008. – 23 с.

119 Хахулин А.Н. Способ расширения борозды для полного переворота пласта [Текст]/ А.Н. Хахулин, В.В. Василенко. – Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов, ч. 3. – Воронеж: ВГАУ, 2014. – С. 130-134.

120 Хахулин А.Н. Влияние ширины захвата рабочих корпусов плуга на подавление сорной растительности [Текст] / А.Н. Хахулин. – Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: материалы науч. конф. проф.-преп. состава, научных сотрудников и аспирантов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – с. 12-14.

121 Хахулин А.Н. Разработка плуга с полным оборотом почвенных пластов [Текст] / А.Н. Хахулин. – В сборнике докладов «У.М.Н.И.К.» – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго РФ, 2015. – 260 с.

122 Хвыля К.С. Кинематика и динамика пласта при вспашке лемешным плугом. Кинематика пласта [Текст] / К.С. Хвыля. – Тр. Днепропетровского СХИ. – Т. VI. – Киев, 1956. – с. 117-143.

123 Чизели-глубококорыхлители серии ЧГ [Электронный ресурс] / Режим доступа

<http://krasnagromash.vn.ua/index.php/2012-03-04-12-18-59/2012-03-04-12-32-52/47-2012-03-04-14-20-03>.

124 Щучкин Н.В. Лемешные плуги и луцильники [Текст] / М.: Машгиз, 1952.

125 Эксплуатация МТП: Учебн. пособие для с/х ВУЗов / А.П. Ляхов, А.В. Новиков, Ю.В. Будько, Л.А. Кунневич и др.; Под ред. Ю.В. Будько. – Мн.: Ураджай, 1991. – 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Копия патента РФ № 2549776 «Плуг с полным переворотом пласта»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2549776

ПЛУГ С ПОЛНЫМ ПЕРЕВОРОТОМ ПЛАСТА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013148232

Приоритет изобретения **29 октября 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **01 апреля 2015 г.**

Срок действия патента истекает **29 октября 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 549 776** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01B 15/00 (2006.01)
A01B 15/10 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2013148232/13, 29.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.10.2013

(45) Опубликовано: 27.04.2015 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2075267 C1, 20.03.1997. RU
2259700 C2, 10.01.2005. SU 888831 A,
25.12.1981. SU 1079158 A, 26.11.1979. DE 274936
C, 03.06.1914. EP 0196729 A1, 08.10.1986. GB
1141438 A, 29.01.1969. US 2079531 A,
04.05.1937. US 1740519 A, 24.12.1929

Адрес для переписки:

394087, г.Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.
сектором защиты интеллектуальной
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Василенко Владимир Васильевич (RU),
Василенко Сергей Владимирович (RU),
Хахулин Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное Учреждение высшего
профессионального образования
"Воронежский государственный аграрный
университет имени императора Петра 1"
(ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)(54) **ПЛУГ С ПОЛНЫМ ПЕРЕВОРОТОМ ПЛАСТА**(57) **Формула изобретения**

Плуг с полным переворотом пласта, имеющий лемешноотвальные корпуса, отличающийся тем, что за каждым корпусом в продолжение отвала установлен подпружиненный щиток с углом атаки меньшим, чем у отвала, причем щиток закреплен шарнирно на вертикальной стойке, прикрепленной к дополнительной балке плуга.

RU 2 5 4 9 7 7 6 C 1

RU 2 5 4 9 7 7 6 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 165480

ПОЛЕВАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНО-ТАРИРОВОЧНАЯ
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015148121

Приоритет полезной модели 09 ноября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 30 сентября 2016 г.

