

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. Т. ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



Ринас Николай Анатольевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ УБОРКИ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПРЕССОВАНИЕМ
СОЛОМЫ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Маслов Геннадий
Георгиевич

Краснодар
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР	10
1.1 Основные требования к уборке зерновых колосовых культур и применяемая техника	10
1.2 Анализ перспективных технологий комплексной уборки зерновых колосовых культур с применением многофункциональных агрегатов	15
1.2.1 Анализ теоретических исследований технологий комплексной уборки зерновых	16
1.3 Выводы по разделу. Цель и задачи исследований	23
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР	27
2.1 Синтез многофункционального агрегата (МФА) на базе самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740	27
2.2 Тягово-мощностной баланс МФА для уборки пшеницы с одновременным прессованием соломы	30
2.3 Математическая модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА на базе самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740	37
2.4 Математическая модель и алгоритм оптимального согласования работы МФА в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ)	48
2.5 Выводы по разделу	52
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	54
3.1 Программа проведения экспериментальных исследований	54
3.2 Оборудование, приборы и аппаратура, применяемые в исследованиях	55
3.3 Методика динамометрирования пресс-подборщика ПРФ-180 в составе МФА	58
3.4 Методика эксплуатационно-технологической оценки уборочного МФА	59
3.5 Методика оценки качества работы комбайна TORUM-740, ТУКАНО-480 и ДОН-1500Б в составе МФА	61
3.6 Математическая модель оптимизации параметров МФА на базе навесного комбайна "Полесье" на энергосредство УЭС-2-280	68
3.7 Выводы по разделу	75

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	77
4.1 Оптимальные параметры и режим работы МФА на базе комбайна TORUM-740 с одновременным прессованием соломы	77
4.2 Эксплуатационно-технологическая оценка уборочного МФА	81
4.3 Качество работы комбайна TORUM-740 в составе МФА и качество зерна	88
4.4 Методика инженерного расчета уборочных МФА с одновременным прессованием соломы	93
4.5 Согласование работы МФА и накопителем-перегрузчиком в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ)	97
4.6 Выводы по разделу	106
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	109
5.1 Новая технология комплексной уборки пшеницы МФА на базе самоходного комбайна TORUM-740 с одновременным прессованием соломы	109
5.2 Комплексная оценка эффективности предлагаемой технологии	111
5.3 Выводы по разделу	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	119
ПРИЛОЖЕНИЯ	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современный уровень развития механизации уборки зерновых и зернобобовых культур, к сожалению, пока не позволяет решать давно известную проблему комплексной уборки: главная при этом задача – минимизировать простой машин из-за несогласованности их работы, убрать урожай в агротехнические сроки и подготовить поле под посев будущего урожая следующего года. После уборки поле должно быть немедленно вспахано. За сутки невспаханное поле со стерней теряет до 100 т воды с 1 га, а задержка подъема зяби на 2-3 дня снижает урожайность следующего года на 1,5-2 ц/га [41]. Как показывает практика уборочных работ, по-прежнему имеет место простой машин, не выдерживаются ни предусмотренные агротехнические сроки, ни обработка убранных полей, и, как следствие, маленький урожай [41]. Ни лушение стерни, ни вспашка не выполняются в агросроки, из-за этого снижается сохранность почвенной влаги, урожай и повышается сопротивление почвы при последующей ее обработке. То же происходит и с прессованием соломы.

Недостатки современной технологии уборки можно еще продолжить, но тем не менее комбайновые технологии уборки урожая имеют самое широкое распространение в мире и применяются на 99 % уборочных площадей [7].

Сейчас необходимы новые агротехнологии, а главное их основные составляющие – технические средства, обеспечивающие многократное повышение производительности труда, колоссальное снижение энерго- и денежных затрат, повышение урожайности и качества продукции.

К недостаткам современных технологий уборки зерновых культур относят также потери урожая, низкое качество зерна (дробление, повреждение), высокую энергоемкость уборочных машин, сильное уплотнение почвы, себестоимость зерна и др. Во многих трудах часто отмечается, что современные машинные технологии в растениеводстве по сравнению с зарубежными трудозатратны, энергоемки, металлоемки и не позволяют решать главную задачу –

минимизировать потери урожая, простой машин, своевременно убрать урожай и подготовить основу урожая следующего года.

Применение на уборке зерна комбайнов с бильными молотильными барабанами приводят к высокому травмированию зерна, а также к дополнительным косвенным потерям и снижению качества. Неслучайно российское зерно мало востребовано за рубежом или реализуется там по низкому классу качества [141, 63]. Повысить качество зерна можно за счет молотильно-сепарирующих устройств (МСУ) роторного типа с вращающейся декой [106].

Таким образом, устранение отмеченных недостатков применяемой комбайновой уборки возможно за счет создания и внедрения новых технологий комбайновой уборки на базе многофункциональных уборочных агрегатов (МФА) с одновременным прессованием соломы.

Работа выполнена в соответствии с планами НИР КубГАУ, тема № ГР.01. 2.0.011.53.626.

За период 2016-2018 гг. она была подтверждена Грантом РФФИ и Администрацией Краснодарского края по научному проекту № 16-48-230386. «Технологические и организационные основы повышения сборов зерна за счет качества уборки урожая и комплексности работ».

Степень разработанности темы. Проблемой механизации уборки зерна многие годы занимались ВИМ, ВНИПТИМЭСХ, ВИСХОМ, УкрНИИМЭСХ, КубНИИТиМ, АЧГАУ, КубГАУ, Ставропольский ГАУ и многие другие НИИ и вузы. Большой вклад из современных разработок внесли наши отечественные ученые: Константинов М.М., Старцев А.С., Бледных В. В., Бурьянов А. И., Горбачев И. В., Дидманидзе О. Н., Жалнин Э. В., Кленин Н. И., Измайлов А. Ю., Лачуга И. Ф., Липкович Э. И., Левшин А. Г., Маслов Г. Г., Плешаков В. Н., Трубилин Е. И., Табашников А. Т., Чеботарев М. И., Шабанов Н. И., Скоряков В.И. и многие другие. Их идеи и рекомендации используются в совершенствовании современных технологий уборки зерна. Принципиально новые подходы в механизации уборочных процессов разработаны Липковичем Э. И., Бурьяновым А. И., Леженкиным А. Е., Абаевым В. В.,

Масловским В. И. и др. Однако, требуется дополнение теоретических и экспериментальных исследований по совмещению технологических операций одновременно с уборкой зерна, обоснованию оптимальных параметров многофункциональных агрегатов (МФА) и режимов их работы. Это относится также и к уборочному МФА с одновременным прессованием соломы.

Цель исследования – совершенствование технологии уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы на базе уборочного МФА для снижения затрат, повышения производительности труда, комплексности работ и качества зерна.

Задачи исследования

1. Усовершенствовать технологию и функционально-технологические схемы различных уборочных МФА для совмещения операций уборки зерна с одновременным прессованием соломы.

2. Разработать математические модели оптимизации параметров и режимов работы предлагаемых уборочных МФА на базе самоходного и навесного безмоторного комбайнов.

3. Выполнить эксплуатационно-технологическую оценку МФА на базе комбайна TORUM-740.

4. Установить зависимости тягового сопротивления пресс-подборщика от скорости движения, мощности двигателя МФА, его массы, мощности на привод пресс-подборщика от скорости движения.

5. Оптимизировать функционирование уборочно-транспортного звена (УТЗ) по критерию минимум времени ожидания обслуживаемых звеньев потока.

6. Разработать методику инженерного расчета МФА

7. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

Объект исследования – технологический процесс уборки озимой пшеницы МФА с одновременным прессованием соломы.

Предмет исследования – обоснование параметров и режимов работы технологического процесса и МФА для одновременной уборки зерна и прессования соломы, а также показателей качества зерна при уборке различными конструкциями МСУ.

Рабочая гипотеза – снижение затрат и потерь урожая, повышение производительности труда и качества возможно при использовании многофункциональных уборочных агрегатов, обеспечивающих комплексную уборку урожая с одновременным прессованием соломы.

Научная новизна:

– функциональные схемы двух уборочных МФА, включающих в себя самоходный или навесной зерноуборочные комбайны, энергосредство, пресс-подборщик соломы и сцепное устройство;

– математические модели оптимизации параметров и режимов работы уборочного МФА для обмолота зерна с одновременным прессованием соломы;

– регрессионная модель оптимальной продолжительности уборочного процесса и параметров комбайна для уборки зерна с прессованием соломы;

– зависимости мощности двигателя МФА, его балансовой стоимости, потерь зерна от пропускной способности молотилки комбайна;

– способ уборки зерна с одновременным прессованием соломы.

Новизна технических решений по теме исследований подтверждена 3 патентами на полезные модели и 1 патентом на изобретение.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования:

– математические модели оптимизации параметров и режимов работы уборочных МФА, устанавливающих их влияние на комплексность работ технологического процесса уборки урожая и эффективность технологии;

– новые функционально-технологические схемы уборочных МФА, совмещающих операции уборки зерна и одновременного прессования соломы, обеспечивающие рост производительности, что позволяет усовершенствовать технологию уборки;

– влияние уборочного МФА на базе комбайна TORUM-740 на потери и качество зерна;

– режимные параметры уборочных МФА, способствующие повышению эффективности технологии.

- действующий образец агрегата, который доказал свою эффективность.

Методология и методы исследования: моделирование и оптимизация производственных процессов при обосновании новой технологии уборки пшеницы одновременно с прессованием соломы на базе МФА; методика планирования эксперимента; динамометрирование; методики определения качества зерна, математической обработки результатов экспериментов; агротехническая, энергетическая и экономическая оценка работы МФА выполнялась с использованием отраслевых стандартов. При проведении исследований использовались ПЭВМ, приборы и аппаратура для определения качества зерна, информационный фонд КубГАУ, интернет и компьютерные программы Microsoft Excel, Statistica и др.

На защиту выносятся следующие положения:

– функционально-технологические схемы уборочных МФА и новый способ уборки зерна с одновременным прессованием соломы;

– математические модели оптимизации параметров и режимов работы уборочных МФА и продолжительности уборки;

– зависимости мощности двигателя МФА и его балансовой стоимости от пропускной способности молотилки;

– зависимости потерь зерна от производительности комбайна TORUM-740 в составе МФА;

– обеспечение поточности и ритмичности уборочно-транспортного процесса;

– экономическая эффективность предлагаемой технологии уборки урожая с одновременным прессованием соломы.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс КубГАУ и апробированы в учхозе «Кубань» КубГАУ. С использованием результатов исследований подготовлена монография «Перспективы комплексной уборки зерновых культур» (авторы: Г.Г. Маслов, А.В. Палапин, Н.А. Ринас), методические указания «Методика инженерного расчета уборочного МФА» (авторы Н. А. Ринас, Г. Г. Маслов.) и учебное пособие «Эксплуатация машинно-тракторного парка» (авторы: Г. Г. Маслов, Н. А. Ринас, А. П. Карабаницкий,).

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях факультета механизации КубГАУ; на международных научно-практических конференциях: «Многофункциональный уборочный агрегат» (25-27 ноября 2015 г); «Качество зерна при уборке комбайнами» (24-25 ноября 2016 г, г. Уфа); «К наращиванию производительности зерна» (7- 9 декабря 2016 г, г. Курск); «Макро- и микроповреждение зерна комбайнами» (20 апреля 2017 г, НИЦ «АЭТЭРНА»); «Эффективность многофункционального агрегата на уборке зерна» (20 апреля 2017 г, НИЦ «АЭТЭРНА»); «Снижение механического повреждения зерна машинами» (13 июня 2017 г, г. Пенза); «Совершенствование технологии производства зерна» (25 апреля 2017 г, г. Пермь); «Микроповреждение зерна и посевные качества семян» (17 декабря 2017 г, г. Уфа).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 24 научных работы, из них – 7 в специализированных изданиях ВАК, монография. Получены 1 патент РФ на изобретение и 3 – на полезные модели.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю профессору Маслову Г.Г. и всем преподавателям кафедры ЭМТП за практическую помощь в проведении лабораторно-полевых исследований, а также ценные пожелания по работе.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

1.1 Основные требования к уборке зерновых колосовых культур и применяемая техника

Высокий вклад в развитие современной теории совершенствования производственных процессов уборки урожая зерновых колосовых культур внесли наши отечественные ученые, новые способы уборки, инновационные технологии, применение новой уборочной техники и транспортировку зерна от комбайнов, прямые и косвенные потери, расход топлива, повышение производительности труда на уборке, комплексное проведение жатвы и снижение затрат. Широко известны разработки академиков РАН: В. В. Бледных [6-8], П. М. Василенко [21], В. П. Василенко [19-20], Зангиев А.А. [50-52], М. Н. Ерохина [38], А. А. Ежевского, В. И. Черноиванова, В. Ф. Федоренко [39], А. Ю. Измайлова [58], Н. В. Краснощекова [63-65], В. А. Кубышева [67], И. П. Ксеновича [71-72], Л. П. Кормановского [79], А. Н. Карпенко [85], Ю. Ф. Лачуга [89], Э. И. Липковича [96-101], Л. В. Погорелова [130-132], М. С. Рунчева [138], М. М. Севернёва [144], и др. [109, 113-120].

Глубокое исследование по совершенствованию технологий и средств механизации выполнили профессора: О. Г. Ангелеев [2], М. А. Бурьянов [12-13], Ю. И. Бершицкий [14], В. Я. Гольпяпин [23-25], В. И. Дубина [36], Э. В. Жалнин [40-49], А. А. Зангиев [50-54], Н. И. Кленин [76-77], А. Н. Леженкин [90-93], А. Г. Левшин [94], Г. Г. Маслов [106-108], М. Г. Пенкин [127-128], А. И. Русанов [139], А. Н. Скороходов [142], Е. И. Трубилин [105], Н. И. Шабанов [97,98, 100], и многие другие [1, 2,4, 9, 17, 22, 24-25, 27, 33, 59, 80-86, 88, 103, 104].

Основу технологической и технической политики в организации комплексной уборки урожая заложили концептуальные разработки Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ [83], РАСХН, ВИМ [87-89].

Анализ комбайновой уборки зерновых колосовых позволил сделать вывод, что до настоящего времени и на ближайшую перспективу этот способ является основным. По данным исследований Челябинского ГАУ [7] комбайновым способом убирается 99 % всей уборочной площади. Совершенствование технологий уборки направлено на дальнейшее повышение производительности труда, качества уборки [143], снижение потерь урожая [134-137], затрат всех видов (энергетических, трудовых, денежных) и вредного влияния уборочной техники на экологию (уплотнение и распыление почвы тяжелыми машинами, загрязнение ее ТСМ и др). [129].

Рассмотрим широко применяемые технологии уборки зерновых колосовых культур в основных регионах страны.

Для уборки урожая пшеницы рекомендуются следующие способы; прямое комбайнирование, отдельная уборка, очес зерна на корню. Незерновая часть урожая (НЧУ) используется по трем направлениям: 1) измельчается комбайнами или подборщиками РИС-2 и разбрасывается по полю для мульчирования или на удобрение; 2) прессуется в тюки или рулоны; 3) заготавливается в рассыпном виде на хозяйственные нужды - на подстилку животным, кормовые добавки и т. д. (рисунки 1.8-1.10).

При отдельной уборке к скашиванию хлебной массы в валки косилкой ЕС-1 (рисунок 1.1) приступают в середине восковой спелости зерна, когда его влажность снижается до 30–32 %. Подбор валков должен проводиться не позже, чем через 3–4 дня после скашивания комбайнами (рисунки 1.1-1.2).

Прямым комбайнированием убирают зерно, когда его влажность снизится до 18–20 %. Уборка должна проводиться в сжатые сроки, не более 5 календарных дней, так как после этого срока резко увеличиваются биологические и механические потери урожая, а также снижается его качество [145].

По результатам экспертной оценки, выполненной кафедрой ЭМП КубГАУ с привлечением квалифицированных специалистов, установлено рациональное сочетание способов уборки на Кубани.



a)

б)

Рисунок 1.1 – Внешний вид мобильного энергосредства ES-1 с жаткой ЖХТ-9 (*a*) и комбайна СК-5М «Нива-Эффект» (*б*)

При этом прямое комбайнирование на уборке пшеницы должно занимать 50,9 % общей площади, раздельная уборка – 13,8 %, очес зерновых на корню – 35,3 %. Оптимальную продолжительность уборки пшеницы с учетом 4–5 сортов можно планировать 20–25 календарных дней, но каждый сорт должен убираться не более чем за 5 дней во избежание потерь урожая и снижения качества зерна.

Организация уборки урожая строится на основе уборочно-транспортных комплексов (УТК) – временных коллективов с соответствующим техническим оснащением, создаваемым на период уборки [49, 58, 94, 105, 138, 139, 140] УТК включает следующие 6 звеньев:

1. Звено подготовки полей: энергосредство завода «Ростсельмаш» ES-1 с жаткой ЖХТ-9(18) (рисунок 1.1, *a*); трактор с плугом и средствами пожаротушения; трактор с емкостью для воды.

2. Три-четыре уборочно-транспортных звена, в каждом из которых по 3...4 зерноуборочных комбайна и 2...3 накопителя-перегрузчика зерна ПБН-20 с тракторами К-3180 (рисунки 1.1, *б* 1.2-1.7).

3. Звено заготовки соломы: МТЗ-920+ППР-120; К-3180+Big Pack; МТЗ-920+ПТР-10; МТЗ-920+ТП-Ф-45; МТЗ-82.1+ПКС-1,6; МТЗ-920+РИС- 2.

4. Звено технического обслуживания и полевого ремонта: МТЗ+920+ПА-ТОР с газосварочным оборудованием.

5. Звено лущения стерни: трактор с дисковой бороной или лущильником.

6. Звено бытового обслуживания операторов: полевая столовая, автобус,

вагончик для отдыха при круглосуточной работе.



а

б

Рисунок 1.2– Общий вид комбайнов ДОН-1500Б (*а*)
и «Вектор-410» (*б*)

Практика показала, что применение УТК обеспечивает высокую эффективность, сокращая сроки проведения жатвы, что позволяет заложить прочную основу будущего урожая.

Комплекс рекомендуемых уборочных машин представлен на рисунках 1.1-1.12.



а

б

Рисунок 1.3 – Общий вид комбайнов «Acres-550» (*а*)
и «TORUM-740» (*б*)



Рисунок 1.4 – Общий вид жатки
двухбарабанной очесывающей
«Агро-Союз-Славянка»



Рисунок 1.5 – Общий вид очесывающей жатки (Великобритания)

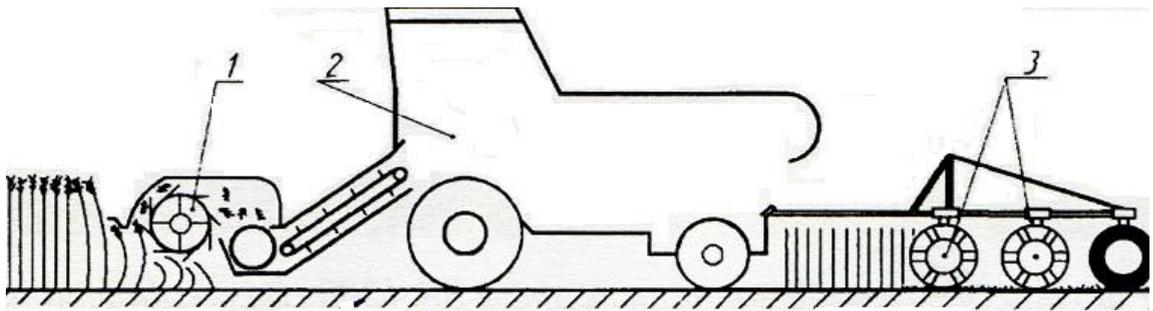


Рисунок 1.6 – Технологическая схема МФА на базе зерноуборочного комбайна (патент КубГАУ): 1 – жатка; 2 – комбайн; 3 – почвообрабатывающее орудие

Особую актуальность представляет транспортировка зерна от комбайнов. Решение этой проблемы должно эффективно сказываться на экономических и экологических показателях уборочного процесса: должны отсутствовать уплотнение почвы тяжелым автотранспортом и простои комбайнов и транспортных средств. Успешно решается задача с использованием на отвозе зерна от комбайнов в поле перегружающим бункера-перегрузчика ПБН-20 (рисунок 1.7) со взвешивающим устройством.



Рисунок 1.7 – Общий вид перегружающего бункера-накопителя ПБН-20 (Украина)



Рисунок 1.8 – Процесс выгрузки зерна на току большегрузными прицепами

Анализ применяемых технологий и литературных источников [22, 27, 33, 41, 49, 60, 105, 103, 113, 136, 140] позволил сформулировать основные требования к уборке зерновых колосовых культур: 1) комплексное проведение всех работ уборочного периода (уборка и доработка зерна, сев промежуточных культур [81], первичная обработка почвы [66] или вспашка [41], заготовка соломы с прессованием [106] и др.; 2) поточность и ритмичность выполнения

уборочных работ [97, 107, 108, 142, 89, 94]; 3) организация уборочно-транспортных комплексов (УТК) [113, 42, 63, 138, 127, 103, 98, 51-52, 49]; 4) соблюдение операционной технологии уборки урожая [134] (подготовки полей, агрегатов, работа на загоне, контроль качества); 5) строго соблюдать особенности уборки сильных и ценных пшениц [145], 6) не используются прогрессивные приемы на уборке урожая: прицепные комбайны, «невейка» [13, 24-25, 31, 90, 86, 107], наиболее качественные накопители-перегрузчики зерна, высокопроизводительные транспортные средства для зерна с выгрузными шнеками; 7) отсутствуют у товаропроизводителя планы уборки урожая с оптимальной системой технических средств для сложных условий уборки и др.; 8) не выдерживаются оптимальные сроки уборки (5 дней) и количество сортов пшеницы с разными сроками созревания; 9) отсутствует целенаправленное техническое оснащение уборочной техникой для снижения травмирования зерна; 10) отсутствует связь разработчиков новой техники с товаропроизводителями, которые даже не знают новых перспективных конструкций и их преимуществ; 11) тяжелые самоходные комбайны уплотняют почву, разрушают ее структуру, снижают плодородие почвы, особенно вреден грузовой транспорт на поле, который должен быть заменен накопителями-перегрузчиками зерна.

Все эти недостатки требуют незамедлительного устранения.

1.2 Анализ перспективных технологий комплексной уборки зерновых колосовых культур с применением многофункциональных агрегатов

Перспективные разработки по новым технологиям уборки зерновых колосовых культур проводятся многими учеными [1, 8, 12, 24, 31, 39, 44, 56, 57, 59, 86, 90, 95, 105, 107, 111-119, 124, 127]. Интересные результаты уборки пшеницы с одновременным лущением стерни МФА получены д.т.н. В. В. Абаевым [1]. Хотя этой технологией занимались еще в 80-е годы прошлого столетия ВНИПТИМЭСХ» [114-117], но она не получила широкого распространения

из-за низкого технического уровня уборочных машин того времени. И только сейчас, когда появились мощные полноприводные комбайны TORUM-740(780), энергосредство УЭС-450, можно на практике реализовать совмещение операций уборки зерна в одном агрегате с другими сопутствующими работами (прессование соломы, сев промежуточных культур, обработку почвы с внесением минеральных удобрений [107]. Аналитическая работа выполнена в Кубанском МИС к.т.н. В. И. Масловским при использовании МФА на уборке сои и одновременном лущении стерни [105].

В АЧГАУ (г. Зерноград) академиком Э. И. Липковичем выполнены эксперименты на совмещении операций уборки колосовых с совмещением отдельных послеуборочных операций [95].

Известен комбинированный агрегат для уборки урожая и обработки почвы [6]. Особенно эффективно проводятся исследования по очесу колосовых культур на корню [56, 57, 2, 13, 86 90-93, 124, 110]. Исследованиями д.т.н. А. Н. Леженкина [90] доказана возможность уборки колосовых очесом зерна на корню на небольших фермерских участках.

Технологию уборки зерновых колосовых по методу очеса зерна на корню выполнены ВНИПТИМЭСХ [12, 13]. Экономическое обоснование по предлагаемой технологии уборки колосовых культур с разделением вороха на стационаре подтвердило ее высокую эффективность по сравнению с комбайновой.

Таким образом уже начался период научных исследований по комплексной уборке колосовых МФА с совмещением операций уборки зерна и других работ послеуборочного периода [1, 66, 95, 106]. Одним из них является предлагаемый нами МФА для выполнения операции уборки зерна с одновременным прессованием соломы [106].

1.2.1 Анализ теоретических исследований технологий комплексной уборки зерновых

По данному направлению исследований еще мало теоретических раз-

работок. Например, д.т.н. В. В. Абаевым обоснованы оптимальные параметры и режимы работы МФА для уборки зерна с одновременным лушением стерни [1] на базе самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740 с дисковой бороной БДТ-7А.

По критерию – минимум совокупных затрат – на работу уборочно-транспортного звена (УТЗ) автором [1] установлена эффективная мощность двигателя для МФА (492,5 кВт), ширина захвата жатки – 8 м, рабочая скорость движения 8 км/ч, емкость бункера для зерна 10,5 м³, масса комбайна 19,8 т, масса прицепного орудия 2 т. Агрегат может обеспечить производительность по зерну 39,9 т/ч сменного времени. Одновременно определены оптимальные параметры накопителя-перегрузчика, входящего в состав УТЗ: емкость бункера 12 м³, масса 5,6 т, агрегируется с трактором мощностью двигателя 68,6 кВт, массой 3,9 т. Такие агрегаты по расчету автора должны применяться на 65 % площади зерновых колосовых.

Для расчета совокупных затрат энергии использованы совокупные затраты энергии на работу УТЗ, отнесенной к единице убираемой площади [1]:

$$E_z = E_{p\ np} + E_m + E_{жс} + E_M + E_{np} , \quad (1.1)$$

где E_z – современные затраты энергии на работу УТЗ, руб./га; $E_{p\ np}$ – энергозатраты на рабочий процесс машины, руб./га; E_m – энергозатраты на использование топлива, руб./га; $E_{жс}$ – энергозатраты живого труда, руб./га; E_M – энергия, затраченная на производство и обслуживание машин УТЗ, руб./га; E_{np} – энергозатраты на использование производственных и подсобных помещений, руб./га.

Каждая из составляющих формулы (1) рассчитывается по известной методике и широко применяется в инженерных расчетах [50-54; 1; 76-77].

Нам представляется, что в настоящее время некоторые нормативные коэффициенты, используемые в расчетах составляющих энергозатрат, уже устарели и требуют новых исследований для их доработки. Например, при

расчете энергозатрат на производство и обслуживание машин, входящих в состав УТЗ, используют формулу [8]:

$$Q = \frac{G_M \cdot \mathcal{E} \cdot a_p}{T_r \cdot W_r}, \quad (1.2)$$

где Q – энергозатраты на производство и обслуживание машин, МДж/га; G_M – масса машины, кг; \mathcal{E} – энергетический эквивалент, МДж/кг; a_p – доля отчислений на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание машин; T_r – годовая загрузка машины, ч; W_r – часовая производительность машины на заданной работе, га/ч.

К сожалению коэффициенты \mathcal{E} и T_r уже требуют уточнения, так как они были приняты методиками Советского периода. Современная техника и сельхозмашиностроение полностью поменялись, поэтому эмпирический коэффициент \mathcal{E} и годовая загрузка машины требует детального обоснования.

Также требует замены энергетический эквивалент затрат труда 1,26 МДж/чел.-ч. В настоящее время при частной собственности на технику и земли эти коэффициенты должны быть рыночные.

В этой связи необходима другая математическая модель оптимизации параметров МФА и режимов его работы и другой критерий оптимизации.

Для оптимизации параметров и режимов его работы машинных агрегатов лучше использовать планирование эксперимента или качества критерия оптимизации – функцию затрат и потерь [106].

При использовании этой функции для обоснования параметров МФА на базе самоходного комбайна можно обосновать оптимальную продолжительность уборки, мощность двигателя комбайна с различной пропускной способностью молотилки, емкость бункера, балансовую стоимость агрегата, себестоимость работ при прямом комбайнировании с выполнением дополнительной операции, определить стоимость потерь урожая и минимальное значение функции затрат и потерь (целевая функция математической модели), которая и определяет все необходимые параметры агрегата.

На рисунке 1.9 показан характер изменения составляющих функции в зависимости от продолжительности уборки зерна.

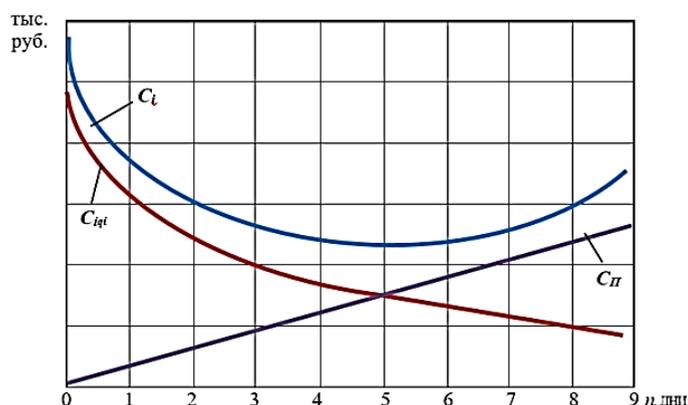


Рисунок 1.9 – График зависимости C_z , C_p , C_{zp} от n :
 C_z , C_p , C_{zp} – стоимость, соответственно, затрат, потерь;
 n – продолжительность уборки урожая, дней.

После компьютерных расчетов целевая функция, а также C_p , C_z и n_p строятся их зависимости от n_p по специальной программе, разработанной на кафедре ЭМТП КубГАУ.

В работе В. В. Абаева [1] в качестве целевой функции использован коэффициент биоэнергетической эффективности K_6 , представляющий собой отношение полученной энергии от убранный урожай $\mathcal{E}_п$ к затратам энергии на его получение $\mathcal{E}_з$:

$$K_6 = \frac{\mathcal{E}_п}{\mathcal{E}_з} > 1. \quad (1.3)$$

При значении критерия оптимизации меньше единицы технология считается неэффективной.

Моделирование параметров и режимов работы машинных агрегатов проводится с давних времен и всегда было эффективным методическим приемом [9, 5, 10, 11, 27, 33, 35, 36, 37, 50-54, 70, 72, 74, 75, 77, 91, 93, 99, 100, 110, 121, 130, 131].

Интерес представляют также научные разработки по организации УТК с иерархическим технологическим контролем [103], методы совершенствования систем уборки урожая [126], расчет параметров жатвенно-луцильных агрега-

тов [114], технико-экономическое сопровождение машинных агрегатов производства зерна [99], комплексный метод оценки технического состояния тракторов и сельскохозяйственных машин [78], оптимизация времени работы агрегатов [75], теория систем [122], теория массового обслуживания [68, 69] и другие подходы.

Разработаны также [1, 105] математические модели и алгоритмы для обоснования оптимальных параметров и режимов работы многофункционального уборочно-почвообрабатывающего агрегата (УПА), совмещающего за один проход технологические операции уборки зерна и лушения стерни. При этом масса комбайна составила 19781 кг, емкость бункера 10,5 м³, тяговое усилие полноприводного комбайна при агрегатировании почвообрабатывающего орудия – 22 кН, масса последнего 1084 кг [105].

Предлагаемый многофункциональный агрегат обеспечивает комплексное проведение жатвы – уборки урожая с одновременным послеуборочным рыхлением почвы согласно нашему патенту на изобретение № 2307498 с производительностью 4,4 га/ч при урожайности зерна 5 т/га. Эта технология в Краснодарском крае должна применяться на 65 % площади.

Новый способ уборки соответствует экологическим требованиям путем снижения уплотнения почвы за счет выполнения нескольких операций за один проход агрегата, а также использования накопителя-перегрузчика зерна при отвозе его от комбайнов. Оптимальная емкость кузова накопителя-перегрузчика 12 м³, масса 5609 кг, мощность двигателя трактора, агрегатирующего прицеп, 68,3 кВт, масса 3902 кг, время цикла работы транспортного агрегата 0,31ч [1].

Зависимости технико-экономических и эксплуатационных показателей многофункционального УПА (N_e , $V_{\bar{o}}$, $K_{\bar{o}}$, $V_{ин}$, $G_{нес}$, $G_{\bar{o}}$, G_T , G_M , \mathcal{E} , $C_{\bar{o}}$ и др.) от условий и режимов работы адекватны, подтверждены критерием Кохрена и подтверждают эффективность предлагаемого способа уборки урожая с одновременной обработкой почвы.

Одновременно с оптимизацией типажа и структуры комбайнового парка определяются рациональные сроки уборки зерновых колосовых культур (4-9 рабочих дней), а на основании метода экспертной оценки – сочетание вариантов технологий и их графовая модель. Так, для уборки 1120 тыс. га озимой пшеницы в крае 36 % площади должно убираться прямым комбайнированием с измельчением и разбрасыванием соломы и одновременной ее заделкой в почву предлагаемым УПА (таких агрегатов необходимо 2893 к комбайнам 8 кг/с, 12 и 15); 28,4 % с очесом на корню и одновременным посевом сидеральных культур; 14,3 % – раздельная уборка зерновых с последующим подбором валков соломы, измельчением и разбрасыванием прицепным измельчителем; 7,1 % – раздельная комбайновая уборка с последующим подбором валков соломы и транспортировкой тюков на ферму; 6,9 % – очес на корню без одновременного рыхления почвы; 6,7 % – раздельная уборка с последующим прессованием соломы из валков, их подбором, транспортировкой и складированием.

Предлагаемая нами технология уборки зерновых колосовых культур с применением УПА имеет большое преимущество по сравнению с базовой, в частности. Затраты энергии снижаются на 17,8 %, а затраты труда – в 2,8 раза.

Агротехническая оценка УПА [1, 105] на базе полноприводного зерноуборочного комбайна РСМ-181 и дискового орудия БДЛ-7 позволяет сделать вывод о его работоспособности и выполнении утвержденных исходных требований в соответствии с нормативной документацией: потери и дробление зерна озимой пшеницы не превышали 0,5 %, средняя глубина обработки почвы составила 4,5 см при отклонении $\pm 0,9$ см, качество крошения почвы 80 % (фракции комков размером менее 5 см), высота гребней 4,2 см, глыбы более 10 см отсутствуют.

Энергетическая оценка почвообрабатывающих орудий (дисковой бороны БДЛ-7 шириной захвата 7 м) подтвердила, что при агрегатировании на различных передачах обеспечивается качественное выполнение лущения стерни, удовлетворяющее требованиям нормативной документации с необходимой мощностью на выполнение технологического процесса 14,2-34,1 кВт в

зависимости от скорости движения УПА в интервале 5,1-10,6 км/ч [105].

Разработанная методика инженерного расчета УПА позволяет определить тяговый и энергетический баланс агрегата, рассчитать гидропривод ходовой части комбайна, а также обосновать типоразмерный ряд УПА для зерноуборочных комбайнов различного класса.

Оптимальный типаж и структура комбайнового парка для Кубани, обоснованные с использованием минимального значения функции затрат и потерь, обеспечат снижение эксплуатационных затрат на уборку зерна озимой пшеницы на 7,1 %. Комбайновый парк для условий Краснодарского края при современном распределении урожайности зерна по уборочным площадям должен иметь 6 классов комбайнов [1].

Сейчас эта концепция пересматривается. Главное в эксплуатации комбайна рациональная загрузка молотилки для эффективного использования мощности двигателя, снижения потерь урожая, затрат на уборку, уплотнения почвы и необоснованной многомарочности комбайнов.

Нами разработана структурная схема выполнения исследований по теме диссертации (рисунок 1.10)

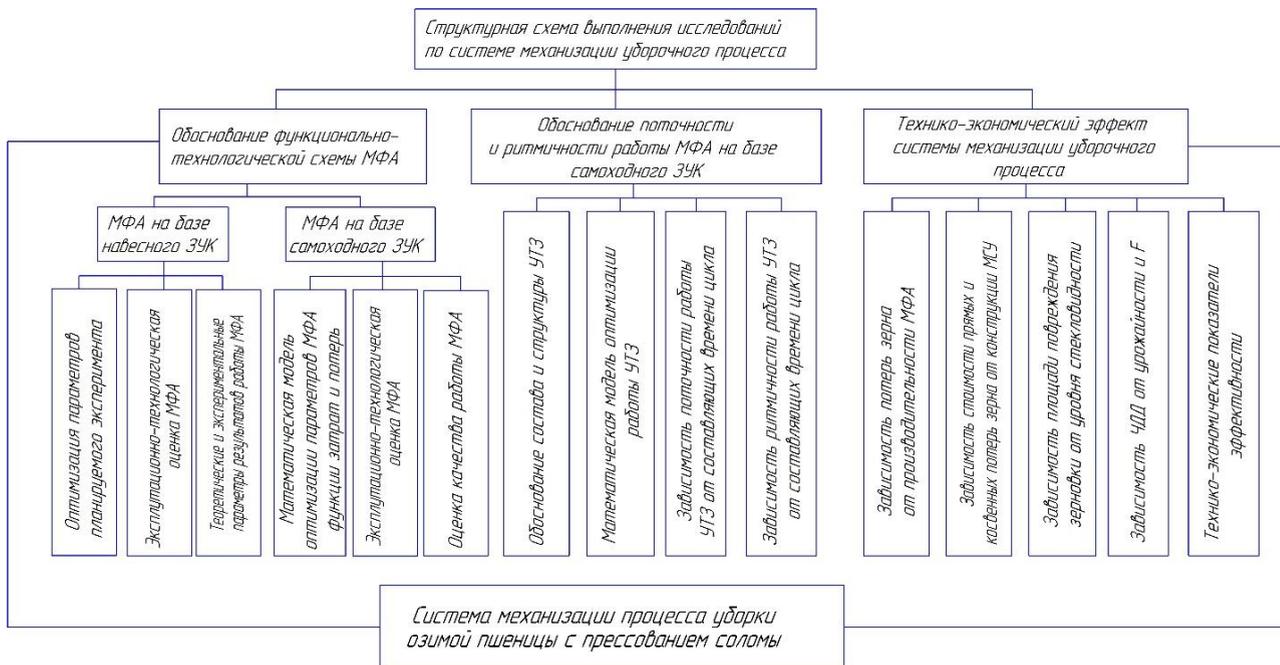


Рисунок 1.10 – Структурная схема выполнения исследований по теме диссертаций

Учитывая изложенное, нами сформулирована **рабочая гипотеза**: снижение потерь урожая, повышение производительности труда и качества зерна многофункциональными агрегатами (МФА) будет обеспечено применением аксиально-роторных МСУ, совмещением технологических операций уборки зерна (пшеницы в нашем случае) с одновременным прессованием соломы; основной способ уборки – «невейка» с разделением вороха на стационаре сепараторами МН-230 (Канада) и дополнительной сортировкой зерна для высокого качества после уборочного дозревания.

