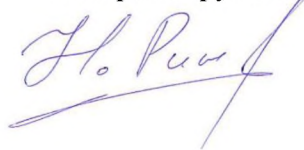


На правах рукописи



**Ринас Николай Анатольевич**

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

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Краснодар – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Научный руководитель:  | <b>Маслов Геннадий Георгиевич</b> , доктор технических наук, профессор.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Официальные оппоненты: | <b>Константинов Михаил Маерович</b> доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Механизации технологических процессов в АПК»;<br><b>Старцев Александр Сергеевич</b> кандидат технических наук, доцент Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК» |
| Ведущая организация:   | <b>Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» КубНИИТиМ</b> (г. Новокубанск)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Защита состоится «03» июня 2020 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, корпус факультета механизации, ауд. 345.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» <http://kubsau.ru/> и ВАК – <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «    » марта 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор  
Фролов Владимир Юрьевич



## Общая характеристика работы

**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.

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.

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.

Научные исследования по обоснованию параметров и режимов работы многофункционального агрегата выполнены по плану НИР Кубанского ГАУ и поддержаны РФФИ и администрацией Краснодарского края по проекту №16-48-230386р\_а.

**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., Дидманидзе О. Н., Жалнин Э. В., Маслов Г. Г., Плешаков В. Н., Трубилин Е. И., Табашников А. Т., Чеботарев М. И. и многие другие. Их идеи и рекомендации используются в совершенствовании современных технологий уборки зерна. Однако, требуется дополнение теоретических и экспериментальных исследований по совмещению технологических операций одновременно с уборкой зерна, обоснованию оптимальных параметров многофункциональных агрегатов и режимов их работы.

Мы совместили технологические операции уборки зерновых культур и одновременного прессования соломы с уменьшением потерь урожая, а также макро- и микроповреждений зерна.

Для решения проблемной ситуации была сформулирована следующая **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.

**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.

**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.

#### **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.

### **Научная новизна работы:**

- функциональные схемы двух уборочных МФА, включающих в себя самоходный или навесной зерноуборочные комбайны, энерго-средство, пресс-подборщик соломы и сцепное устройство;
- математические модели оптимизации параметров и режимов работы уборочного МФА для обмолота зерна с одновременным прес-сованием соломы;
- регрессионная модель оптимальной продолжительности уборочного процесса и параметров комбайна для уборки зерна с прес-сованием соломы;
- зависимости мощности двигателя МФА, его балансовой стои-мости, потерь зерна от пропускной способности молотилки комбайна;
- способ уборки зерна с одновременным прес-сованием соломы.

### **Теоретическая и практическая значимость:**

- математические модели оптимизации параметров и режимов работы уборочных МФА, устанавливающих их влияние на ком-плексность работ, технологического процесса уборки урожая и эф-фективность технологии;
- новые функционально-технологические схемы уборочных МФА, совмещающих операции уборки зерна и одновременного прес-сования 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 по-вышению эффективности технологии.
- действующий образец агрегата, который доказал свою эффе-ктивность.

**Методология и методы исследования.** Моделирование и опти-мизация производственных процессов при обосновании новой техно-логии уборки пшеницы одновременно с прес-сованием соломы на базе МФА; методика планирования эксперимента; динамометрирование; методики определения качества зерна, математической обработки ре-зультатов экспериментов; агротехническая, энергетическая и эконо-мическая оценка работы МФА выполнялась с использованием отрас-левых 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 основные 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 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 работы:** 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 работ, из них 7 в изданиях из перечня ВАК РФ. Получены 1 патент РФ на изобретение, 3 патента на полезные модели и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем публикаций составляет 8,4 печатных листа, из них личный вклад автора 5,3 печатных листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего в себя 146 наименований и приложения. Работа изложена на 157 страницах компьютерного текста, включая 24 страницы приложения, 54 рисунка, 23 таблицы.

### **Основное содержание работы**

**Введение.** Обоснована актуальность исследования, сформулирована цель работы, научная новизна, практическая значимость и представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен краткий анализ существующих технологий уборки зерновых колосовых культур, представлено их техническое обеспечение и указаны недостатки.