Срок действия патента истекает 09 ноября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **165 480** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
G01L 5/13 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015148121/13, 09.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.11.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.11.2015

(45) Опубликовано: 20.10.2016 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.
сектором защиты интеллектуальной
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Василенко Владимир Васильевич (RU),
Василенко Сергей Владимирович (RU),
Хахулин Александр Николаевич (RU),
Руденко Владимир Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное Учреждение высшего
образования "Воронежский государственный
аграрный университет имени императора
Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)
(RU)(54) **ПОЛЕВАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНО-ТАРИРОВОЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

(57) Формула полезной модели

Полевая испытательно-тарировочная установка для почвообрабатывающих рабочих органов, включающая раму с системами трехточечной навески и регулировки глубины обработки почвы в виде опорных колес, шарнирно закрепленный на раме кронштейн рабочего органа и жестко закрепленный кронштейн с динамометром, аналого-цифровой преобразователь и персональный компьютер, отличающаяся тем, что она снабжена тензометрическим датчиком силы, установленным с касанием кронштейна рабочего органа и связанным с аналого-цифровым преобразователем и персональным компьютером, а динамометр выполнен съёмным, снабжён винтовым механизмом перемещения, гибким тросом между ним и кронштейном рабочего органа.

RU 165480 U1

RU 165480 U1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Акты и протоколы опытно-производственной проверки
результатов научно-исследовательской работы

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО ВГАУ им. императора Петра I
доктор с. х. наук профессор

А.В. Дедов

28 мая 2015 г.

АКТ

опытно-производственной проверки
макетного образца плуга с полным переворотом пласта

Опытно-производственная проверка проводилась 25-27 мая 2015 года в учебно-научном техническом центре Воронежского государственного аграрного университета (ВГАУ) «Агротехнология».

В опытно-производственной проверке участвовала комиссия в следующем составе.

Председатель комиссии И.В. Рыльков, директор учебно-научного технического центра ВГАУ «Агротехнология».

Члены комиссии:

В.В. Василенко, д.т.н. профессор кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ,

Д.С. Тарабрин, заведующий лабораторией кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ,

Ответственные исполнители:

А.Н. Хахулин, аспирант кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ,

Н.В. Бабанин, аспирант кафедры тракторов и автомобилей ВГАУ.

Действуя на основании научных исследований, выполненных на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ в 2013-2015 годах, 25-27 мая 2015 года была проведена опытно-производственная проверка макетного образца плуга с полным переворотом пласта. Макетный образец изготовлен на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ по результатам научно-исследовательской работы.

К акту прилагается протокол опытно-производственной проверки.

Председатель комиссии И.В. Рыльков /И.В. Рыльков/

Члены комиссии В.В. Василенко /В.В. Василенко/

Д.С. Тарабрин /Д.С. Тарабрин/

Ответственные исполнители А.Н. Хахулин /А.Н. Хахулин/

Н.В. Бабанин /Н.В. Бабанин/

ПРОТОКОЛ

опытно-производственной проверки
макетного образца плуга с полным переворотом пласта от 27 мая 2015 года

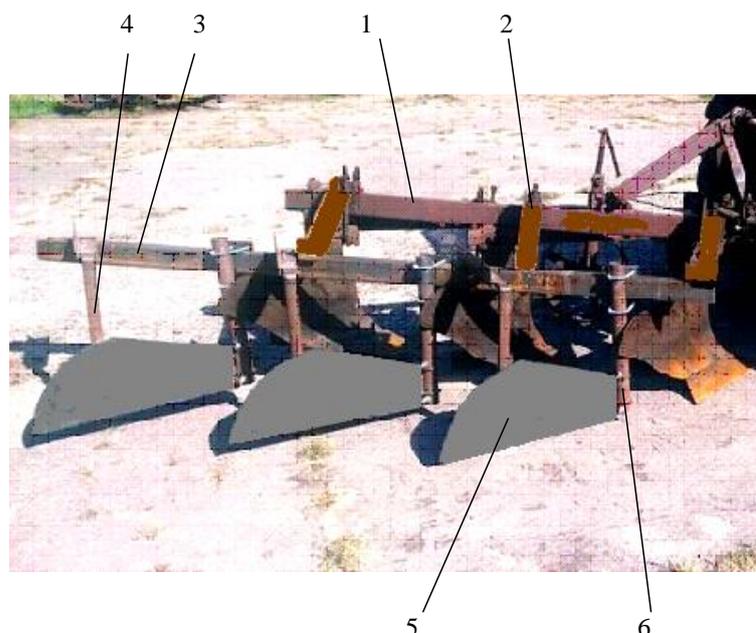
1 Характеристика площади

| Показатели | Значение показателей |
|---|--|
| Характеристика условий: - тип почвы и название по механическому составу - рельеф - микрорельеф - предшественник - влажность почвы, % в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см | Выщелоченный чернозём Ровный, уклон 1° Выровненный Амарант 8 12 15 0,32 0,88 0,97 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 147 |
| Высота пожнивных остатков, см | 15 |
| Густота пожнивных остатков шт./м ² | 260 |
| Температура воздуха, град. | 11 |