1.3 Выводы по разделу. Цель и задачи исследований

На основании состояния вопроса по технологиям уборки зерновых колосовых культур в нашей стране и за рубежом можно сделать следующие выводы.

1. Современные технологии уборки урожая зерновых колосовых культур базируются на применении самоходных зерноуборочных комбайнов с использованием прямого и раздельного комбайнирования. Кроме того, научно обоснована и широко применяется за рубежом на практике технология «невейки» с обработкой невейного вороха от комбайнов на стационаре.

2. Агротехнические требования к уборке зерновых колосовых комбайнами в большинстве случаев выполняются (за исключением дробления и микроповреждения), при этом, остается не решенной основная задача уборочного комплекса – минимизировать время простоя машин при работе в одном потоке, выполняя все технологические операции и заложить основу будущего урожая, причем эта работа должна выполняться многофункциональным уборочно-почвообрабатывающе-посевным агрегатом за один проход по полю.

3. На практике УТК позволили существенно повысить производительность труда на уборке, обеспечить минимальные технологические разрывы между операциями с целью устранения потерь продуктивной влаги и пересыхания почв. Использование УТК впервые обеспечило успешную реализацию

всех наиболее распространенных технологий уборки НЧУ. Необходим переход на новые технологии с совмещением операций.

4. В КубГАУ, АЧГАУ и некоторых научно-исследовательских институтах страны появились результаты научно-исследовательской работы по комплексной уборке зерновых культур, предложены теоретические основы этой проблемы и выполнены экспериментальные исследования. Однако, необходимо продолжить исследования с учетом многообразия природно-климатических условий, диапазона урожайности, влияния тяжелой техники на плодородие почвы и большого количества неучтенных факторов, определяющих качество уборки.

6. Широко применяемая в агропромышленном комплексе технология уборки зерновых культур, по мнению многих ученых, уже исчерпала себя [7, 12, 62, 90, 95]. Практикой доказано, что она связана с большими потерями урожая, снижением его качества, высокой энергоемкостью, низкой рентабельностью, а также отрицательным влиянием на плодородие почвы, часто в технологии используется дорогая и тяжелая техника, большая номенклатура технических средств. Кроме того, она не обеспечивает поточности и ритмичности выполняемых работ уборочного комплекса. Особенно важно сразу после уборки зерна или одновременно с ней предупредить потери почвенной влаги, которая определяет урожай будущего года.

7. Необходимость повышения производительности самоходных зерноуборочных комбайнов напрямую связана с ростом их массы и мощности двигателей. Чаще всего не выполняются агротребования к дроблению зерна комбайнами с бильными молотильными аппаратами, а микроповреждение зерна доходит до 70 % [36, 137].

8. Вероятность настройки классических молотилок на оптимальный режим не превышает 0,2 % из-за большого количества неучтенных факторов [55]. Почти в десять раз снижают дробление зерна аксиально-роторные молотильные аппараты, у которых оно не превышает 1 %, по данным испытаний комбайнов КубНИИТиМ [33].

9. Перечисленные недостатки применяемой технологии уборки должны быть устранены новой инновационной технологией на базе многофункциональных агрегатов. Цель ее – комплексное проведение уборки урожая зерновых культур с одновременным выполнением послеуборочных работ, обеспечивающих повышение производительности труда не менее чем в 2 раза, качество уборки, снижение энергозатрат и увеличение урожайности последующих культур на 1,5-2 ц/га.

10. В задачах нашей диссертации должны учитываться все недостатки применяемых технологий уборки зерновых колосовых культур, а также последние достижения науки, способствующие сохранению плодородия почвы (снижение уплотнения и распыла тяжелой техникой), повышению производительности труда, качеству зерна, повышению поточности и ритмичности, снижению потерь урожая и затрат за счет совмещения операций, применение дистанционных управляемых автоматизированных систем в работе машинных агрегатов.

Цель исследования – совершенствование технологии уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы на базе уборочного МФА для снижения затрат, повышения производительности труда, комплексности работ и качества зерна.

Задачи исследования

1. Усовершенствовать технологию и функционально-технологические схемы различных уборочных МФА для совмещения операций уборки зерна с одновременным прессованием соломы.

2. Разработать математические модели оптимизации параметров и режимов работы предлагаемых уборочных МФА на базе самоходного и навесного безмоторного комбайнов.

3. Выполнить эксплуатационно-технологическую оценку МФА на базе комбайна TORUM-740.

4. Установить зависимости тягового сопротивления пресс-подборщика от скорости движения, мощности двигателя МФА, его массы, мощности на

привод пресс-подборщика от скорости движения.

5. Оптимизировать функционирование уборочно-транспортного звена (УТЗ) по критерию минимум времени ожидания обслуживаемых звеньев потока.

6. Разработать методику инженерного расчета МФА

7. Определить экономическую эффективность результатов исследований.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

2.1 Синтез многофункционального агрегата (МФА) на базе самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740

Как было отмечено выше, предлагаемый состав МФА включает: полноприводной самоходный зерноуборочный комбайн TORUM-740, прицепной к нему пресс-подборщик соломы ПРФ-180 с механизмом привода и сцепку для агрегатирования (рисунок 2.1), изготовленную нами.

Технологическая схема МФА включает в свой состав также передовые научные достижения, способствующие сохранению плодородия почвы путем устранения ее переуплотнения и распыла за счет использования конверсионных гусеничных систем системы (КГС) (рисунок 2.1, а), повышению производительности труда и снижению затрат за счет совмещения операций, применения системы дистанционного автоматизированного контроля (САК) за работой машин (рисунок 2.1, а) [32].

Конверсионная гусеничная система (КГС) разработана компанией CAMSO для сменной установки на раме комбайна, колесного трактора, накопителя-перегрузчика и др. машинах. Она повышает удобство перемещения на полях с мягким грунтом, большая площадь гусениц (3,41 м² на одну пару) уменьшает уплотнение грунта, не распыляет почву, повышает производительность и качество работ. Оборудование самоходного комбайна TORUM-740 в составе МФА обеспечит сохранение плодородия почвы за счет снижения на 65 % удельного давления на нее.

Расчетное давление базового МФА на почву с конверсионной гусеничной системой (КГС) можно представить так [35,61]:

$$P = \frac{0,01 (G_k + G_{кгс} + \gamma \cdot V_b)}{F_{оп}}, \quad (2.1)$$

где q_{ϕ} – расчетное давление МФА на почву, кПа; G_k – масса комбайна в составе МФА, 18840 кг $G_{кгс}$ – масса конверсионной гусеничной системы, 8416 кг; γ – плотность зерна, 800 кг/м³; V_b – емкость бункера комбайна, 10,5 м³; $F_{оп}$ –

площадь опорной поверхности гусеницы на четыре гусеничные системы к комбайну, 4,64 м².

$$P = \frac{0,01 (18840 + 8416 + 800 \cdot 10,5)}{4,64} = \frac{314,48}{4,64} = 67,8 \text{ кПА.}$$

В 2,2 раза снижается давление на грунт при использовании КГС на двух мостах агрегата и в 1,11 раз – на одном переднем.

Обоснование выбора комбайна TORUM-740 в составе МФА:

Полноприводной комбайн TORUM-740 в составе МФА принят по следующим причинам: 1) высокая энергонасыщенность с двигателем 294 кВт и пропускная способность молотилки до 14 кг/с, что обеспечит оптимальную нагрузку рулонного пресс-подборщика ПРФ-180Б; 2) высокая производительность на уборке зерна (до 34 т/ч за 1 час чистого времени); 3) низкое травмирование зерна по сравнению с комбайнами (с бильными молотильными аппаратами, что снижает косвенные потери урожая; 4) удовлетворительные тягово-сцепные свойства для агрегатирования сцепных машин, в частности, пресс-подборщика [73].

Таким образом, комбайн TORUM-740 – как энергосредство в составе МФА (рисунок 2.1, а) – главная составная часть синтеза агрегата.

Обоснование выбора пресс-подборщика ПРФ-180 в составе МФА:

Рулонный пресс-подборщик ПРФ-180Б (рисунок 2.2, б) подобран к энергосредству TORUM-740 в соответствии с пропускной способностью комбайна (до 14 кг/с) и пресс-подборщика (7 кг/с), учитывая соотношение массы зерна к массе соломы как 1:1 [125].

2.1.3 Агротребование ПРФ-180Б осуществляется с помощью специально изготовленной сцепки (рисунок 2.2). Рабочие органы пресс-подборщика приводятся от гидросистемы комбайна через гидромотор ГМШ-50. При включении крана в кабине комбайна) масло поступает из бака к гидромотору ГМШ-50, от которого приводится карданный вал. А от него – все рабочие органы пресс-подборщика.



а)

б)

Рисунок 2.1 – Общий вид машин для составления МФА
 а) зернокомбайн TORUM-740; б) пресс-подборщик ПРФ-180Б

Подборщик ПРФ-180 при движении агрегата подбирает обмолоченную комбайном солому и подает ее в прессовальную камеру. После формирования рулон обматывается шпагатом, гидроцилиндр открывает капот и рулон скатывается на землю по скатной доске. Новая порция соломы подборщиком снова подается в прессовальную камеру и процесс продолжается до формирования рулона заданной плотности. Рулоны на поле собирают транспортером-погрузчиком ТП-12 с трактором МТЗ-80 и перевозят на ферму для складирования и использования МФА.

Предлагаемая технологическая схема МФА опробована в учхозе "Кубань" нашего университета и проверена в работе на прессовании рулонов соломы (приложение 2).



Рисунок 2.2 – Составляющие синтеза МФА для уборки зерна с прессованием соломы

С помощью, специально изготовленной гидронавески, выполнено динамометрирование пресс-подборщика, данные которого использованы при разработке МФА и расчете его оптимальных параметров и режимов работы.

2.2 Тягово-мощностной баланс МФА для уборки пшеницы с одновременным прессованием соломы

В соответствии с научной гипотезой предлагаемый МФА должен обеспечить повышение производительности труда в уборочном процессе пшеницы и снижение затрат.

Очевидно, что совмещение операций уборки зерна и прессования соломы высвобождает трактор для агрегатирования пресс-подборщика, что обеспечит снижение затрат и материалоемкости. В настоящем разделе мы рассмотрим тягово-мощностной баланс МФА. Для разных составов МФА он уже определен в работах В. В. Абаева [1] и В. И. Масловского [105]. Нами выполнены дополнительные уточнения к тягово-мощностному балансу МФА применительно к его составу с учетом прессования соломы (рисунок 2.3).

Тяговый баланс зерноуборочного комбайна TORUM-740 с пресс-подборщиком

Комбайн TORUM-740 оборудован ведущим задним управляемым мостом. К нему при помощи демпферного устройства [106] крепится сница пресс-подборщика (рисунок 2.3).

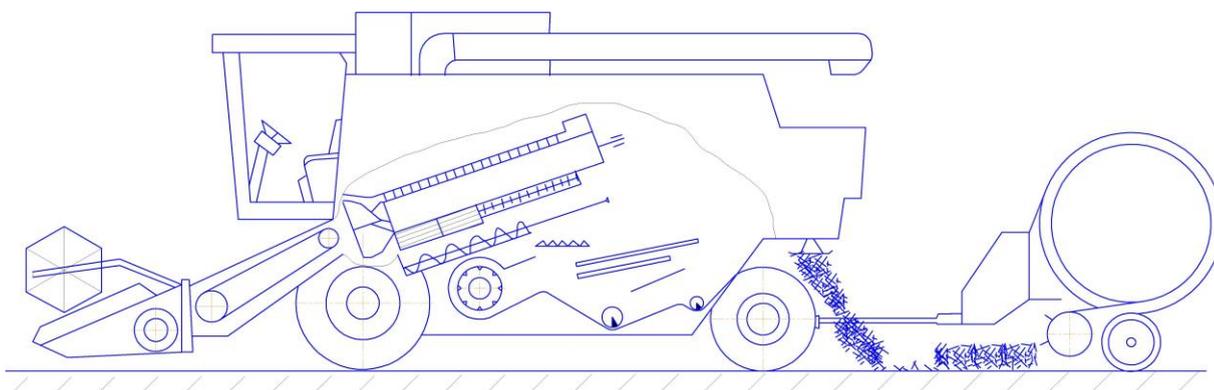


Рисунок 2.3 – Схема комбинированного агрегата

При агрегатировании пресс-подборщика ПРФ-180Б активный мост в состоянии обеспечивать перемещение прицепного орудия, учитывая что тяговое усилие пресс-подборщика ниже, чем усилие, создаваемое мостом, которое составляет 22 кН согласно исследованиям, д.т.н. Абаева В. В. и к.т.н. Масловского В. И. [105].

В. И. Масловским [105] установлена зависимость тягового усилия, создаваемого задним ведущим управляемым мостом зерноуборочного комбайна TORUM-740 (рисунок 2.4) от его сцепного веса $G_{сц}$ при агрегатировании комбайном TORUM-740 дисковой борона БДЛ-7.

Зависимость P_T от $G_{сц}$ на рисунке 2.4 получена при значениях коэффициента сцепления ходового аппарата комбайна с почвой $\mu = 0,5$, коэффициенте сопротивления качению агрегата по стерне $f = 0,1$ и углу подъема местности $i = 8^\circ$. С учетом этих данных тяговое усилие комбайна P_T можно рассчитать по известной формуле:

$$P_T = G_{сц} \eta_u^{-1} \cdot (\mu - f - i / 100) \quad (2.2)$$

где P_T –тяговое усилие комбайна, кН; $G_{сц}$ - сцепной вес комбайна, кН; η - КПД трансмиссии; μ - коэффициент сцепления ходового аппарата комбайна с почвой; f - коэффициент сопротивления качению агрегата; i – уклон местности.

Анализируя полученную зависимость P_T от $G_{сц}$ комбайна TORUM-740, можно предположить, что его тягового усилия вполне достаточно для агрегатирования ПРФ-180Б.

Для подтверждения этого необходимо провести динамометрирование пресс-подборщика, чтобы установить зависимость его тягового сопротивления при работе от скорости движения.

Кроме того, как указано в работе В. В. Абаева [1], установленный на комбайне TORUM-740 гидропривод способен, во-первых, обеспечить работу комбайна с прицепным орудием на технологически приемлемых поступательных скоростях, во-вторых, гидропривод заднего управляемого моста

теоретически способен обеспечить энергией и тяговой силой работу прицепного орудия без использования дополнительного нагружения базовой рамной конструкцией комбайна.

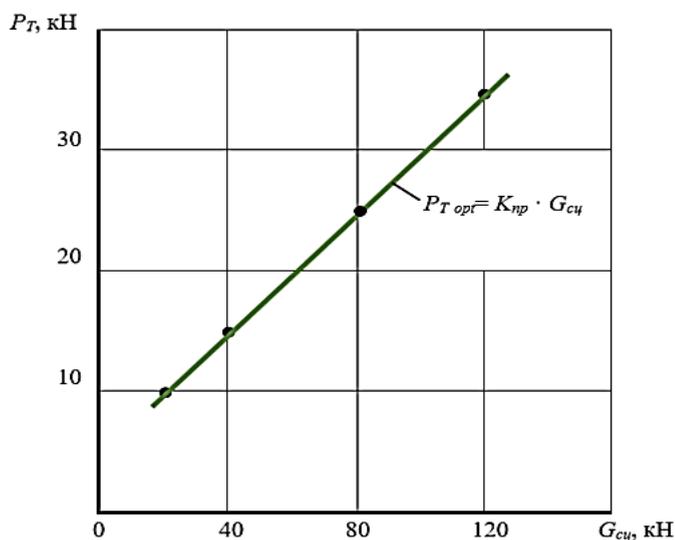


Рисунок 2.4 – График зависимости тягового усилия комбайна от сцепного веса

Мощностной баланс зерноуборочного комбайна TORUM-740 в агрегате с пресс-подборщиком соломы ПРФ-180Б.

Главным показателем комбайна является его производительность W_0 , в тонах зерна за час основного времени без учета потерь времени на остановки по различным причинам, которую можно определить по формуле профессора Э. В. Жалнина [43]:

$$W_0 = \frac{3,6}{1 + a_\phi} \cdot q_\phi, \quad (2.3)$$

где q_ϕ – фактическая подача хлебной массы в комбайн при фактической соломистости, т/га (a_ϕ).

По методике Б. А. Доспехова [35] мы определили фактическую соломистость, которая существенно зависит от урожайности зерна на поле. Для условий Кубани нами на основе аппроксимации опытных данных установлена следующая зависимость фактической соломистости a_ϕ хлебной массы от урожайности зерна U :

$$a_\phi = -5,1 \cdot 10^{-5} \cdot U^4 + 9,18 \cdot 10^{-4} \cdot U^3 + 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 + 0,148 \cdot U + 1,61 \quad (2.4)$$

где a_{ϕ} – фактическая соломистость хлебной массы; U – урожайность зерна озимой пшеницы, т/га; $5,1 \cdot 10^{-5}$, $9,18 \cdot 10^{-4}$, $1,58 \cdot 10^{-3}$, $0,148 \cdot 10^3 \cdot U + 0,148$ – коэффициенты регрессии; 1,61 – свободный член.

Адекватность полученной зависимости (2.4) проверена по критерию Кохрена. Как следует из рисунка 2.5 соломистость a_{ϕ} заметно снижается с ростом урожайности U . Это характерно и для зарубежных высокоурожайных сортов [35].

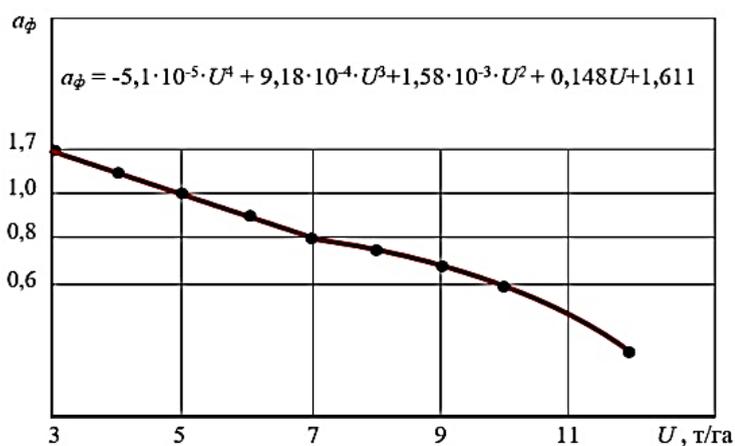


Рисунок 2.5 – График влияния урожайности зерна пшеницы на соломистость хлебной массы

Перед нами стала задача – выявление связей между мощностью двигателя, необходимой для работы комбайна и его пропускной способностью. Такая задача должна решаться во взаимосвязи трех элементов: двигатель – машина – обрабатываемый материал [46-49].

Мощностной баланс двигателя полноприводного зерноуборочного комбайна в составе МФА с пресс-подборщиком соломы ПРФ-180Б.

Зерноуборочный агрегат может работать по многим схемам уборки урожая: с измельчением соломы, с прессованием, с очесом зерна на корню, с очисткой зерна или по варианту «невейка» и др. Технологические процессы обмолота, сепарации и уборки не зерновой части урожая (НЧУ) выполняются с различным потреблением мощности двигателя $N_{об}$.

Баланс мощности двигателя комбайна включает затраты мощности на передвижение агрегата по полю, в нашем случае с пресс-подборщиком соломы

на гидропривод пресс-подборщика и управляемого заднего моста комбайна, а также на технологический процесс работы комбайнового многофункционального агрегата:

$$N_{\text{дв}} = \lambda \cdot Ne = \frac{1}{\eta_u} (N_f + N_{\text{п}} + N_{\text{ум}} + N_{\text{пр}} + N_{\text{т.п}}), \quad (2.5)$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя комбайна, кВт; Ne – эффективная мощность двигателя комбайна, кВт; η_u – коэффициент использования мощности двигателя (0,9); N_f – мощность, требуемая на передвижение комбайнового агрегата, кВт; $N_{\text{п}}$ – мощность, требуемая на передвижение пресс-подборщика, кВт; $N_{\text{ум}}$ – мощность, требуемая на гидромоторы управляемого моста, кВт; $N_{\text{пр}}$ – мощность, требуемая на гидромотор привода пресс-подборщика, кВт; $N_{\text{т.п}}$ – мощность, потребляемая на технологический процесс работы зерноуборочного комбайна, кВт; λ – коэффициент запаса мощности двигателя [40].

Затраты мощности на передвижение зерноуборочного комбайна по полю определяют по известной методике:

$$N_f = \frac{m_k \cdot q \cdot f \cdot v_k}{1000 \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot (1 - \delta_1)}, \quad (2.6)$$

где m_k – масса зернокомбайна, кг; q – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент сопротивления перекачиванию комбайна; v_k – скорость движения комбайна, м/с; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии (0,91); δ_1 – буксование ходовых колес комбайна.

Мощность на передвижение пресс-подборщика по стерне с рулоном соломы составит:

$$N_{\text{п}} = 10^{-3} \cdot R \cdot v, \quad (2.7)$$

где R – тяговое сопротивление пресс-подборщика с рулоном соломы, Н; v – поступательная скорость движения агрегата, м/с.

Зависимость $N_{\text{т.п}}$ от q приняли по результатам исследований профессора Жалнина Э. В. [41] и к.т.н. Масловского В. И. [105] (рисунок 2.6).

Для зерноуборочных комбайнов с аксиально-роторными МСУ зависимость мощности $N_{ТП}$ на технологический процесс работы комбайна от приведенной подачи $q_{пр}$ выражается так (рисунок 2.7):

$$N_{ТП} = 28,6 \cdot e^{0,14 \cdot q_{пр}} \quad (2.8)$$

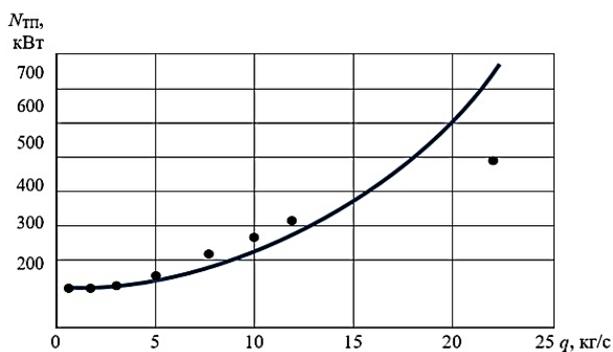


Рисунок 2.6 – График зависимости $N_{ТП}$ от $q_{пр}$

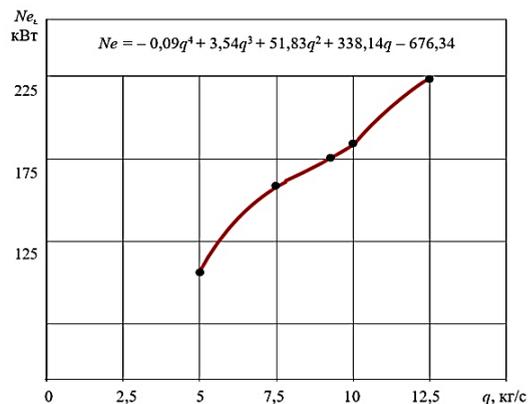


Рисунок 2.7 – График зависимости мощности двигателя комбайна от пропускной способности его молотилки с классическим МСУ

Нами получены эти зависимости для различных типов молотильно-сепарирующих устройств (МСУ) – для классической схемы и для аксиально-роторной (рисунки 2.7 и 2.8).

Зависимость Ne от q в классической схеме МСУ (рисунок 2.7) выражается полиномом четвертой степени, с увеличением q потребная мощность двигателя комбайна возрастает. Адекватность модели подтверждается критерием Фишера: расчетное значение 0,75 меньше табличного 0,80.

На основе аппроксимации нами получена также зависимость мощности двигателя Ne от q (рисунок 2.8) для зерноуборочных комбайнов с роторной схемой МСУ, которая выражается полиномом второй степени.

Адекватность полученной зависимости подтверждена критерием Фишера: его расчетное значение 0,75 меньше табличного 0,80.

Анализ полученных зависимостей показал, что затраты мощности у роторного комбайна выше классического на 16,5 процентов.

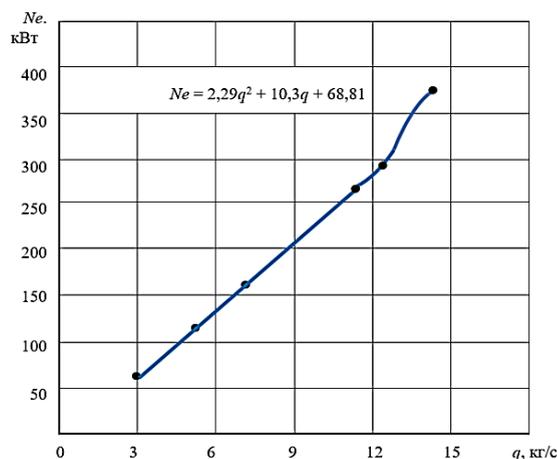


Рисунок 2.8 – График зависимости мощности двигателя зерноуборочного комбайна с роторной схемой МСУ

Мощность на привод гидромоторов управляемого моста $N_{ум}$ принимается из паспорта комбайна TORUM-740. Мощность, требуемая на привод гидромотора принимается по его паспортной мощности $N_{пр} = 32$ л.с. ($N_{ТП} = 23,53$ кВт).

Учитывая вышесказанное, формула для определения мощностного баланса МФА примет вид (2.9):

$$N_{дв} = \lambda \cdot \left[\frac{m_k \cdot q \cdot f \cdot v_k}{1000 \cdot \eta_{тр} \cdot (1 - \delta_1)} + 28,6 \cdot e^{0,14 \cdot q_{пр}} + 10^3 \cdot R \cdot v + N_{ум} + 23,53 \right] \quad (2.9)$$

Расчитанный по формуле (2.9) баланс мощности двигателя представлен в разделе 4 диссертации, общий вид составляющих мощностного баланса МФА представлен на рисунке 2.9.

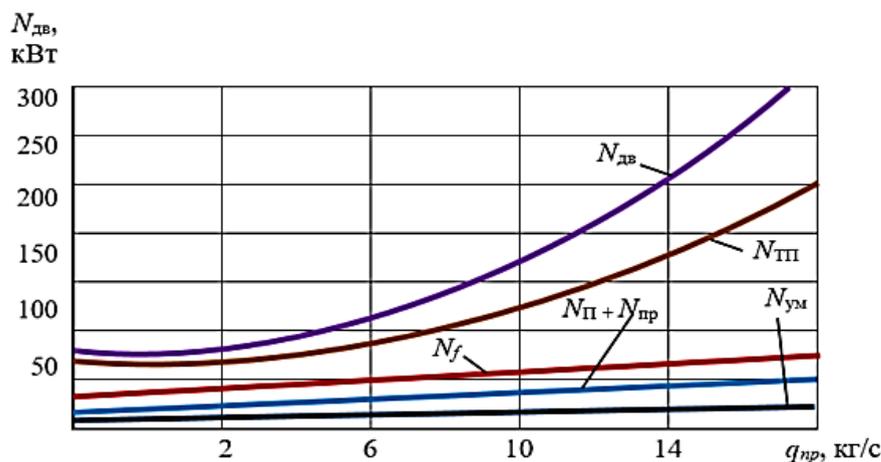


Рисунок 2.9 – График мощностного баланса МФА с зерноуборочным комбайном TORUM-740:

1 – общие затраты мощности $N_{дв}$; 2 – мощность технологического процесса комбайна $N_{ТП}$; 3 – затраты мощности на передвижение N_f ; 4 – затраты мощности на привод и передвижение пресс-подборщика $N_{П} + N_{пр}$; 5 – мощность на управление мостом $N_{ум}$

2.3 Математическая модель и алгоритм оптимизации параметров и режимов работы МФА на базе самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740

В разделе 2.1 диссертации разработана функционально-технологическая схема уборочного МФА на базе комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика ПРФ-180Б.

В задачу данного раздела входит разработка математической модели оптимизации его параметров и режимов работы. Наша задача облегчается тем, что известны многие параметры самоходного полноприводного зерноуборочного комбайна TORUM-740, пресс-подборщика ПРФ-180Б, но в составе агрегата они рассмотрены впервые. Кроме того, не известны взаимосвязи и зависимости параметров предлагаемого МФА с условиями его функционирования (эксплуатации): урожайность, размеры полей, рабочая скорость движения агрегата, ширина захвата жатки и др.

Нами, используя метод аппроксимации, установлена зависимость балансовой стоимости зерноуборочного комбайна с роторным МСУ от его пропускной способности и балансовой стоимости пресс-подборщика (рисунок 2.10).

Адекватность полученной зависимости на рисунке 2.9 подтверждается критерием Кохрена: расчетное его значение 0,496, табличное – 0,750. Также получены зависимости массы пресс-подборщика $G_{пр}$ от его пропускной способности (рисунок 2.11) и массы комбайна G_k от его пропускной способности (рисунок 2.12).

Каждая математическая модель содержит в своем составе критерий оптимизации (целевую функцию), переменные, константы и ограничения, вве-

денные в задачу. В нашей задаче для оптимизации параметров, режимов работы предлагаемого МФА для уборки зерна с одновременным прессованием соломы в качестве переменных взяты следующие исходные данные: самоходный зерноуборочный комбайн TORUM-740 в агрегате с прицепным пресс-подборщиком соломы ПРФ-180Б, объемы уборочных площадей F в интервале 1000-3000 га с шагом 1000 м рабочая длина гона на каждом поле изменяется в интервале 0,5-1,5 км с шагом 0,5 км; продолжительность уборки n (дней) в интервале 3-15 т/га с шагом 1 день; урожайность зерна в интервале 3-12 т/га с шагом 1 т/га; реализационная стоимость зерна Z в интервале 9-15 тыс. руб./т с шагом 3 тыс. руб.; номинальная пропускная способность зерно-уборочного комбайна TORUM-740 принята 12-14 кг/с, а пресс-подборщика соломы $q_{пр} = \frac{1}{2} q$ при соломистости хлебной массы $\delta_c = 0,5$. Рабочая скорость движения уборочного агрегата согласно рекомендациям КубНИИТиМ [133] принята $v_p = 5$ км/ч, так как при более высокой скорости повышается удельный расход топлива, ухудшаются условия работы оператора, потери зерна, а при заниженной скорости – теряется производительность и затягиваются сроки уборки. Конечно, при этом обязательно рациональное сочетание пропускной способности молотилки комбайна, урожайности зерна, соломистости, ширины захвата жатки и рабочей скорости движения агрегата. В качестве констант математической модели использованы: номинальная мощность двигателя комбайна $N_e = 294$ кВт; балансовая цена $C_B^k = 15$ млн. руб.; балансовая цена пресс-подборщика $C_B^{np} = 835$ тыс. руб.; масса комбайна $C_k = 18840$ кг, масса пресс-подборщика $C_{np} = 2350$ кг, (методом аппроксимации получены зависимости на рисунках 2.12-2.13); норматив отчислений на амортизацию, ремонт, ТО и хранение комбайна в долях от единицы принят $a_{PTO} = 0,2$, для пресс-подборщика $a'_{PTO} = 0,297$.

В качестве критерия оптимизации процесса работы МФА для уборки пшеницы с одновременным прессованием соломы принят минимум функции затрат и потерь $C_{зп}^{min}$, (затраты на выполнение рабочего процесса $C_з$ и потери $C_{п}$ – стоимость прямых потерь и стоимость косвенных потерь зерна пшеницы

от его травмирования молотильно-сепарирующими устройствами (МСУ) комбайна). При обосновании функционально-технологической схемы МФА мы приняли роторное МСУ, так как по результатам наших исследований дробление зерна у него не превышает 0,6 % (у бильных – в 10 раз больше), а микроповреждение – не выше 18 % (у бильных – оно доходит до 70 %) [137].

Эти зависимости будут использованы при оптимизации параметров МФА, оптимальной продолжительности уборки и расчете экономической эффективности новой технологии.

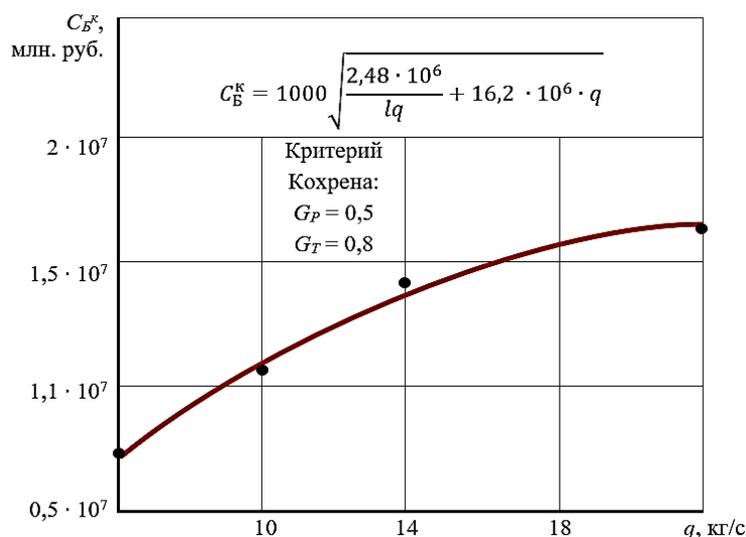


Рисунок 2.10 – График зависимости балансовой стоимости

В качестве констант математической модели используются еще данные по годовой загрузке комбайна ($T_k = 300$ ч) и пресс-подборщика ($T_{np} = 200$ ч), удельному расходу топлива q_e двигателем ($q_e = 0,2$ кг/кВт·ч), цене топлива $Z_T = 40$ руб./кг, номинальном коэффициенте использования мощности двигателя $\varepsilon = 0,9$ и коэффициенте K_{II} пропускной способности МСУ для уборки различных культур (для пшеницы – $K_{II} = 0,7-1,0$) [146].

Критерий оптимизации в нашей модели, выраженной функцией C_{3II}^{min} , состоит из стоимости затрат C_3 , включает эксплуатационные затраты (издержки эксплуатации $I_{\mathcal{E}}$) на работу МФА в составе комбайна и пресс-подборщика и определяется по известной методике [14]:

$$U_{\mathcal{E}} = C_3 + C_a + C_{PTO} + G_T + C_{np}, \quad (2.10)$$

где $U_{\text{Э}}$ – издержки эксплуатации, руб./га; C_3 – затраты на заработную плату с начислениями, руб./га; C_a – амортизационные отчисления, руб./га; $C_{\text{РТО}}$ – затраты на ремонты и ТО, руб./га; C_T – затраты на израсходованное топливо на данной операции, руб./га; $C_{\text{пр}}$ – прочие прямые затраты на операции, руб.

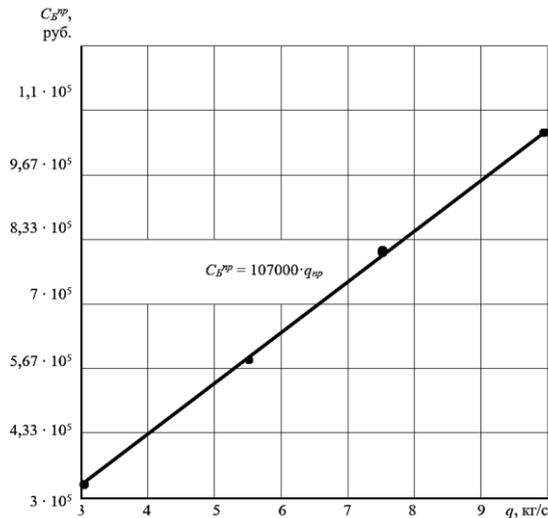


Рисунок 2.11 – График зависимости $C_B^{\text{пр}}$ от $q_{\text{пр}}$

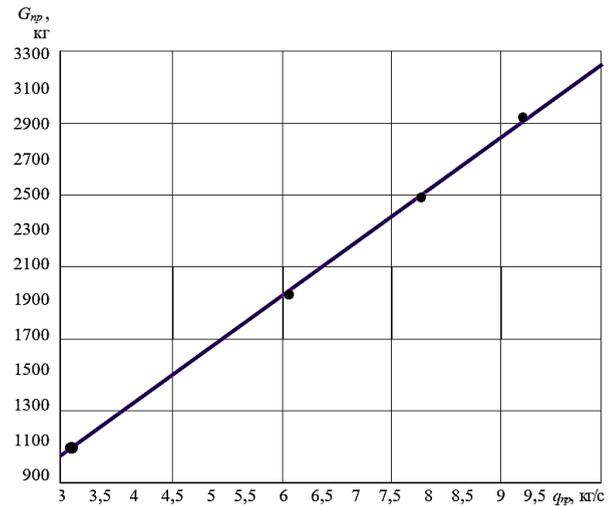


Рисунок 2.12 – График зависимости массы пресс-подборщика от его пропускной способности

Применив данную формулу C_3 и, используя исходные данные, приведенные выше, получим функцию затрат C_3 на работу заданного МФА (2.11):

$$C_3 = \left(\frac{C_B^{\text{к}} \cdot a_{\text{РТО}}}{T_{\Gamma}^{\text{к}} \cdot W} + \frac{260}{W} + \left(\frac{g_e \cdot Ne \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{\text{МГ}}}{W} + 0,3U \right) \cdot 40 + \frac{C_B^{\text{пр}} \cdot a'_{\text{РТО}}}{T_{\Gamma}^{\text{пр}} \cdot W} \right) \quad (2.11)$$

Стоимость потерь урожая при уборке зерна, как было сказано выше, включает: стоимость потерь от самоосыпания после его полного созревания (2.12), прямых потерь за комбайном (по нашей зависимости (2.13) применительно к уборочному МФА) и стоимости потерь от дробления и микроповреждения (2.14), так же полученной нами на основании исследований.