Установлено, что комбайновая технология уже исчерпала свои возможности в плане сокращения затрат, потерь урожая, роста производительности труда, поточности, ритмичности и комплексности выполняемых работ и требует перехода на другие альтернативные варианты.

Однако по-прежнему особенно актуально требование комплексности выполняемых работ уборочного периода, реализация которого позволит свести до минимума простой машин уборочного комплекса из-за несогласованности их работы, обеспечить оптимальные сроки уборки, подготовить поле под урожай следующего года.

Наиболее близкими к рассматриваемой тематике являются разработки фирмы Маклеод Харвест, АЧГАУ (академик Э. И. Липкович), КубГАУ (профессор Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин), Кубанская МИС (к.т.н. В.И. Масловский) и др. Новые разработки по уборочно-транспортному процессу (академик Измайлов А.Ю.), по технологии «невейка» (д.т.н. А.Н. Бурьянов), по очистке зерна (к.т.н. А.С. Старцев) подчеркивают их высокую эффективность.

**Вторая глава** посвящена теоретическим исследованиям по разработке технологического процесса уборки зерна МФА с одновременным прессованием соломы.

Предложена новая технология уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы, новизна технического решения которой подтверждена патентами на полезные модели.

Синтез технологии базируется на трёх составляющих: полноприводном зерноуборочном комбайне, пресс-подборщике и сцепном устройстве, соединяющим пресс-подборщик с приводом от гидромотора и ведущим мостом комбайна. Такой многофункциональный агрегат (МФА), совмещая две операции, выполняет без разрыва по времени уборку зерна в бункер комбайна и прессование соломы в рулоны. За счёт совмещения операций высвобождается из технологического процесса один трактор для агрегатирования пресс-подборщика и механизатор. В таблице 1 представлены технологические операции и составы машинно-тракторных агрегатов для реализации технологии.

Таблица 1 – Технологические операции и состав МТА для уборки зерновых колосовых с одновременным прессованием соломы.

| № п/п                      | Наименование операции                        | Объем работ, га | Состав машинно-тракторного агрегата | Производительность за 1 час сменного времени, га | Количество обслуживающего персонала | Затраты труда, ч.-час/га |
|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1) Базовая технология      |                                              |                 |                                     |                                                  |                                     |                          |
| 1,1                        | Прямое комбайнирование колосовых культур     | 140             | TORUM-740                           | 2,7                                              | 1                                   | 0,37                     |
|                            |                                              |                 | КЗР-10 + УЭС-2-280                  | 2,2                                              | 1                                   | 0,45                     |
| 1,2                        | Прессование соломы                           | 140             | МТЗ-80 + ПРФ-180                    | 1,1                                              | 1                                   | 0,91                     |
| Итого                      |                                              |                 |                                     |                                                  | 3                                   | 1,28/1,36                |
| 2) Предлагаемая технология |                                              |                 |                                     |                                                  |                                     |                          |
| 2,1                        | Прямое комбайнирование с прессованием соломы | 140             | TORUM-740+ ПРФ-180                  | 2,56                                             | 1                                   | 0,39                     |
|                            |                                              |                 | КЗР-10 + УЭС-2-280+ ПРФ-180         | 2,09                                             | 1                                   | 0,48                     |
| Итого                      |                                              |                 |                                     |                                                  | 2                                   | 0,39/0,48                |



Очевидно преимущество предлагаемой технологии: число операций и механизаторов сокращается, затраты труда снижаются в 2,9-3,3 раза. Необходимо выбрать энергосредство для агрегатирования МФА – TORUM-740 или УЭС-2-280 с навесным комбайном.