2 Агрегатирование

В качестве тягового средства использовался трактор МТЗ-82.1

3. Объект проверки



1 – плуг ПН-3-35; 2 – кронштейн крепления дополнительной балки;
3 – дополнительная балка; 4 – задняя опора щита; 5 – щит; 6 – ось поворота щита

Трёхкорпусный навесной плуг заводского изготовления с шириной захвата рабочих корпусов 35 см и общей шириной захвата 1,05 м. Оборудован приспособлением для полного оборота почвенных пластов методом расширения борозды. Приспособление изготовлено на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ. Оно представляет собой вертикальные щитки, установленные за рабочими корпусами с углом атаки к направлению движения. Угол атаки и глубина хода регулируются. Щитки являются съёмными. Плуг без предплужников и без углоснимов. Максимальная глубина обработки 28 см.

Основными целями опытно-производственной проверки макетного образца плуга с полным переворотом пласта является оценка его работоспособности, так как подобные рабочие органы пока не фигурируют в литературных источниках, а также эффективность способа расширения борозды по улучшению переворота пластов и получение показателей качества вспашки.

4 Сравнительные показатели

Показатели работы плуга с полным оборотом почвенных пластов сравнивались с показателями работы этого же плуга, но со снятым приспособлением для расширения борозды.

| Наименование показателей | Макетный образец | Серийный плуг |
|---|------------------|---------------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,70 | 1,70 |
| Средняя глубина обработки почвы, см | 24,5 | 24,6 |
| Гребнистость поверхности, % | 5,3 | 17,0 |
| Глыбистость поверхности, % | 17,3 | 46,2 |
| Крошение почвы, %: | 82,7 | 53,8 |
| Угол оборота пластов, градус | 160-180 | 120-140 |
| Заделка в почву стерни и растительных остатков, % | 98 | 56 |

5 Комиссия считает, что плуг, оборудованный приспособлением для полного оборота пластов,

- существенно уменьшает гребнистость и глыбистость вспаханной поверхности;
- улучшает крошение почвы даже в условиях повышенной твёрдости
- увеличивает полноту переворота пахотного горизонта, доводя её почти до полного оборота;
- практически полностью закрывает почвой все растительные остатки;

Выводы

Комиссией на основании проведенной опытно-производственной проверки макетного образца плуга с полным переворотом пласта установлено, что

- в расширенной борозде непосредственно перед укладкой очередного пласта оборот пахотного горизонта происходит полнее;

- пласти не сохраняют свою прямоугольную форму, а рассыпаются, образуя насыпи, и оценивать их угол оборота можно лишь условно, измеряя угол откоса одной из стенок борозды;

- не только по измерениям, но и визуально заметно преимущество макетного образца с приспособлением по таким качественным показателям как гребнистость, глыбистость, крошение и особенно, заделка стерни и других растительных остатков;

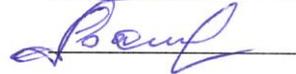
- макетный образец плуга с приспособлением для полного оборота пластов может служить прототипом для разработки промышленной модели.

Председатель комиссии  /И.В. Рыльков/

Члены комиссии  /В.В. Василенко/

 /Д.С. Тарабрин/

Ответственные исполнители  /А.Н. Хахулин/

 /Н.В. Бабанин/

«УТВЕРЖДАЮ»
 Проректор по научной работе
 ФГБОУ ВО ВГАУ им. императора Петра I
 доктор с. х. наук профессор

 А.В. Дедов
 23 ноября 2015 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «ВСЗ-Холдинг»
 к.т.н. _____
 Н.М. Воволкин
 23 ноября 2015 г.



АКТ
 опытно-производственной проверки
 промышленного образца плуга с полным переворотом пласта

Опытно-производственная проверка проводилась 16-20 ноября 2015 года в учебно-научном техническом центре Воронежского государственного аграрного университета (ВГАУ) «Агротехнология».