Потери зерна от самоосыпания после его полного созревания определяли по формуле профессора Э. В. Жалнина [41]:

$$P_3 = 1,6 n - 4, \quad (2.12)$$

где P_3 – потери зерна, % от исходного урожая; n – продолжительность уборки (нахождения зерна в колосе), начиная с 3-4 дня после его полного созревания ($3 \leq n \leq 25$), дней.

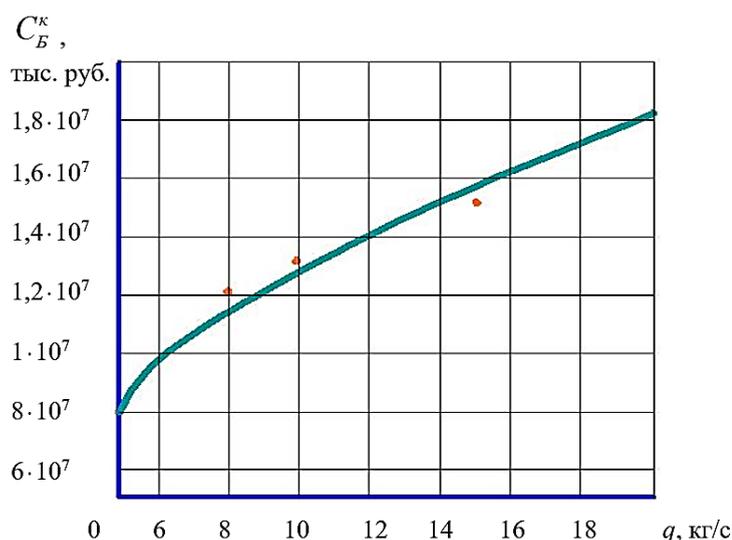


Рисунок 2.13 – График зависимости массы роторных зерноуборочных комбайнов от пропускной способности молотилки

Прямые потери зерна от комбайна при уборке предлагаемым МФА можно определить по формуле (2.13) в соответствии с нашими исследованиями:

$$P_3 = 1,03 \cdot n. \quad (2.13)$$

На основании выполненных нами исследований стоимость косвенных потерь зерна пшеницы в зависимости от дробления и микроповреждения можно определить по формуле:

$$C_{\text{дрмп}} = Z \cdot U \cdot (0,006 \cdot D_p + 0,0012 \cdot \text{МП}), \quad (2.14)$$

где $C_{\text{дрмп}}$ – стоимость косвенных потерь зерна от травмирования комбайнами, руб./т; Z – закупочная стоимость зерна, руб./т; U – урожайность зерна, т/га; D_p – закупочная стоимость зерна, %; МП – микро-повреждение зерна, %.

Поскольку для сравнения эффективности роторных МСУ мы применяем и в базовом варианте тоже роторную молотилку, то эффект может быть получен за счет высвобождения трактора МТЗ-80 на прессовании соломы.

Замена измельчения соломы прессованием по результатам наших исследований обеспечила бы экономический эффект от МФА с прессованием 162 руб./га (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Эффективность предлагаемых МФА за счет снижения травмирования зерна

Показатели	Вариант с измельчением соломы (базовый)	Вариант с пресс-подборщиком (предлагаемый)
Дробление зерна, %	0,6	0,4
Микроповреждение зерна, %	20,2	22,0
Урожайность, т/га	5,0	5,0
Стоимость зерна, руб./т	9000	9000
Экономический эффект, руб./га	-	+162

Формула (2.14) стоимости потерь от травмирования зерна в нашей модели будет иметь вид:

$$\begin{aligned} C_{\text{ДрМП}} &= Z \cdot U (0,006 \cdot 0,4 + 0,0012 \cdot 22) = \\ &= Z \cdot U (0,0024 + 0,024) = 0,0264 \cdot Z \cdot U \end{aligned} \quad (2.15)$$

С учетом всех видов потерь зерна от самоосыпания (2.12), прямых за комбайном (2.13), косвенных от травмирования, формула стоимости потерь будет иметь вид:

$$C_{\Pi} = Z \cdot U \cdot \frac{(1,6 \cdot n - 4)}{100} + 1,03 \cdot n + 0,0264 \cdot F. \quad (2.16)$$

Теперь, с учетом C_3 (2.11) и C_{Π} (2.16) зависимость функции затрат и потерь (C_3 , C_{Π}) примет вид целевой функции:

$$\begin{aligned} C_{3\Pi} &= \frac{C_B^k \cdot a_{\text{РТО}}^k}{T_{\Gamma}^k \cdot W} + \frac{C_B^{\text{пп}} \cdot a_{\text{РТО}}^{\text{пп}}}{T_{\Gamma}^{\text{пп}} \cdot W} + \frac{198}{W} + \left(\frac{g_e \cdot Ne \cdot \varepsilon_N \cdot \eta_{\text{МГ}}}{W} + 0,5 \cdot U \right) \cdot 40 + \\ &+ Z \cdot U \cdot \left(\frac{1,6 \cdot n - 4}{100} + 1,03 \cdot n + 0,0264 \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (2.17)$$

Минимальное значение критерия оптимизации функции затрат и потерь $C_{3\Pi}$ позволит установить оптимальные параметры и режимы работы убороч-

ного МФА с одновременным прессованием соломы. В формуле (2.17) W – производительность МФА за 1 час сменного времени. Она определяется по известной зависимости [146].

Определим зависимость τ для нашего МФА.

Определить время цикла уборочного МФА в составе комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика ПРФ-180Б [146]:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{рц}} + t_{\text{хц}}, \quad (2.18)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла, ч; $t_{\text{рц}}$ и $t_{\text{хц}}$ – время, затраченное на выполнение агрегатом, соответственно, двух рабочих и двух холостых ходов, ч:

$$t_{\text{рц}} = \frac{2L_p}{v_p}; \quad t_{\text{хц}} = \frac{2l_x}{v_x},$$

где L_p – рабочая длина гона, км; l_x – длина холостого хода, км; v_p – рабочая скорость движения МФА (принимаяем 5 км/ч); v_x – скорость холостого движения агрегата, также принимаем 5 км/ч.

Значения $t_{\text{рц}}$ и $t_{\text{хц}}$ определяем:

$$t_{\text{рц}} = \frac{2L_p}{5} = 0,4L_p; \quad t_{\text{хц}} = 0,4l_x,$$

в свою очередь, для определения l_x принимаем способ движения агрегата – с расширением прокоса + с правыми и левыми поворотами:

$$l_x = 0,5C + 2R + 2e. \quad (2.19)$$

где C – ширина загона, м; R – радиус поворота агрегата, м; e – длина выезда агрегата, м.

В качестве загона для нашего высокопроизводительного комбайна принимаем размер поля с шириной 500 м и длиной L_p (500, 100, 1500 м), радиус поворота комбайна TORUM-740 принимаем:

$$R = R_{\text{min}} \cdot K_R = 5,2 \cdot 1,4 = 7,2 \text{ м}. \quad (2.20)$$

Длина выезда агрегата (l) для нашего МФА учитывает повышенную кинематическую длину молотилки за счет пресс-подборщика:

$B = l_k = 6 + 5,4 = 11,4$ м, т. е. на 5,4 м больше, чем у комбайна.

Теперь средняя длина холостого пути МФА определяется (2.19) так:

$$l_k = 0,5 \cdot 250 + 14,4 + (6 + 4,1 + 1,3) \cdot 2 = 162 \text{ м.}$$

Время на выполнение двух холостых проходов МФА, приходящихся на один цикл, определяем по выше представленной формуле [146]: $t_{xy} = 0,4 \cdot l_x$ (l_x – в км).

Зная составляющие времени цикла, получим:

$$t_{cy} = t_{pc} + t_{xy} = 0,4L_p + 0,4 \cdot l_x. \quad (2.21)$$

В последнем выражении отсутствует время технологических остановок комбайна, поскольку выгрузка зерна производится на ходу в накопитель-перегрузчик. Поскольку l_x не зависит от длины гона, можно записать выражение времени цикла и использовать его при моделировании:

$$t_{cy} = 0,065 + 0,4 \cdot L_p + t_{xy}, \quad (2.22)$$

Определить число циклов за смену [146]:

$$n_{cy} = (T_{cm} - T_{ETO} - T_{физ}) / t_{cy}, \quad (2.23)$$

где T_{cm} – нормативное время смены (7 ч); T_{ETO} – затраты времени на ежесменное техническое обслуживание комбайна, сцепки и пресс-подборщика, ч; $T_{физ}$ – затраты времени на физиологические потребности механизаторов, ч.

Принимаем согласно [146]: $T_{физ} = 0,25$ ч.

После преобразований определим число циклов:

$$n_{cy} = \frac{(7 - 0,6 - 0,25)}{t_{cy}} = \frac{6,15}{0,065 + 0,4 L_p}. \quad (2.24)$$

Определим составляющие времени смены:

Продолжительность рабочего T_p времени МФА:

$$T_p = t_{pc} \cdot n_{cy}. \quad (2.25)$$

Используя выражения (2.18)–(2.24), получим:

$$T_p = \frac{0,4 \cdot L_p \cdot 6,15}{0,065 + 0,4 L_p}. \quad (2.26)$$

Затраты времени на холостые заезды в течение смены:

$$T_x = t_{\text{хц}} \cdot n_{\text{ц}} = 0,06 \cdot \frac{6,15}{0,065 + 0,4 L_p} \cdot \frac{0,37}{0,065 + 0,4 L_p} \quad (2.27)$$

Определим действительную продолжительность смены $T_{\text{см}}^{\text{д}}$ [146]:

$$T_{\text{см}}^{\text{д}} = T_p + T_x + T_{\text{ЕТО}} + T_{\text{физ}} + T_{\text{техн}}, \quad (2.28)$$

$$T_{\text{см}}^{\text{д}} = \frac{0,4 L_p \cdot 6,15}{0,065 + 0,4 L_p} + \frac{0,37}{0,065 + 0,4 L_p} + 0,6 + 0,25.$$

Окончательно будем иметь $T_{\text{см}}^{\text{д}}$:

$$T_{\text{см}}^{\text{д}} = 0,75 + \frac{0,4 \cdot L_p \cdot 6,25 + 0,37}{0,065 + 0,4 L_p} = 0,85 + \frac{2,5L_p + 0,37}{0,065 + 0,4 L_p}. \quad (2.29)$$

Определим коэффициент использования сменного времени τ [146]:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{\text{см}}^{\text{д}}} = \frac{\frac{2,5L_p}{0,065+0,4 L_p}}{0,85 + \frac{2,5L_p + 0,37}{0,065+0,4 L_p}}. \quad (2.30)$$

Рассмотрим существенность различия производительности предлагаемого МФА в агрегате с пресс-подборщиком соломы ПРФ-180Б и без него, в варианте отдельного прессования дополнительным проходом прессовального агрегата МТЗ-80+ПРФ-180Б. Расчетные данные сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Различия производительности комбайна TORUM-740 с укладкой соломы в валок с одновременным прессованием

Показатель	Варианты агрегатов	
	TORUM-740	МФА
1. Кинематическая длина агрегата l_k , м	6,0	13,1
2. Длина холостого хода агрегата, м	147,4	165,6
3. Время цикла, затраченное на выполнение агрегатом холостого прохода, ч	0,059	0,066
4. Число циклов работы агрегата за смену, $n_{\text{ц}}$	13,6	13,1
5. Действительное время смены, ч	6,7	6,9
6. Коэффициент использования времени смены, τ	0,747	0,77
7. Производительность работы агрегата за 1 час времени смены, га	2,62	2,55
8. Разница в производительности, %		-2,68

Следующим этапом разработки математической модели является обоснование ограничений конструктивных и технологических параметров. В нашей задаче принимаем следующие ограничения параметров для моделирования:

$$Ne \leq 294 \text{ кВт}; B_p \leq 18 \text{ м}; q \leq 14 \text{ кг/с}; \alpha_c \leq 0,5; L_p \leq 1,5 \text{ км}; F \leq 3000 \text{ га}; \\ Z \leq 15000 \text{ руб.}; U \leq 312 \text{ т/га}.$$

Для решения математической модели к нашему МФА разработана блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы (рисунок 2.14).

Блок-схема алгоритма включает 12 операторов, из которых два логических (7 и 11), одни (первые) содержат исходную информацию, а остальные восемь – арифметические. Все исходные данные в алгоритме используются в расчетах, по специально разработанной программе к ЭВМ. Листинг программы представлен в приложении.

Во втором арифметическом операторе вычисляется рабочая ширина захвата B_p агрегата и управление передается третьему для расчета коэффициента использования времени смены τ . Третий оператор передает управление 4-му для расчета часовой производительности W в га, а затем 5-й оператор переводит ее в тонны за 1 час сменного времени.

В шестом арифметическом операторе рассчитывается количество требуемых агрегатов на заданную уборочную площадку F с учетом 12-часового рабочего дня и продолжительности уборки n .

Седьмой оператор логический проверяет соответствие пропускной способности молотилки комбайна заданному интервалу 12-14 кг/с и передает управление следующему восьмому арифметическому, где рассчитывается функция затрат на выполнение объема работ F .

В девятом арифметическом операторе рассчитывается функция стоимости потерь C_{II} урожая за каждый день n уборки.

Десятый арифметический оператор рассчитывает критерий оптимизации – сумму $C_3 + C_{II}$, находит ее минимум, по которому принимается решение в выборе оптимальных параметров и режимов работы МФА.

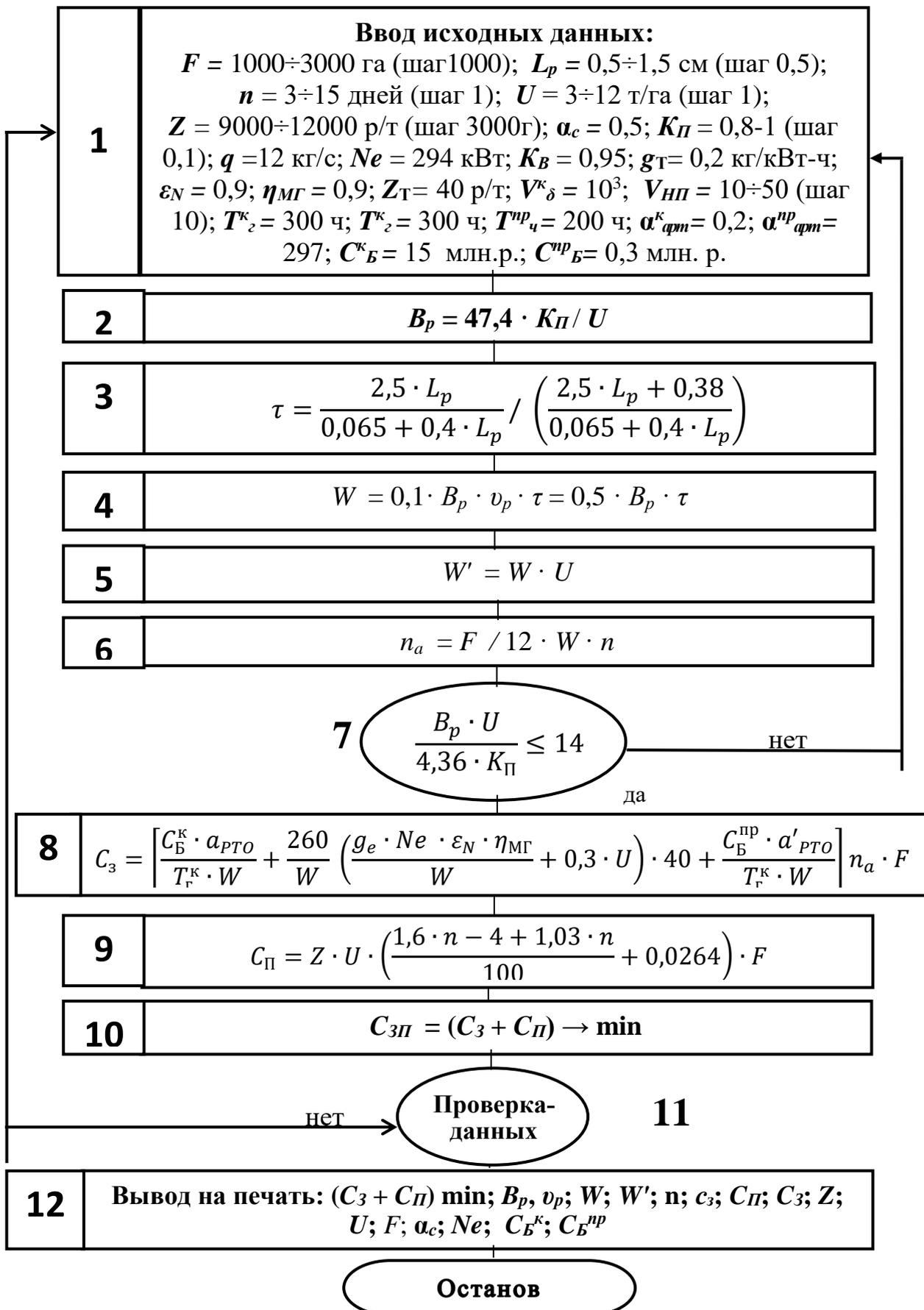


Рисунок 2.14 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы уборочного МФА с одновременным прессованием соломы

Одиннадцатый логический оператор производит проверку выполнения расчетов с использованием всех данных и передает управление двенадцатому, который выводит на печать результаты расчетов, после чего останавливает машину.

2.4 Математическая модель и алгоритм оптимального согласования работы МФА в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ)

Для поточной и ритмичной работы МТА в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ) необходимо точное согласование параметров МФА и накопителя-перегрузчика (НПП) для выгрузки зерна из бункера комбайна и его транспортировки на механизированный ток. Исходные данные для оптимизации состава УТЗ представлены в первом операторе Блок-схемы алгоритма оптимизации (рисунок 2.15).

Рациональная организация работы УТЗ предусматривает одновременную работу на одном поле, строго рассчитанное количество уборочных агрегатов (в нашем случае МФА) и транспортных средств для отвоза зерна. Все это должно быть взаимосвязано с вместимостью бункеров комбайнов и накопителей-перегрузчиков, с их производительностью, с расстоянием перевозок, плотностью зерна и оптимизируется по критерию минимум времени ожидания транспортным средством загрузки кузова зерном.

По известной методике определяется производительность W уборочного агрегата [146]

Рабочую скорость v_p движения агрегата принимаем, как и в предыдущей задаче $v_p = 5$ км/ч согласно рекомендациям КубНИИТиМ [133]. Коэффициент использования рабочего времени смены τ зависит от многих параметров машин, поля и используется в формуле (2.31) при оптимизации. Ширина захвата МФА также оптимизируется и рассчитывается по формуле, представленной в предыдущей задаче:

$$B_p = \frac{36 \cdot K_{\Pi} \cdot K_B}{v_p \cdot U \cdot (1 + \alpha_c)} = \frac{36 \cdot 13 \cdot 0,8 \cdot 0,95}{5 \cdot U \cdot 1,5} = \frac{47,4 \cdot K_{\Pi}}{U}. \quad (2.31)$$

Для нахождения зависимости коэффициента τ , вначале определим расстояние l_3 между пунктами заполнения бункера комбайна зерном [146]:

$$l_3 = n_{\text{рп}} \cdot B_p, \quad (2.32)$$

где l_3 – расстояние, проходимое комбайном до заполнения бункера зерном, км; $n_{\text{рп}}$ – число рабочих проходов комбайна по полю F до заполнения бункера зерном.

Определить время заполнения бункера комбайна зерном:

$$t_{\text{ц}} = \frac{l_3}{v_p} = \frac{V_{\delta} \cdot 0,76}{U \cdot L_p \cdot 5} = \frac{0,152 \cdot V_{\delta}}{U \cdot L_p}. \quad (2.33)$$

Время заполнения накопителя-перегрузчика (где лучше использовать зарубежный Т-740) определится так [146]:

$$t_{\text{НПП}} = t_{\text{выг}} \cdot n_{\delta} + t_{\text{пер}}(n_{\delta} - 1), \quad (2.34)$$

где $t_{\text{НПП}}$ – время заполнения кузова накопителя-перегрузчика, ч; n_{δ} – количество выгружаемых бункеров в накопитель-перегрузчик: $n_{\delta} = V_{\text{НПП}} / V_{\delta}$; $t_{\text{пер}}$ – время переезда от одной уборочной машины к другой ($t_{\text{пер}} = 0,033$ ч); $t_{\text{выг}}$ – время выгрузки одного бункера, ч ($t_{\text{выг}} = 0,033$ ч).

Время движения транспортного средства $t_{\text{дв}}$ определим в зависимости от расстояний $l_{\text{пер}}$ до механизированного тока:

$$t_{\text{дв}} = \frac{2l_{\text{пер}}}{V_T}. \quad (2.35)$$

Определим время цикла $t_{\text{ц}}$ транспортного средства:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{НПП}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{пер}}, \quad (2.36)$$

где $t_{\text{раз}}$ – время разгрузки накопителя-перегрузчика на току ($t_{\text{раз}} = V_{\text{НПП}} \cdot 0,8 / W_i$), ч. Здесь W_i – производительность разгрузчика, т/ч; $t_{\text{пр}}$ – время простоя накопителя-перегрузчика при оформлении документов, ч. Поскольку накопитель-перегрузчик Т-740 снабжен компьютером для учета зерна, принимаем $t_{\text{пр}} = 1,5$ мин = 0,025 ч.

Теперь, после преобразования формулы (2.36):

$$\begin{aligned}
t_{ц} &= [0,033 \cdot n_{\delta} + 0,033(n_{\delta} - 1)] + \frac{2l_{пер}}{25} + 0,8 \cdot \frac{V_{НПП}}{W_i} + 0,25 = \\
&= 0,033 \cdot 2(n_{\delta} - 1) + 0,08 l_{пер} + 0,8V_{НПП} / 700 + 0,025.
\end{aligned} \tag{2.37}$$

Определим необходимое число накопителей-перегрузчиков для обслуживания МФА:

$$M_{НПП} = \frac{t_{ц} n_{к}}{\left(\frac{0,152 \cdot V_{\delta}}{U \cdot L_p} + 0,033\right) \cdot n_{\delta}}, \tag{2.38}$$

где $M_{НПП}$ – число накопителей-перегрузчиков.

Количество комбайнов, одновременно работающих на одном поле, принимаем равным двум (2). Полученное значение $M_{НПП}$ необходимо округлить до целого числа в сторону увеличения, чтобы не простаивали МФА.

После округления $M_{НПП}$ до $M'_{НПП}$ определяется действительное время цикла:

$$t'_{ц} = \frac{n_{к} \left(\frac{0,152 \cdot V_{\delta}}{U \cdot L_p} + 0,033\right) \cdot n_{\delta}}{2}, \tag{2.39}$$

Критерий оптимизации – минимальное время простоя накопителя-перегрузчика в ожидании загрузки определим по формуле [146]:

$$t_{om} = (t'_{ц} + t_{ц}) \rightarrow \min, \tag{2.40}$$

Блок-схема алгоритма состава УТЗ, согласно полученной математической модели, представлена на рисунке 2.16. Ее состав включает 10 арифметических операторов, два логических (7 и 11), первый – по вводу исходных данных и 14-й – по выводу на печать результатов расчета. Во втором арифметическом операторе рассчитывается ширина захвата МФА по специально разработанной нами программе к ЭВМВ. В третьем операторе определяется коэффициент использования времени смены τ , в четвертом – производительность комбайнового агрегата W в га/ч, а в пятом – W' – в т/ч. Далее расчеты передаются на технологический транспорт. В 6-ом арифметическом операторе определяется время загрузки t_3 бункера комбайна V_{δ} , в 7-ом – число бункеров зерна, вмещающих без остатка в кузов накопителя-перегрузчика $V_{НПП}$ и в 8-ом – время работы накопителя-перегрузчика $t_{ц}$

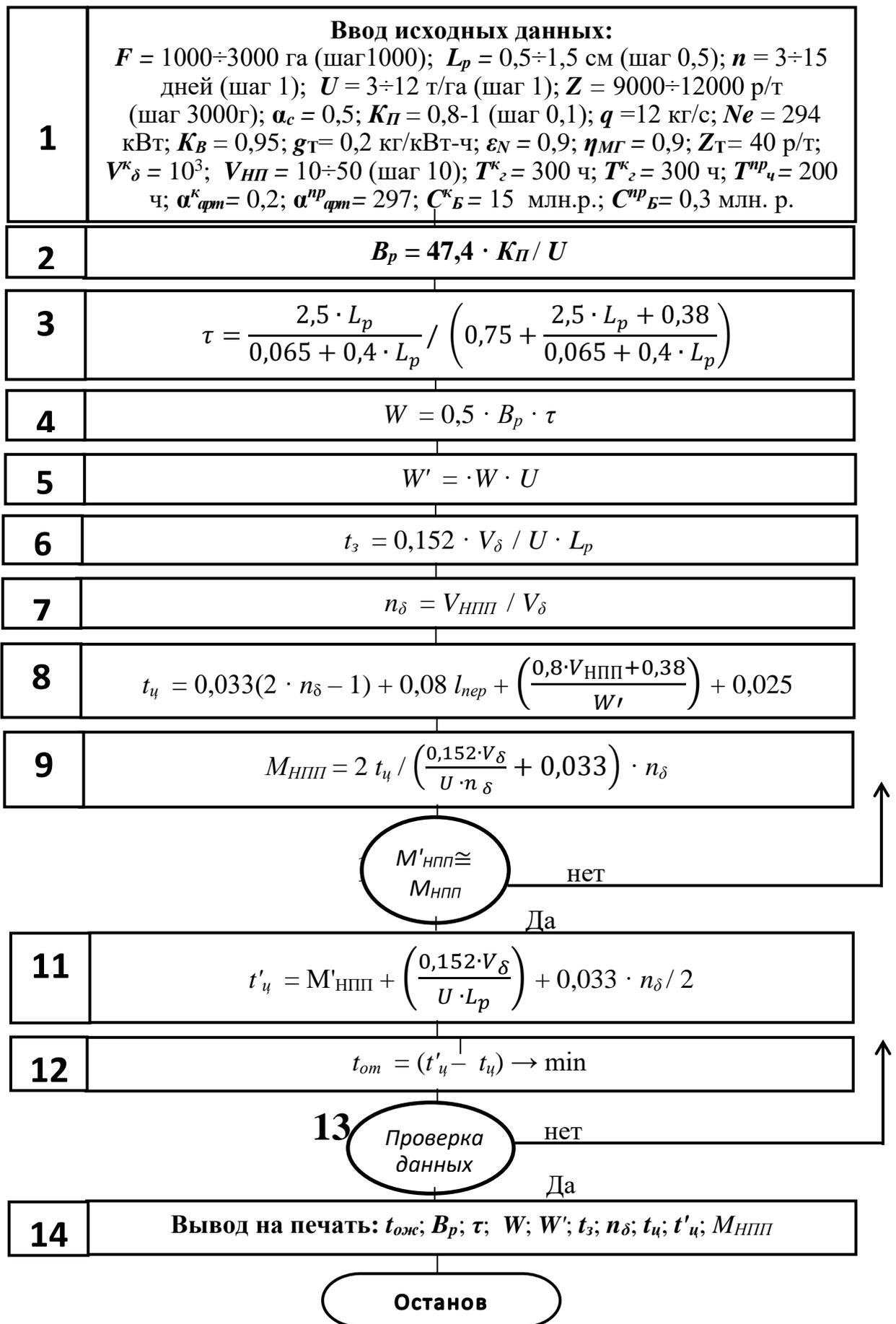


Рисунок 2.15 – Блок схема алгоритма оптимизации состава УТЗ

Далее в 9-ом определяется количество необходимых накопителей-перегрузчиков $M_{НПП}$ для отвоза зерна от двух комбайнов в звене. Результаты расчетов округляются до целого числа в сторону увеличения.

Десятый логический оператор выполняет точность округления $M_{НПП}$ и передает управление 11-му арифметическому для уточнения времени цикла после округления $t'_ц$.

В 12-ом операторе рассчитывается критерий оптимизации $t_{ож}$ – время ожидания загрузки накопителя-перегрузчика, минимальное значение которого и определяет оптимальный вариант.

Тринадцатый логический оператор проверяет полное использование данных исходной информации, а 14-й – выводит на печать оптимальные значения $t_{ож}$; $t'_ц$; $t_ц$, $n_д$; $t_з$; W' ; W ; τ ; B_p . Результаты анализа расчетов помещены в 4-ой главе.

2.5 Выводы по разделу

В результате выполненных теоретических исследований по моделированию уборочного процесса, включая прессование соломы с использованием МФА на базе МЭС с навесным комбайном КЗР "Полесье" полноприводного зерноуборочного комбайна, можно сделать следующие выводы.

1. Разработаны две новые функционально-технологические схемы предлагаемых уборочных агрегатов (МФА) на базе навесного зерноуборочного комбайна с энергосредством "Полесье" (республика Беларусь) и на базе самоходного энергонасыщенного полноприводного комбайна TORUM-740. Указанные МФА за один проход по полю совмещают операции уборки зерна и одновременного прессования соломы прицепным пресс-подборщиком ПРФ-180Б.

2. Синтез уборочного агрегата МФА с одновременным прессованием соломы базируется на трех составляющих: полноприводной самоходный энергонасыщенный зерноуборочный комбайн (рисунок 2.1, а) или МЭС "Полесье",

разработанное нами к комбайну прицепное устройство (рисунок 2.1, в) и пресс-подборщик ПРФ-180Б (рисунок 2.3, б) с системой дистанционного автоматизированного контроля (САК) за работой и управлением.

3. Обоснованы тяговые возможности полноприводного зерноуборочного комбайна для агрегатирования прицепного пресс-подборщика соломы. Теоретически обоснованы тягово-мощностной баланс МФА на выполнение уборки урожая с одновременным прессованием соломы, привод его гидромотора и сцепное устройство для агрегатирования прицепного пресс-подборщика ПРФ-180Б.

4. На основе разработанной математической модели многофункционального уборочного агрегата (МФА) на базе навесного комбайна с энергосредством "Полесье" с использованием планирования эксперимента обоснованы оптимальные его конструктивные и режимные параметры, а также продолжительность уборки пшеницы, которая составила 5 календарных дней, ширина захвата жатки комбайна 5,4 м при оптимальной урожайности зерна 6,8 т/га

5. Моделирование и оптимизация уборочного процесса МФА на базе самоходного зерноуборочного комбайна с одновременным прессованием соломы на уборке пшеницы на основе разработанной математической модели по критерию минимума функции затрат и потерь, блок-схема алгоритма и программное обеспечение для ее реализации позволяет обосновать оптимальные стоимостные параметры уборочного процесса, ширину захвата жатки 5,4 м, мощность двигателя МФА и оптимальную продолжительность уборки 5 дней.

6. Теоретически обоснованы зависимости мощности двигателя N_e , балансовой стоимости, массы комбайна от пропускной способности q комбайна, а также балансовой стоимости и массы пресс-подборщика от его пропускной способности, а также соломистости хлебной массы пшеницы от урожайности зерна. Адекватность полученных зависимостей подтверждена критерием Фишера.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные и лабораторно-полевые исследования проводились для получения исходной информации к моделированию и оптимизации рабочего процесса МФА, а также для подтверждения достоверности результатов теоретических исследований.

Экспериментальными исследованиями предусматривалось выполнение следующего объема работ:

1. Проведение данаометрирования пресс-подборщика соломы ПРФ-180Б для получения зависимости его тягового сопротивления от рабочей скорости движения.

2. Агротехническая, эксплуатационно-технологическая оценка работы МФА на уборке озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы.

3. Определение технологических и посевных качеств зерна озимой пшеницы, убранной МФА, с различными конструкциями молотильно-сепарирующих устройств (МСУ), начиная с отбора точечных проб и кончая определением показателей качества зерна, включая содержание белка и клейковины.

4. Проведение киносъемки технологического процесса работы МФА с пресс-подборщиком соломы ПРФ-180Б.

Все исследования проводили в учхозе "Кубань" КубГАУ на поле № 2 на уборке озимой пшеницы Гром и Ольхон. Для сравнения работы проводились на базе зерноуборочных комбайнов TORUM-740, ДОН-1500Б и TUKANO-480. Изучались и анализировались показатели сравнительной оценки комбайнов:

1. Потери зерна за комбайном.

2. Макро- и микроповреждение зерна в зависимости от типа МСУ (роторной и классической).

3. Проводились лабораторные исследования: масса 1000 зерен, натура зерна, влажность, содержание протеина, стекловидность клейковины, ИДК.

При проведении экспериментальных исследований использованы следующие ГОСТы и стандарты: СТО Аист 2.2-2006 – Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки; ГОСТ 23729-88 и ГОСТ 23730-88 – Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки; ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88 – Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки; ГОСТ 23728-88 «Основные положения и показатели экономической оценки»; ГОСТ 20915-75 и СТО Аист, 2.2-2004 – Техника сельскохозяйственная. Определение условий испытаний машин [28-30].

Потери зерна озимой пшеницы за комбайном определялись путем подсчета потерянных зерен за жаткой и молотилкой комбайна на площади 1 м² с определением их в процентах к урожайности на данном поле. Дробление и чистота бункерного зерна определялись в процентном отношении дробленых зерен к их общему количеству в пробе, а чистота бункерного зерна – отношением массы зерна к общей массе взятой пробы. Использовалась также методика Б. А. Доспехова [35].

Обработка экспериментальных данных проводилась по методике Г. В. Веденяпина [15], а также методом аппроксимации и математической статистики [5, 16, 34]. Методом динамометрирования определялось тяговое сопротивление пресс-подборщика ПРФ-180Б и его зависимость от скорости движения. Баланс рабочего времени смены рабочего МФА определялся по методике КубНИИТиМ [133].

3.2 Оборудование, приборы и аппаратура, применяемые в исследованиях

Для проведения исследований использовали самоходные комбайны TORUM-740, ДОН-1500Б и TUKANO-480, сушильный шкаф, твердомер почвы, бюксы для отбора проб, вешки, секундомер, весы ВЛТК-500.

МФА (рисунок 3.1) – состоит из самоходного полноприводного зерноуборочного комбайна TORUM-740 и подсоединенного к нему через специальное сцепное устройство пресс-подборщика ПРФ-180Б (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Общий вид многофункционального уборочного агрегата в составе комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика ПРФ-180Б и сцепки

Краткая техническая характеристика составляющих МФА (комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика ПРФ-180) приведена в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика комбайна

Наименование показателя	Значение показателя
тип молотильно-сепарирующего устройства	аксиальный роторный молотильно-сепарирующий агрегат с вращающейся декой
Марка двигателя	ЯМЗ-7411
Мощность двигателя, л. с.	400
Ширина захвата жатки, м	7,0
Ширина захвата молотилки, м	1500
Диаметр ротора, м	762
Длина ротора, м	3200
Привод ротора	Гидрообъемный, 2 - скоростной редуктор
Тип деки	Вращающаяся
Частота вращения деки, об/мин	8,0
Площадь сепарации решет, м ²	5,2
Угол охвата деки, град.	360
Вместимость:	
- бункера, м ³	5,2
- топливного бака, л	850

Пресс-подборщик ПРФ-180 (таблица 3.2) выбрали исходя из технических характеристик (таблице 3.2), основной показатель которой – пропускная способность. Общий вид агрегата представлен на рисунке 3.1. Сцепка, изготовленная самостоятельно, представлена на рисунке 3.2 и на рисунке 3.3 – пресс-подборщик ПРФ-180.

Таблица 3.2 – Техническая характеристика пресс-подборщика ПРФ-180

Показатель	Значение показателя
Пропускная способность, кг/с	8,0
Потребная мощность, кВт/мин:	
- холостого хода	11,0
- технологического процесса	22,0
Масса пресс-подборщика, кг	23500
Годовая нагрузка, ч	120

Подключившись к гидросистеме комбайна TORUM-740, мы взяли давление на привод гидромотора пресс-подборщика.



Рисунок 3.2 – Сцепка к комбайну TORUM-740 для агрегатирования пресс-подборщика ПРФ-180



Рисунок 3.3 – Пресс-подборщик соломы ПРФ-180Б к уборочному МФА

Для исследований процесса уборки зерна с одновременным прессованием взяты два самоходных зерноуборочных комбайна TORUM-740 (завод Ростсельмаш, Россия и TUKANO-480 (завод фирмы CLAAS, Германия). TORUM-740 снабжен роторным МСУ, TUKANO-480 – классической схемой, с бильным МСУ и декой (подбарабаньем).

3.3 Методика динамометрирования пресс-подборщика ПРФ-180 в составе МФА

Для определения затрат энергии на выполнение технологических операций проводят энергетическую оценку сельскохозяйственных машин. Данная оценка проводится при точном соблюдении агротехнических требований. Условия проведения энергооценки сельхозмашин должны соответствовать технологическому заданию (ТЗ) и техническим условиям (ТУ), а методы определения – ГОСТ 20915. Средства измерений должны быть проверены в соответствии с требованиями национальных стандартов. Результаты испытаний записывают в специальную форму.

Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки (дата введения 2008-07-01).

На каждом режиме пресс-подборщика выполнялись измерения каждой величины, продолжительностью 20 с.

Допустимые погрешности измерений приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Допустимые погрешности измерений

Показатели	Относительная погрешность измерений
Время измерения, с	$\pm 0,2$
Длина пути, пройденного пресс-подборщиком (50 м)	$\pm 1,0 \%$
Тяговое сопротивление машины, кВт	$\pm 2,5 \%$
Рабочая скорость, м/с	$\pm 2,0 \%$
Количество израсходованного топлива	$\pm 1,5 \%$

Для проведения динамометрирования пресс-подборщика нами совместно с аспирантом Сергунцовым А. С. была изготовлена специальная экспериментальная установка (рисунок 3.4).

Установка навешивается на гидросистему трактора МТЗ-80. На раме установки шарнирно закреплено динамометрическое звено, к которому приварен кронштейн для присоединения снпцы пресс-подборщика. Рама установки

снабжена упором. Между упором и звеном установлен динамометр, над которым на раме закреплена видеокамера.