Основой производственной и качественной работы МФА является его тягово-мощностной баланс. Тяговое усилие (рис. 1) предлагаемого МФА, согласно исследованиям В.И. Маловского имеет вид:

$$P_T = G_{\text{сц}} \cdot \eta^{-1} (\mu f \cdot \frac{i}{100}), \quad (1)$$

где  $P_T$  – тяговое усилие, создаваемое ведущим мостом полноприводного зерноуборочного комбайна TORUM-740, кН;  $\eta$  – коэффициент использования тягового усилия;  $\mu$  – коэффициент сцепления ходового аппарата с почвой;  $f$  – коэффициент сопротивления качению агрегата по стерне;  $i$  – уклон местности;  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес агрегирующего энергосредства.

Нами проведено исследование и динамометрированием установлена зависимость тягового сопротивления пресс-подборщика соломы от скорости его движения.

$$R_{\text{пр}} = \sqrt{3,168 \ln v_p}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{пр}}$  – тяговое сопротивление пресс-подборщика ПРФ-180, кН;  $v_p$  – рабочая скорость движения, км/ч.

Методом аппроксимации установлена зависимость потребной мощности на привод пресс-подборщика от его пропускной способности (рис.2).

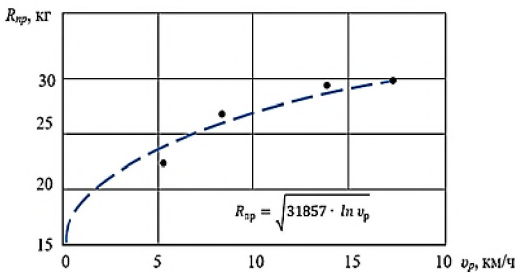


Рисунок 1 – Зависимость тягового сопротивления пресс-подборщика от скорости движения

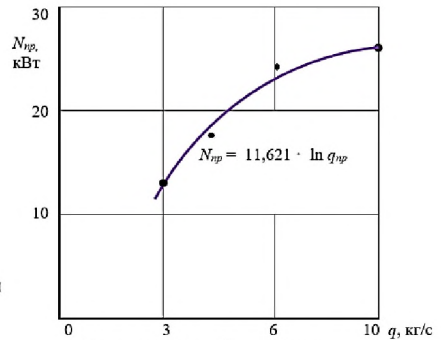


Рисунок 2 – Зависимость требуемой мощности на привод пресс-подборщика от его пропускной способности

Используя известные зависимости мощностного баланса зерноуборочного комбайна, нами рассчитаны все составляющие баланса: мощность на перекачивание МФА, на технологический процесс работы комбайна, пресс-подборщика, на привод задних управляемых колёс (рис.3).

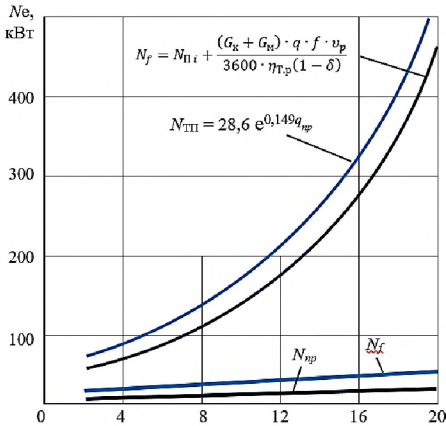


Рисунок 3 – Мощностной баланс уборочного МФА с зерноуборочным комбайном TORUM-740 и пресс-подборщиком ПРФ-180

В таблице 2 представлены зависимости всех составляющих мощностного баланса двигателя комбайна и их достоверность согласно критериям Кохрена. На основе полученных зависимостей разработана методика инженерного расчета. По всем зависимостям расчётные значения критерия в числителе меньше табличного в знаменателе. Получена также зависимость общей мощности двигателя для МФА от скорости движения.

Агрегат с навесным комбайном КЗР-10 на энергосредстве УЭС-2-280 также обеспечивает по мощности двигателя нормальное протекание рабочего процесса. По сравнению с МФА на базе самоходного комбайна TORUM-740, УЭС-2-280 уступает по производительности из-за пропускной способности молотилки и качеству зерна. Комбайн КЗР-10 в связи с тангенциально-аксиальной подачей хлебной массы в МСУ допускает более высокое дробление зерна, чем МСУ комбайна TORUM-740.