В опытно-производственной проверке участвовала комиссия в следующем составе. Председатель комиссии И.В. Рыльков, директор учебно-научного технического центра ВГАУ «Агротехнология».

Члены комиссии:

В.В. Василенко, д.т.н. профессор кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ,
 Д.С. Тарабрин, заведующий лабораторией кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ,

А.Г. Субботин, инженер-технолог машиностроительного предприятия ООО «ВСЗ-Холдинг».

Ответственный исполнитель А.Н. Хахулин, аспирант кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ.

Действуя на основании научных исследований, выполненных на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ в 2013-2015 годах, 16-20 ноября 2015 года была проведена опытно-производственная проверка промышленного образца плуга с полным переворотом пласта. Промышленный образец изготовлен на машиностроительном предприятии ООО «ВСЗ-Холдинг» (г. Воронеж) по технической документации, подготовленной на кафедре сельскохозяйственных машин ВГАУ по результатам научно-исследовательской работы.

К акту прилагается протокол опытно-производственной проверки.

Председатель комиссии _____ /И.В. Рыльков/
 Члены комиссии _____ /В.В. Василенко/
 _____ /Д.С. Тарабрин/
 _____ /А.Г. Субботин/
 Ответственный исполнитель _____ /А.Н. Хахулин/

ПРОТОКОЛ

опытно-производственной проверки
промышленного образца плуга с полным переворотом пласта от 20 ноября 2015 года

1 Характеристика площади

| Показатели | Значение показателей |
|---|---|
| Характеристика условий: - тип почвы и название по механическому составу - рельеф - микрорельеф - предшественник - влажность почвы, % в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см - твердость почвы, МПа в слое 0-10 см в слое 10-20 см в слое 20-30 см | Выщелоченный чернозём Ровный, уклон 1° Выровненный Амарант 18 17 16 0,21 0,42 0,67 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м ² | 144 |
| Высота пожнивных остатков, см | 15 |
| Густота пожнивных остатков шт./м ² | 180 |
| Температура воздуха, град. | 5 |

Растительные остатки – стерня амаранта – распределены по полю неравномерно как по густоте, так и по высоте среза.

2 Агрегатирование

В качестве тягового средства использовался трактор Беларус МТЗ 1221.2.

3. Объект проверки



Четырёхкорпусный навесной плуг заводского изготовления с шириной захвата рабочих корпусов 35 см и общей шириной захвата 1,4 м. Оборудован приспособлением для полного оборота почвенных пластов методом расширения борозды. Приспособление представляет собой вертикальные щитки, установленные за рабочими корпусами с углом атаки к направлению движения. Угол атаки и глубина хода регулируются. Щитки являются съёмными. Плуг без предплужников, но поставлены углоснимы. Максимальная глубина обработки 28 см.

4 Сравнительные показатели

Показатели работы плуга с полным оборотом почвенных пластов сравнивались с показателями работы этого же плуга, но со снятым приспособлением для расширения борозды.

| Наименование показателей | Плуг с приспособлением | Серийный вариант |
|---|------------------------|------------------|
| Скорость движения агрегата, м/с | 1,72 | 1,72 |
| Средняя глубина обработки почвы, см | 24,5 | 24,7 |
| Гребнистость поверхности, %: | 4,2 | 14,2 |
| Глыбистость поверхности: - процент площади глыб более 5 см | 11,4 | 22,9 |
| Крошение почвы, % | 88,6 | 77,1 |
| Угол оборота пластов, градус | 170-180 | 130-140 |
| Заделка в почву стерни и растительных остатков, % | 99 | 68 |
| Коэффициент буксования задних колёс, % | 10,6 | 10,6 |
| Производительность за час чистого времени, га/ч | 0,87 | 0,87 |

5 Комиссия считает, что плуг, оборудованный приспособлением для полного оборота пластов,

- уменьшает показатели гребнистости и глыбистости вспаханной поверхности до уровня агротребований;
- улучшает крошение почвы, приближая этот показатель к предпосевному состоянию;
- увеличивает полноту переворота пахотного горизонта, доводя её до полного оборота;
- полностью закрывает почвой все растительные остатки;
- буксование колёс не увеличивается, и плуг не уменьшает своей производительности.