Работает установка следующим образом.

При движении трактора с рамой и закрепленным к ней пресс-подборщиком динамометрическое звено отклоняется на некоторый угол назад под влиянием тягового сопротивления в течение 20 секунд опыта.



Рисунок 3.4 – Общий вид экспериментальной установки для динамометрирования пресс-подборщика ПРФ-180

Затем полученные экспериментальные данные обрабатываются по методике Г. В. Веденяпина [15]. Результаты испытаний пресс-подборщика и анализ полученной зависимости тягового сопротивления от рабочей скорости движения представлен в разделе 4.

3.4 Методика эксплуатационно-технологической оценки уборочного МФА

Агротехническая оценка МФА проводилась в соответствии с ГОСТ 20915-75, СТО АИСТ 4.2-2004 и СТО АИСТ 8.200-2004.

При эксплуатационно-технологической оценке агрегата были использованы ГОСТы 34055-88 и 24057-88. Испытания проводили при урожайности 65,7 ц/га. Условия проведения испытаний и качество работы машин определяли по ГОСТ 20915-75 и СТО АИСТ 2.2-2004.

Расчет всех показателей проводился во время контрольной смены. (таблица 3.4). Количество всех измерений в течение сменного времени, допустимые погрешности приборов, а так же суммарная погрешность принималась в соответствии с ГОСТ 24055-88.

Таблица 3.4 – Элементы времени смены комбайна TORUM-740

Время основной работы	T_1	$T_1 = \hat{T}_1 = \frac{T_{см} - T_{311} - T_3 - T_7}{1 + l_2 + l_{33} + l_{41}}$	
Время технологического обслуживания (вспомогательное время)	T_2	$T_2 = l_2 \cdot \hat{T}_1$	
Время ежесменного технического обслуживания	T_{311}	$T_{311} = \hat{T}_{311} = \frac{T_{см}}{T_{ЕТО}}$	
Время на проведение наладки, регулировки	T_{33}	$T_{33} = l_{33} \cdot \hat{T}_1$	$l_{33} = \frac{\bar{T}_{33}}{\hat{T}_1}$
Время на устранение нарушения технологического процесса	T_{41}	$T_{41} = l_{41} \cdot \hat{T}_1$	$l_{41} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{41i}}{\sum_{i=1}^h T_{1i}}$
Время на устранение отказа	T_{42}	$T_{42} = l_{42} \cdot \hat{T}_1$	$l_{42} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{42i}}{\sum_{i=1}^h T_{1i}}$
Время на передачу	T_5	$T_5 = \bar{T}_5$	$T_7 = l_7 \cdot T_1$
Технологическое время	$T_{техн}$	$* T_{техн} = T_{1j} + T_{21j} \frac{\hat{l}_1}{l_{ij}} + T_{211j} \frac{\hat{l}_1}{l_{ij}} + T_{222j} \frac{\hat{l}_1}{l_{ij}} + T_{23j} \frac{\hat{l}_1}{l_{ij}} + T_{21j} \frac{\hat{l}_1}{l_{ij}}$	
Сменное время	$T_{см}$	$* T_{смj} = T_{техн} + (\hat{T}_{311} + \hat{T}_{32} + \hat{T}_{33} + \hat{T}_{41} + \hat{T}_5 + \hat{T}_6 + \hat{T}_{71}) \frac{T_{1j}}{\hat{T}_1}$ $T_{см} = \hat{T}_1 + \hat{T}_2 + \hat{T}_{311} + \hat{T}_{32} + \hat{T}_{33} + \hat{T}_{41} + \hat{T}_5 + \hat{T}_6 + \hat{T}_{71}$	$\tau_{ЭК} = l + \tau_2 + \tau_{311} + \tau_{32} + \tau_{33} + \tau_{41} + \tau_5 + \tau_6 + \tau_{71}$ ИЛИ $\tau_{см} = \frac{\hat{T}_{см}}{T_1}$
Эксплуатационное время	$T_{ЭК}$	Проверка баланса сменного времени: $\hat{T}_{см} = \hat{T}_{см,н}$ $\hat{T}_{ЭК} = \hat{T}_{см} + \hat{T}_{см} = \hat{T}_{312} + \hat{T}_{42}$	$\tau_{см} = \tau_{см} + \tau_{312} + \tau_{42}$ ИЛИ $\tau_{ЭК} = \frac{\hat{T}_{ЭК}}{T_1}$

Примечания:

1. Удельные затраты времени $\bar{\tau}_k$ рассчитали по формуле:

$$l_{41} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{ki}, \text{ при этом } \tau_{ki} \text{ рассчитывают по формуле: } \tau_{ki} = \frac{T_{ki}}{T_{ji}}.$$

2. Величины, обозначенные знаком "*", рассчитывают за технологические циклы и только для случая определения эксплуатационно-технологических показателей.

3. Время приведено в часах.

При эксплуатационно-технологической оценке определялись: Производительность агрегата за 1 час; расход топлива на единицу продукции; количество и качество намолоченного зерна.

3.5 Методика оценки качества работы комбайна TORUM-740, TUKANO-480 и ДОН-1500Б в составе МФА

Методика отбора точечных проб и определения качественных показателей зерна.

При отборе проб основным правилом является – все пробы берут на одной глубине и равномерно по всей площади.

Точечные пробы из автомобилей отбирают механическим пробоотборником или вручную щупом. Механическим пробоотборником точечные пробы отбирают по всей глубине насыпи зерна.

Из автомобилей (рисунок 3.5) длиной кузова до 3,5 м точечные пробы отбирают в четырех точках по схеме А, с длиной кузова от 3,5 до 4,5 м – в шести точках по схеме В, на расстоянии от 0,5 до 1 м от переднего и заднего бортов и на расстоянии около 0,5 м – от боковых бортов.

Ручным щупом точечные пробы отбирают из верхнего и нижнего слоев, из верхнего слоя на глубине 10-15 см от поверхности насыпи, а из нижнего слоя – касаясь щупом дна.

Общая масса проб при отборе механическим пробоотборником или ручным щупом по схеме А должна быть не менее 1 кг, по схеме Б – не менее 2,5 кг, по схеме В – не менее 2 кг.

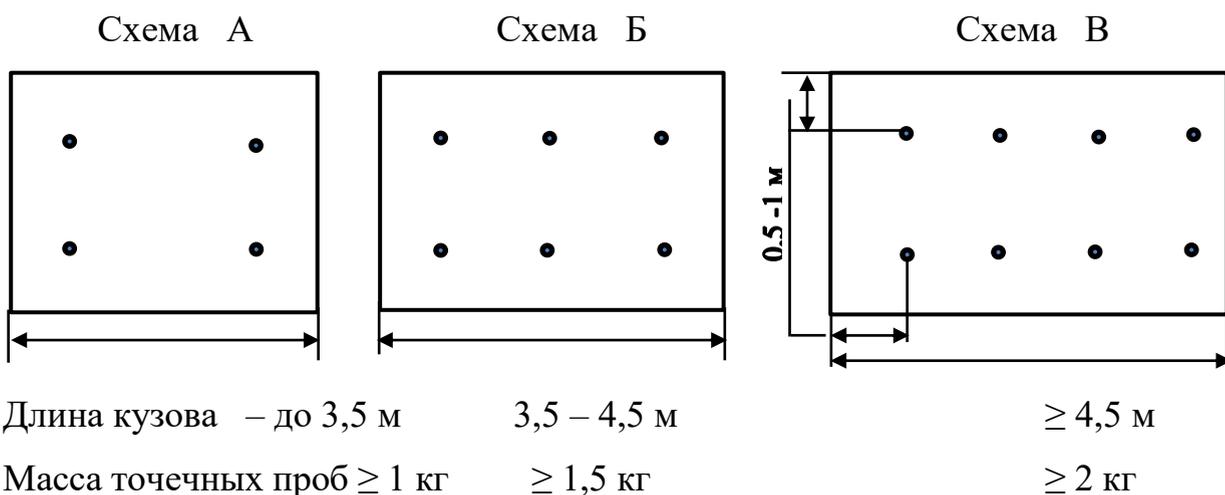


Рисунок 3.5 – Методика отбора точечных проб из автомобилей

Если при отборе ручным щупом общая масса будет менее указанной в тех же точках в среднем слое насыпи, тогда всегда нужно знать массу зерна, отбираемую щупом за один прием.

При использовании ручного щупа желательно соблюдать главное правило и отбирать точечные пробы «конвертом» (рисунок 3.6).

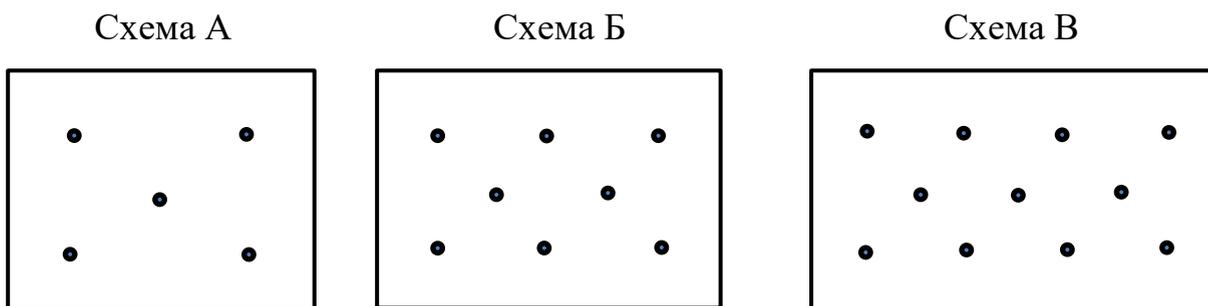


Рисунок 3.6 – Схема отбора точечных проб из автомобиля методом "конверта"

Точечные пробы необходимо отбирать из каждого кузова.

Определение стекловидности с использованием диафаноскопа (рисунок 3.7).

На кассету прибора насыпают зерно, и круговыми движениями распределяют его по всей поверхности, пока зерна не заполнят все ячейки (1000 ячеек).



Рисунок 3.7 – Общий вид прибора диафаноскоп

Лишние зерна аккуратно ссыпают, кассеты вставляют в прибор и включают свет. При помощи рукоятки кассету располагают в световом потоке так, чтобы был виден только первый ряд. Просматривают через окуляр прибора, делают записи о количестве стекловидных и мучнистых зёрен.

К полностью стекловидным зернам просвечиваемые зёрна, а к мучнистым – не просвечиваемые. Зёрна с частично просвечиваемым эндоспермом относят к частично стекловидным зернам и не подсчитывают.

Характеристика полностью стекловидных и полностью мучнистых зерен пшеницы разных типов дана в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Характеристика зерна пшеницы разных типов при их просвечивании на диафаноскопе

Тип зерна	Характеристика	
	полностью стекловидных зерен	полностью мучнистых зерен
1	Зерна светлые, прозрачные, просвечиваются полностью	Зерна темно-коричневые или черные, не просвечиваются
2, 3, 4	Зерна янтарного или желтого цвета, прозрачные, просвечиваются полностью	Зерна темные, не просвечиваются
5	Зерна просвечиваются полностью, но более темные, чем 1-го типа	Зерна очень темные или черные, не просвечиваются

Последний десятый ряд кассеты помечен красной линией.

На данном приборе оптимально проверять стекловидность и мучнистость зерна, выращенного в благоприятных условиях. При проверке важно

понимать, что зерна, попавшие под осадки, теряют цвет и определить стекловидность сложнее, т.к. зерно может не просвечиваться. Фактически обесцвеченное зерно часто сохраняет стекловидную консистенцию эндосперма, что хорошо видно при его разрезе.

Щупы.

В зависимости от назначения щупы различают: вагонные (автомобильные) ЩВ - конусного типа, амбарные (складские) ЩА и мешочные ЩМ - цилиндрического типа. Щупы складские изготавливаются в виде навинчивающихся штанг.

Щупы всех типов вводятся в зерно или продукты закрытыми. На нужной глубине их открывают, и они наполняются продуктом. Конусный щуп ЩВ закрывается и открывается при помощи стержня, проходящего внутри полой штанги, а цилиндрический ЩА - поворачиванием внутреннего цилиндра щупа.

Щупы с навинчивающимися штангами закрываются свободным перемещением конуса на конце штанги: при надавливании (во время ввода в насыпь) конус, прижимаясь к нижней части штанги, закрывается.

Пробы из мешков отбирают щупом в трех доступных точках. Щуп вводят в мешок по направлению к его средней части желобком вниз, затем поворачивают его на 180 градусов и осторожно вынимают. Образовавшиеся в ткани мешка отверстия заделывают, сдвигая нити мешковины острием щупа. (рисунок 3.8).

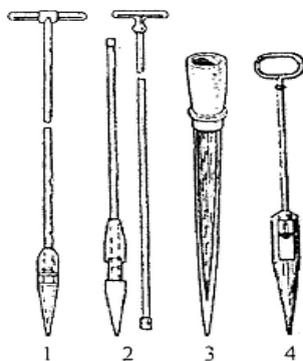


Рисунок 3.8 – Общий вид щупов: 1 – автомобильный; 2 – складской; 2 – мешочный; 4 – вагонный

Анализатор инфракрасный «ИнфраЛЮМ ФТ-10».

Принцип работы «ИнфраЛЮМ ФТ-10» (рисунок 3.9) основан на регистрации спектров поглощения образца с использованием эффективного метода Фурье – преобразования с последующей обработкой с использованием методов множественного регрессионного анализа. «ИнфраЛЮМ ФТ-10» измеряет спектр на нескольких сотнях длин волн. Это значительно улучшает точность анализа за счет большего объема и высокой точности обрабатываемой информации.



Рисунок 3.9 – Общий вид анализатора "ИнфраЛЮМ"

Влагомер зерна Фауна-М Биомер.

Влагомер зерна Фауна-М(рисунок 3.10) представляет собой микропроцессорный прибор, предназначенный для измерения влажности зерна и зернопродуктов, находящихся в бункерах, дозаторах или транспортируемых на ленте конвейера. Высокая рабочая температура эксплуатации датчиков (до +180°C) позволяет встраивать датчики непосредственно в сушильное оборудование.



Рисунок 3.10– Влагомер зерна Фауна–М

Делитель – смешиватель зерна БИС-1

Делитель-смешиватель зерна используется в лабораториях зерновой, зернозаготовительной хлебопекарной, кондитерской и молочной промышленности. БИС-1А (БИС-1) представляет собой металлический цилиндр диаметром 250 мм, в котором функционально различают три части. Верхняя часть имеет приемную воронку вместимостью, примерно, 4,5 кг зерна, с отверстием внизу конуса, которое может открываться с помощью шарового затвора и рукоятки (рычага). Вторая часть, расположенная под воронкой, состоит из двух делительно-смешивающих устройств, размещенных одно над другим. Каждое из устройств состоит из конуса и воронки, соединенных вместе. Зерно, рассыпавшись по поверхности конуса, перемещается и, достигнув его основания, через отверстия попадает в соединенную с конусом воронку. Из нее зерно высыпается на второе делительно-смешивающее устройство, снова перемешивается. (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Делитель – смешиватель зерна БИС-1

Верхняя часть имеет приемную воронку вместительностью, примерно, 4,5 кг зерна с отверстием внизу конуса, которое может открываться с помощью шарового затвора и рукоятки (рычага).

Вторая часть, расположенная под воронкой, состоит из двух делительно-смешивающих устройств, размещенных одно над другим. Каждое из устройств состоит из конуса и воронки, соединенных вместе. Воронка второго устройства имеет отводной патрубок, через который из делителя выводится половина пробы, направляемая для определения натуры.

Нижняя (третья) часть прибора представляет собой еще одно делительно-смешивающее устройство. В него также входят конус и воронка, но уже с двумя выходными каналами. Каждый канал снабжен подвижной заслонкой, позволяющей регулировать количество отделяемого зерна. Для регулирования величины выделяемых навесок в верхней части корпуса укреплен цифровая шкала делительных секторов устройства.

Таблица 3.6 – Техническая характеристика

Объем воронки (при удельном весе зерна 0,75 г/см ³)	4,0-4,5
Среднее время для смешивания зерна и выделения из него навесок, мин	0,5-1,0
Габаритные размеры (диаметр × высота), мм	250×1120
Масса, кг	13,8

1. Пробы зерна из кузова брали при помощи щупов (рисунок 3.9) по ГОСТ 13586.3-2015, методом "конверта" по схеме В. Из общей массы зерна, используя делитель (рисунок 3.12) в этот день были отобраны после каждого комбайна по 10 кг, которые в последующем поделили по 2 кг для исследований.

2. Влажность зерна определяли влагомером (рисунок 3.11) непосредственно после выгрузки по ГОСТ 15366-5.2015, а влажность соломы – в сушильном шкафу ABUTEN-OS по общепринятой методике.

3. Натура и сорность зерновой массы определялась на хлебных весах ПХ-1 (ГОСТ Р 54895-2012).

4. Содержание зерна и сорной примеси в зерновой массе определялось анализом средних проб.

5. Микроповреждение зерна (дробление) определялось визуально в отношении количества поврежденного зерна к целому из пробы 3 тыс. зерен.

6. Микроповреждение зерна от каждого комбайна определялось по общепринятой методике [35] просмотром под лупой 7-кратного увеличения и на диафаноскопе ДСЗ-2М (рисунок 3.7). Рассматривали следующие повреждения: 1) полностью видит зародыш; 2) повреждение зародыша; 3) повреждение оболочки зародыша; 4) повреждение оболочки около зародыша; 5) повреждение эндосперма; 6) внутренние повреждения.

7. Массу тысячи зерен определяли по ГОСТ 150-2014.

8. Показатели качества зерна после созревания определяли на ИнфраЛЮМе ФТ-10 (рисунок 3.10): содержание клейковины, протеина, стекловидности зерна и др.

9. Энергия прорастания и всхожесть семян определялась по ГОСТ 10968-88. Использовалась также методика кафедры растениеводства КубГАУ.

10. Качество клейковины по ИДК по ГОСТ Р 54478-2011. Согласно показаниям прибора, в единицах ИДК клейковину относят к соответствующей группе качества.

Полученные экспериментальные данные обработали методом дисперсионного анализа однофакторного опыта [15, 35].

3.6 Математическая модель оптимизации параметров МФА на базе навесного комбайна «Полесье» на энергосредство УЭС-2-280

Нами предложен МФА (патент), предназначенный для уборки зерновых культур с одновременным прессованием соломы. Он базируется на использовании серийного энергосредства "Полесье" УЭС-2-280А, навесного зерноуборочного комбайна КЗР-10 и пресс-подборщика соломы ППП-1,6 (рисунок 3.12). Комбайн КЗР-10 модернизирован: от него отсоединили устройство для очистки и сбора чистого зерна в бункер, а на его место присоединили пресс-подборщик с приводом от ВОМ энергосредства. Зерновой ворох, выгружаемый в сопровождающее комбайн транспортное средство, перевозится на стационар, где очищается теми же серийными очистителями-накопителями зерна или специальными очистителями по типу канадских МН-230 [24]. Солома укладывается в валок между колесами УЭС-2-280А и прессуется ППП-1,6 в рулоны.

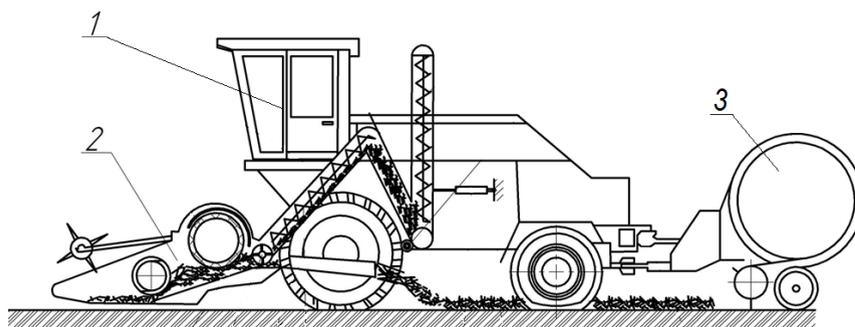


Рисунок 3.12 – Схема многофункционального агрегата (МФА):

1 – универсальное энергосредство УЭС-2-280; 2 – навесной зерноуборочный комбайн КЗР-10; 3 – пресс-подборщик соломы ПРП-1,6

Предлагаемая технология имеет много преимуществ: экономия 1 кг топлива на 1 т зерна [31]; сбор ценной половы безо всяких дополнительных приспособлений к комбайну; увеличение производительности комбайна, что очень важно для своевременной уборки урожая; снижение потерь зерна и др.

Задача нашей работы – обосновать оптимальную продолжительность уборки, а также ширину захвата жатки зерноуборочного комбайна методом планирования трехфакторного эксперимента.

В качестве отклика использовали минимум функции затрат и потерь. [107].

При оптимизации функции затрат и потерь $C_{зп}$ учитывали ширину B_p захвата жатки МФА, урожайность U и количество рабочих дней $n_{рд}$. Для оптимизации параметров МФА использовали симметричный композиционный план типа B_p второго порядка, звездные точки которого равны ± 1 [26-28].

Изучили влияние трех факторов (U , B_p , $n_{рд}$) и фиксировали их значения. Данные представлены в таблице 3.7.

Уровни факторов выбрали таким образом, чтобы оптимальные их значения попадали в центр интервала варьирования [5].

Таблица 3.7 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированные обозначения факторов	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Урожайность зерна U , т/га	x_1	5	2	7	12
Ширина захвата жатки B_p , м	x_2	4	2	6	10
Количество рабочих дней $n_{рд}$, дней	x_3	3	3	8	13

Первый фактор – x_1 (урожайность зерна) варьируется от 2 т/га до 12 т/га.

Второй фактор x_2 (ширина захвата жатки) варьируется от 2 м до 10 м.

Третий фактор x_3 (количество рабочих дней) приняты в интервале от 3 дней до 13 дней, максимально допустимых.

Используя планирование эксперимента, применили уравнение регрессии второго порядка для определения величины отклика (значение функции затрат и потерь), тыс. руб. [25].

$$Y = \sum_{l \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{l \leq i \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{l \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

где b_0, b_j, b_y, b_u – значения коэффициентов уравнения; x_i, x_j – факторы; k – количество факторов.

Важный фактор при оптимизации параметров МФА – рабочая скорость движения агрегата принята постоянной (5 км/ч). Согласно рекомендациям КубНИИТиМ, реализация оптимальной пропускной способности комбайна выполняется изменением ширины захвата жатки B_p (2-10 м).

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии функции $C_{3П}$ затрат и потерь с мнимыми коэффициентами связанными с действительными следующими зависимостями.

Уравнение регрессии 2-го порядка имеет вид:

$$Y = 2784,274 + 1635,2516 \cdot x_1 - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot x_3 - \\ - 847,7625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot x_1 \cdot x_3 - 391,173 \cdot x_2 \cdot x_3 + 779,0165 \cdot X_1^2 + \\ + 570,398 \cdot X_2^2 + 1084,1315 \cdot X_3^2; \quad (3.2)$$

$$x_1 = \frac{X_1 - X_0}{D_1}; \quad x_2 = \frac{X_2 - X_0}{D_2}; \quad x_3 = \frac{X_3 - X_0}{D_3},$$

где x_1, x_2, x_3 – мнимые значения 1, 2, 3-го факторов, соответственно; X_1, X_2, X_3 – действительные значения факторов; D_1, D_2, D_3 – интервалы варьирования факторов.

Преобразовав уравнение 3.2 к каноническому (стандартному) виду, мы упростим его анализ.

Каноническое преобразование заключается в выборе новой системы координат, в которой значительно облегчается геометрический анализ уравнения. Для этого определим центр поверхности второго порядка.

Перенесем начало координат в новый центр, при этом в уравнении (3.2) исчезнут линейные члены x_i . Произведем поворот координатных осей на угол α , при этом в уравнении (3.2) исчезнут члены $x_{i,i}$ [5].

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и, приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений.

Решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика: $x_1 = -0,0434$, $x_2 = -0,1584$, $x_3 = -0,6142$.

Подставив в исходное уравнение (3.2) значения x_1 , x_2 , x_3 , нашли величину параметра оптимизации в центре поверхности отклика Y_S , которое равно 2329,5 тыс. руб. Это значения критерия оптимизации в оптимальной точке (свободный член канонического уравнения).

Определили угол α поворота осей координат поверхности отклика (старых осей) до совмещения с главным осями фигуры, который равен $18,64^\circ$ (рисунки 3.13, 3.14).

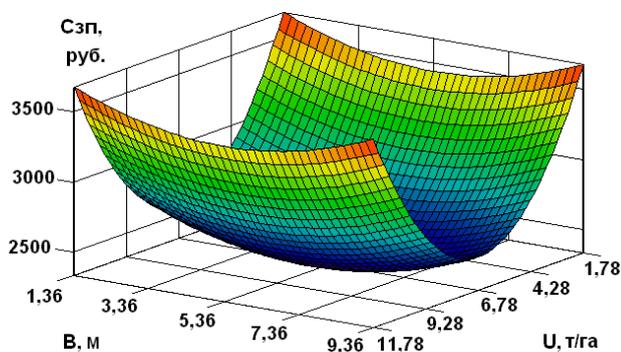


Рисунок 3.13 – Поверхность отклика функции затрат и потерь $C_{3П}$ в зависимости от урожайности и ширины захвата

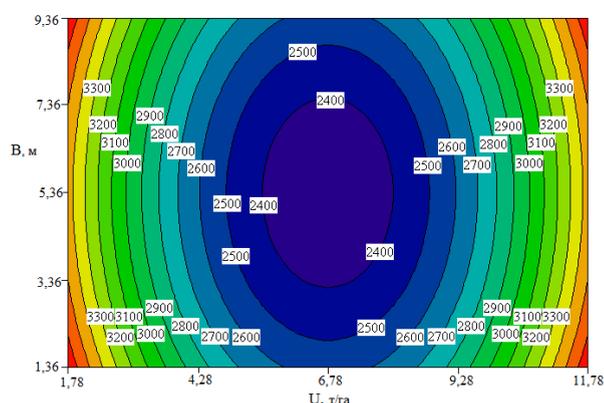


Рисунок 3.14 – Двумерное сечение поверхности отклика функции затрат и потерь $C_{3П}$ в зависимости от урожайности и ширины захвата

Уравнение регрессии канонической формы имеет вид:

$$Y - Y_S = B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2 + B_3 \cdot X_3^2. \quad (3.3)$$

В нашем случае:

$$Y - 2329,5 = 779,01 \cdot X_1^2 + 504,41 \cdot X_2^2 + 1150,12 \cdot X_3^2. \quad (3.4)$$

Для более детального представления о поверхности отклика ее изучили с помощью двумерных сечений (рисунок 3.14).

Рассмотрим сечение плоскостью X_1SX_2 . Для этого в исходное уравнение (3.2) подставим $x_3 = -0,6142$, тогда:

$$\begin{aligned} Y &= 2784,274 + 1635,2516 \cdot x_1 - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot (-0,6142) - \\ &- 847,7625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot x_1 \cdot (-0,6142) - 391,173 \cdot x_2 \cdot (-0,6142) + \\ &+ 779,0165 \cdot X_1^2 + 570,398 \cdot X_2^2 + 1084,1315 \cdot (-0,6142); \\ Y_1 - Y_2 &= 3107,875 - 66,598x_1 + 143,92x_2 + 847,7625xx_2 + 779,016x_1^2 + \\ &+ 570,398x_1^2, \end{aligned}$$

где $Y_{1,2}$ – функция затрат и потерь при взаимодействии 1-го и 2-го фактора, 3-й фактор – в центре плана.

Выполняя каноническое преобразование и решая линейные уравнения, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = -0,0434, \quad x_2 = -0,1584.$$

Подставляя найденные значения x_1, x_2 в уравнение (3.2), определяем значение параметра оптимизации в центре поверхностного отклика. При этом величина отклика составила $Y_{1,2} = 2329,5$ тыс. руб. Угол поворота новых осей α в факторном пространстве относительно начальных равен $38,09^\circ$, а коэффициенты уравнения в канонической форме равны: $B_{11} = 1111,23, B_{22} = 238,18$.

Уравнение регрессии в канонической форме [5]:

$$Y_{1,2} - 2329,5 = 1111,23 \cdot X_1^2 + 238,18 X_2^2. \quad (3.5)$$

Полученная поверхность отклика представляет собой эллиптический параболоид, а ее центр – экстремум. Так как в уравнении (3.5) коэффициенты $B_{11} = 1111,23, B_{22} = 238,18$ имеют положительные знаки, тогда центр поверхности отклика является минимумом. Эллипсоид вытянут по той оси, которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента канонического уравнения (3.5), в нашем случае – по оси X_2 , так как $B_{22} < B_{11}$. Следо-

вательно, в данной паре взаимодействия факторов более существенное влияние на отклик оказывает урожайность.

Рассмотрим сечение поверхности отклика X_1SX_2 , т. е. влияние интервалов варьирования факторов X_2 (ширина захвата) и X_2 (количество рабочих дней) на величину отклика при постоянном факторе X_2 (урожайность). Для этого в исходное уравнение (3.2) подставим $x_1 = -0,0434$.

Уравнение принимает вид:

$$Y = 2784,274 + 1635,2516 \cdot (-0,0434) - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot x_3 - 847,7625 \cdot (-0,0434) \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot (-0,0434) \cdot x_1 - 391,173 \cdot x_2 \cdot x_3 + 779,0165 \cdot (-0,0434)^2 + 570,398 \cdot X_2^2 + 1084,1315 \cdot X_2^2;$$

$$Y = 2714,784 - 59,55 \cdot x_2 + 1269,87 \cdot x_3^2 - 391,173 \cdot x_2 \cdot x_3 + 570,398 \cdot x_2^2 + 1084,1315 \cdot x_3^2.$$

Преобразовав и решив систему линейных уравнений, нашли координаты центра поверхности отклика: $x_2 = -0,1584$; $x_3 = -0,6142$ (рисунок 3.15, 3.16).

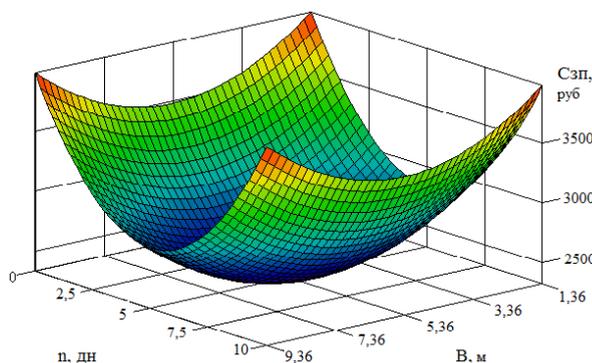


Рисунок 3.15 – Поверхность отклика функции $S_{3П}$ затрат и потерь в зависимости от ширины захвата жатки и количества рабочих дней

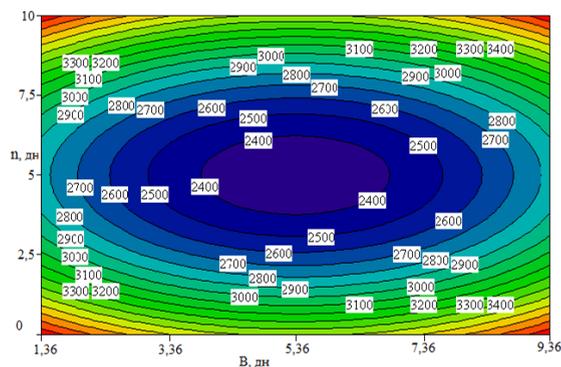


Рисунок 3.16 – Двумерное сечение поверхности отклика функции затрат и потерь $S_{3П}$ в зависимости от ширины захвата жатки и количества рабочих дней

Подставили найденные значения x_2 , x_3 в уравнение (3.5) и определили значения параметра оптимизации в центре поверхностного отклика, когда остальные факторы фиксированы соответственно в точках центра поверхности отклика ($x_2 = -0,1584$; $x_3 = -0,6142$).

Получили значения отклика Y_2 , $Y_3 = 2329,5$ тыс. руб.

Угол поворота новых осей, α в факторном пространстве относительно

начальных равен $-41,86^\circ$, коэффициенты регрессии в канонической форме – $B_{22} = 504,41$, $B_{33} = 1150,12$.

Уравнение регрессии канонической формы примет вид:

$$Y_{2,3} = 2329,5 = 504,41 \cdot x_2^2 + 1150,12 \cdot x_3. \quad (3.6)$$

Полученная поверхность отклика представляет собой эллиптический параболоид (рисунок 3.14), а центр – экстремум. Так как в уравнении (3.6) коэффициенты $B_{22} = 504,41$, $B_{33} = 1150,12$ имеют положительные знаки, то центр поверхности отклика является минимумом. Эллипсоид вытянут по той оси, которой соответствует меньшее значение по абсолютному значению коэффициента канонического уравнения (3.6), в нашем случае – по оси X_3 , так как

$B_{22} < B_{33}$. Следовательно, в данной паре факторов более существенное влияние на отклик оказывает количество рабочих дней.

Канонические преобразования экспериментальной модели, полученной с применением симметричного композиционного плана типа B_k показало, что новые значения середины интервалов варьирования исследуемых факторов в кодированном виде имеют: $x_1 = -0,0434$, $x_2 = -0,1584$, $x_3 = -0,6142$ и переведены в натуральный вид. Их значения составили:

- урожайность $U = 6,78$ т/га;
- ширина захвата $B = 5,36$ м;
- количество рабочих дней $n_{pd} = 5$ дней.

Таким образом, за счет планирования трехфакторного элемента нами установлены: оптимальная продолжительность уборки зерновых культур по предлагаемой технологии – 5 рабочих дней, ширина захвата жатки комбайна 5,4 м при оптимальной урожайности зерна 6,8 т/га.

Важное преимущество предлагаемого агрегата в обеспечении комплексного выполнения работ, так как проводится прессование соломы одновременно с уборкой урожая.

Этот способ значительно эффективнее по сравнению с известными ана-

логами: он менее энергоемок, снижает потери урожая, более производительный, обеспечивает сбор наиболее ценной зерновой части урожая – мякины, снижение потенциальной засоренности полей семенами сорняков, так как они при уборке полностью увозятся с полей, что снижает гербицидную нагрузку на пашню и затраты на гербициды. [107]

3.6 Выводы по разделу

1. Приведен объект исследований методики по качеству работы зерноуборочного комбайна, макро- и микроповреждению зерна.

2. Получена методика проверки на адекватность нужных зависимостей.

3. Математическая обработка результатов экспериментальных исследований выполнялась по методикам Г. В. Веденяпина, Е. В. Вентцель, Б. А. Доспехова и подтвердила достоверность полученных результатов исследований.

4. Разработаны математическая модель и алгоритм оптимального согласования работы уборочного МФА и накопителя-перегрузчика зерна по критерию минимума ожидания времени под загрузку (анализ результатов приведен в 4-й главе).

5. Все разработанные математические модели и полученные теоретические зависимости представляют научную новизну и для такого состава МФА разработаны впервые.

6. Новизна технических решений по теме диссертации подтверждается тремя патентами РФ на полезные модели.

7. Новым решением в разработке функционально-технологической схемы МФА предлагается оснащение ее КГС и САК, которые позволят существенно повысить сохранение почвенного плодородия, повышение производительности и снижение затрат. Применение КГС по нашим расчетам (формула 2.1) снижает удельное давление на грунт в 1,11 раза при замене только передних колес и в 2,2 раза – при установке КГС на оба моста.

8. За счет планирования трехфакторного элемента нами установлены: оптимальная продолжительность уборки зерновых культур по предлагаемой технологии – 5 рабочих дней, ширина захвата жатки комбайна 5,4 м при оптимальной урожайности зерна 6,8 т/га.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Оптимальные параметры и режим работы МФА на базе комбайна TORUM-740 с одновременным прессованием соломы

Все расчеты по моделированию процесса уборки зерновых колосовых культур с одновременным прессованием соломы многофункциональным уборочным агрегатом на базе комбайна TORUM-740 выполнены нами на ПЭВМ по специально разработанной программе к ЭВММ для всего возможного диапазона условий работы агрегата. В первом операторе блок-схемы алгоритма оптимизации производственного процесса (рисунок 2.15) представлен диапазон этих условий. Урожайность зерна изменяется в интервале $3 \div 12$ т/га, уборочные площади F – от 1 до 3 тыс. га в хозяйстве, длина гона L_p – от 5 до 1,5 км, коэффициент K_{II} использования пропускной способности молотилки от 0,7 до 1,0, продолжительность уборки n – от 1 до 15 дней. Напоминаем, что в качестве критерия оптимизации принята функция затрат и потерь C_{3II} , затрат C_3 на выполнение уборки зерна с прессованием соломы с учетом стоимости его потерь от сроков уборки. При минимальном значении критерия C_{3II} находят оптимальные параметры МФА и режим его работы.

В результате выполненных расчетов (рисунок 4.1) нами установлено минимальное значение критерия оптимизации $C_{3II} = 5930,6$ руб./га, для которого обоснованы все конструктивные, технологические параметры и эксплуатационные показатели МФА. Максимальное значение C_{3II} определяется сроками уборки n , от которых зависят стоимость эксплуатационных затрат на его уборку, а также стоимость прямых и косвенных потерь урожая $C_3 = 3162,2$, а $C_{3II} = 2768,4$ руб./га. При этом оптимальная продолжительность уборки n составляет 5 дней (рисунок 4.1), рабочая скорость комбайна 5 км/ч, ширина захвата жатки 9,8 м при урожайности зерна 4 т/га, производительность комбайна 3,5 га/ч, коэффициент использования сменного времени $\tau = 0,71$, количество требуемых МФА на 1000 га уборочной площади равна 5, коэффициент использования пропускной способности молотилки $K_{II} = 0,8$.