Планированием эксперимента для оптимизации параметров и режимов работы комбайна КЗР-10 установлены оптимальная ширина захвата жатки 6м и скорость движения 4,8 км/ч. С помощью уравнения регрессии (4); анализа гиперповерхностей; двумерных сечений (рис.8,9) и производственной проверки подтверждена достоверность оптимальных параметров КЗР-10 на уборке озимой пшеницы с урожайностью 6,8 т/га.

Таблица 2 – 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, $N_{ум}$ | $N_{ум} = 28,4 \text{ кВт}$                     | -                                 |

Полученный баланс мощности двигателя комбайна TORUM-740 и гидромотора ГМШ-100 для привода пресс-подборщика использован при моделировании параметров и режимов работы МФА.

Для целевой функции математической модели при оптимизации параметров МФА использованы полученные нами методом аппроксимации зависимости балансовой стоимости комбайна и пресс-подборщика от их пропускной способности (рис.4 и 5).

Для изучения технологии уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы нами изучены две технологические схемы уборочных МФА: навесной на базе универсального энергосредства УЭС-2-280 «Полесье» и на базе самоходного полноприводного зерноуборочного комбайна TORUM-740. Как было

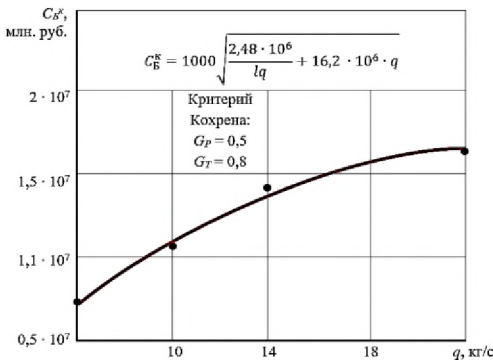


Рисунок 4 – График зависимости балансовой стоимости комбайна от его пропускной способности

сальное энергосредства УЭС-2-280 «Полесье» и на базе самоходного полноприводного зерноуборочного комбайна TORUM-740. Как было

отмечено выше, важной составной частью уборочного МФА является

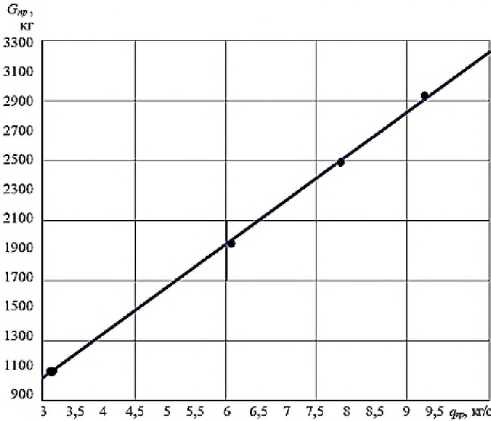


Рисунок 5 – Зависимость балансовой стоимости пресс-подборщика от его пропускной способности

пресс-подборщик ПРФ-180, агрегируемый в составе уборочного агрегата, проводя прессование соломы, поступающей в него с молотилки комбайна. Отличительная особенность этих вариантов состоит в том, что они работают в обычном режиме: зерно после очистки поступает в бункер с последующей выгрузкой на ходу в накопитель-перегрузчик бункерного типа НПБ-20, а солома после очистки формируется в валок

и подбирается пресс-подборщиком ПРФ-180, формирующим рулоны.

Для каждого из двух вариантов функциональных схем уборочных МФА разработаны математические модели для оптимизации параметров и режимов работы агрегатов. Для обоих вариантов МФА в качестве целевой функции использована функция затрат и потерь.