Выводы

Комиссией на основании проведенной опытно-производственной проверки промышленного образца плуга с полным переворотом пласта установлено, что

- разработанный способ увеличения угла оборота почвенных пластов при отвальной вспашке и предложенная конструкция приспособления к плугу отличаются своей простотой и надёжностью в работе;

- эффективность приспособления заключается в значительном улучшении агротехнических показателей работы плуга, что способствует более высокому качеству посева и подавлению сорной растительности;

- судя по коэффициенту буксования ведущих колёс трактора и постоянству скорости движения сравниваемых агрегатов, комиссия не обнаружила ощутимой добавки расхода мощности.

Председатель комиссии  /И.В. Рыльков/

Члены комиссии  /В.В. Василенко/

 /Д.С. Тарабрин/

 /А.Г. Субботин/

Ответственный исполнитель  /А.Н. Хахулин/

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Акт внедрения в производство

«УТВЕРЖДАЮ»
 Проректор по научной работе
 ФГБОУ ВО ВГАУ им. императора Петра I
 доктор с. х. наук профессор
 А.В. Дедов
 28 августа 2015 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «ВС3-Холдинг»
 к.т.н. Н.М. Борозкин
 28 августа 2015 г.



АКТ

внедрения в производство результатов научной работы

Г. Воронеж

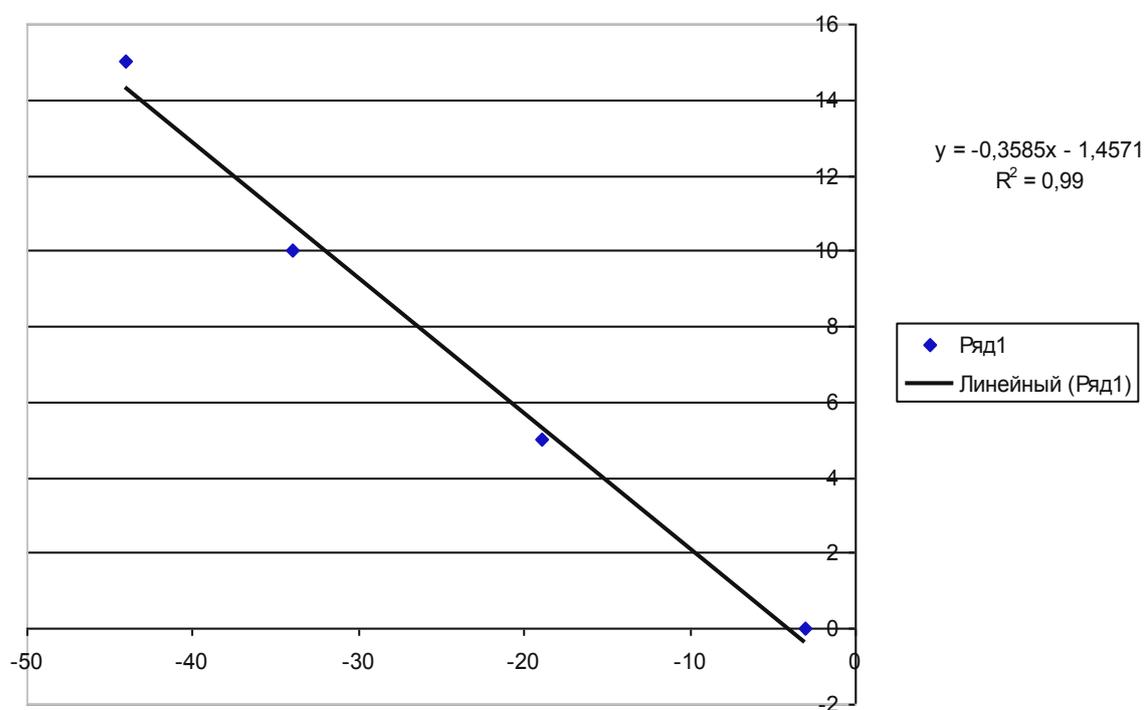
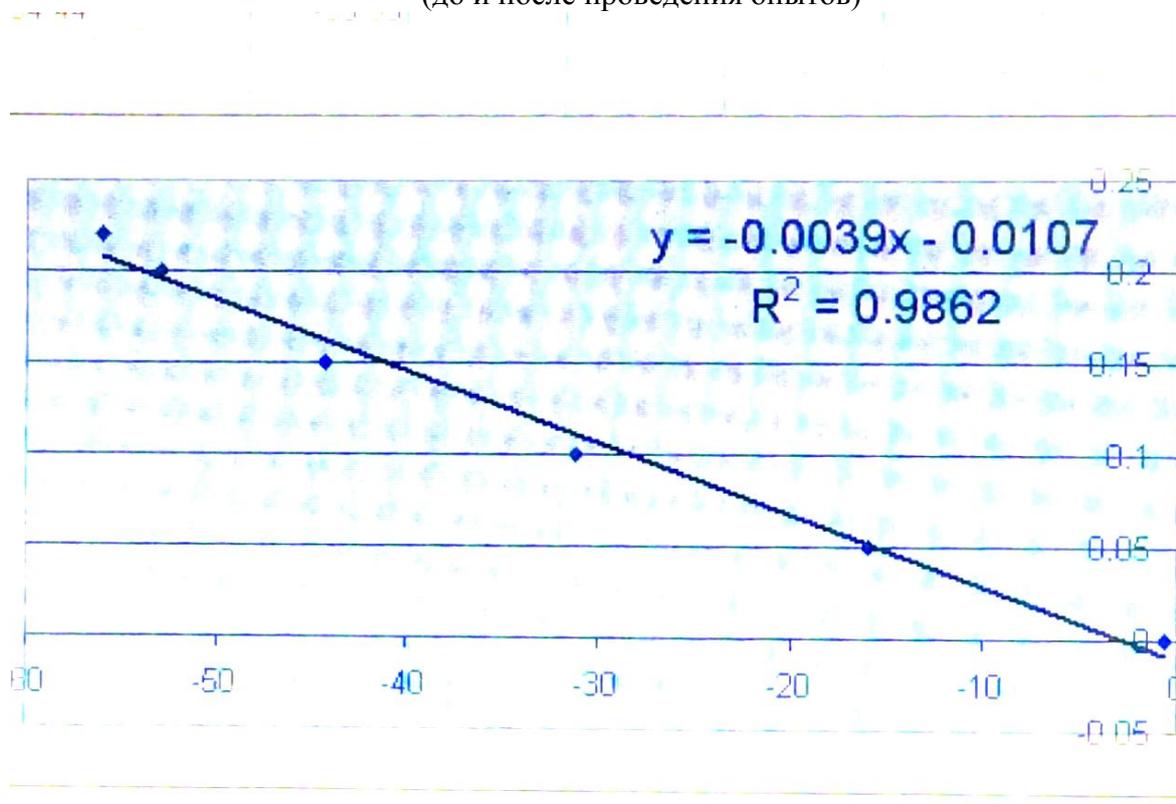
27 августа 2015 г.