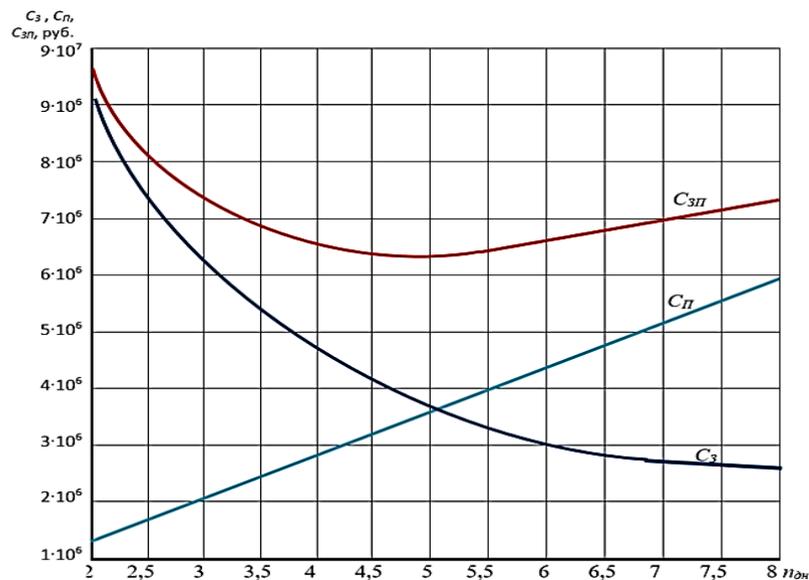


Рисунок 4.1 – График зависимости функции затрат и потерь от продолжительности уборки

Аналогичная задача по обеспечению параметров и режимов работы уборочного агрегата с одновременным прессованием соломы нами решена для другого состава МФА, в котором в качестве тягового средства использовано энергосредство–280 [106] (республика Беларусь), в качестве комбайна – навесной КЗР-10, а пресс-подборщик ПРФ-180, что и в первой задаче.

Решение задачи методом проецирования 3-х-факторного эксперимента (раздел 2.5) позволило определить параметры жатки ($B_p = 5,4$ м), рабочую скорость комбайна $v_p = 5$ км/ч при урожайности $U = 6,8$ т/га и оптимальную продолжительность уборки $n = 5$ дней [106].

Благодаря расчетам по предложенным блок-схемам, нами получены зависимости эксплуатационных и технико-экономических показателей работы агрегата на базе TORUM-740; зависимость производительности МФА от урожайности и ширины его захвата (рисунки 4.2-4.4); зависимость функции затрат и потерь на выполнение уборочных работ от продолжительности n уборки (рисунок 4.1).

Функция затрат и потерь (рисунок 4.1) позволяет установить оптимальную продолжительность уборочных работ – 5 дней, в точке перегиба функциональной зависимости. Эта точка соответствует оптимальным срокам уборки зерновых колосовых, начиная с момента спелости зерна.

Начинать уборку надо в момент прекращения поступления пластических веществ в созревающее зерно и завершать ее в сжатые сроки во избежание потерь от самоосыпания и снижения его качества. Убрав в более сжатые сроки, мы получаем максимальный урожай. По данным исследований, снижение урожая начинается с 3-4-го дня наступления полной спелости и до 25-го дня, когда теряется уже 40 % урожая [41]. Согласно нашей математической модели, оптимальная продолжительность уборки пшеницы должна быть не более 5 дней (рисунок 4.1).

Минимальное значение этой суммы затрат и потерь определяет оптимум продолжительности уборки и все другие параметры (оптимальную ширину захвата B_p жатки, скорость движения v_p , величину оптимальных затрат на уборку C_3 и потерь урожая C_{II}).

Согласно нашим расчетам оптимум n составляет 5 дней, при этом стоимость затрат C_3 составила 3162 руб./га, стоимость потерь урожая $C_{II} = 2768,4$ руб./га, а минимум функции C_{3II} затрат и потерь – 5930,6 руб./га.

На основании моделирования производительности МФА (формула 2.42) получена зависимость ширины захвата B_p от рабочей скорости v_p и урожайности U зерна при значениях производительности 20 т/га. На рисунке 4.2 такая зависимость представлена.

Для любого сочетания скорости, ширины захвата комбайна и урожайности зерна можно прогнозировать производительность МФА. Главное ограничение производительности – это величина потерь урожая, которая не должна превышать 1,5 % (приведенная пропускная способность молотилки комбайна).

Взаимосвязка ширины захвата B_p , скорости v_p , и урожайности U представлена на рисунке 4.2, чем выше скорость движения при одной урожайности, тем меньше ширина захвата жатки. В зависимости от урожайности зерна (рисунок 4.2) также закономерно снижается ширина захвата жатки: при скорости 5 км/ч и производительности комбайна 20 т/ч ширина захвата B_p для урожайности зерна 3 т/га составит 12 м, при урожайности 6 т/га – 7 м и при урожайности 8 т/га уже 5 м.

С учетом пропускной способности молотилки комбайна q ширина захвата B_p жатки также зависит от урожайности зерна U и рабочей скорости движения v_p (рисунок 4.3).

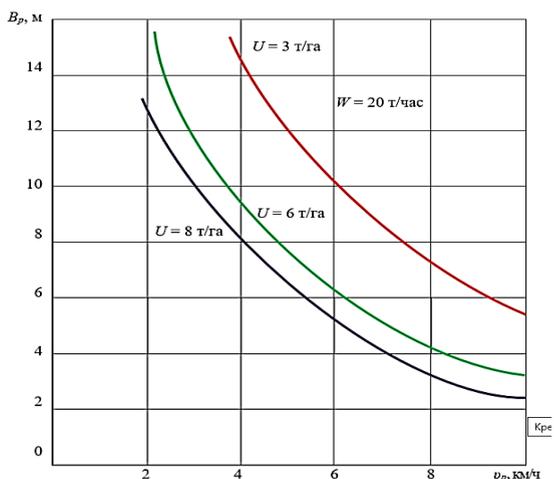


Рисунок 4.2 – График зависимости B_p от v_p и U при $W = 20$ т/га

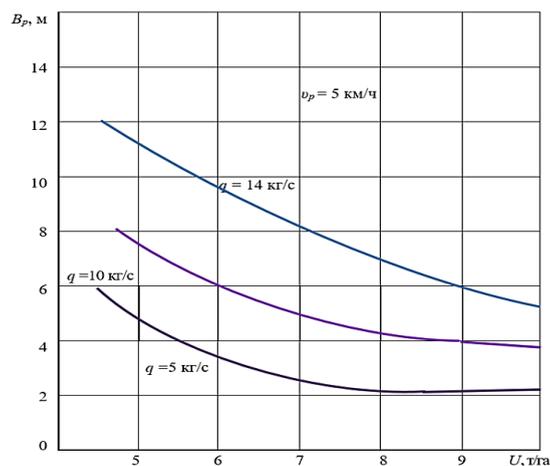


Рисунок 4.3 – График зависимости B_p от U и q при $v_p = 5$ км/ч

Если принять рабочую скорость 5 км/ч, урожайность 5 т/га, то для пропускной способности молотилки 5 кг/с потребуется жатка 5 м, при $q = 10$ кг/с – жатка 7,5 м и при $q = 14$ кг/с – 11,2 м.

Зависимость коэффициента использования времени смены τ (рисунок 2.3) от рабочей длины гона позволяет учитывать ее при моделировании критерия оптимизации нашей задачи.

В результате выполненных расчетов нами установлено: минимальное значение целевой функции затрат и потерь $C_{ЗП}$, оптимальная продолжительность уборки n , урожайность зерна U . Уборочная площадь F , длина гона L_p , ширина захвата жатки B_p при оптимальной рабочей скорости движения МФА v_p и приведенной подаче хлебной массы $q_{пр}$, производительность агрегата W за 1 час сменного времени, масса G_k и стоимость C_B комбайна, требуемое количество комбайнов для уборки заданной площади F в оптимальные сроки $n = 5$ дней, все эти показатели сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Оптимизация параметров, режим работы МФА и продолжительность уборки зерна с одновременным прессованием соломы

№ пп	Параметры и показатели	Значение параметров и показателей	
		фактические	оптимальные
1	Критерий оптимизации, $C_{3П}$	6053,0	5931
2	Оптимальная продолжительность уборки урожая n , дн.	5	5
3	Оптимальная урожайность зерна U , т/га	6,0	4,0
4	Уборочная площадь F , га	1000	1000
5	Длина гона L_p , м	1500	1500
6	Мощность двигателя N_e , кВт	294	294
7	Масса комбайна G_k , кг	18840	18840
8	Стоимость комбайна C_b , тыс. руб.	15000	15000
9	Ширина захвата жатки, м	6,8	9,8
10	Рабочая скорость движения v_p , км/ч	4,9	5,0
11	Приведенная подача МСУ q_{np} , кг/с	12	12
12	Производительность агрегата W , за 1 час сменного времени: га/ч ; т/ч	2,5 ; 15,0	3,5; 14,0
13	Удельный расход топлива: кг/га ; кг/т	19,8; 3,3	13,7 ; 3,40
14	Потребное количество комбайнов, шт.	5,0	5,0
15	Стоимость затрат C_z , тыс. руб.	3229,0	3162,2
16	Стоимость потерь урожая $C_{п}$, тыс. руб.	2823,8	2768,4
17	Закупочная стоимость зерна Z , руб./т	9000	9000
18	Соломистость хлебной массы $\alpha_{ср}$	0,5	0,5
19	Емкость зернового бункера, м ³	10,5	10,5

4.2 Эксплуатационно-технологическая оценка уборочного МФА

Эксплуатационно-технологическая оценка агрегата в работе проведена по ГОСТ 34055-88, ГОСТ 24057-88, ОСТ 108.1-99 и СТО АИСТ 10.8.22-2003. Она предусматривала следующие виды оценок: агро-техническую, эксплуатационно-технологическую и экономическую. Исследования выполнялись в учхозе "Кубань" КубГАУ в 2016 и 2017 годах на уборке двух сортов озимой пшеницы: Гром и Ольхон. Условия испытаний приведены в таблице 4.2, а техническая характеристика МФА – в таблице 3.1.

снабжено компенсационным устройством для увеличения тягового усилия комбайна с подключением от гидропривода на задние колесца заднего управляемого моста. Такая конструкция зерноуборочного комбайна позволит ему работать в качестве тягового энергосредства, обеспечивая уборку зерна и пресование соломы.

Эксплуатационно-технологическая оценка выполнена нами с применением хронометражных наблюдений за работой агрегата в течение контрольной смены. Вышеуказанные параметры приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Агротехнические показатели при лабораторно-полевых испытаниях МФА

Показатель времени	Значение показателя по виду работ			
	прямое комбайнирование озимой пшеницы			
	TORUM-740		TUKANO-480	
	ч	%	ч	%
Время основной работы	5,22	74,57	5,30	75,71
Время на повороты	0,12	1,71	0,13	1,86
Время на переезды на рабочем месте	0,00	0,00	0,00	0,00
Время на выгрузку зерна	0,54	7,72	0,52	7,43
Время на другие вспомогательные операции	0,00	0,00	0,00	0,00
Время на ежесменное техническое обслуживание комбайна	0,13	1,86	0,08	1,15
Время на подготовку и окончание работ	0,05	0,71	0,05	0,71
Время на проведение наладки и регулировки	0,01	0,14	0,00	0,00
Время на устранение технологических неисправностей	0,00	0,00	0,00	0,00
Время на отдых	0,65	9,29	0,65	9,29
Время на холостые переезды	0,27	3,86	0,27	3,85
Время на ежесменное техническое обслуживание жатки	0,01	0,14	0,00	0,00
Итого – сменное время	7,00	100,00	7,00	100,00
Время на периодическое техническое обслуживание	0,00	-	0,00	-
Время на устранение технических отказов и повреждений	0,00	-	0,00	-
Итого – эксплуатационное время	7,00	-	7,00	-
Коэффициент τ использования сменного времени	0,75		0,76	

Анализ баланса времени смены позволяет сделать вывод, что основной работы МФА оставило 5 %. Остальные составляющие баланса времени смены так же находятся в пределах, допустимых нормативами.

Баланс времени работы МФА позволил определить все необходимые эксплуатационно-технологические показатели его работы (таблица 4.4-4.5).

Агротехнические показатели качества работы УПА представлены в таблице 4.4. Агрооценка проведена по ОСТ 70.8.1-81. В числителе таблицы приведены результаты эксперимента 2016 г, в знаменателе – 2017.

Согласно выполненной агрооценке, комбайн TORUM-740 в составе МФА и пресс-подборщик ПРФ-180 полностью отвечают агротребованиям на уборку зерна и прессования соломы. А главное, выполняется основная задача – убрать урожай в агротехнические сроки и запрессовать солому в рулоны, тем самым сократить затраты и сроки работы.

Таблица 4.4 – Агротехнические показатели качества работы УПА

Показатель	Значение показателя
Рабочая скорость движения, км/ч	4,9
Высота стерни, см	17,6/19,2
Масса стерни, г/м ²	360,0/380,0
Потери зерна за жаткой, %, всего	0,5/0,2
в том числе: свободным зерном	0,1/0,1
зерном в несрезанных колосьях	0/0
зерном в срезанных колосьях	0,1/0,1
Потери зерна за молотилкой, %	1,04/1,03
Рабочая ширина захвата жатки, м	6,8/6,8
Качество зерна из бункера, %:	
чистота зерна	97,0/98,0
дробление зерна	0,3/0,3
Содержание сорной примеси, %:	
в том числе: органической	0,3/0,3
минеральной	0/0
Потери соломы пресс-подборщиком	0/0
Глубина колеи от прохода комбайна, см	
Удельное давление на почву, КПа	128,0/128,0
Твердость почвы по следу колес комбайна, МПа	3,4/3,4

При эксплуатационно-технологической оценке (таблица 4.5) была определена номинальная производительность комбайна TORUM-740 при уровне

потерь 1,5 %, которая составила 20,43 т/ч (3,4 га/ч) (рисунок 4.4).

Таблица 4.5 – Эксплуатационные показатели работы зерноуборочных комбайнов с разными конструкциями МСУ

Наименование показателя	Сравниваемые комбайны	
	TORUM-740 (роторный)	TUKANO-480 (бильный)
Ширина захвата, м	6,8	7,2
Скорость движения, км/ч	4,9	4,8
Высота стерни, см:	17,6	19,2
стандартное отклонение, ± см	2,4	2,7
коэффициент вариации, % за час основного времени	12,1	14,1
Производительность за 1 ч основного времени, т/ч / га/ч	20,0/3,4	20,7/3,45
Потери зерна за жаткой, %:	0,20	0,8
в том числе: свободным зерном	0,10	0,1
в срезанных колосьях	0,10	0
Общие потери зерна за комбайном, %	1,24	1,03
Дробление зерна, %	0,334	3,4
Чистота бункерного зерна, %	98,0	99,0
Содержание сорной примеси	0,3	0,3
в том числе: органической	0,3	0,3
Удельное давление на почву, кПа	128	120
Глубина колеи от колес	4,0	3,2
Твердость почвы по следу колес, МПа	3,4	3,2
Потери соломы пресс-подборщиком, %	0	-
Удельный расход топлива, кг/т	3,3	2,1

В соответствии с ТУ, при коэффициенте использования сменного времени равном 0,75, производительность за час основного времени составила 20 т. При этом рабочая ширина захвата жатки составила 6,8 м, средняя скорость движения – 5,0 км/ч, потери зерна – 1,2 %.

Коэффициент использования эксплуатационного времени составил также 0,75, а эксплуатационная производительность 15,3 т/ч при коэффициенте технической готовности $K_2 = 1,0$ и уровне потерь зерна 1,5 % работы составил 19,8 кг/га или 3,3 кг/т.

Важно отметить, что дробление зерна в бункере составило 0,38 % у роторного МСУ, что в 10 раз меньше, чем у комбайна с классической молотилкой (3,38%). Комбайн TORUM-740 надежно выполнял технологический процесс, коэффициент надежности выполнения технологического процесса равен 1.

Показатели качества работы комбайна были взяты исходя из потерь за комбайном: суммарные потери при нормативе ТУ не более 2,0 % составили 1,24 %, в том числе: за молотилкой – 1,04 % и за жаткой – 0,20 % при нормативе ТУ не более 0,5 %, содержание сорной примеси 0,3 % при нормативе ТУ не более 2,0 %. Результатами испытаний установлено, что конструкция комбайна зерноуборочного самоходного TORUM-740 отвечает требованиям ГОСТ 12.2.019-2005 и ГОСТ ЕН 632-2003 (п. 6.2.1), а также ТУ и НД, он принят нами для состава МФА.

На основании эксплуатационно-технологической оценки МФА от урожайности 6 т/га получены следующие экспериментальные данные (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Эксплуатационно-технологические показатели МФА при урожайности 6 т/га

Показатель	Значение показателя		Процент сходимости результатов
	экспериментальное	теоретическое	
Рабочая скорость движения, км/ч	4,9	5,0	2,0
Рабочая ширина захвата, м	6,8	7,9	13,9
Производительность МФА за один час основного времени, га/ч	2,5	2,8	10,7
Удельный расход топлива, кг/га	19,8	19,5	1,5
Прямые потери зерна за комбайном, %	1,43	1,24	13,3

Анализ полученных теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что их сходимость находится в интервале 1,5-13,9 %. Наибольшее расхождение имеет место 13,9 % по ширине захвата жатки. Это объясняется тем, что при эксплуатационно-технологической оценке применялась серийная жатка с конструктивной шириной захвата 7 м к зерноуборочному комбайну TORUM-740. Это повлияло так же и на производительность комбайна (2,5 га/ч – экспериментальная и 2,8 га/ч – теоретическая, разница 10,7 %). При большей ширине захвата жатки (8 м) различия данных практически бы не было.

Велико также различие (13,3 %) по прямым потерям зерна за комбайном (1,43 и 1,24 % к урожаю), но в обоих вариантах они не превышают допустимые потери по агротребованиям [60]. Разница же теоретических и фактических потерь за комбайном (рисунок 4.4) зависит от состояния хлебной массы и точности подсчета зерен за комбайном.

Энергетическая оценка МФА с использованием расчетных и фактических данных, полученных при эксперименте. Цель работы – получить значение энергоёмкости рабочего процесса МФА и сходимость расчетных и фактических технико-эксплуатационных показателей. Фактические и расчетные эксплуатационно-энергетические показатели работы МФА представлены в таблице 4.7.

При расчете удельных затрат совокупной энергии на уборке использованы результаты лабораторно-полевых испытаний МФА. Их величина фактическая – 913,3 МДж/т, а расчетная – 898 МДж/т (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Эксплуатационно-энергетические показатели работы МФА с комбайном

Показатель	Значение показателя	
	фактическое	расчетное
Режим работы МФА:		
скорость движения, км/ч	4,9	5,0
ширина захвата МФА, м	6,8	7,9
производительность МФА по аналоговому времени, т/ч	20,0	23,7
Расход топлива за 1 час смены, кг/т	19,8	2,3
Удельные энергозатраты, МДж/т	913,3	89,8
Тяговое сопротивление машины ПРФ-180Б, кН	2,1	2,0
Устойчивость движения агрегата на рабочей скорости, 5 км/ч:		
среднеквадратичное отклонение σ , \pm км/ч	$\pm 0,2$	
коэффициент вариации ν , %	4,0	

Она включает затраты совокупной энергии на уборку зерна прямым комбайнированием с прессованием соломы ПРФ-180Б.

Фактические удельные затраты 913,3 МДж/т отличаются от теоретических 898 МДж/т на 1,7 %, что свидетельствует о достаточной сходимости результатов.

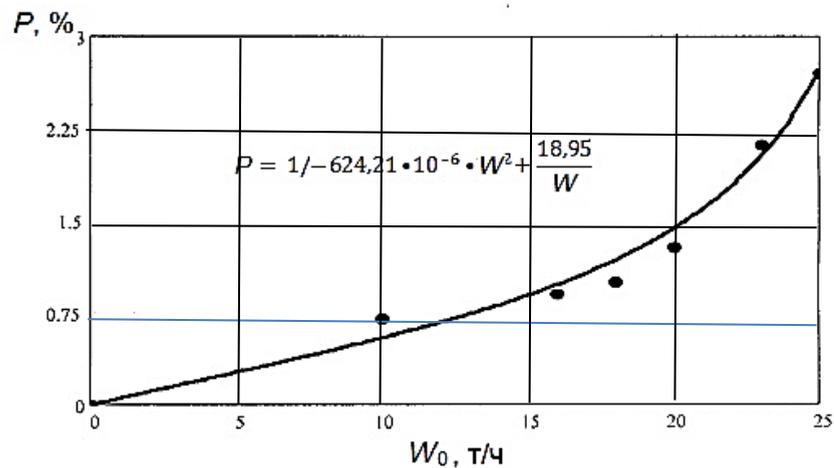


Рисунок 4.4 – График зависимости потерь зерна от часовой производительности комбайна

Как показали исследования, в полевых условиях среднее квадратичное отклонение σ составило 0,2 км/ч, а коэффициент вариации $\nu = 4,2 \%$.

4.3 Качество работы комбайна TORUM-740 в составе МФА и качество зерна

В разделе 2.1 обоснован выбор самоходного комбайна TORUM-740 в составе МФА для уборки зерна с одновременным прессованием соломы. Здесь очень важны его энергонасыщенность, полный привод, особенности конструкции МСУ. К тому же в процессе исследований нами выявлено еще одно оригинальное преимущество комбайна TORUM-740 – это снижение травмирования зерна при уборке: в 10 раз снижается дробление зерна по сравнению с бильными МСУ и на 8-12 % – микроповреждение по сравнению с бильными МСУ, определяющими потери урожая и качество зерна. Качество работы комбайна TORUM-740 можно проследить на примере показателей таблицы 4.8.

Современные комбайны допускают большие потери зерна до 10 % [8], а также макро- и микроповреждение [37]. В среднем дробление составляет 1,5-6 % [136], а микроповреждение пшеницы – 6,2-48,7 % [136].

Сюда также надо отнести дробление 2-3 % и микроповреждение 10-25 % зерноочистительными агрегатами типа ЗАВ-40. В масштабах страны это приводит к большим потерям урожая: 1 % дробления равноценен 0,1 % потерь зерна распылом, 1 % микроповреждения – 10 кг/га потерь урожая [136].

Таблица 4.8 – Показатели качества выполнения технологического процесса комбайном TORUM-740

Показатель	Значение показателя	
	по ТУ	по данным испытаний
Высота среза:		
установочная, см	5; 9; 12; 16	15
средняя фактическая, см	19,5; ± 1,5 см	14
среднее фактическое отклонение, ± см		± 1,0
коэффициент вариации		18,0
Минимальная высота среза, см	5,5 ± 1,5	5,0
Суммарные потери зерна за комбайном, %	не более 2/2*)	1,24
в том числе потери за молотилкой	не более 1,5	1,04
Качество зерна из бункера комбайна, %:	не более 2/2*)	0,20
дробление зерна		
сорная примесь	не более 2	0,340,34
Потери зерна распылом, %		0,03
Микроповреждение, %		17,2

Напрашивается вывод, что можно повысить валовые сборы и качество зерна только за счет снижения дробления и микроповреждения их машинами.

Нашими исследованиями установлены прямые и косвенные потери урожая зерна озимой пшеницы после комбайнов с различными конструкциями МСУ (роторными и бильными).

Исследования по качеству зерна после МСУ различных конструкций проводили в учхозе "Кубань" КубГАУ. Сравнивая зерно, обмолоченное роторным (TORUM-740), бильным (TUKANO-480) и (ДОН-1500Б) МСУ.

Для исследования качества из бункера были взяты семена, выделенные в лаборатории из проб зерна, убранного разными комбайнами, и семена, выделенные из зерновой массы со всего поля в учхозе, на току.

При анализе семян из шести видов микроповреждений были найдены два – зерновки с полностью выбитым зародышем и микротрещинами эндо-

сперма. Это во многом объясняется сортом пшеницы и условиями уборки урожая. Микротрещины эндосперма хорошо видны при просвечивании зерновок на диафаноскопе ДСЗ-2М. Их можно разделить на 4 группы: 1 – внутренние трещины в эндосперме около зародыша, затрагивающие зародыш по прямой или косой линии; 2 – внутренние прямые трещины (от одной до трех) поперек или наискосок эндосперма; 3 – микротрещины в эндосперме вдоль зерновки; 4 – микротрещины самой разнообразной формы в любой части эндосперма.

В таблице 4.9 приведены показатели массы 1000 зерен и микроповреждения зерновок.

Данные таблицы 4.9 показывают равноценность массы 1000 зерен во всех вариантах. Микроповреждения семян наибольшие при работе комбайна TUKANO-480, а наименьшие – при работе комбайна TORUM-740. Семена учхоза "Кубань" из зерновой массы, убранной обоими комбайнами, по микроповреждениям зерновок занимают промежуточное положение. Разница в микроповреждениях зерна между всеми вариантами значима, и сами эти повреждения зависят от работы комбайна на 90 %.

Таблица 4.9 – Масса 1000 зерен и микроповреждения зерновок (2016 г)

Варианты	Масса 1000 зерен	Микроповреждения зерновок, %	
		всего	зародыш
Семена из урожая зерна, убранного комбайном TORUM-740	47,46	21,1	7,6
Семена из урожая зерна, убранного комбайном TUKANO-480	47,36	29,5	11,4
Семена учхоза	47,27	25,3	9,3
НСР ₀₅			
Влияние факторов, %:			
повторений	54,7	0,3	0,2
вариантов	7,3	99,3	99,2
случайных	38,0	0,4	0,6

Зерно дозревает после уборки, т.е. происходит вторичный синтез веществ: сахар переходит в жир и крахмал, небелковый азот – в белковый, жирные кислоты и глицерин - в жиры. Этот переход простых веществ в сложные улучшает все качества зерна. Важнейшими условиями, влияющими на вторичный синтез веществ, являются влажность зерна и температура. Желательно,

чтобы влажность зерна была не более 14 %, а температура окружающей среды +15-30 °С. Влажность зерна и температура были благоприятны для послеуборочного дозревания зерна.

Результаты наших исследований четко подтверждают отрицательное влияние повреждения зерна на энергию прорастания и всхожесть семян.

В таблице 4.10 отображены показатели микроповреждения зерновок, полученные нами при проведении анализа зерновой массы без сорной примеси.

На рисунке 4.5 представлены изучаемые конструкции МСУ и показатели повреждения зерна.



Дробление зерна, %		
3,7	4,46	0,37
Микроповреждение, %		
28,5	23,5	17,2
Общие потери, %		
2,2	3,354	1,85
Производительность комбайна, т/ч		
17,6	26,7	34,5
Удельный расход топлива, кг/т		
1,75	1,6	1,38
Удельная энергоёмкость, МДж/т8,52		
9,83	9,78	
Себестоимость зерна, руб./т		
448,1	1037,4	622,02
Всхожесть семян, %		
94	81,8	96,1

Рисунок 4.5 – Внешний вид МСУ и результаты качества работы МСУ различных комбайнов

Плющенных зерновок практически не было, что объясняется низкой влажностью зерна (12,2-12,4 %) при уборке.

Высокое содержание зерна по содержанию белка и сырой клейковины так же обеспечил комбайн TORUM-740 с роторной молотилкой (таблица 4.11).

Благоприятное послеуборочное дозревание зерна после роторных МСУ существенно повысило технологические и косвенные качества семян озимой пшеницы.

Представленные в таблице 4.11 данные наглядно показывают существенные преимущества TORUM-740, как энергосредства в составе МФА.

Таблица 4.10 – Микроповреждения зерновок при уборке зерна пшеницы разными комбайнами

Варианты	Микроповреждение зерна, %				
	всего	зерно, битое вдоль	зерно, битое поперек		
			всего	битое на 2 или 3 части	с обломанным кончиком+кончик
Уборка урожая комбайном TORUM-740	0,38	0,17	0,21	0,05	0,16
Уборка урожая комбайном TUKANO-480	3,38	1,31	2,07	0,38	1,69
НСР ₀₅	0,1	-	-	-	-
Влияние факторов, %: повторений	0,1	-	-	-	-
вариантов	99,8	-	-	-	-
случайных	0,1	-	-	-	-

В числителе приведены данные уборки сорта Гром, не относящегося к сильным, а в знаменателе – сильного сорта Ольхон селекции Краснодарского НИИСХ.

Таблица 4.11 – Влияние механического повреждения зерна пшеницы (2016-2017 гг.)

Варианты	Марки комбайнов с различными МСУ	
	TORUM-740	TUKANO-480
Дробление зерна, %	0,38/0,37	3,38/4,41
Микроповреждение зерна, №	21,2/17,2	29,38/23,5
в том числе с выбитым зародышем	7,6/0,012	11,4/0,162
Лабораторная всхожесть семян, %	88/96,1	86,1/91,8
Энергия прорастания, %	95,4	77,7
Содержание протеина, %	12,4/17,8	11,4/14,2
Содержание сырой клейковины, %	18/26,6	15,3/23,2
Класс зерна	4/3/2	5/3/3
Стекловидность зерна, %	81,9	69,7

К числу преимуществ качественных показателей зерна по роторной

МСУ (дробление, микроповреждение, лабораторная всхожесть, энергия прорастания, содержание протеина и сырой клейковины. Особо следует обратить внимание на возможность полученной послеуборочной сортировки на продолговатых решетках $2,5 \times 20$ мм. Однако, этого не удалось добиться при использовании бильного МСУ по причине сильного макро- и микроповреждения.

4.4 Методика инженерного расчета МФА с одновременным прессованием соломы

Составляющие мощностного баланса МФА.

В задачах исследований предусмотрена разработка методики инженерного расчета предлагаемого МФА с одновременным прессованием соломы. Во втором разделе диссертации теоретически обоснован тягово-мощностной баланс МФА, используя который, нами разработана методика инженерного расчета. В составе мощностного баланса МФА использована потребная мощность на функционирование пресс-подборщика:

$$N_{np} = 11,621 \cdot \ln q_{np}, \quad (4.1)$$

где N_{np} – на рабочий процесс пресс-подборщика, кВт; q_{np} – пропускная способность пресс-подборщика по соломе, кг/с.

Зависимость потребной мощности пресс-подборщика ПРФ-180 представлена на рисунке 4.6.

Полученная зависимость $N_{np} = f(q_{np})$ использована при оптимизации параметров МФА и рекомендованной к внедрению в учебный процесс методики инженерного расчета МФА. Баланс мощности двигателя МФА (рисунок 4.7), рассчитанный по полученным нами зависимостям (таблица 4.7), позволяет выделить каждую составляющую: на перекачивание комбайна (рисунок 4.8), на перекачивание пресс-подборщика (рисунок 4.8), на технологический процесс работы комбайна (рисунок 4.7), на привод управляемых колес (рисунок 4.11),

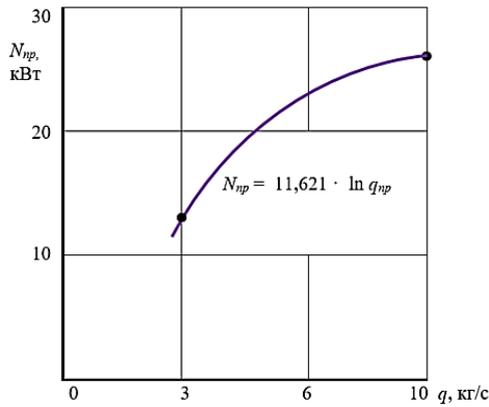


Рисунок 4.6 – График зависимости N_{np} от q_{np}

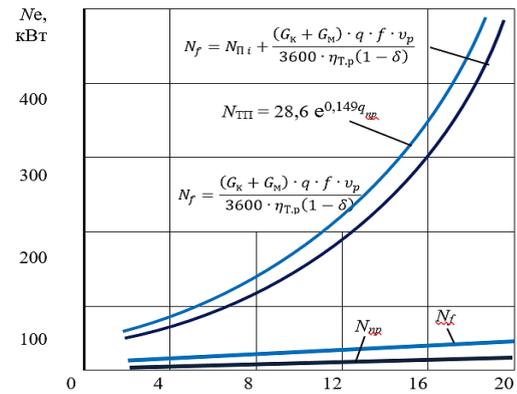


Рисунок 4.7 – График мощностного баланса уборочного МФА на базе TORUM-740 и пресс-подборщиком ПРФ-180

а также зависимости потребляемой мощности двигателя комбайна от скорости движения (рисунок 4.10) и тягового сопротивления пресс-подборщика ПРФ-180 от скорости движения (рисунок 4.11).

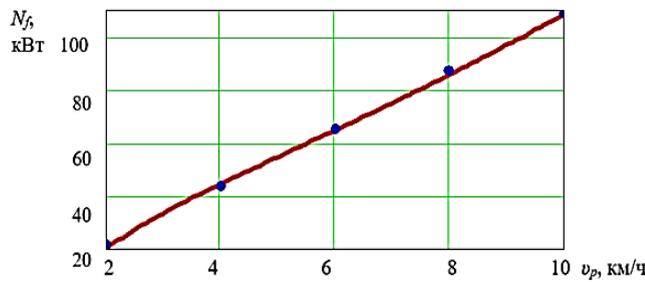


Рисунок 4.8 – График затраты мощности на перекачивание комбайна TORUM-740 от v_p

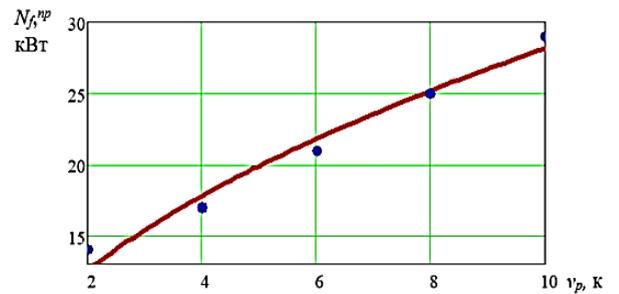


Рисунок 4.9 – График зависимости мощности N_f на передвижение пресс-подборщиком ПРФ-180 от v_p

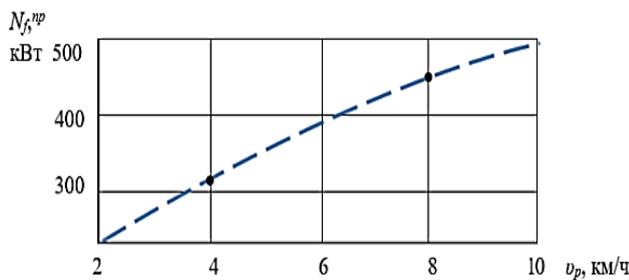


Рисунок 4.10 – Зависимость эффективной мощности двигателя роторного уборочного комбайна от скорости движения

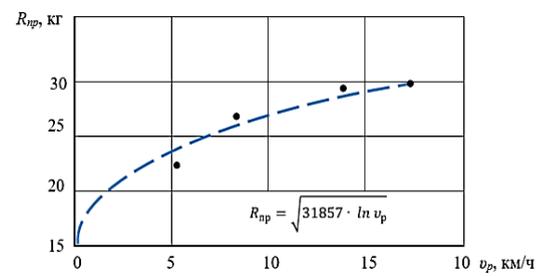


Рисунок 4.11 – Зависимость тягового сопротивления R_{np} пресс-подборщика ПРФ-180 от скорости движения v_p

Таблица 4.12 – Зависимости составляющих мощностного баланса уборочного МФА с одновременным прессованием соломы

№ пп	Составляющие мощностного баланса	Формула для расчета	Расчетный и табличный коэффициент
1	Эффективная мощность двигателя, N_e	$N_e = \sqrt{24964 \cdot v_p}$	$\frac{0,68}{0,75}$
2	Потребная мощность на перекачивание комбайна, N_f	$N_f = 0,472 \cdot v_p^2 + 26,66 \cdot \ln v_p$	$\frac{0,44}{0,75}$
3	Потребность на технологический процесс работы комбайна, $N_{ТП}$	$N_{ТП} = \sqrt{2210,7 \cdot v_p}$	$\frac{0,54}{0,75}$
4	Мощность на передвижение пресс-подборщика, $N_f^{пп}$	$N_f^{пп} = \sqrt{79,216 \cdot v_p}$	$\frac{0,49}{0,75}$
5	Мощность на привод пресс-подборщика, N_{np}	$N_{np} = 11,621 \cdot \ln q_{np}$	$\frac{0,38}{0,75}$
6	Мощность на гидромоторы привода управляемых колес комбайна, $N_{ум}$	$N_{ум} = 28,4 \text{ кВт}$	-

Удельное давление комбайна на почву.

При обосновании функционально-технологической схемы МФА мы отмечали необходимость снижения уплотнения почвы тяжелой современной уборочной техникой за счет КГС.

Максимальную величину давления на почву зерноуборочным комбайном можно определить по известной формуле:

$$P_{max} \leq 0,01 (G_k + 750V_{\delta}) / 0,49 \cdot \sum ri bi, \quad (4.2)$$

где P_{max} – максимальное давление на почву, кПа; G_k – масса комбайна, кг; V_{δ} – емкость бункера для зерна, м³; ri – радиус опорных колес, м; bi – ширина опорных колес, м; 0,01; 750; 0,49 – эмпирические коэффициенты.

Нами выполнены расчеты по определению величины максимального удельного давления на почву комбайна TORUM-740 в составе МФА с учетом массы двух КГС на переднем мосту комбайна. Тогда формула (4.2) примет вид:

$$P_{vax} = \frac{0,01(G_k + 750 V_{\delta} + G_{кгс})}{F_{оп} + 0,24 \cdot b \cdot r}, \quad (4.3)$$

где $G_{кгс}$ – масса двух КГС на переднем мосту, кг; $F_{оп}$ – опорная площадь двух КГС, м²; $0,24 \cdot rb$ – опорная площадь двух задних колес комбайна, м².

Масса одной пары КГС составляет 2104 кг, а ее опорная площадь – 2,32 м². Ширина заднего колеса комбайна TORUM-740 $b = 0,46$ м, радиус $r = 0,7$ м. Теперь, после подстановки данных в формулу 4.4, получим:

$$P_{vax} = \frac{0,01(18840 + 750 \cdot 10,5 + 21,04)}{2,32 + 0,24 \cdot 0,7 \cdot 0,46 \cdot 2} = \frac{288,19}{2,48} = 116,2 \text{ кПа} \quad (4.4)$$

Согласно нашим расчетам можно сделать вывод, что применение КГС на переднем мосту комбайна позволяет снизить максимальное удельное давление комбайна TORUM-740 до 116,2 кПа, что соответствует агротехническим требованиям и позволяет устранить вредное экологическое воздействие тяжелой машины на уплотнение и распыл почвы. Согласно исходным требованиям удельное давление зерноуборочного комбайна на почву не должно превышать 150 кПа [60, с. 111]. При использовании КГС только на переднем мосту комбайна TORUM-740 удельное давление на почву снижается на 21,5 процента.