Для расчета функции нами получена зависимость:

$$C_{зп} = [U \cdot (8 \cdot 10^4 \cdot n_{рд} - 2 \cdot 10^5) + \left( \frac{17097}{B \cdot U} + 30 \cdot g_m \right) \cdot \frac{1000 \cdot U}{n_{рд}}] \cdot \frac{1000 \cdot U}{n_{рд}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $C_{зп}$  – сумма затрат и потерь, руб.;  $U$  – урожайность зерна, т/га;  $n_{рд}$  – продолжительность уборки, раб. дней;  $B$  – ширина захвата жатки комбайна, м;  $g_m$  – удельный расход топлива агрегатом, кг/га.

По минимальному значению функции  $C_{зп}$  находят оптимальные параметры МФА и продолжительность уборки. Для оптимизации функций затрат и потерь  $C_{зп}$  учитывали ширину захвата жатки  $B$ , урожайности зерна  $U$  и количество рабочих дней  $n_{рд}$ . Оптимальные параметры получены методом планирования трёхфакторного эксперимента. Использовался симметричный композиционный план типа  $B_k$  второго порядка, звездные точки которого равны  $\pm 1$ . Факторы, интервалы, уровни варьирования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Факторы, интервалы, уровни варьирования.

| Факторы                                  | Кодированное обозначение факторов | Интервалы варьирования | Уровни факторов |   |    |
|------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------|---|----|
|                                          |                                   |                        | -1              | 0 | +1 |
| Урожайность зерна, т/га                  | X <sub>1</sub>                    | 5                      | 2               | 7 | 12 |
| Ширина захвата жатки В, м                | X <sub>2</sub>                    | 4                      | 2               | 6 | 10 |
| Количество рабочих дней, n <sub>рд</sub> | X <sub>3</sub>                    | 5                      | 3               | 8 | 13 |

Согласно нашим исследованиям, для обоснования оптимальных параметров и режимов работы уборочного МФА комбайном

TORUM-740 целевая функция математической модели – минимум затрат и потерь имеет вид, представленной в блоке 8 арифметическим оператором, а функция потерь – арифметическим оператором 9 (рис. 6).

При минимуме функции определяем оптимальные параметры агрегата с пресс-подборщиком ПРФ-180: рабочую скорость (5 км/ч), ширину захвата жатки (6,8 м), производительность комбайна (20,4 т/ч), потребное число агрегатов на уборочную площадь F, минимум затрат С<sub>з</sub> (3162 руб/га.), потерь урожая С<sub>п</sub> (2768 руб/га.) и С<sub>зп</sub> – затрат и потерь (5031 руб/га.).

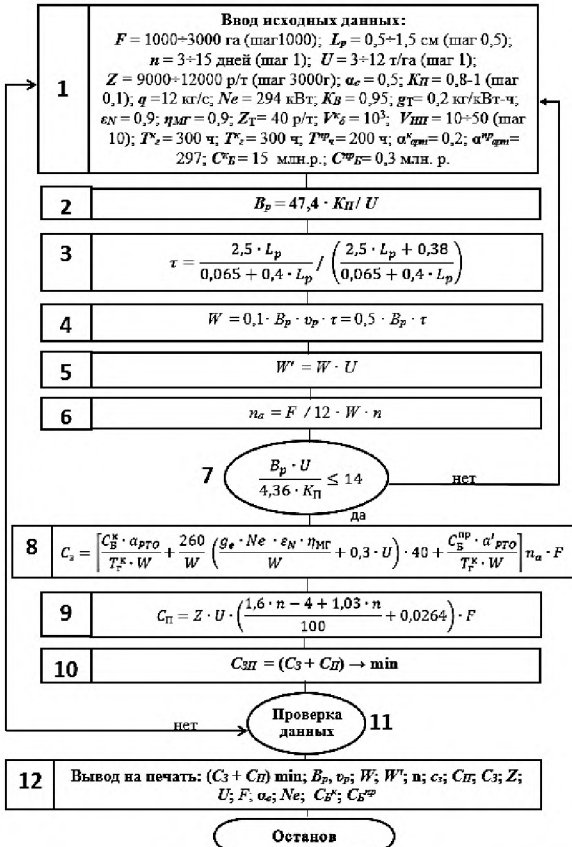


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы уборочного МФА с одновременным прессованием соломы

По этому методу разработана также математическая модель и блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы уборочно-транспортного звена по критерию минимум ожидания обслуживаемых звеньев потока: МФА и накопителя-перегрузчика.