Мы, нижеподписавшиеся научный руководитель научно-исследовательской темы по совершенствованию почвообрабатывающих орудий доктор технических наук профессор кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (ВГАУ) Василенко Владимир Васильевич, доцент кафедры прикладной механики ВГАУ Василенко Сергей Владимирович, инженер-технолог машиностроительного предприятия ООО «ВС3-Холдинг» Субботин Анатолий Гоергиевич и аспирант кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ Хахулин Александр Николаевич составили настоящий акт в том, что предприятие ООО «ВС3-Холдинг» изготовило плуг для отвальной вспашки с полным оборотом почвенных пластов по технической документации, составленной научными работниками кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ в соответствии с патентом на изобретение РФ № 2549776 авторов Василенко В.В., Василенко С.В. и Хахулина А.Н.

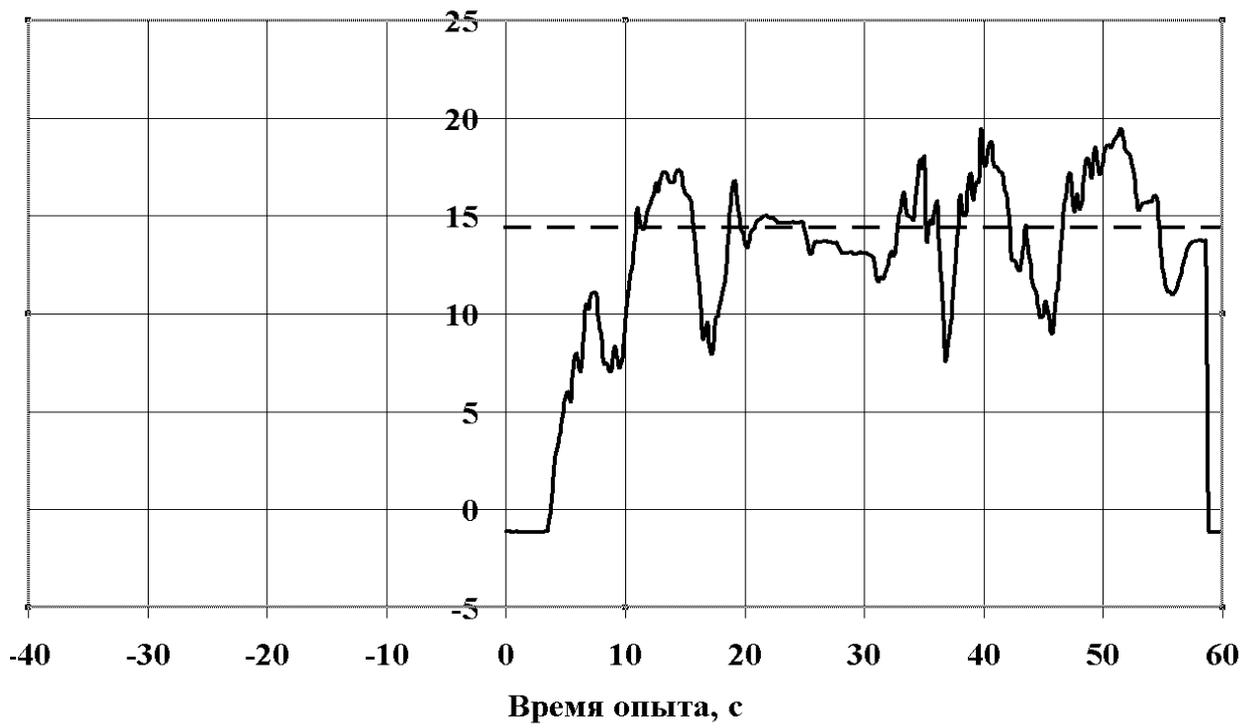
Плуг представляет собой навесное орудие с четырьмя рабочими корпусами шириной захвата 35 см и общей шириной захвата 1,4 м. В комплектацию рабочих органов входят рабочие корпуса с углоснимками и приспособлениями для расширения борозды перед непосредственной укладкой очередного пласта в борозду. Каждое приспособление включает вертикально установленный щиток для отвода части пласта в сторону, ось его поворота при регулировках угла атаки и заднюю регулировочную упорную штангу. Отпускная цена плуга 85 тыс. руб.

Плуг заказан Воронежским государственным аграрным университетом и предназначен для научной работы. Машиностроительное предприятие ООО «ВС3-Холдинг» может безвозмездно пользоваться переданной ему агроуниверситетом технической документацией на плуг при исполнении заказов от других потребителей, а агроуниверситет может её использовать при дальнейших научных разработках.

Представители ВГАУ Василенко В.В. ВасиленкоВасиленко С.В. ВасиленкоХахулин А.Н. ХахулинПредставитель ООО «ВС3-Холдинг» Субботин А.Г. Субботин

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)Тарировочные кривые действия силы сопротивления пласта почвы на щиток
(до и после проведения опытов)

Пример записи силы, действующей на щиток



ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

Построение графика силы действия почвы на щиток в функции от глубины вспашки и скорости движения для неустановившегося режима работы плуга – теория