Стоимость потерь зерна в зависимости от микро- и макроповреждения МСУ:

Формула стоимости потерь зерна (рисунок 4.12) травмирования:

$$F = \sqrt{9,44 \cdot \ln C + \frac{1,73 \cdot 10^3}{C} - 61,92} \quad (4.1)$$

Зависимость площади повреждения зерновок от стекловидности зерна озимой пшеницы Ольхон после обмолота роторным МСУ представлена на рисунке 4.12.

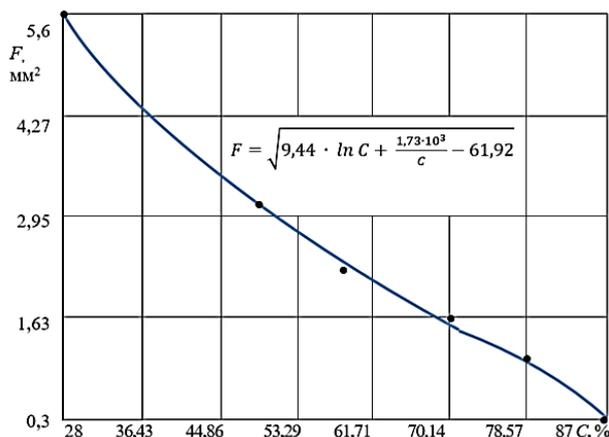


Рисунок 4.12 – Зависимость площади повреждения зерновки от уровня стекловидности зерна

Представленная на рисунке зависимость адекватности отражает качество зерна. Проверка по критерию Кохрена показала, что расчетное значение коэффициента $G_p = 0,484$ меньше табличного $G_t = 0,684$. Площадь повреждения зерновки влияет на его сохранность и определяется качеством обмолота. Так, после обмолота озимой пшеницы роторными МСУ площадь повреждений зерновки бильным МСУ ($0,65 \text{ мм}^2$) в 2,5 раза выше, чем роторным ($1,67 \text{ мм}^2$).

4.5 Согласование работы МФА с накопителем-перегрузчиком в составе уборочно-транспортного звена (УТЗ)

В литературных источниках отмечается весомый недостаток современного уборочного процесса – нарушение его поточности и ритмичности [1, 7, 12, 13, 23, 39,41, 42, 51, 52, 58, 75, 83, 95, 100, 103, 107 и др.]. Обращается внимание на необходимость четкого выполнения взаимосвязанных требований высокоэффективного использования зерноуборочной техники. В работе профессора Жалнина Э.В. [41] указывается на обеспечение непрерывности экспериментального процесса уборки всех продуктов урожая (зерна и незерновой части). Выполнение такого условия требует четкого ритма всех уборочных работ. Не допуская большого разрыва между уборкой зерна, соломы и обработкой почвы. Первоочередная задача – минимизировать время простоя машин, своевременно убрать урожай и подготовить поле под урожай следующего года [41]. Обработать поле, а именно вспахать, необходимо как можно быстрее, так как с 1 га за сутки теряется до 100 т воды. Организованное обеспечение уборочного процесса предусматривает создание условий для эффективной взаимосвязанной работы всех машин и агрегатов в каждом технологическом процессе на основе современных методов математического моделирования и оптимального проектирования сложных производственных процессов. Необходимо добиваться производительности агрегатов, снижения простоя машин, сбережения ресурсов.

Оптимальная структура комплексов технических средств при поточной организации производственных процессов, соблюдение ритмичности создает благоприятные предпосылки для их высокой эффективности. Важно определить основное технологическое звено потока, которое определяет темп всего производственного процесса. Два смежных производственных процесса одного потока имеют основное и обслуживающее звенья. При этом необходимо такое согласование смежных звеньев потока, чтобы добиться максимальной производительности всех машин при минимальном их простое.

В нашей работе основное технологическое звено потока – многофункциональный уборочный агрегат (МФА), который выполняет уборку зерна прямым комбайнированием с одновременным прессованием соломы пресс-подборщиком ПРФ-180Б, закрепленным к комбайну с помощью специально изготовленной сцепки (рисунок 3.1). Предполагается работа комбайна в благоприятных погодных условиях при влажности зерна до 14 %, соломы – до 20 %, засоренности – до 5 %, длине срезанных стеблей – 65-70 см, отношению массы зерна к массе соломы 1:1,2.

Обслуживающее звено потока – накопители-перегрузчики бункерные для перевозки зерна от комбайнов (погрузку и транспортировку рулонов соломы в данном процессе не рассматриваем).

Агрегаты рассматриваемого типа работают непрерывно 5 дней на уборке одного сорта пшеницы, а таких сортов в каждом сельскохозяйственном предприятии должно высеваться 5-6 с разными сроками созревания, чтобы устранить пиковую напряженность в период уборки и потребность в технике.

В состав уборочно-транспортного звена (УТЗ) включают в оптимальных пропорциях зерноуборочные комбайны и накопители-перегрузчики при групповом использовании агрегатов на каждом поле, учитывая размеры полей.

Наша задача состоит в оптимизации УТЗ для обеспечения поточности и ритмичности уборочного процесса с целью максимально возможной произво-

дительности основного (уборочного) звена и минимальных простоях обслуживающего (времени ожидания подачи накопителей-перегрузчиков под загрузку их емкостей зерном).

Число комбайнов в звене определили исходя из среднего размера поля в регионе 80 га и производительности МФА, чтобы исключить переезды с поля на поле внутри смены. Учитывая высокую производительность современных комбайнов принимаем два комбайна в составе УТЗ, а число накопителей-перегрузчиков для ритмичности взаимоувязанной работы звена моделируется в зависимости от условий уборки по критерию минимум времени ожидания накопителей-перегрузчиков загрузки их емкостей зерном из бункеров комбайнов. Выгрузка зерна из бункеров производится на ходу без остановки комбайнов. Таким образом, предусматривается бесперебойная работа комбайна, чтобы не допустить прямых и косвенных потерь урожая при минимальных простоях обслуживающего звена. Критерий оптимальности в нашем случае имеет вид:

$$t_{ож} = (t'_c - t_c) \rightarrow \min \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – время ожидания накопителями-перегрузчиками загрузки зерна от комбайнов, ч; t'_c – время работы накопителей-перегрузчиков при округлении до целого числа в большую сторону для бесперебойной работы комбайнов, ч; t_c – время цикла работы накопителей-перегрузчиков при их потребном количестве до округления до целого числа, ч.

Емкость бункера (кузова) накопителя-перегрузчика кратна емкости двух бункеров комбайнов, работающих в составе УТЗ.

Расчеты по оптимизации состава УТЗ для поточного и ритмичного выполнения уборочного процесса выполнены по предлагаемой математической модели, представленной в блок-схеме алгоритма оптимизации задачи (рисунок 4.13). Блок схема включает 10 арифметических и 3 логических оператора. В первом блоке приведены исходные данные для оптимизации процесса:

K_{II} – коэффициент использования пропускной способности молотилки комбайна; v_p – рабочая скорость движения комбайна, км/ч; U – урожайность зерна, т/га; L_p – длина гона, км; V_b – емкость бункера комбайна, м³; $V_{НП}$ – емкость накопителя-перегрузчика, равная $2V_b$ м³, что является одним из условий поточности процесса и снижения времени простоя; l_{nep} – интервал расстояний проездов от поля до тока, км; n_b – число бункеров комбайна, вмещающихся в кузов накопителя-перегрузчика.

Арифметический оператор (блок 2) включает ширину захвата жатки комбайна с учетом исходных данных в первом операторе и передает управление логическому оператору (блок 3), в котором ширина захвата жатки комбайна ограничивается пропускной способностью зерноуборочного комбайна ТО-RUM-740, функционирующего в составе предлагаемого нами МФА с пресс-подборщиком.

Четвертый арифметический оператор, получивший управление от третьего логического включает коэффициент τ использования сменного времени и передает управление пятому для расчета производительности агрегата W в га/ч, после чего пятый оператор передает управление шестому W' для перевода размерности га/ч в т/ч.

Седьмой оператор, получив управление от шестого, вычисляет время заполнения t_3 бункера комбайна зерном и передает управление восьмому для расчета числа бункера комбайнов, вмещающихся в накопитель-перегрузчик и результаты передаются в 9 арифметический оператор, где рассчитывается время цикла t_c работы накопителя-перегрузчика, а уже в 10-ом операторе – количество необходимых накопителей-перегрузчиков $M_{НП}$ для обслуживания комбайнов.

Полученное дробное число округляется до целого в сторону увеличения в логическом операторе 11 по специальной программе и уже целое округленное число $M'_{НП}$ используется в 12-ом арифметическом операторе для уточнения времени цикла работы t_u накопителя-перегрузчика.

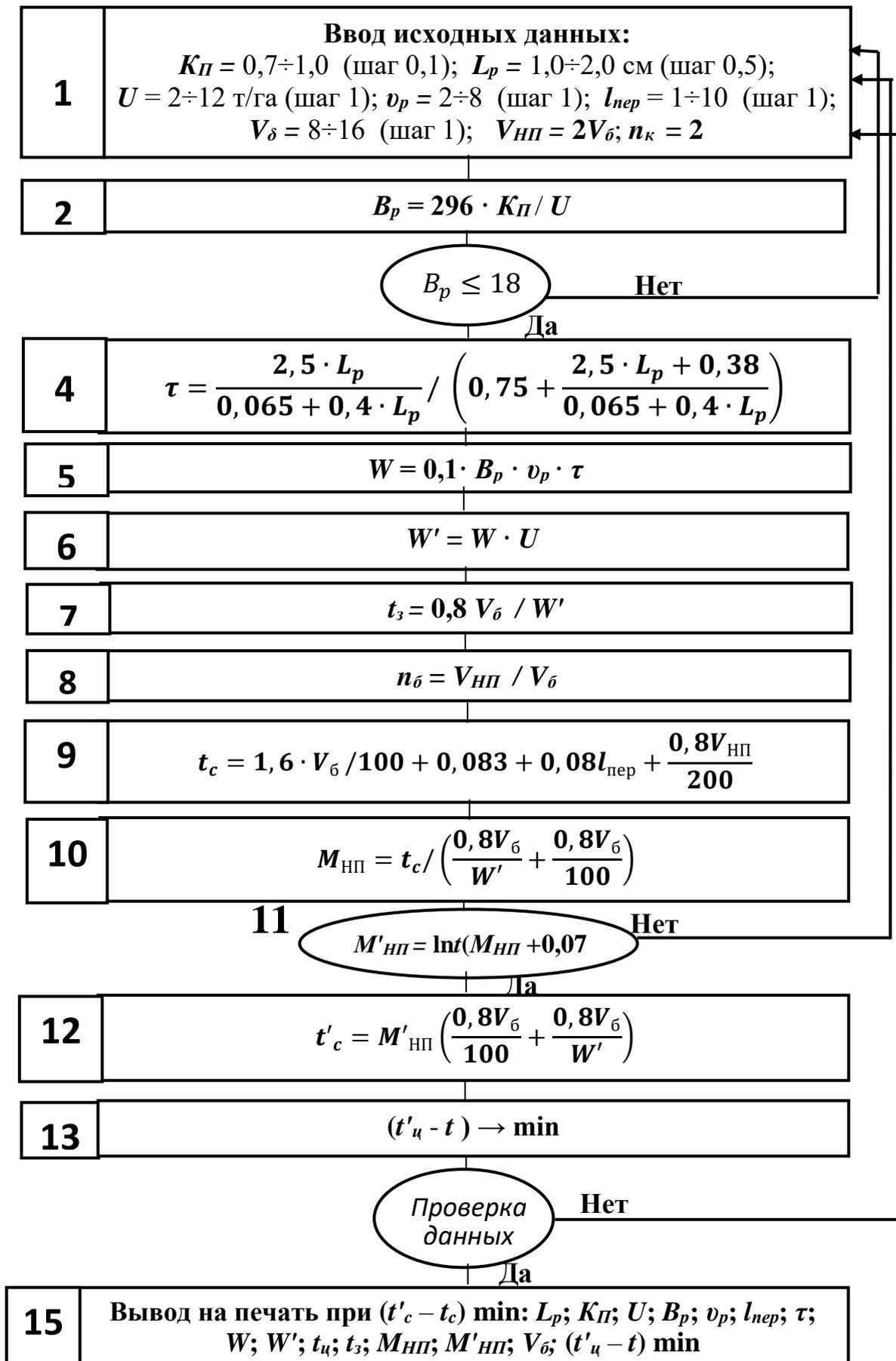


Рисунок 4.13 – Блок-схема алгоритма оптимизации работы УТЗ

В тринадцатом арифметическом операторе рассчитывается критерий оптимизации – время оптимизации накопителя-перегрузчика, его загрузка зерном.

Логический оператор 14, получив минимальное значение критерия оптимизации, проверяет использование всех исходных данных, а 15-й арифметический выводит на печать результаты расчетов: V_{δ} , $V_{НП}$, B_p , v_p , n , τ , W , W' , V_{δ} , L_p , t_z , $t_{ц}$, $M_{НП}$, $M'_{НП}$, $K_{П}$, U , $G_{пер}$, $t_{ож}$.

Анализ результатов моделирования уборочно-транспортного процесса в системе поле – комбайн – транспортное средство (ТС) – позволил установить взаимосвязь всех подсистем и слаженную работу машин УТЗ с соблюдением поточности и ритмичности. Эффективная работа главного звена потока – комбайнов обеспечивается оперативным функционированием обслуживающих накопителей-перегрузчиков (НП), кузов каждого из которых вмещает два бункера зерна от комбайнов. Ритм работы звену задает комбайн, точнее время заполнения его бункера зерном. Оно зависит от урожайности U , емкости бункера комбайна V_{δ} , производительности комбайна и выгрузного устройства зерна из бункера комбайна в кузов НП, агрегируемый с трактором. Кузов НП вмещает зерно от двух комбайнов, работающих в одном звене на одном поле с таким расчетом, чтобы убрать его в течение одного дня. Задача НП как обслуживающего агрегата обеспечить работу основного без простоев. Выгрузив на ходу зерно от первого комбайн накопитель-перегрузчик подъезжает ко второму и выгружает в свой кузов бункер второго комбайна. Далее НП переезжает на ток, где разгружает свой кузов и оформляет накладную. Цикличность работы НП, увязанная с работой двух комбайнов, предопределяет успех функционирования звена. Время t_c цикла работы НП зависит от урожайности U зерна, расстояния $l_{пер}$ от поля до тока, времени выгрузки зерна комбайном t_z , времени разгрузки кузова на току и оформления накладной.

Зависимость времени цикла t_c работы НП от V_{δ} и $l_{пер}$ необходимо учитывать для расчета времени ожидания $t_{ож}$. (оператор 12, рисунок 4.13). Для раз-

личных емкостей кузова НП на рисунке 4.15 представлены зависимости времени цикла t_c от расстояний переездов $l_{пер}$. Например, для НП с кузовом 20 м^3 при расстоянии $l_{пер}$ от поля до тока, равном 1 км, время цикла составляет 0,4 ч или 24 мин, для расстояний 2 км – 0,48 ч, для 3 км – 0,54 ч.

Так, с увеличением емкости кузова до 32 м^3 увеличивается и время цикла НП, а при расстоянии 3 км от поля до тока оно составит 0,72 ч или 43 мин.

При расстояниях переездов от 1 до 3,7 км звено из двух комбайнов обслуживает один НП при урожайности зерна 7 т/га. При расстояниях переездов от 3,7 до 8,7 км потребуется уже два НП, от 8,7 до 10 км – три. Во всех этих случаях обеспечивается слаженная ритмичная работа зерноуборочных комбайнов без простоев на ожидание НП для выгрузки зерна, а сами накопители-перегрузчики могут простаивать с небольшим временем $t_{ож}$ (рисунок 4.15).

Анализ результатов моделирования уборочно-транспортного процесса показал, что теоретически вполне возможно при оптимальной поточности и ритмичности полностью исключить взаимообусловленные простои машин в составе УТЗ. Значение критерия оптимизации $t_{ож}$ – время ожидания накопителей-перегрузчиков начала выгрузки зерна из бункера комбайна, изменяется линейно и зависит от емкости бункеров комбайнов и расстояний переездов $l_{пер}$.

Так, для каждой емкости бункера комбайна V_b нулевое значение критерия оптимизации $t_{ож}$ будет иметь место при различных расстояниях переездов. Для перегрузки НП с емкостью кузова 20 м^3 , ($V_b = 10 \text{ м}^3$) оптимальное расстояние $l_{пер} = 1,17 \text{ км}$, для 24 м^3 – 1,7 км, для 36 м^3 – 2,88 км. Продолжение прямой ниже нуля свидетельствует о простоях ($t_{ож}$) комбайна, что нежелательно. Поэтому обеспечиваем только положительное значение $t_{ож}$ для НП. Таким образом, по оси абсцисс с нулевым значением требуется всего один НП с соответствующей емкостью кузова от 20 до 36 м^3 для разных бункеров комбайнов от 10 до 18 м^3 и расстояний $l_{пер}$ от 0 до 3 км. При расстояниях $l_{пер}$ больше 3 км требуется другое количество НП (рисунок 4.17) Такая взаимосвязка емкости бункеров комбайнов в звене, кузова НП, их количества и расстояний переездов $l_{пер}$ обеспечила поточность и ритмичность уборочно-транспортного процесса

при урожайности зерна на поле 7 т/га. Для другой урожайности минимум $t_{ож}$ меняется.

При моделировании уборочно-транспортного процесса для разных комбайнов расстояний переездов, урожайности, емкости бункеров кузова НП при рациональном составе УТЗ и размерах полей нами определена потребность в ТС, обслуживающих зерноуборочные комбайны. Непрерывная взаимоувязка количества комбайнов и ТС всегда затрудняет ритм жатвы, снижает производительность машин и затягивает сроки уборки [7-10].

Для примера на рисунке 4,13 и в таблице также при урожайности зерна 7 т/га для комбайнов TORUM-740 представлены требуемое количество накопителей-перегрузчиков), обеспечивающих высокопроизводительную работу машин с минимальным временем ожидания $t_{ож}$ для НП. Согласно предлагаемым графикам комбайны работают ритмично без остановок на ожидание накопителя-перегрузчика и выгрузку зерна, а накопитель-перегрузчик почти не простаивает.

Согласно данным таблицы и графику на рисунке 4.13 при минимальных простоях ТС в ожидании комбайна требуется от одного до трех НП, в зависимости от емкостей бункеров и кузовов ТС. Три НП требуются для обслуживания УТЗ из двух комбайнов только при емкости кузова НП 20 м^3 при расстояниях 8,7 до 10 км. НП с кузовом от 12 до 16 м с переездом до 10 км требуются в количестве двух машин.

Один НП с кузовом 24 м^3 необходим при расстояниях до 4,6 км, с кузовом 28 м^3 – один при расстояниях переезда до 5,5 км, 32 м^3 – один, при расстояниях до 6,5 км. При переездах до 10 км требуется уже по два НП: с кузовом 24 м^3 – при расстояниях от 4,6 до 10 км, с кузовом 28 м^3 – при расстояниях от 5,5 км и с кузовом 32 м^3 – от 6,5 до 10 км.

Анализ результатов моделирования работы УТЗ показал, что при использовании критерия оптимизации минимум времени ожидания $t_{ож}$ накопителя -перегрузчика загрузки своих кузовов зерном возможно полностью исключить

взаимобусловленные простои машин в составе УТЗ (зерноуборочных комбайнов и накопителей-перегрузчиков).

Таблица 4.13 – Потребность в накопителях-перегрузчиках в зависимости от емкости бункеров комбайнов, самих накопителей-перегрузчиков и расстояний переездов при $U = 7$ т/га с мощностью двигателя комбайна 294 кВт

Емкость бункера, м ³	Емкость кузова накопителя-перегрузчика	Расстояние переездов, км	Количество накопителей-перегрузчиков
10,0	20,0	1-3,7	1
		3,7-8,7	2
		8,7-10	3
12,0	24,0	1-4,5	1
		4,6-10	2
14,0	285,0	1-5,5	1
		55,10	2
10,0	32,0	1-6,5	1
		6,5-10	2

При этом важно учесть размеры полей убираемой культуры, урожайность, емкости бункеров комбайнов и кузовов накопителей-перегрузчиков, производительность комбайнов, расстояния переездов от поля до тока, а также организационные факторы (выгрузка зерна из бункеров комбайнов на ходу, режим работы операторов, подготовка полей к работе и др.)

Оптимальная поточность и ритмичность работы УТЗ на уборке зерновых колосовых культур с урожайностью, например 7 т/га, обеспечивается при обслуживании двух комбайнов в составе звена, работающих на поле 80 га одним накопителем-перегрузчиком с емкостью кузова, равной удвоенной емкости бункера комбайна при расстоянии переездов от поля-до тока 1-6,5 км в зависимости от емкости бункеров времени цикла, а время ожидания накопителем-перегрузчиком выгрузки бункеров (критерий оптимизации) зависит также от урожайности зерна, расстояний переездов и емкости бункеров. Два накопителя-перегрузчика требуются, например, при емкости его кузова 20 м³ на расстояниях переезда до 3,7 км, при емкости 24 м³ – на расстояниях 4,6-10 км, для емкости 32 м³ – на расстояниях 6,5 до 10 км. При этом во всех вариантах емкость кузова накопителя-перегрузчика равна удвоенной емкости бункера.

4.6 Выводы по разделу

1. Оптимизация уборочного МФА на базе TORUM-740 по критерию минимум функции затрат и потерь позволила обосновать оптимальные параметры, режим работы и продолжительность уборки зерна озимой пшеницы. При длине гона 1,5 км и урожайности 4 т/га оптимальная скорость движения составила 5 км/ч, ширина захвата жатки 9,8 м, производительность 3,5 га чистого времени, коэффициент использования пропускной способности молотилки $K_{II} = 0,8$ использования времени смены $\tau = 0,71$, соломистости $\alpha = 0,5$, продолжительность уборки $n = 5$ дней. При минимуме критерия оптимизации $C_{3II} = 5931$ руб./га, минимум функции затрат C_3 составили 3162 руб./га и минимум функции потерь $C_{II} = 2768$ руб./га при цене пшеницы $Z = 9000$ руб./т.

2. Оптимизация работы УТЗ в системе поле – комбайн – накопитель-перегрузчик – ток по критерию минимум времени ожидания $t_{ож}$ загрузки кузова накопителя зерном из бункеров комбайнов позволила обосновать возможность безостановочной работы двух комбайнов с накопителем-перегрузчиком и самого накопителя ($t_{ож} = 0$) при соответствующих расстояниях l_{nep} от поля до тока, емкости бункеров, урожайности зерна и количестве накопителей-перегрузчиков, обслуживающих комбайны – главное звено поточной линии. Это имеет место, например, при урожайности 7 т/га и следующих параметрах накопителя-перегрузчика и расстояниях от поля до тока: $V_{НП} = 20$ м³ при $l_{nep} = 1,13$ км; $V_{НП} = 24$ м³ при $l_{nep} = 1,58$ км; $V_{НП} = 28$ м³ при $l_{nep} = 2$ км; $V_{НП} = 32$ м³ при $l_{nep} = 2,42$ км и $V_{НП} = 36$ м³ при $l_{nep} = 2,87$ км. Производительность каждого комбайна при их количестве в звене, равном двум, при указанных выше параметрах накопителя составила 16,9 т/ч сменного времени. Количество требуемых накопителей-перегрузчиков с емкостью кузова 20 м³ составило: при l_{nep} от 1 до 3,7 км – один, при l_{nep} от 3,7 до 8,7 км – два; при l_{nep} от 8,7 до 10 км – три. Для других емкостей кузова число НП не превышает двух в зависимости от расстояния.

3. Время цикла работы накопителя-перегрузчика зависит от емкости его кузова $V_{НП}$, расстояний переездов $l_{пер}$ и прочих равных условий. Для урожайности 7 т/га при расстоянии от поля до тока 3 км время цикла t_c для каждой емкости кузова $V_{НП}$ составило, соответственно: $t_c = 0,56$ ч для $V_{НП} = 20$ м³; $t_c = 0,61$ ч для $V_{НП} = 24$ м³; $t_c = 0,6$ ч для $V_{НП} = 28$ м³ и $t_c = 0,7$ ч для $V_{НП} = 32$ м³.

4. При эксплуатационно-технологической оценке МФА получена зависимость прямых потерь зерна МФА от производительности комбайна. При уровне прямых потерь зерна 1,2 % за комбайном TORUM-740, его производительность за 1 час основного времени составила 20 т/ч, а при уровне потерь 1,5 % от урожая повысилась до 20,43 %. Величина косвенных потерь урожая зависит от травмирования зерна уборочными машинами (от макро- и микроповреждения зерна). При этом макроповреждение зерна роторными МСУ в 10 раз меньше, чем бильными, а микроповреждение снижается на 8-12 %. Повысилось качество зерна: содержание белка на 3,6 % и клейковины – на 3,4 до 24,6 (2-й класс).

5. Установлена зависимость площади повреждения зерновки пшеницы от уровня стекловидности зерна (формула на рисунке 4.5), где также существенное преимущество роторных МСУ. Площадь повреждения зерновок у роторных МСУ – 0,62 мм², у бильных – 1,64 мм², что определяет сохранность зерна и его технологические свойства.

6. Подтверждена сходимость результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях. При сравнении размеров показателей она составляет 2-17 %. Например, по теоретической и фактической производительности МФА – 6,6%, по расчету топлива – 9,1%; по величине прямых потерь зерна за комбайнами – 17%; тяговое сопротивление пресс-подборщика – 3,8%.

7. По разработанной методике инженерного расчета МФА рассчитаны значения составляющих затрат мощностного баланса: на передвижение МФА – 74,1 кВт (21 %); на технологический процесс – 105,2 кВт (30 %); на привод

пресс-подборщика – 24,1 кВт (6,8 %), на привод моста управляемых колес – 28,4 кВт (8 %). Эффективная мощность двигателя составила 353 кВт.

8. Методом динамометрирования установлена зависимость тягового сопротивления пресс-подборщика от скорости движения МФА, которое составило 2,1 кН на скорости 5 км/ч.

9. В предлагаемом МФА использованы все передовые научные достижения, обеспечивающие сохранение плодородия почвы с совмещением операций и применением КГС на переднем мосту комбайна, которая снижает уплотнение почвы на 22,5 %, повышение качества зерна с 3 до 2 класса с применением роторной молотилки с вращающейся декой, повышению комплексности уборочных работ с одновременным прессованием соломы, поточности и ритмичности процессов производительности МФА с оптимизацией его параметров и применением дистанционной СПК.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Новая технология комплексной уборки пшеницы МФА на базе самоходного комбайна TORUM-740 с одновременным прессованием соломы

Предлагаемая технология уборки зерна с одновременным прессованием соломы многофункциональным агрегатом на базе комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика ПРФ-180Б является новой и имеет существенное преимущество по сравнению с применяемой. Новизна технических решений по технологии подтверждена тремя патентами РФ на полезные модели. Сущность технологии состоит в следующем. В предлагаемом МФА для уборки сельскохозяйственных культур, состоящем из самоходного полноприводного комбайна TORUM-740 и прицепного к нему пресс-подборщика ПРФ-180Б, через специально изготовленное сцепное устройство выключается из технологического процесса стандартный измельчитель соломы, который после вымолота зерна роторным МСУ с вращающейся декой по лотку самонаправителя подается на стерню, где подбирается следом идущим пресс-подборщиком ПРФ-180Б, снабженным дистанционной системой автоматизированного контроля (САК) за его работой. Компьютер САК размещен в кабине комбайна TORUM-740. После формирования рулона в прессовальной камере проводится его обвязка шпагатом и сбрасывание из камеры на землю. Комбайн TORUM-740 работает по обычной схеме, собирая зерно в бункер, с отключенным измельчителем соломы. Заполненный зерном бункер без остановки агрегата выгружается в рядом сопровождающий накопитель-погрузчик Propar T-740 с трактором МТЗ-1221. И комбайны и погрузчик снабжены системой КГС для плодородия почвы. После выгрузки зерна из бункера комбайна TORUM-740 накопитель переезжает под загрузку своего кузова к следующему комбайну УТЗ. Рулоны с поля собирает погрузчик-транспортировщик ТП-12 в агрегате с трактором МТЗ-80 и перевозит их к месту складирования.

В базовом варианте технологии уборки процесс работы комбайна отличается отдельным прессованием соломы после обмолота пшеницы и укладки соломы в валок. Агрегат для подбора соломы из лотка, прессования и выгрузки готовых рулонов на землю состоит из колесного трактора МТЗ-80 и пресс-подборщика ПРФ-180Б. Подбор и транспортировка рулонов к местам складирования осуществляется так же как и в предлагаемом варианте. Таким образом, экономический эффект предлагаемой технологии обеспечивается за счет сокращения потребности в тракторах для агрегатирования пресс-подборщика на подборе валков соломы. Обычно на практике выгрузка зерна из бункеров комбайнов производится в грузовые автомобили, трамбующие почву, оставляющие глубокую колею, но мы упустили этот серьезный недостаток в базовой технологии и оставили только одно преимущество предлагаемой технологии – совмещение операций уборки зерна с одновременным прессованием соломы, высвободив из уборочного комплекса один колесный трактор с механизатором. Не учтен также эффект от сохранения плодородия почвы КГС.

Технологические карты по базовому и предлагаемому вариантам технологий уборки пшеницы приведены в таблице 5.1. В них включены только те технологические операции, которые различаются набором машин и режимом работы по сравниваемым вариантам.

Важным моментом в обосновании эффективности предлагаемой технологии является точное обоснование нормы выработки и расхода топлива для МФА с пресс-подборщиком ПРФ-180Б и просто для комбайна TORUM-740 при работе на одном поле с одной урожайностью пшеницы (6 т/га) и другими параметрами хлебостоя (засоренность, полеглость, соломистость, влажность). Характеристика условий испытаний комбайнов приведена ранее (таблица 4.2) при эксплуатационно-технологической оценке МФА. В технологических картах (таблица 5.1) норма выработки и расхода топлива по вариантам агрегатов на уборке зерна принята согласно расчетам по методике, представленной в разделе 2.3 диссертации и на основании хронометражных данных работы ком-

байна TORUM-740 на уборке озимой пшеницы. Данные по выработке и расходу топлива МТА с пресс-подборщиком ПРФ-180 (базовый вариант) приняты по известным нормативам [146].

Все исходные данные для расчета экономической эффективности предлагаемой технологии представлены в Приложении.

Расчет экономической эффективности технологии уборки пшеницы с одновременным прессованием соломы выполнен по известной общепринятой методике ГОСТ 237280-88. Техника сельскохозяйственная. Методы технологической оценки.

Анализ технологической карты уборки пшеницы с одновременным прессованием соломы на всем объеме площадей позволяет судить о высокой эффективности предлагаемой технологии, даже если принять объем прессования только 20 % от всей уборочной площади, как это сейчас применяется на практике в связи с отсутствием животноводства у многих сельхозтоваропроизводителей. Судя по таблице 5.1, предлагаемая технология обеспечивает сокращение количества нормосмен, моточасов и затрат труда – в 3,35 раза, количество механизаторов – в 2,1 раза. Несколько возрастает только потребность в комбайнах (6 шт. на 1000 га по базовой технологии и 6,6 – по предлагаемой). Однако, и это количество (10 тыс. шт. на пиковую площадь 1,5 млн. га) позволит сократить существующий парк в 2 раза.

5.2 Экономическая эффективность предлагаемой технологии

В таблице 5.1 приведены расчетные удельные технико-экономические показатели по вариантам технологий.

Как следует из таблицы 5.1 показатели экономической эффективности по предлагаемой технологии значительно предпочтительнее базовой: эксплуатационные затраты снижаются на 16 %, стоимость ТСМ – на 18%, металлоемкость – на 23,1 %, энергоемкость – на 31,2 %. Экономия эксплуатационных затрат от внедрения технологии на площади 140 га составит 0,142 млн. руб.

Особенно высокая эффективность по снижению трудоемкости комплексной уборки урожая: затраты труда согласно предлагаемой технологии снижаются в 3,4 раза.

Таблица 5.1 – Экономическая эффективность предлагаемой технологии уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы

	Показатель	Значение показателя		Эффект	
		базовая технология	предлагаемая технология	абсолютный	относительный, %
1	Затраты труда, чел.-час.	183,4	54,6	-128,8	-70,2
2	Эксплуатационные затраты, всего, тыс. руб.	879,34	737,394	-141,9	-16,1
	в том числе: оплата труда	27,16	10,65	-16,51	-60,8
	амортизация, текущий ремонт, ТО и хранение	716,1	615,9	-100,24	-14
	ТСМ	136,08	110,88	-25,2	-18,5
3	Дополнительные капиталовложения, тыс. руб.		200		
4	Металлоемкость, кг	5292	4074	-1223	-23,1
5	Энергоемкость, мДж	46844	32214	-1463	-31,2
6	Внутренняя норма доходности, %		70,9		
7	Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.		509,4		
8	Дисконтированный срок окупаемости инвестиций, лет		1,6		

Чистый дисконтированный доход от предлагаемой технологии уборки пшеницы определили по известной методике Шпилько А. В., Драгавцева В. И., Морозова Н. М. и др.

Экономическая эффективность механизации с.-х. производства. – М., 2001. – 360 с):

$$ЧДД = R \frac{(1 \mp i)^{-t}}{i} - K_{доп}, \quad (5.1)$$

где ЧДД – чистый дисконтированный доход, тыс. руб.; R – ежегодные поступления от капиталовложений без учета дополнительного урожая, тыс. руб.; i – доходность альтернативного вложения капитала (по депозитным вкладам в

банк). Принимаем $i = 12 \%$; t – срок службы рассматриваемого проекта (принимаем 8 лет); $K_{дон}$ – коэффициент в средства механизации на уборку урожая, тыс.руб.

В нашей задаче ежегодные поступления представляют собой экономию эксплуатационных затрат на уборку урожая от использования предлагаемой технологии, основанной на МФА. Если бы мы взяли для сравнения с нашим МФА технологию уборки с использованием комбайнов с бильными молотильными барабанами, то дополнительный сбор зерна был бы достоверно обеспечен за счет снижения его травмирования (как было указано ранее, дробление зерна роторными МСУ по сравнению с бильными снижается в 10 раз, а микроповреждение – на 8-10 %). Но за базу для сравнения нами принят тоже уборочный агрегат на базе комбайна TORUM-740 с роторным МСУ.

Ежегодные денежные поступления от экономии эксплуатационных затрат составляет:

$$R = (S_3^B - S_3^H \cdot W_{сез}), \quad (5.2)$$

где R – ежегодные денежные поступления от экономии эксплуатационных затрат, тыс. руб.; S_3^B, S_3^H – эксплуатационные затраты при использовании, соответственно, базового и нового вариантов технологии уборки пшеницы, руб./га; $W_{сез}$ – объем уборочной площади за сезон с прессованием соломы в сельхозпредприятии, га.

$$R = (6281 - 5267,1) \cdot 140 = 141946 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход определим по формуле:

$$\text{ЧДД} = 141946 \cdot \frac{1 - (1 + 0,12)^{-8}}{0,12} - 200000 = 509,4 \text{ тыс. руб}$$

Дисконтированный срок окупаемости инвестиций определим по известному выражению:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{кДж}{R} \cdot i\right)}{\ln(1 + i)}. \quad (5.3)$$

где $T_{ок}$ – дисконтированный срок окупаемости инвестиций, лет.

Принимаем третий класс варианта инвестиций по международной классификации как обновление основных средств, где рекомендуемая ставка процента на капитал составляет $i = 12 \%$, которую мы и приняли в расчетах (формулы 5.1 и 5.3):

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{200000}{141946} \cdot 0,12\right)}{\ln(1 + 0,12)} = \frac{-\ln 0,831}{\ln 1,12} = 1,6 \text{ года.}$$

Предлагаемая нами технология совмещения уборки урожая и одновременного прессования соломы показала неоспоримое превосходство над существующей. Требуемое число нормосмен для обработки

площади 140 га сократилось с 26,2 до 7,8 или в 3,4 раза, расход топлива снизился с 3,4 до 2,8 или в 1,2 раза, общая трудоемкость сократилась в 3,4 раза.

Расчетный экономический эффект по эксплуатационным затратам от применения новой технологии на уборке озимой пшеницы с прессованием соломы на площади 140 га составил 1014 руб/га без учета качества зерна.

Чистый дисконтированный доход 509,4 тыс. рублей, а дисконтированный срок окупаемости 1,6 года получены при внутренней норме доходности проекта 70,9 %.

5.3 Выводы по разделу

1. Внедрение предлагаемой технологии уборки зерновых колосовых с одновременным прессованием соломы обеспечит высокую экономическую эффективность по сравнению с радиальным выполнением названных операций: общая трудоемкость работ при уборке 140 га составит 509,4 тыс. рублей, а дисконтированный срок окупаемости инвестиций – 1,6 года при внутренней норме доходности 70,9 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Для устранения недостатков применяемых технологий уборки урожая зерновых колосовых культур по уплотнению почвы, потерям зерна, нарушению поточности и ритмичности процессов и комплексности работ предложена новая технология на базе МФА, совмещающего операции сбора зерна с одновременным прессованием соломы, обеспечивающего непрерывность процесса, повышение производительности труда в 3,4 раза и снижение затрат.