Экспериментальные исследования по данному агрегату подтвердили достоверность теоретических зависимостей.

В **третьей главе** представлена методика исследований. При исследовании рабочих органов, технологических схем уборочных агрегатов использованы методы классической механики, теории планирования многофакторного эксперимента, математической статистики, расчёты параметров на ЭВМ по разработанным алгоритмам и программам. Применялись также специальные методики для оценки качества зерна из бункеров комбайнов.

Расчеты оптимальных параметров уборочных МФА, результатов планирования эксперимента выполнялись на ЭВМ по специальным разработанным нами программам с использованием пакетов прикладных программ Excel и MathCad.

Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях на уборке озимой пшеницы комбайнами с различными конструкциями МСУ (роторное и классическое). Экспериментальный уборочный МФА (рис. 7,8) включает в свой состав зерноуборочный комбайн TORUM-740 и пресс-подборщик ПРФ-180. Для его привода от гидросистемы комбайна была переоборудована конструкция сницы пресс-подборщика. Установлена конструкция для крепления гидромотора на снице подборщика и привод вместо ВОМ трактора.

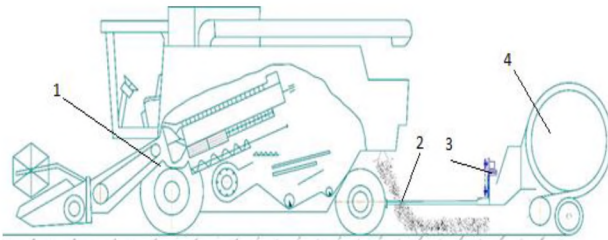


Рисунок 7 – Функциональная схема уборочного МФА на базе самоходного комбайна TORUM-740:  
1 – комбайн; 2 – сница; 3 – гидромотор ГМШ-100А;  
4 – пресс-подборщик ПРФ-180



Рисунок 8 – Составляющие синтеза МФА для уборки зерна с прессованием соломы

При агрооценке уборочного МФА использовали ГОСТ 20915-75, СТО Аист 4.2-2004 – для оценки условий испытаний и СТО Аист 8.200-2004 – для показателей технологического процесса работы МФА.

Для эксплуатационно-технологической оценки МФА использовали ГОСТ 34055-88 и ГОСТ 24057-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки».

Твердость почвы определялась по общепринятой методике прибором (пенетрометром) SC900 Soil.

Для отбора проб зерна на анализ использовали пробоотборщик БИС-1, влагомер ФАУНА-1м (ГОСТ 13586,5-2015), весы ПХ-1, для определения природы зерна, масса 1000 зерен определяем по ГОСТ 520-2014, дробление зерна определяем по методике Б.А. Доспехова, а микроповреждения – просмотром под лупой семикратного увеличения и на диафоноскопе ДСЗ-2М. Показатели качества зерна после уборочного дозревания определяли на инфракрасном. В соответствии с ГОСТ 10968-88 изучены энергия прорастания и всхожесть семян, убранных различными конструкциями МСУ.

По общепринятой методике определялось также качество зерна по содержанию протеина, клейковины и его класс. Необходимость исследований по качеству убранных зерен связана с включением в состав МФА роторного комбайна TORUM-740.

В четвертой главе «Результаты исследований» представлены регрессионный анализ многофакторного эксперимента навесного МФА на УЭС-2-280 (уравнение 4) и результаты экспериментальных исследований самоходного МФА на базе комбайна TORUM-740.