Определение функции f :

$$N(x, y) := 73.54x \cdot y^2 + 548.62x$$

Ввод конечных точек отрезка по оси x :

$$xlow := 0.18$$

$$xhigh := 0.27$$

Ввод количества точек разбиения по оси x, включая концы отрезка:

$$xn := 6$$

Ввод конечных точек отрезка по оси y :

$$ylo := 1.5$$

$$yhigh := 2.25$$

Ввод количества точек разбиения по оси y, включая концы отрезка:

$$yn := 7$$

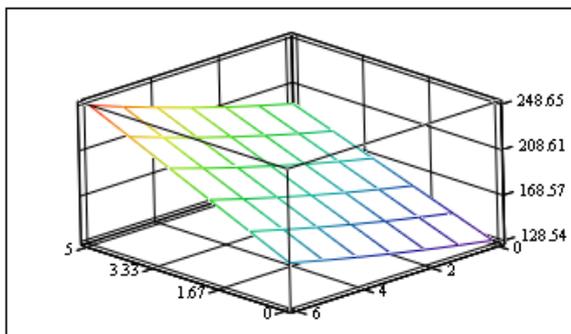
$$i := 0..xn - 1$$

$$xind_i := xlow + i \cdot \frac{xhigh - xlow}{xn - 1}$$

$$j := 0..yn - 1$$

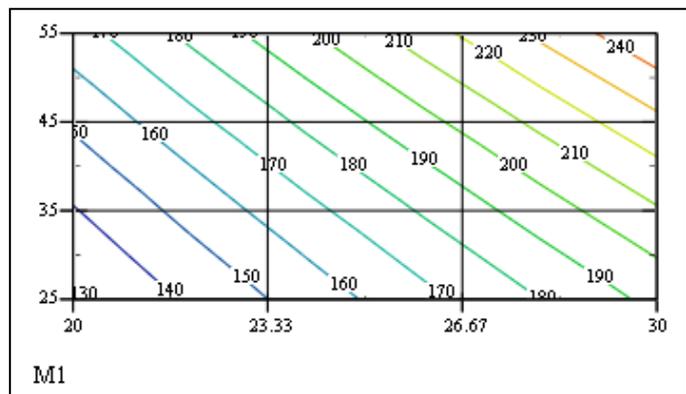
$$yind_j := ylo + j \cdot \frac{yhigh - ylo}{yn - 1}$$

$$M1_{i,j} := N(xind_i, yind_j)$$



M1

Поверхность отклика



M1

Карта линий уровня

«РЕКОМЕНДОВАНО»

Учебно-методической комиссией
 Протокол № 5 от 28.01.2016 г.
 Председатель, УМК агроинженерного
 факультета к.т.н. доцент

 О.М. Костиков
29 января 2016 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

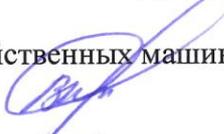
Проректор ВГАУ
 по учебной работе д.т.н. проф.
 Н.М. Дерканосова
29 января 2016 г.


АКТ

о внедрении в учебный процесс
 на кафедре сельскохозяйственных машин
 результатов научно-исследовательской работы
 аспиранта Хахулина А.Н.

- 1 Научный руководитель – д.т.н. профессор Василенко В.В.
- 2 Ответственные исполнители – преподаватели кафедры сельскохозяйственных машин доц. Гиевский А.М., доц. Чернышов А.В.
- 3 Наименование разделов темы, выполненных аспирантом:
 - технические средства и способы основной обработки почвы;
 - доминирующие технологии основной обработки почвы;
 - основные направления совершенствования плугов для отвальной вспашки;
 - преимущества полного переворота пласта;
 - способы увеличения угла переворота пласта;
 - промышленный образец плуга.
- 4 Внедрено по дисциплинам: «Сельскохозяйственные машины» и «Машины и оборудование в растениеводстве».
- 5 Влияние на качество подготовки специалистов: результаты исследования используются при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ студентами направления 35.03.06 «Агроинженерия», направления подготовки «Технические системы в агробизнесе» и «Технический сервис в АПК».
- 6 Эффект от внедрения: расширение информационных источников для формирования у студентов кругозора по почвообрабатывающей технике, положительный пример результативности собственных научных исследований, рост числа публикаций сотрудников и аспирантов кафедры в центральной печати и в трудах ВГАУ.

Заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин
 д.с/х н. профессор

 В.И. Орбинский

Научный руководитель д.т.н. профессор

 В.В. Василенко

Ответственные исполнители:

к.т.н. доцент

 А.М. Гиевский

к.т.н. доцент

 А.В. Чернышов