2. Обоснованы функционально-технологические схемы двух агрегатов, из которых наиболее предпочтителен агрегат на базе полноприводного самоходного зерноуборочного комбайна TORUM-740 с оригинальным МСУ, не имеющим мировых аналогов, в 10 раз снижающим дробление зерна по сравнению с бильными МСУ, не превышающих 0,6%, а так же выполняющим требования по прямым потерям зерна и соломы при ее прессовании прицепным пресс-подборщиком ПРФ-180. При использовании КГС удельное давление на почву снижается на 22,5%

3. По разработанным экономико-математическим моделям обоснованы оптимальные параметры и режимы работы предлагаемых МФА. Для агрегата на базе самоходного комбайна TORUM-740 при оптимальной урожайности 6 т/га и продолжительности уборки 5 дней, необходима ширина захвата жатки 6,8 м при рабочей скорости 5 км/ч. Производительность 3,4 га/ч, коэффициент использования пропускной способности молотилки $K_p = 0,8$, коэффициент соломистости равен 0,5. Минимум критерия оптимизации функции затрат и потерь составляет 5031 руб/га, минимум функции затрат 3162 руб/га, минимум функции потерь 2768 руб/га при цене зерна 9 тыс руб. за 1 т. Для МФА с навесным комбайном при урожайности 6,8 т/га и оптимальной продолжительности 5 дней ширина захвата жатки составила 5,4 м, рабочая скорость 4,8 км/ч.

4. Эксплуатационно-технологической оценкой работы МФА с комбайном TORUM-740 установлено соответствие его агротехническим, эксплуатационным и экономическим требованиям. Прямые и косвенные потери урожая не

превышают 1,5%, дробление зерна 0,6%, микроповреждение 10%, чистота бункерного зерна за период исследований составила 98-99%. Качество зерна сильного сорта Ольхон, по содержанию белка (16%) и клейковины (26,6%) соответствовали третьему классу, а после созревания на току доработки класс зерна поднялся на одну единицу. Установлена зависимость потерь зерна от производительности МФА при урожайности 6 т/га. Уровень потерь 1,5% соответствовал производительности агрегата 20,4 т/ч, а при снижении производительности до 20 т/ч, уровень потерь снизился до 1,2% от урожая.

5. Установлены зависимости тягового сопротивления пресс-подборщика от скорости движения, эффективной мощности двигателя МФА и ее составляющих, мощности на привод пресс-подборщика, зависимости балансовой стоимости комбайна TORUM-740 и пресс-подборщика от пропускной способности.

6. Оптимизацией функционирования УТЗ по критерию минимум времени ожидания обслуживаемых звеньев потока обоснована его поточность и ритмичность практически безостановочной работы (оптимальное время ожидания 1,6 с). Для минимального критерия оптимизации обоснованы следующие параметры процесса: размер убираемого поля 82 га, длина гона 1,5 км, урожайность 7 т/га, в составе УТЗ два МФА с емкостью бункера 14 м³ и один бункер-перегрузчик с емкостью 28 м³, расстояние от поля до тока 2 км, коэффициент использования сменного времени 0,84, коэффициент соломистости 0,53, время цикла НП составил 0,52 ч. Оптимальная производительность МФА 23,9 т/ч

7. В методике инженерного расчета определены составляющие мощностного баланса двигателя: на перекачивание агрегата 74,1 кВт (25,2%), на технологический процесс работы—105,2 кВт (35,8%), на привод моста управляемых колес 28,4 кВт (9,7%), на привод пресс-подборщика 28 кВт (9,5%)

Подтверждена сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований, которая составила 2-17% по различным показателям: 6,6 % – по теоретической и фактической производительности МФА; 9,1% – по расходу топлива; 3,8% – по тяговому сопротивлению пресс-подборщика и 17% – по величине прямых и косвенных потерь зерна за комбайном.

8. Экономическая эффективность предлагаемого МФА оценена системой технико-экономических показателей на уборке озимой пшеницы с прессованием соломы. Предлагаемый агрегат по сравнению с отдельным выполнением уборки зерна и прессования соломы обеспечил на уборке 140 га экономию эксплуатационных затрат 1014 руб/га, производительность агрегата выросла в 3,4 раза, металлоемкость снизилась на 34,2%, стоимость ТСМ – на 28%. Чистый дисконтированный доход составил 509,4 тыс. руб, а срок окупаемости инвестиций – 1,6 года.

Рекомендации к производству

На основании теоретических и экспериментальных исследований предложен принципиально новый многофункциональный агрегат, включающий зерноуборочный комбайн с пресс-подборщиком для уборки зерна с одновременным прессованием соломы. Это послужит основой машинно-технологической модернизации комплексной уборки с целью снижения затрат и повышения производительности труда. Оптимизация уборочно-транспортного звена в составе двух МФА и необходимого количества накопителей-перегрузчиков обеспечила поточность и ритмичность уборочно-транспортного процесса

Перспективы дальнейшей разработки темы

Изучить и разработать для конструкторских организаций и хозяйств АПК рекомендации по совершенствованию технологии уборки зерновых колосовых по предлагаемой технологии, реализуемой за счет создания многофункционального агрегата с пресс-подборщиком на базе безмоторного прицепного комбайна.

Научное обоснование преимуществ прицепных зерноуборочных комбайнов в агрегате с сопутствующими машинами по технологии, в частности с прессованием соломы, позволит создать систему гибких многофункциональных уборочных агрегатов на основе моделирования и оптимизации процессов комплексной уборки урожая с выполнением сопутствующих работ без разрыва по времени.

Используя полученные МФА, можно разработать новые технологии уборки зерновых культур или усовершенствовать существующие.

Это должно обеспечить максимальную работоспособность производства зерна и рост производительности труда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абаев В.В. Оптимизация машинно-технологического обеспечения системы ресурсосберегающих процессов уборки зерновых культур в регионах с широким диапазоном распределения урожайности (на примере Краснодарского края) / Дисс. на соиск. ученой степени доктора техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2011.
2. Ангелеев О.Г. Комплексная утилизация побочной продукции растениеводства. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 160 с.
3. Агротехнические требования к основным технологическим операциям при адаптивных технологиях возделывания озимых колосовых и кукурузы, и новые технические средства для их выполнения в Краснодарском края. – Краснодар: Департамент сельского хозяйства и продовольствия Краснодарского края. Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко 2001. – 144 с.
4. Андреев О.П. Повышение эффективности использования агрегатов для уборки зерновых культур по индустриальной технологии (в условиях центрального района НЗ) / Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. – М., 2000.
5. Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.
6. Бледных В.В. Канадская техника и технологии уборки зерновых культур // Вестн. Челябинск, агроинж. ун-та, 1993, № 2.
7. Бледных В.В., Косилов Н.ИТ., Рогоза В.Е., Урайкин В.М. Современные технологии уборки и послеуборочной обработки урожая зерновых, зернобобовых и крупяных культур в условиях Южного Урала / ЧГАУ. – Челябинск, 1995.
8. Бледных В.В., Михайлов Ю.Г., Гуров М.А. Проектирование машинных технологий производства продукции растениеводства / Материалы XII международной научно-практической конференции, Москва, ГОСНИТИ 12-13 октября 2006. – М., 2007. – С. 97.

9. Блынский Ю.Н., Ладыгин Ю.Ф. Имитационное моделирование уборочно-транспортных процессов. М.: ВО Агропромиздат, 1988. – 119 с.
10. Бусленко Н.Л. Математическое моделирование производственных процессов. – М.: Наука, 1964. – 362 с.
11. Биоэнергетическая оценка агротехнических приемов и ресурсосберегающих технологий в растениеводстве. – Краснодар, 1994.
12. Бурьянов М.А., Зубков Н.Г. Технологии уборки зерновых культур с разделением вороха на стационаре // В сб.: Новые ресурсосберегающие технологии и техника в полеводстве юга России. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2006. – С. 45-52.
13. Бурьянов М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур с навесной на комбайн жаткой / Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – зерноград, 2011. – С. 3.
14. Бершицкий Ю.И. Проектирование и оценка эффективности технической оснащенности продукции растениеводства // Дисс. на соиск. учен. степ. д. т. н. – зерноград, 2000.
15. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1975. – 100 с.
16. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 551с.
17. Вилде А.А. Комбинированные агрегаты. – М.: Колос, 1985.
18. Высоцкий А.А. Динамометрирование сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение. 1968. – 290 с.
19. Василенко П.М. Основные методы моделирования и перспективы их применения при разработке сельскохозяйственных машин / В кн. Современные проблемы механизации сельского хозяйства. Т.1. – М.: БТИ ГОСНИТИ. 1996.
20. Василенко П.М. Построение математической модели машинных агрегатов / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1975, № 11.
21. Василенко П.М. О методике построения математической модели ма-

шинного агрегата / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1976, № 8.

22. Галенко М.Д., Капилин И.Н., Федчун В.Т. Обоснование индустриально-поточной комбайновой технологии уборки зерновых культур / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 8. – С. 14-15.

23. Гольтяпин В.Я., Кузьмин В.Н. Сравнительная экономическая эффективность комбайнов ДОН-1500Б, Мега-204/208, NEW HOLLAND и Case-2366 / Техника и оборудование для села, № 4, 2005.

24. Гольтяпин В.Я. Зарубежный комплекс машин для уборки зерновых культур с обработкой невеяного вороха на стационаре / Тракторы и сельхозмашины, № 5, 2008. – С. 51-52.

25. Гольтяпин В.Я. Зерноуборочные комбайны, производительность, качество работы, расход топлива / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 8, 1998.

26. Горячкин В.И. Собрание сочинений в трех томах. – М.: Колос. 1968.

27. Габай Г.В., Кутьков Г.М. Анализ материалоемкости и энергозатрат широкозахватных машинно-тракторных агрегатов / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 3, 1985.

28. ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний.

29. ГОСТ 20915-75. Техника сельскохозяйственная. Методы определения условий испытаний.

30. ГОСТ 243728-88, 243730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

31. Гейдбрехт И.П. Канадская технология уборки сельскохозяйственных культур / Техника и оборудование для села, № 4, 2006.

32. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов. – М.: Машиностроение. 1981.

33. Джафаров М.Г. Исследование влияния различных факторов на энергетические и технологические показатели зерноуборочного комбайна при обмолаоте различных культур // Сб. научн. трудов. Вып. 27. Азербайджан СХИ. – Кировобад, 1975. – С. 37-41.
34. Длин А.М. Математическая статистика в технике. – М.: Сов. Наука, 1958. 351 с.
35. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
36. Дубина В.И. Моделирование и оптимизация уборочно-транспортных поточных линий // Труды ВИМ, Т. 79, 1978. – С. 66-73.
37. Дегтярев Ю.И. Исследование операций. – М.: Высшая школа, 1981. – 320 с.
38. Ерохин М.Н., Коновский В.В., Тишанинов Н.П. Использование комбайнов за пределами срока службы. – М.: Россельхозакадемия, 2005.
39. Ежевский А.А., Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф. Современное состояние и тенденция развития сельскохозяйственной техники // По матер. Междунар. выставки "SIMA-2005". Научно-аналит. обзор. – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2005.
40. Жалнин Э.В. Некоторые тенденции зарубежного комбинирования /Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – С. 36-40.
41. Жалнин Э.В., Савченко А.Н. Технология уборки зерновых комбайновыми агрегатами. М.: Россельхозиздат, 1985. – 207 с.
42. Жалнин Э.В. Уборка зерновых и зернобобовых культур. М.: Россельхозиздат, 1975. – 87 с.
43. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. М.: ВИМ, 2001.
44. Жалнин Э.В. Роль и место высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов нового поколения в повышении конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей / Техника и оборудование для села, № 7, 2005. – С. 27-29.

45. Жалнин Э.В. и др. Анализ технико-экономических и экспериментальных показателей альтернативных агропромышленных технологий перевозок зерна с поля на ток / Материалы международной научно-практической конференции: Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России. – М.: ГОСНИТИ, 2004. – С. 127-129.
46. Жалнин Э.В., Датиев О.Б. Аксиально-роторные комбайны // Обзорная информация. Вып. 7(2). – М.: ЦНИИТЭИ Тракторсельмаш, 1984.
47. Жалнин Э.В. Компьютерная система разработки и внедрения агропромышленных технических средств для их реализации / Труды ВИМ. Т.129. – М., 1999.
48. Жалнин Э.В. К расчету типоразмерного ряда зерноуборочных комбайнов / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 11, 2010.
49. Жалнин Э.В. Развитие комплексной механизации уборки зерновых культур в России / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 9, 1994.
50. Зангиев А.А. и др. Моделирование производственных процессов на уборке фруктов. – М., 1998. – 114 с.
51. Зангиев А.А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. – М.: Изд-во МИИСП, 1981. – 88 с.
52. Зангиев А.А., Андреев О.П. Оптимизация параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов для уборки зерновых культур по индустриально-поточной технологии. – М.: Информагротех, 1996. – 24 с.
53. Зангиев А.А. Оптимизация состава и режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Дисс. докт. техн. наук. – М.: Изд-во МИИСП, 1987.
54. Зангиев А.А. Оптимизация массы и скорости машинно-тракторных агрегатов / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 5, 1998.
55. Занько Н.Д. Особенности технологического процесса барабанной молотильно-сепарирующей системы зерноуборочного комбайна/ Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 10, 2009.

56. Зерноуборочный комбайн с очесывающей жаткой / Описание полезной модели к патенту РФ № 86389. Авторы: Колинко В.П и др. Оpubл. 10.09.2009. Бюл. № 25.
57. Зерноуборочной комбайн с отделяющим зерно транспортным устройством и отводящим мякину транспортером / Заявка 102006027079 Германия, МПКА.
58. Измайлов А.Ю. Применение сборочно-контейнерных систем в сельском хозяйстве / Техника в сельском хозяйстве, № 2, 2007.
59. Иванченко П.Г. Совершенствование зерноуборочного процесса на основе фронтальной жатки-накопителя / Автореф. дисс. на соиск. учен. степени к.т.н. – С. 3.
60. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. – М.: МСХ ОФ, 2005.
61. Иофинов С.А., Бабенко Э.П., Зуев Ю.А Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Агропромиздат, 1985. – 272 с.
62. Краснощеков Н.В. Инновационное развитие сельскохозяйственного производства. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2009. – 388 с.
63. Краснощеков Н.В. Производительность труда в наукоемком аграрном производстве / Вестник Российской академии с.-х. наук, № 3. – 2002.
64. Краснощеков Н.В. Агропромышленный комплекс: принципы перестройки / Вестник с.-х. науки, № 3. – 2000.
65. Краснощеков Н.В. Агроинженеринг и пути развития // Техника в сельском хозяйстве. наук, № 2. – 1994.
66. Комбинированный агрегат для уборки урожая и обработки почвы / Патент РФ № 2357400 С1, опубл. 10.06.2010, авторы: Кофейникова Е.З. и др.
67. Кубышев В.А. Энергетические проблемы производства с.-х. продукции // Международный с.х. журнал, % 1, 1983, № 1. – С. 77-80.
68. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
69. Кофсвн А., Крюон Р. Массовое обслуживание, теория и приложение. – М.: Мир, 1965.

70. Киртбая Ю.К., Погорелый Л.В., Максимчук В.П. Вероятностно-статистические предпосылки моделирования производственных процессов / Вестник с.-х. науки, № 9, 1970.

71. Ксенович И.П. Научно–технический прогресс в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении / Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 1, 1985.

72. Ксенович И.П., Гуськов В.В., Скойбеда А.Т. О системном методе прогнозирования параметров с.-х. агрегатов / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 8, 1976.

73. Карустин В.П. Совершенствование методов оценка качества полевых работ / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 5, 1989.

74. Кацыгин В.В. Основы теории выбора оптимальных мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В кн.: Вопросы сельскохозяйственной механики. Т.13. – Минск: Урожай, 1964.

75. Кацыгин В.В., Бракоренко Д.Д., Мацкевич И.П. Оптимальные режимы работы МТА / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 7, 1979.

76. Кленин Н.И. Состояние и перспективы развития зерноуборочной техники / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 2, 1994.

77. Кленин Н.И., Золотов А.А. Расчет уборочно-транспортного комплекса. – М.: МГАУ, 2003.

78. Коваленко В.П., Олейник А.П., Зыков С.А. Комплексный метод оценки технического состояния тракторов и сельхозмашин / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 11, 1994.

79. Кормановский Л.П. Пути развития основных направлений научно-технической политики в сельском хозяйстве и повышение технического уровня машин // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России: материалы научно-технической конференции 15-17 октября 1996 г. – М., 1997.

80. Коренев Г.В., Тарасенко А.П. Прогрессивные способы уборки и борьба с потерями урожая. – М.: Колос, 1977.

81. Кашбулгаев Р. Пожнивной сидерат увеличивает урожай/ Сельский механизатор, № 3, 2006, - 284 с.
82. Колганов К.Г., Четыркин Б.Н., Воцкий З.И. Комбайны двухфазного обмолота зерновых культур. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1972.
83. Концепция развития механизации уборки зерновых культур на период до 2005 года. – М., 1994.
84. Катречко П.М. Влияние удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от способов основной обработки почвы в условиях Украины: Автореф. дисс. канд с.-х. наук. –Одесса, 1975. – 21 с.
85. Карпенко А.Н, Халанский В.Н. Сельскохозяйственные машины. – М.: Колос, 1989. – 248 с.
86. Ковлягин Ф.В., Маслов Г.Г. Уборка зерновых культур методом очеса // Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 8, 1991. – С. 31-32.
87. Концепция машинно-технологической интенсификации растениеводства на период до 2010 года. М.: РАСХН ГНУ ВИМ. – М., 2010.
88. Лаврухин А.А. Технология и комплекс машин для уборки зерновых колосовых культур с обработкой невялого вороха на стационаре / Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – Зерноград, 1985.
89. Лачуга Ю.Ф. Научное обеспечение эффективного использования техники / Материалы XII международной научно-практической конференции, Москва, ГОСНИТИ 12-13 октября 2006. – М., 2007. – С. 3-7.
90. Леженкин А.Н. Убора зерновых методом очесывания / Сельский механизатор, № 11, 2004.
91. Леженкин А.Н. К обоснованию максимальной критической скорости движения прицепного зерноуборочного комбайна очесывающего типа / Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 11, 2006.
92. Леженкин А.Н. Динамика очесывающего агрегата при уборке зерновых культур / Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 12, 2004.
93. Леженкин А.Н. Моделирование полевой уборки части урожая / МЭСХ № 5, 2005.

94. Левшин А.Г. Использование техники при поточном выполнении производственных процессов. – М.: МИИСП, 1986.

95. Липкович Э.И. и др. Технология уборки зерновых культур с совмещением послеуборочных операций / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 12, 2010. – С. 48-50.

96. Липкович Э.И. и др. Технология уборки зерновых культур с совмещением послеуборочных операций / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 12, 2010.

97. Липкович Э.И. Аналитические основы развития зональной системы машин. – зерноград, 1985.

98. Липкович Э.И., Рогудя В.И., Шабанов Г.И., Мещеряков И.А., Комарова М.К. Уборка урожая комбайном ДОН. – М.: Росагропромиздат, 1989.

99. Липкович Э.И. и др. Техничко-экономическое сопровождение машинных технологий производства зерна в условиях современной экономики / сб. научн. докл XIII международной научно-практической конференции: Новые технологии и техника для ресурсосбережения и повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве. – М.: ВИМ ГОСНИТИ, 2005.

100. Липкович Э.И., Жуков В.Я., Мигреладзе Н.М. и др. Техничко-экономическое обоснование перспективных технологий и комплексов машин для уборки всего биологического урожая зерновых колосовых культур / Применение математических методов в исследованиях и разработке сельскохозяйственной техники.– зерноград; ВНИПТИМЭСХ, 1982.

101. Липкович Э.И. и др. Основные стратеги развития сельскохозяйственного машиностроения / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 11, 2011.

102. Лесниковский А.И, Сенченко Т.И. Оценка машин по обобщенному критерию качества / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 3, 1984.

103. Ловчиков Ю.В. Организация уборочно-транспортных комплексов с иерархическим технологическим контролем / Достижения науки и техники, АПК, № 5, 2005. – С. 31-33.

104. Ляшев М.А. Сравнение комбайнов ОАО АгромашХолдинг с комбайнами других производителей / Сб. научн. тр. Челяб. гос. агроинж. ун-т. – Челябинск: изд-во ЧГАУ, 2005. – С. 26-36.
105. Масловский В.И. Параметры и режимы работы многофункционального уборочного почвообрабатывающего агрегата / Автореф. дисс. на соискание учен. степ. к.т.н. – Краснодар, 2010.
106. Маслов Г.Г., Палапин А.В., Ринас Н.А. Многофункциональный уборочный агрегат / Международный сельскохозяйственный журнал, № 1-2, 2014. – С. 16-19.
107. Маслов Г.Г., Палапин А.В., Ринас Н.А. Перспективы комплексной уборки зерновых культур / Монография. – Краснодар, 2014. – 87 с.
108. Маслов Г.Г. и др. Ресурсосберегающий экологически безопасная технология уборки зерновых колосовых методом очеса / Техника и оборудование для села, № 4, 2006. С. 31-32.
109. Маслов Г.Г. и др. Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства. – Киев: Урожай, 1986.
110. Машина для уборки МПК⁷ А01 ЛД 41/08. ФГОУ ВПО Дальневосточный гос. аграр. ун-т. //А.В. Кислов, А.С. Кононцев. Оpubл. 20.06.2006.
111. Марченко О.С. Основные направления ресурсосбережения и повышения производительности труда в кормопроизводстве / Сб. докл XIII международной научно-практической конференции: Новые технологии и техника для ресурсосбережения и повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве. – М.: ВИМ, 2005. – С. 191-201.
112. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – М.: Колос, 1980.
113. Методы совершенствования систем уборки урожая // И.Г. Лукиных // Двухфазный обмолот в отечественном и зарубежном комбайностроении / Сб. научн. тр. Челяб. гос. агроинж. ун-т. – Челябинск: изд-во ЧГАУ, 2005. – С. 87-92. 135. Рус.

114. Мещеряков В.А., Корнилов Т.А. К вопросу расчета параметров жатвенно-луцильных агрегатов / Сб. ВНИИМЭСХ: Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Вып. 15. – зерноград, 1971.

115. Мещеряков В.А., Корнилов Т.А. Расчет нагрузок, действующих на звенья жатвенно-луцильного агрегата / Сб. ВНИИМЭСХ: Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Вып. 14. – Ростовское кн. изд-во, 1972. – С. 164-177.

116. Мещеряков В.А., Корнилов Т.А. Особенности расчета экономической эффективности агрегатов для лущения стерни одновременно с отдельной уборкой хлебов / Сб. ВНИИМЭСХ: Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Вып. 17. – Ростовское кн. изд-во, 1974. – С. 127-134.

117. Мещеряков В.А. Новая продукция Ростсельмаш / Тракторы эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. М.: Колос, 1980.

118. Михалев А.А., Ежевский А.А., Краснощеков Н.В. О технологической модернизации сельскохозяйственного производства / Техника и оборудование для села, № 4, 2005.

119. Михалев А.А., Ежевский А.А., Краснощеков Н.В. О технологической модернизации сельскохозяйственного производства России / Техника и оборудование для села, № 5, 2005.

120. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. – М.: ВИМ, 1989.

121. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. – М.: Колос, 1979.

122. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.; Мысль, 1970.

123. Нагирный Ю.П. Научно-технический прогресс и аспекты инженерной деятельности / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 11, 1990.

124. Обмолот на корню – дальнейшее развитие двухфазного способа обмолота зерновых культур.// П.А. Шабанов, Н.П. Шабанов // Двухфазный обмолот в отечественном и зарубежном комбайностроении: сб. научн. тр. Челябин. гос. агроинж. ун-т. – Челябинск: изд-во ЧГАУ, 2005. – С. 66-73. 133, 4 ил. Рус.
125. Оценки пропускной способности зерноуборочных комбайнов по известным параметрам // С.М. Пенкин, КазНИИМЭСХ / Тракторы и сельскохозяйственные машины, № 1, 2003. – С. 25-27. 3 ил. Библ. 7. Рус.
126. Маслов Г.Г., Трубилин Е.И., Абаев В.В. Перспективные варианты уборки зерновых колосовых культур / Тракторы и сельхозмашины, № 12, 2009. – С. 42–44.
127. Пенкин М. Г. Новые технологии уборки зерновых колосовых культур. – Алма-Ата: Кайнар, 1988.
128. Пенкин М.Г. Оценка пропускной способности зерноуборочных комбайнов по известным параметрам / Тракторы и сельхозмашины, № 1, 2003. – С. 27–33.
129. Попов В.Д. и др. Экология АПК: проблемы и практика управления природными ресурсами в сельскохозяйственном регионе // Инженерная экология, № 1, 1998.
130. Погорелый Л.В., Брей В.В. Системный анализ и прогнозирование эффективности машин и комплексов по результатам испытаний / Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 11, 1978.
131. Погорелый Л.В. Синтез и прогнозирование параметров машинных агрегатов для возделывания и уборки сахарной свеклы / Тракторы и сельхозмашины, № 1, 1973.
132. Погорелый Л.В., Бильский В.Г., Каноненко Н.П. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. – Киев: Урожай, 1989.
133. Пикулик Н.Н. Результаты испытаний комплекса зерноуборочного роторного КЗР-10 в хозяйствах зоны РосНИИТиМ / Сб. тр. РосНИИТиМ: Техно-технологическое состояние растениеводства, методы оценок и перспективы развития. – Новокубанск, 2003.

134. Правила производства механизированных работ под пропашные культуры / Пособие для бригадиров и звеньевых // Сост. К.С. Орманджи. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 206 с.
135. Петров В.А., Медведев Т.Н. Системная оценка эффективности новой техники. – М.: Машиностроение, 1978.
136. Путинцев А.Ф., Платонова Н.А. Влияние травмирования зерна на всхожесть и урожай / Зерновое хозяйство, № 9, 1985.
137. Пугачев А.Н. Повреждение зерна машинами. – М.: Колос, 1976.
138. Рунчев М.С., Липкович Э.И., Жуков В.Я. Организация уборочных работ специализированными комплексами. – М.: Колос, 1980. – 223 с.
139. Русанов А.И. Состояние и тенденции развития зерно- и кукурузо-уборочных комбайнов и приспособление к ним / Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИ автосельхозмаш, 1990.
140. Рекомендации по использованию техники и повышению качества уборки зерновых колосовых культур. – Краснодар: Производственное управление сельского хозяйства Краснодарского крайисполкома, 1976.
141. Российское зерно не востребовано на мировом рынке / Главный агроном, № 11, 2009. – С . 6.
142. Скороходов А.Н. Оптимальная организация использования техники в отрядах и комплексах. М.: изд. МИИСП, 1986. – 88 с.
143. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов. – М.: Колос, 1997.
144. Севернев М.М., Токарев В.А. Методика энергетической оценки технологий и комплексов машин /Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 9, 1986.
145. Система земледелия Краснодарского края на агропромышленной основе. – Краснодар, 2018. – 352 с.
146. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебное пособие для сельскохозяйственных вузов // Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Н.А. Ринас. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 160 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

Кубанского ГАУ

д-р экон. наук, профессор

С. М. Резниченко

« 24 »

2018 г.



АКТ

внедрения в учебный процесс Кубанского ГАУ имени И.Т. Трубилина научных разработок аспиранта Ринас Николая Анатольевича по теме кандидатской диссертации: «Совершенствование технологии комплексной уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы»

Результаты исследований аспиранта Ринас Н.А. по теме кандидатской диссертации внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». Они используются на факультетах механизации, агрономии, землеустроительном и др. при чтении лекций, проведении практических занятий, проектировании и подготовке выпускных квалификационных работ студентами магистрантами и аспирантами университета. Разработки автора представлены в следующих литературных источниках с долей участия автора 40 процентов:

- 1) Методика инженерного расчета уборочного многофункционального агрегата с одновременным прессованием соломы, методические указания / Г. Г. Маслов, Н. А. Ринас - Краснодар: КубГАУ, 2018. - 21 с.
- 2) Эксплуатация машинно-тракторного парка, учебное пособие / Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Н.А. Ринас - Краснодар: КубГАУ, 2017.160 с.
- 3) Перспективы комплексной уборки зерновых культур: монография / Г. Г. Маслов, А. В. Палапин, Н. А. Ринас - Краснодар: КубГАУ, 2014. - 87 с.
- 4) Эксплуатация машинно-тракторного парка: Метод, рекомендации к выполнению курсовой работы / сост. Н. А. Ринас, А. П. Карабаницкий, Е. М. Юдина - Краснодар : Куб ГАУ, 2016.- 52 с.

Подписи членов комиссии:

Декан факультета механизации, доцент

Зав.кафедрой Эксплуатации МТП

Зав.кафедрой ПриМА

Аспирант, ст. преподаватель кафедры
Эксплуатации МТП

А. А. Титученко

Е. В. Труфляк

Е. И. Трубилин

Н. А. Ринас

УТВЕРЖДАЮ

Директор учхоза «Кубань»
Кубанского ГАУ имени И.Т. Трубилина
Т.В. Логойда
2018 г.



АКТ

производственной проверки в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ новой технологии уборки озимой пшеницы с применением многофункционального уборочного агрегата с одновременным прессованием соломы по теме кандидатской диссертации Ринас Николая Анатольевича: «Совершенствование технологии комплексной уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы»

Комиссия в составе главного инженера учхоза «Кубань» Кубанского ГАУ Кравченко Виктора Валерьевича, главного агронома Матирного Алексея Николаевича, механика отделения №2 Фанина Александра Ивановича, механизатора Хомутова Павла Васильевича, профессора кафедры Эксплуатации МТП КубГАУ Маслова Геннадия Георгиевича и аспиранта Ринас Николая Анатольевича составила настоящий акт на предмет производственной проверки многофункционального уборочного агрегата (МФА) на прямом комбайнировании озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы.

Пробные испытания проведены 14 июля 2018 года на поле № 4.1 при уборке сорта «Таня» с урожайностью 6,8 т/га.

Состав агрегата: зерноуборочный комбайн TORUM-740 с пресс-подборщиком ПРФ-180. Опытный агрегат работал на скорости 5 км/ч с жаткой 7,0 м. Технологический процесс протекал устойчиво. Все механизмы показали надежность и безотказность при выполнении рабочего процесса МФА. Гидропривод пресс-подборщика и сцепное устройство, изготовленные аспирантом, сбоев и отказов не имели.

Таким образом, предлагаемый МФА можно рекомендовать к использованию на уборке колосовых культур с одновременным прессованием соломы.

Подписи членов комиссии:

Главный инженер
Главный агроном
Механик отделения №2
Механизатор
Профессор кафедры ЭМТП
Аспирант



В.В. Кравченко
А.Н. Матирный
А.И. Фанин
П.В. Хомутов
Г.Г. Маслов
Н.А. Ринас

165-50/15

165-50/15

СОГЛАШЕНИЕ № 47.05.01/7-114
о поддержке проекта фундаментального научного исследования

г. Краснодар

«8» сентября 2018 г.

Министерство образования, науки и молодежной политики Краснодарского края, далее именуемое Министерство, в лице министра Синюгиной Т.Ю., действующего на основании Положения, с одной стороны, граждане Российской Федерации, объединившиеся в научный коллектив, именуемые в дальнейшем Грантополучатель, в лице Руководителя проекта Маслов Геннадий Георгиевич, с другой стороны, и федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», именуемое в дальнейшем Организация, в лице ректора Трубилина А.И., действующего на основании Устава, с третьей стороны, совместно именуемые Стороны, на основании решения бюро совета Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский фонд фундаментальных исследований» (далее – РФФИ) о выделении Грантополучателю по результатам регионального конкурса (далее — Конкурс) денежных средств для финансирования научного проекта №16-48-230386 р_а «Технологические и организационные основы повышения сборов зерна за счет качества уборки урожая и комплексности работ» (далее — Проект), подписали настоящее Соглашение о следующем:

7. Приложения к настоящему Соглашению

1. Приложение № 1. Согласие от каждого члена коллектива - по прилагаемой форме.

от Министерства:
Министр образования, науки
и молодежной политики
Краснодарского края



Синюгина Т.Ю.

от Организации
ректор ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ,
профессор



Трубилин А.И.

от Грантополучателя:
Руководитель проекта
должность *руководителя*

 Маслов Г.Г.

СОГЛАСИЕ

для физического лица - члена коллектива:

Я, Ринас Николай Анатольевич, член коллектива, представивший на конкурс проект, №16-48-230477 р а «Технологические и организационные основы повышения сборов зерна за счет качества уборки урожая и комплексности работ»

согласен:

- с содержанием Заявки, поданной на конкурс инициативных научных проектов, с условиями Конкурса и Порядком организации работ по проектам, поддержанным Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), Российским гуманитарным научным фондом (РГНФ) и министерством образования, науки и молодежной политики Краснодарского края;

- с выбором Организации, предоставляющей условия для выполнения работ по проекту;

- с избранием Руководителем проекта Маслова Геннадия Георгиевича;

Предоставляю Маслову Геннадию Георгиевичу право представлять мои интересы в отношениях с министерством образования, науки и молодежной политики Краснодарского края, Организацией и иными юридическими и физическими лицами по всем вопросам, связанным с подачей заявки на Конкурс, заключением Соглашения с министерством образования, науки и молодежной политики Краснодарского края и Организацией, реализацией проекта, в том числе с распоряжением грантом, в случае его получения.

- на использование моих персональных данных министерством образования, науки и молодежной политики Краснодарского края для информационного и финансового сопровождения проекта в соответствии с Федеральным законом РФ от 27 июля 2006 года № 152-ФЗ «О персональных данных» путём средств автоматизации и без использования таких средств (сбор, систематизацию, накопление, хранение, уточнение, использование, распространение).

Настоящее согласие вступает в силу с момента его подписания и действует в течение неопределенного срока. Согласие может быть отозвано мною в любое время на основании моего письменного заявления.

Подпись  / Н.А. Ринас Расшифровка подписи

4938

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2626161

Машина полевая для заготовки и сбора зернового вороха

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Сергунцов Александр Сергеевич (RU), Ринас Николай Анатольевич (RU), Дайбова Любовь Анатольевна (RU)*

Заявка № 2016140810

Приоритет изобретения 17 октября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 июля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 17 октября 2036 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

02-08-2017

4814

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 163823

ПРИЦЕПНОЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ АГРЕГАТ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

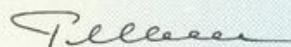
Заявка № **2015157483**

Приоритет полезной модели **31 декабря 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **21 июля 2016 г.**

Срок действия патента истекает **31 декабря 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



вх. 23.08.16

4592

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 148089

УБОРОЧНАЯ МАШИНА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014134959

Приоритет полезной модели **26 августа 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **24 октября 2014 г.**

Срок действия патента истекает **26 августа 2024 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



08-12-2014

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014619225

Оптимизация ширины захвата МФА, урожайности озимой пшеницы и продолжительности уборки от функции затрат потерь

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Ринас Николай Анатольевич (RU), Цыбулевский Валерий Викторович (RU)*

Заявка № 2014616821

Дата поступления 15 июля 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 сентября 2014 г.



Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Курий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014619296

Графики зависимостей затрат и потерь от параметров МФА

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Ринас Николай Анатольевич (RU), Цыбулевский Валерий Викторович (RU)*

Заявка № 2014617016

Дата поступления 18 июля 2014 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 12 сентября 2014 г.



Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014619295

**Уравнение регрессии функции затрат и потерь МФА для
уборки озимой пшеницы**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Маслов Геннадий Георгиевич (RU), Ринас Николай Анатольевич (RU), Цыбулевский Валерий Викторович (RU)*

Заявка № 2014617014

Дата поступления 18 июля 2014 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 сентября 2014 г.



Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий







СЕРТИФИКАТ CERTIFICATE

24-я Международная выставка
сельскохозяйственной техники,
оборудования и материалов для производства
и переработки растениеводческой
сельхозпродукции «ЮГАГРО»
28 ноября - 01 декабря 2017 года
Россия, Краснодар

24th International exhibition
of agricultural machinery,
equipment and materials
for crop production
YugAgro
28 November - 01 December 2017
Krasnodar, Russia

ЮГАГРО  **YUGAGRO**

Группа компаний ITE настоящим
удостоверяет, что компания

The ITE Group
hereby certifies that

ФГБОУ ВО КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

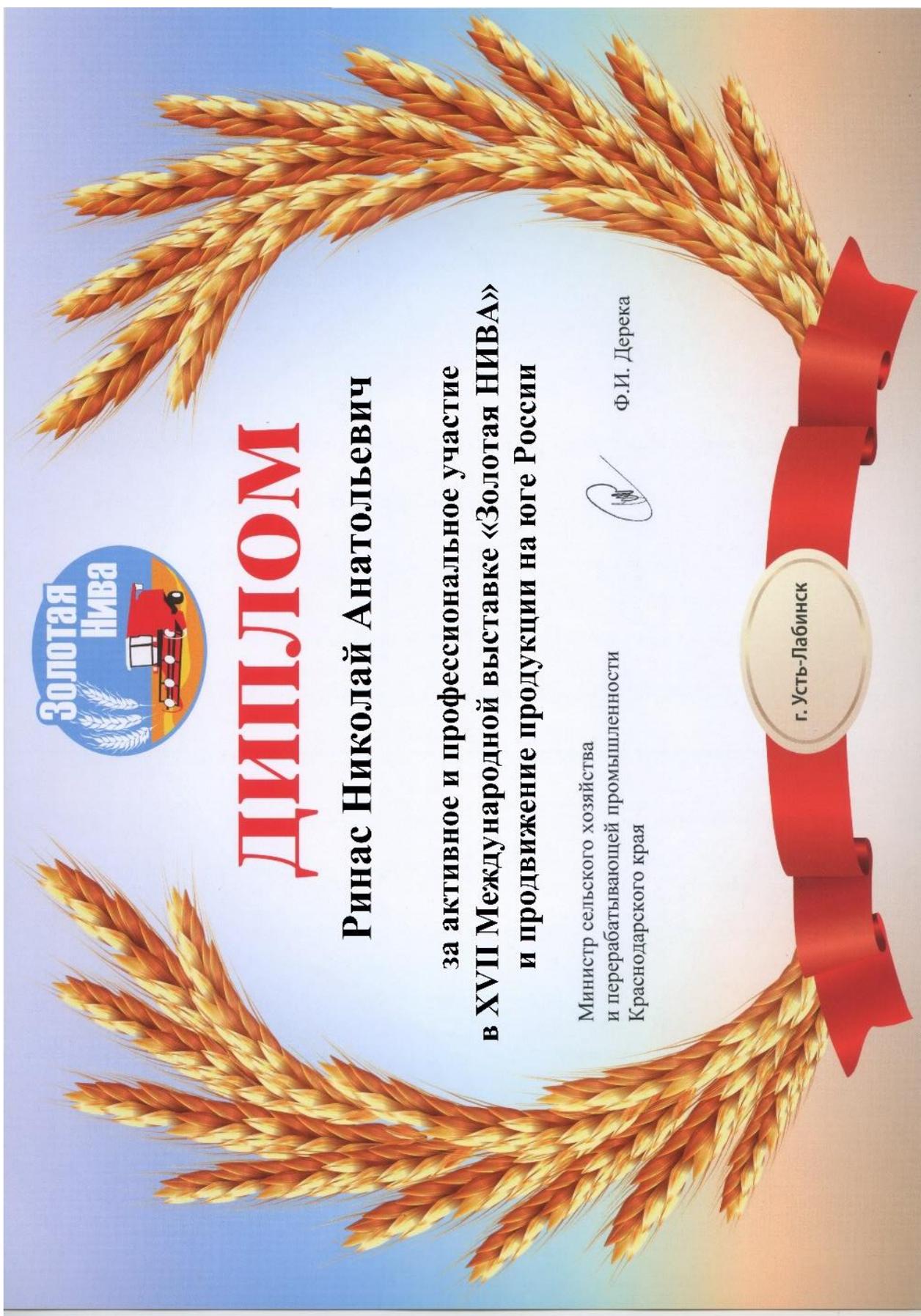
в лице Ринаса Николая Анатольевича

являлась участником
24-й Международной выставки «ЮГАГРО»
и была удостоена высокой оценки
организаторов за актуальность и
профессионализм представленной
экспозиции

participated in the
24th International exhibition YugAgro
and was highly esteemed
by the Organiser for professional
presentation of services
and products

Организатор | Organised by





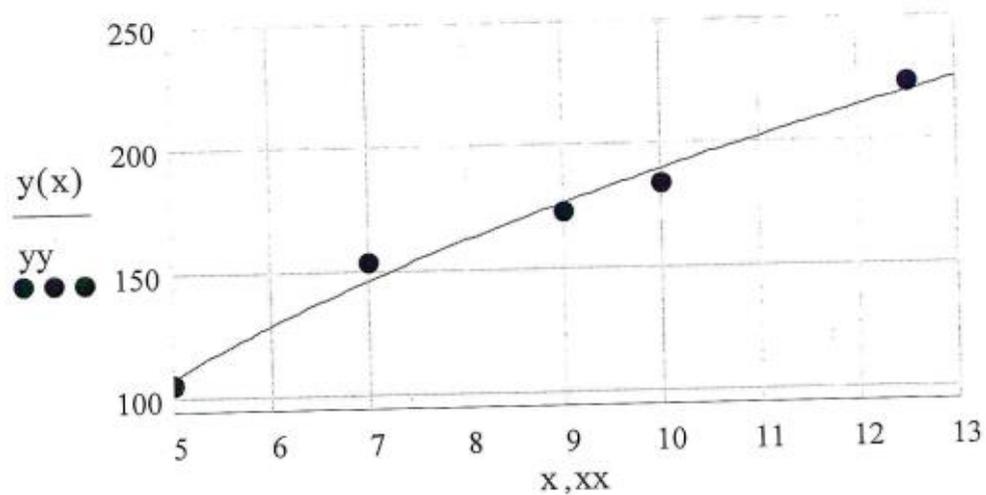
$$\text{ORIGIN} := 1$$

$$x := 5, 5.1 .. 13$$

$$xx := \begin{bmatrix} 5 \\ 7 \\ 9 \\ 10 \\ 12.5 \end{bmatrix}$$

$$yy := \begin{bmatrix} 106 \\ 154 \\ 173 \\ 184 \\ 224 \end{bmatrix}$$

$$y(x) := \sqrt{4.8879 \cdot 10^3 \cdot x - 12.844 \cdot 10^3}$$



$$j := 1..5 \quad S1 := \sum_j (y(xx_j) - yy_j)^2 \quad S1 = 128.714$$

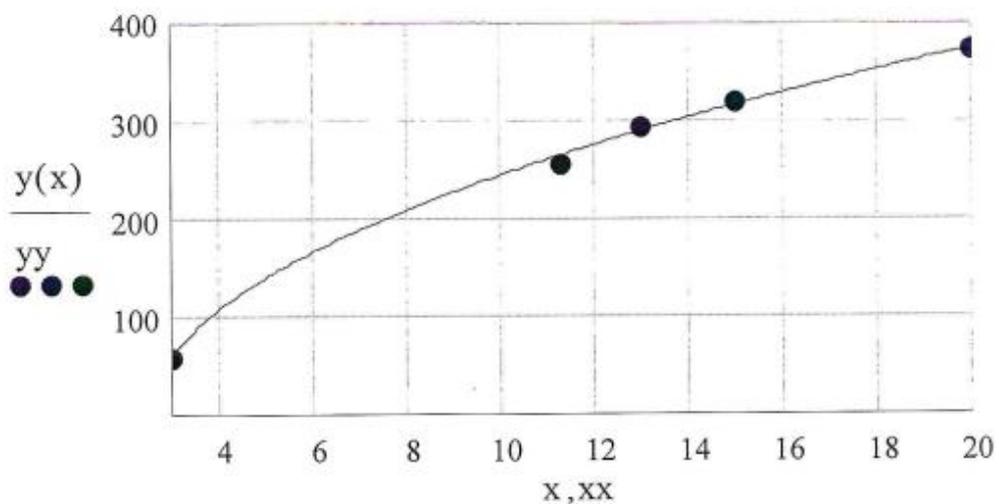
$$F_j := (y(xx_j) - yy_j)^2 \quad S2y := \max(F) \quad S2y = 61.007645$$

Проверка по критерию Кохрена

$$Gp := \frac{S2y}{S1} \quad Gp = 0.474 \quad Gt := 0.7457 \quad Gp \leq Gt$$

$$\begin{aligned} \text{ORIGIN} &:= 1 \\ x &:= 3, 3.1 \dots 20 \\ \mathbf{xx} &:= \begin{bmatrix} 3 \\ 11.3 \\ 13 \\ 15 \\ 20 \end{bmatrix} \\ \mathbf{yy} &:= \begin{bmatrix} 58 \\ 257 \\ 294 \\ 320 \\ 375 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$y(x) := \sqrt{8.0745 \cdot 10^3 \cdot x - 20.912 \cdot 10^3}$$



$$j := 1 \dots 5 \quad S1 := \sum_j (y(\mathbf{xx}_j) - \mathbf{yy}_j)^2 \quad S1 = 95.904$$

$$F_j := (y(\mathbf{xx}_j) - \mathbf{yy}_j)^2 \quad S2y := \max(F) \quad S2y = 67.20321$$

Проверка по критерию Кохрена

$$G_p := \frac{S2y}{S1} \quad G_p = 0.701 \quad G_t := 0.7457 \quad G_p \leq G_t$$

q := 20

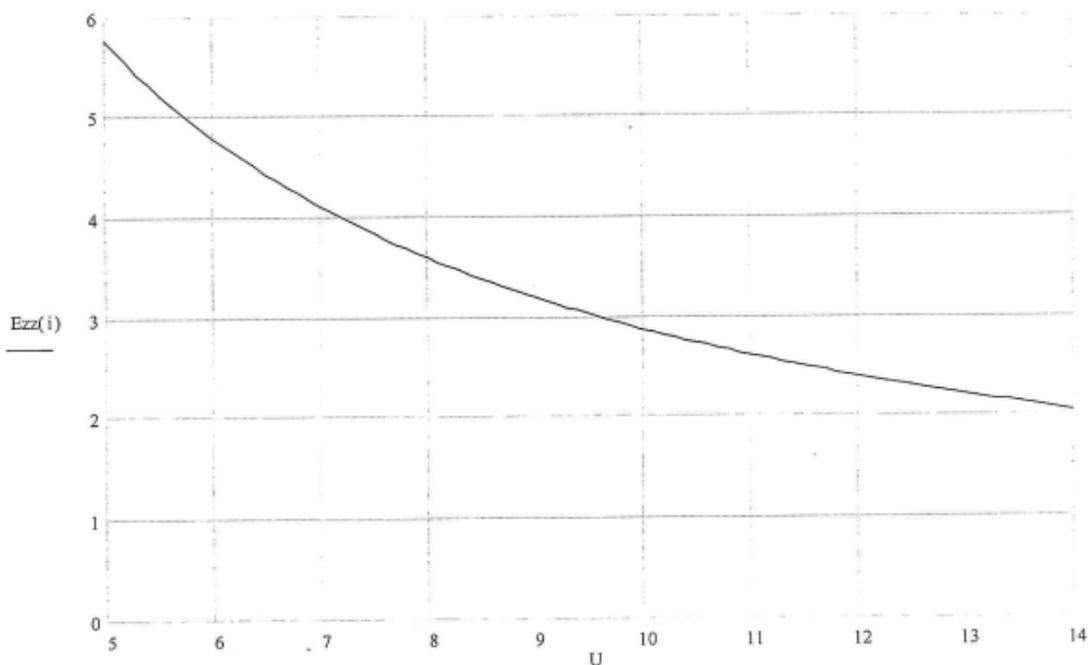
Vp := 5

Z := 6000

n := 15

```

i := 1    U := 5, 5.1.. 14    Ezz(i) :=
qnp ← 0.5 · q
N1e ← √(8.0745 · 103 · q - 20.912 · 103)
Ne ← N1e + 4.89 · qnp
B ← (3.79 · q) / U
W ← 0.38 · B
Ckb ← 1000 · √(-2.4797 · (109 / eq) + 16.212 · 106 · q)
nag ← (1000) / (W · 12 · n)
c1 ← (0.0007 · Ckb + 106 · qnp + 248) / W
c2 ← (7.28 · Ne · (1 + 0.03 · (B - 1)) · (1 + 0.03 · (U - 5))) / W
C1 ← (c1 + c2) · 1000
C2 ← nag · (Ckb + 107000 · qnp)
Cz ← C1 + C2
Cn ← Z · U · 1000 · [1 + ((1.6 · n - 4) + 1.3 · n) / 100]
Czp ← Cz + Cn
ss ← W
    
```



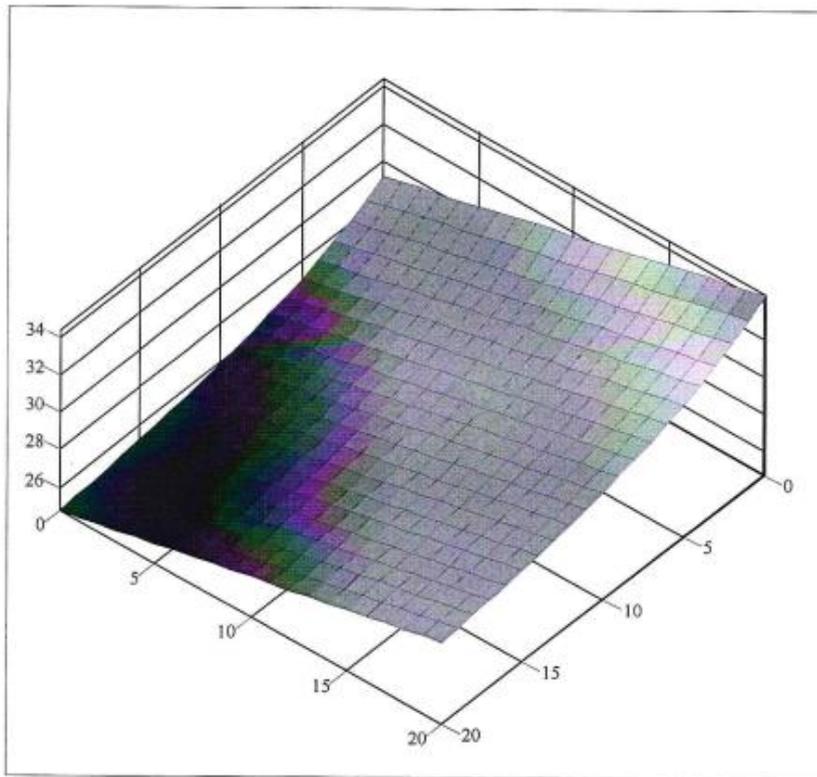
$$b := 5 \quad b2 := 14 \quad k := 20 \quad x1 := 0..k \quad x2 := 0..k \quad q := 20 \quad Vp := 5$$

$$x22(x2) := b + \frac{b2 - b}{k} \cdot x2 \quad x11(x1) := \frac{3.79 \cdot q}{x22(x1)}$$

$$\text{Ezz}(x11, x22) := \left\{ \begin{array}{l} Vnp \leftarrow 18.95 \cdot \frac{q}{x22(x2) \cdot x11(x1)} \\ Gk \leftarrow 1421.8 \cdot q + 200 \cdot x11(x1) \\ qnp \leftarrow 0.5 \cdot q \\ Gnp \leftarrow qnp \cdot 313.3 + 500 \\ N1e \leftarrow \sqrt{4.8879 \cdot 10^3 \cdot q - 12.844 \cdot 10^3} \\ Ne \leftarrow N1e + 4.89 \cdot qnp \\ W \leftarrow 0.06 \cdot x11(x1) \cdot Vnp \cdot x22(x2) \cdot (1 + 0.02 \cdot (x11(x1) - 1)) \cdot (1 + 0.02 \cdot (x22(x2) - 5)) \\ ss \leftarrow W \end{array} \right.$$

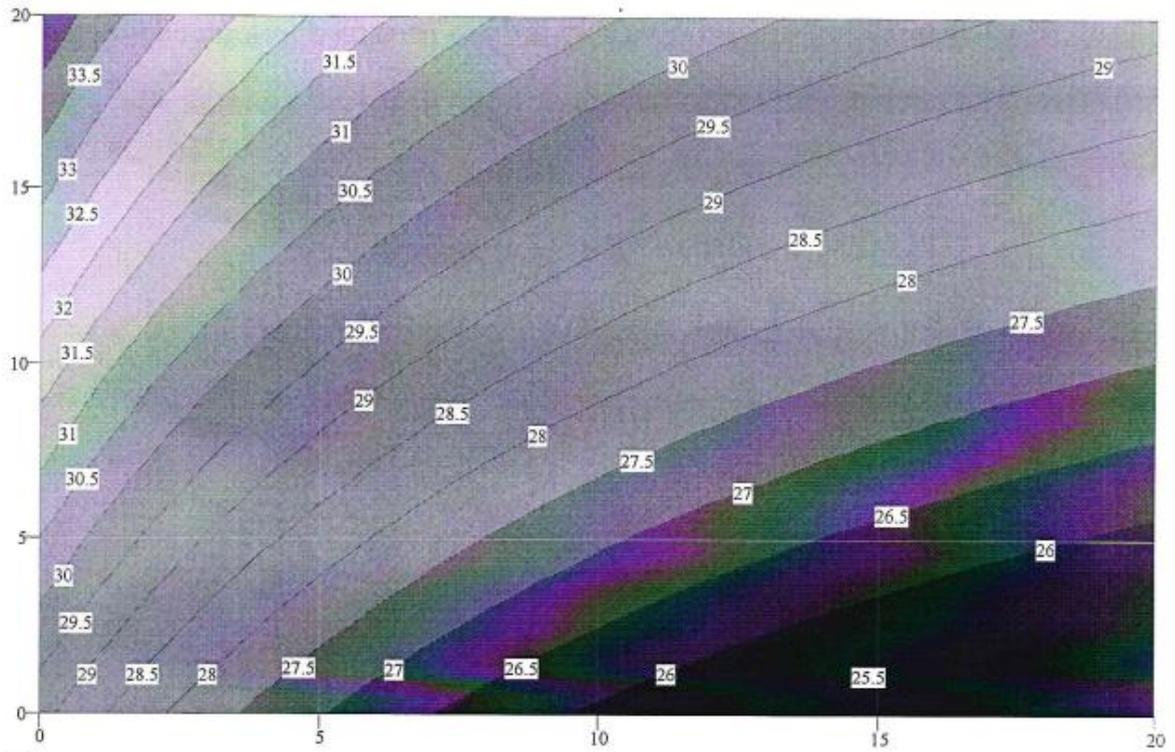
$$F1_{x1, x2} := \text{Ezz}(x11, x22)$$

$$W=f(B,U)$$



F1

B	U	n
x11(x1)	x22(x2)	x1
15.16	5	0
13.90826	5.45	1
12.84746	5.9	2
11.93701	6.35	3
11.14706	6.8	4
10.45517	7.25	5
9.84416	7.7	6
9.30061	8.15	7
8.81395	8.6	8
8.37569	9.05	9
7.97895	9.5	10
7.61809	9.95	11
7.28846	10.4	12
6.98618	10.85	13
6.70796	11.3	14
6.45106	11.75	15
6.21311	12.2	16
5.99209	12.65	17
5.78626	13.1	18
5.5941	13.55	19
5.41429	14	20



F1

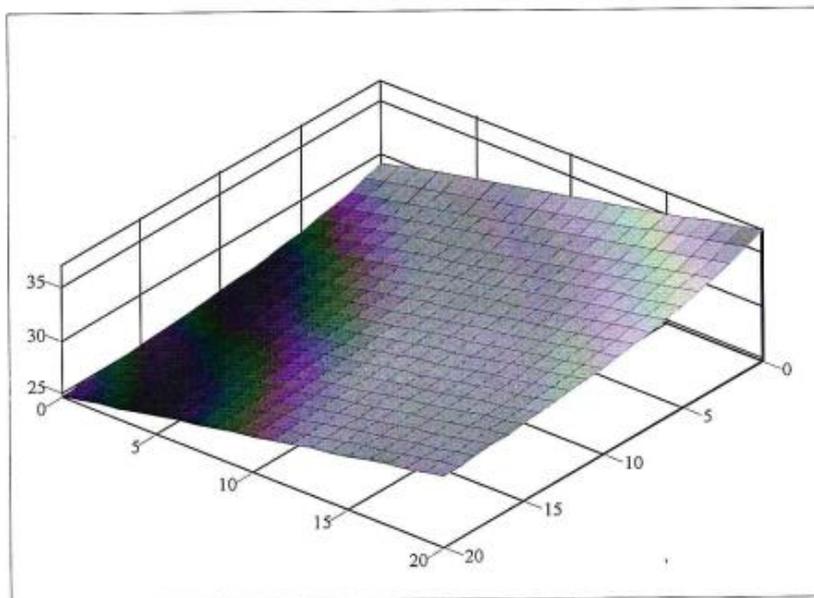
$$b := 5 \quad b2 := 14 \quad k := 20 \quad x1 := 0..k \quad x2 := 0..k \quad q := 20 \quad Vp := 5$$

$$x22(x2) := b + \frac{b2 - b}{k} \cdot x2 \quad x11(x1) := \frac{3.79 \cdot q}{x22(x1)}$$

$$W = f(B, U)$$

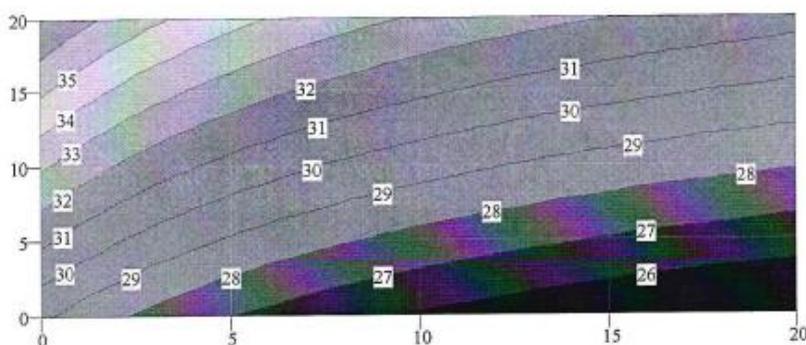
$$\begin{aligned} \text{Ezz}(x11, x22) := & \left\{ \begin{array}{l} Vnp \leftarrow 18.95 \cdot \frac{q}{x11(x1) \cdot x22(x2)} \\ Gk \leftarrow 1837.2 \cdot q + 200 \cdot x11(x1) \\ qnp \leftarrow 0.5 \cdot q \\ Gnp \leftarrow qnp \cdot 313.3 + 500 \\ N1e \leftarrow \sqrt{8.0745 \cdot 10^3 \cdot q - 20.912 \cdot 10^3} \\ Ne \leftarrow N1e + 4.89 \cdot qnp \\ W \leftarrow 0.06 \cdot x11(x1) \cdot Vnp \cdot x22(x2) \cdot (1 + 0.02 \cdot (x11(x1) - 1)) \cdot (1 + 0.03 \cdot (x22(x2) - 5)) \\ ss \leftarrow W \end{array} \right. \end{aligned}$$

$$F1_{x1, x2} := \text{Ezz}(x11, x22)$$



F1

B	U	n
x11(x1)	x22(x2)	x1
15.16	5	0
13.90826	5.45	1
12.84746	5.9	2
11.93701	6.35	3
11.14706	6.8	4
10.45517	7.25	5
9.84416	7.7	6
9.30061	8.15	7
8.81395	8.6	8
8.37569	9.05	9
7.97895	9.5	10
7.61809	9.95	11
7.28846	10.4	12
6.98618	10.85	13
6.70796	11.3	14
6.45106	11.75	15
6.21311	12.2	16
5.99209	12.65	17
5.78626	13.1	18
5.5941	13.55	19
5.41429	14	20



F1

$$b := 5 \quad b2 := 14 \quad k := 20 \quad x1 := 0..k \quad x2 := 0..k \quad a := 5 \quad a2 := 20 \quad Vp := 5$$

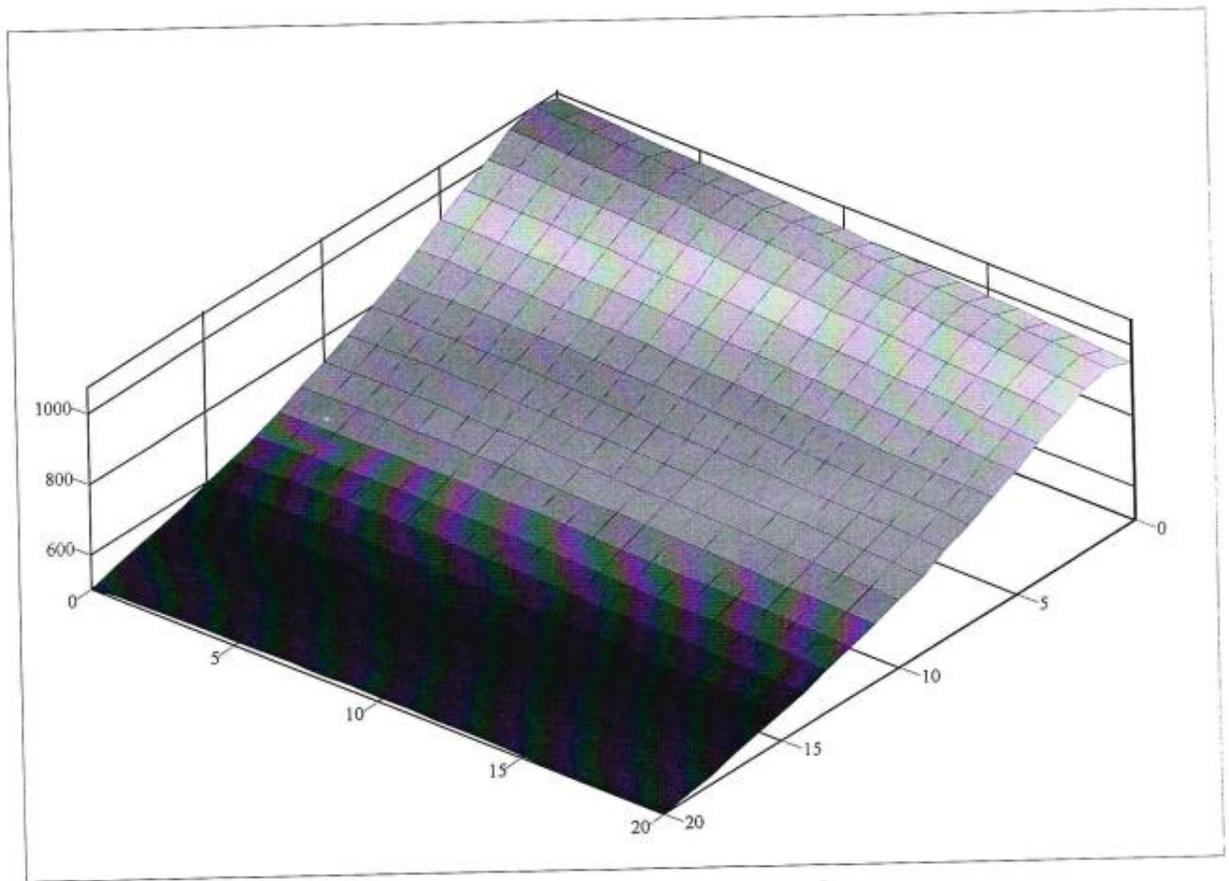
$$x22(x2) := b + \frac{b2 - b}{k} \cdot x2$$

$$x11(x1) := a + \frac{a2 - a}{k} \cdot x1$$

$$Z = f(q, U)$$

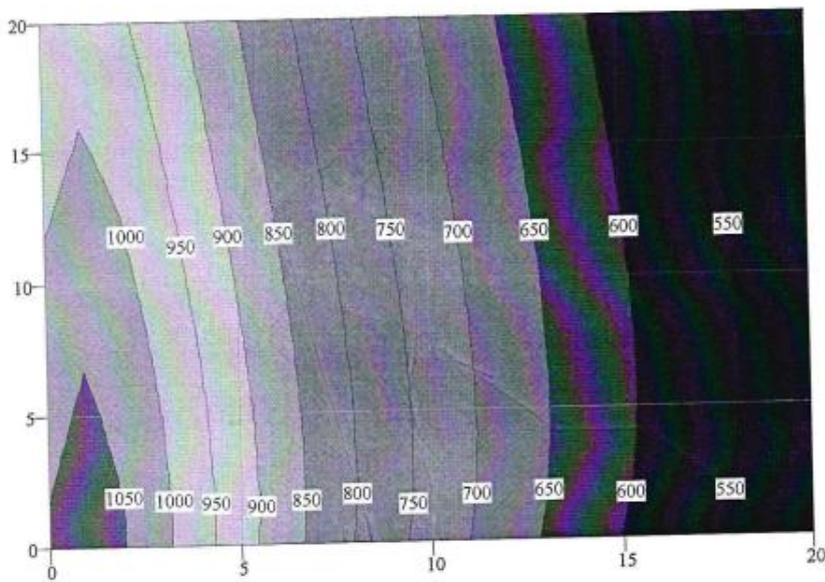
$$Ezz(x11, x22) := \left[\begin{array}{l} Vp - 5 \\ B \leftarrow 3.79 \cdot \frac{x11(x1)}{x22(x2)} \\ Vnp \leftarrow 18.95 \cdot \frac{x11(x1)}{x22(x2) \cdot B} \\ Gk \leftarrow 1421.8 \cdot x11(x1) + 200 \cdot B \\ qnp \leftarrow 0.5 \cdot x11(x1) \\ Gnp \leftarrow qnp \cdot 313.3 + 500 \\ N1e \leftarrow \sqrt{4.8879 \cdot 10^3 \cdot x11(x1) - 12.844 \cdot 10^3} \\ Ne \leftarrow N1e + 4.89 \cdot qnp \\ W \leftarrow 0.06 \cdot B \cdot Vnp \cdot x22(x2) \cdot (1 + 0.02 \cdot (B - 1)) \cdot (1 + 0.02 \cdot (x22(x2) - 5)) \\ Ckb \leftarrow 1000 \cdot \sqrt{82.322 \cdot 10^6 \cdot \ln(x11(x1)) - \frac{408.32 \cdot 10^6}{x11(x1)}} \\ Cnpb \leftarrow 313.3 \cdot qnp \\ Z1 \leftarrow \frac{0.0007 \cdot Ckb + 91.7 \cdot qnp + 209}{W} \\ Z2 \leftarrow \frac{0.204 \cdot 35 \cdot Ne \cdot (1 + 0.02 \cdot (B - 1)) \cdot (1 + 0.02 \cdot (x22(x2) - 5))}{W} \\ Z \leftarrow Z1 + Z2 \\ ss \leftarrow Z \end{array} \right.$$

$$F1_{x1, x2} := Ezz(x11, x22)$$



F1

$$Z=f(q,U)$$



F1

q	U	n
x11(x1)	x22(x2)	x1
5	5	0
5.75	5.45	1
6.5	5.9	2
7.25	6.35	3
8	6.8	4
8.75	7.25	5
9.5	7.7	6
10.25	8.15	7
11	8.6	8
11.75	9.05	9
12.5	9.5	10
13.25	9.95	11
14	10.4	12
14.75	10.85	13
15.5	11.3	14
16.25	11.75	15
17	12.2	16
17.75	12.65	17
18.5	13.1	18
19.25	13.55	19
20	14	20

$$b := 5 \quad b2 := 14 \quad k := 20 \quad x1 := 0..k \quad x2 := 0..k \quad a := 5 \quad a2 := 20 \quad Vp := 5$$

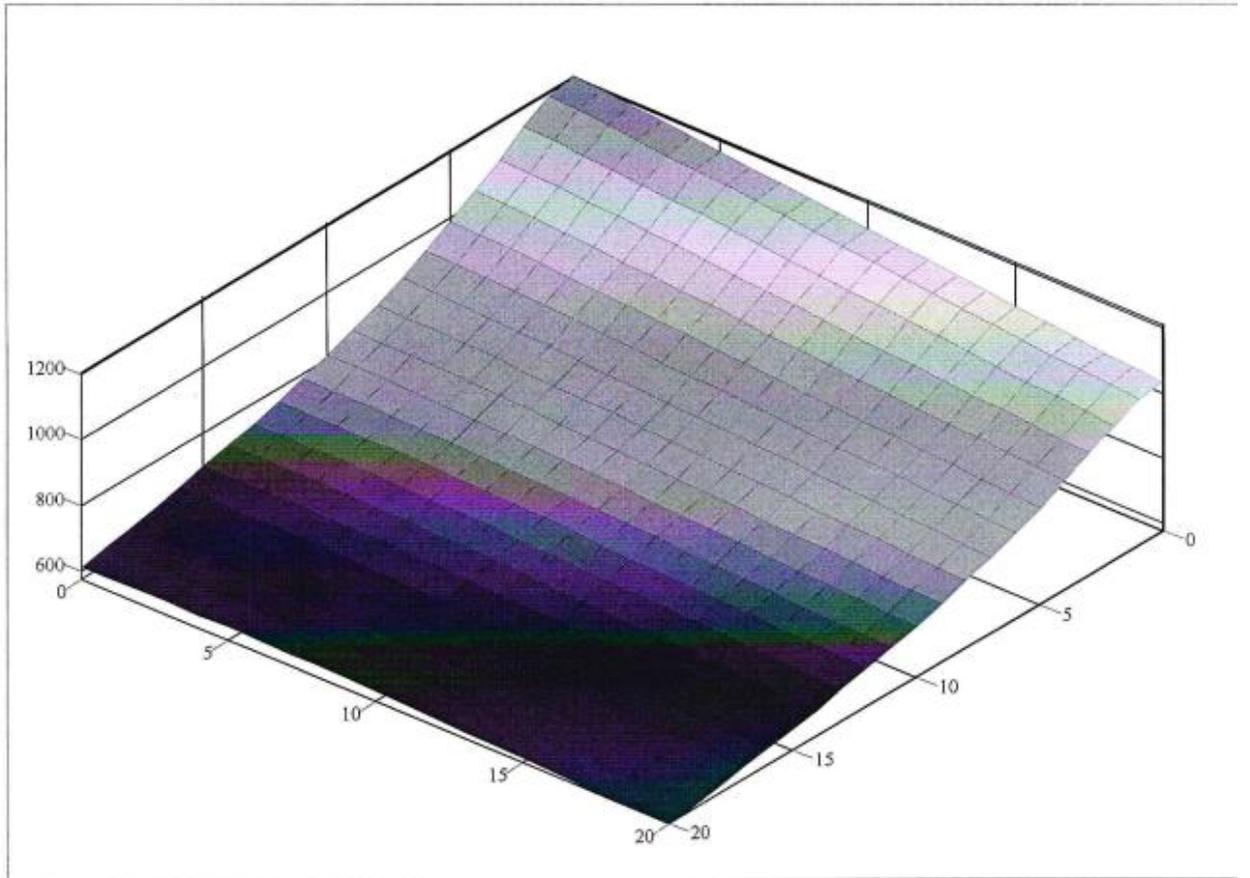
$$x22(x2) := b + \frac{b2 - b}{k} \cdot x2$$

$$x11(x1) := a + \frac{a2 - a}{k} \cdot x1$$

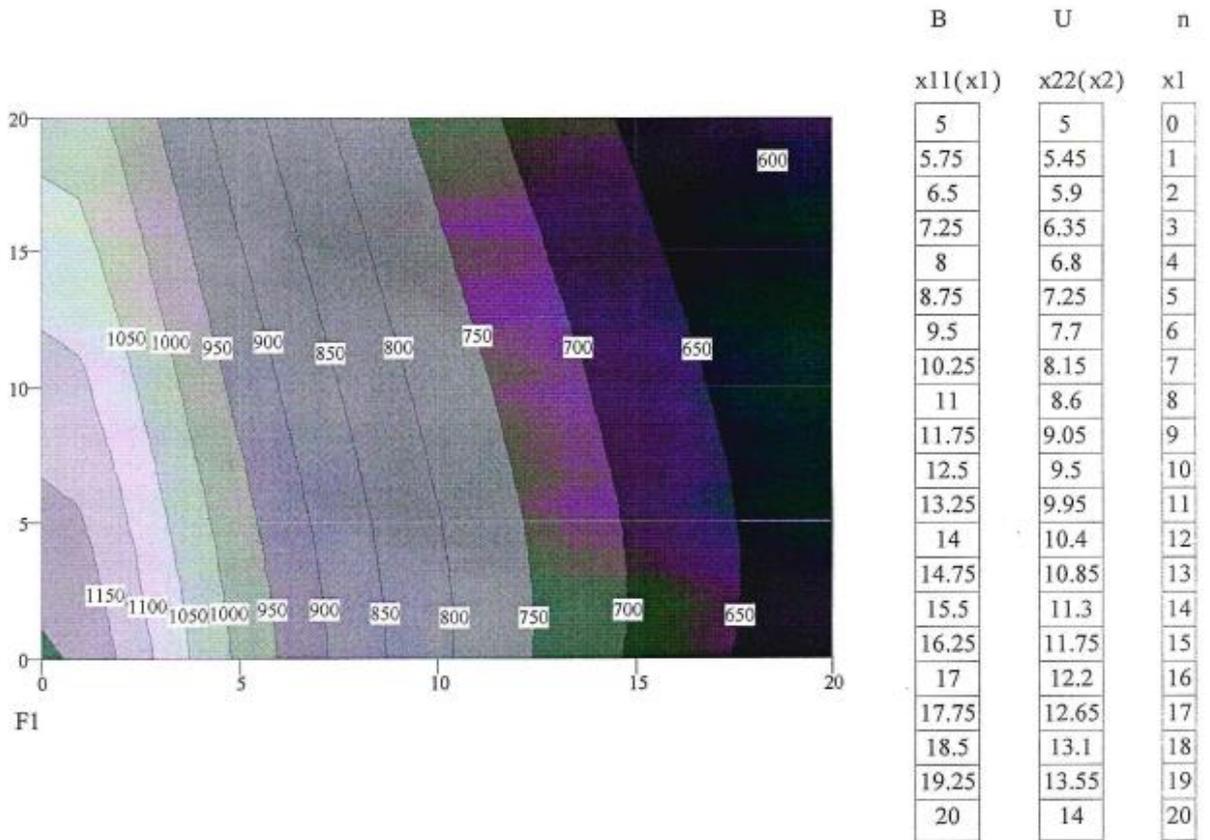
$$Z = f(q, U)$$

$$Ezz(x11, x22) := \left[\begin{array}{l} Vp \leftarrow 5 \\ B \leftarrow 3.79 \cdot \frac{x11(x1)}{x22(x2)} \\ Vnp \leftarrow 18.95 \cdot \frac{x11(x1)}{B \cdot x22(x2)} \\ Gk \leftarrow 1837.2 \cdot x11(x1) + 200 \cdot B \\ qnp \leftarrow 0.5 \cdot x11(x1) \\ Gnp \leftarrow qnp \cdot 313.3 + 500 \\ N1e \leftarrow \sqrt{8.0745 \cdot 10^3 \cdot x11(x1) - 20.912 \cdot 10^3} \\ Ne \leftarrow N1e + 4.89 \cdot qnp \\ W \leftarrow 0.06 \cdot B \cdot Vnp \cdot x22(x2) \cdot (1 + 0.02 \cdot (B - 1)) \cdot (1 + 0.03 \cdot (x22(x2) - 5)) \\ Ckb \leftarrow 1000 \cdot \sqrt{-2.4797 \cdot \frac{10^9}{e^{x11(x1)}} + 16.212 \cdot 10^6 \cdot x11(x1)} \\ Cnpb \leftarrow 107000 \cdot qnp \\ Z1 \leftarrow \frac{0.0007 \cdot Ckb + 91.7 \cdot qnp + 209}{W} \\ Z2 \leftarrow \frac{0.214 \cdot 35 \cdot Ne \cdot (1 + 0.02 \cdot (B - 1)) \cdot (1 + 0.03 \cdot (x22(x2) - 5))}{W} \\ Z \leftarrow Z1 + Z2 \\ ss \leftarrow Z \end{array} \right.$$

$$F1_{x1, x2} := Ezz(x11, x22)$$



F1



F1

B	U	n
x11(x1)	x22(x2)	x1
5	5	0
5.75	5.45	1
6.5	5.9	2
7.25	6.35	3
8	6.8	4
8.75	7.25	5
9.5	7.7	6
10.25	8.15	7
11	8.6	8
11.75	9.05	9
12.5	9.5	10
13.25	9.95	11
14	10.4	12
14.75	10.85	13
15.5	11.3	14
16.25	11.75	15
17	12.2	16
17.75	12.65	17
18.5	13.1	18
19.25	13.55	19
20	14	20