Используя планирование эксперимента получено уравнение регрессии второго порядка для величины отклика (функции  $C_{зп}$ ):

$$Y = 2784,274 + 1635,2516 \cdot x_1 - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot x_3 - 847,7625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot x_1 \cdot x_3 - 391,173 \cdot x_2 \cdot x_3 + 779,0165 \cdot X_1^2 + 570,398 \cdot X_2^2 + 1084,1315 \cdot X_3^2 \quad (4)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – мнимое значение факторов;  $X_1, X_2, X_3$  – действительные значения факторов;

Поверхности откликов функции затрат и потерь  $C_{зп}$  в зависимости от урожайности  $U$  и ширины захвата  $B$ , поверхности функции  $C_{зп}$

от ширины захвата  $B$  и количества рабочих дней представлены двумерными сечениями – на рисунках 9 и 10.

Таким образом, с помощью планирования эксперимента нами установлена для второго варианта уборочного МФА с комбайном КЗР-10 оптимальная ширина захвата жатки 5,4 м при урожайности 6,8 т/га, рабочая скорость движения 4,8 км/ч и оптимальная продолжительность уборки зерна 5 дней.

Актуальность сбережения ресурсов на уборке зерновых культур объясняется тем, что на нее приходится половина всех затрат от производства зерна. Экономия ресурсов за счет применения МФА обоснована в предлагаемой нами технологии.

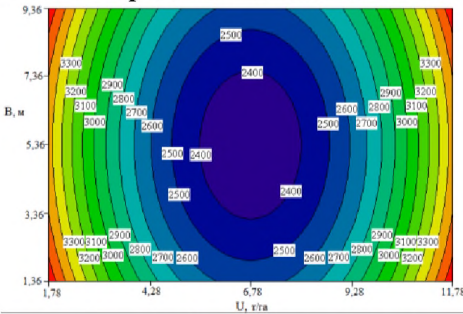


Рисунок 9 – Двумерное сечение поверхности откликов  $U$  и  $B$  функции  $S_{зп}$  в зависимости от  $n_{рд}$ .

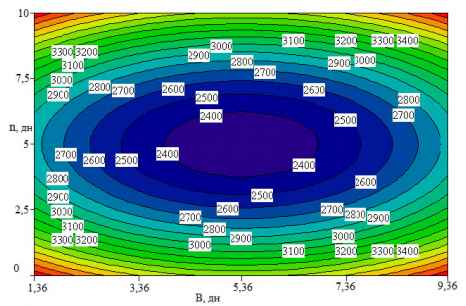


Рисунок 10 – Двумерное сечение поверхности откликов функции  $S_{зп}$  в зависимости от  $B$  и  $n_{рд}$ .

Совмещение технологических операций прямого комбайнирования озимой пшеницы сорта Ольхон комбайном TORUM-740 с одновременным прессованием соломы, подсоединенным к нему прессподборщиком ПРФ-180, обеспечило существенную эффективность в экономии ресурсов. Нами с применением вышесказанной функции затрат и потерь обоснованы оптимальные параметры и режимы работы предлагаемого МФА с комбайном TORUM-740, а также оптимальная продолжительность уборки. Минимум функции затрат и потерь определяется урожайностью убранного зерна 60 ц/га и допустимыми потерями 1,5%, шириной захвата жатки МФА-6,8 м, рабочей скоростью движения 5 км/ч и оптимальной продолжительностью уборки 5 дней.

На рисунке 11 представлены зависимости затрат и потерь функции  $S_{зп}$ , затрат  $S_з$  и потерь  $S_п$  от продолжительности уборки  $n_{рд}$ .



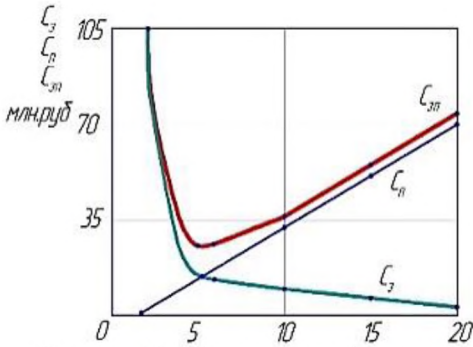


Рисунок 11 – Зависимость функции  $C_z$ ,  $C_p$  и  $C_{zp}$  от продолжительности уборки  $n_{рд}$

Использование роторного самоходного комбайна в качестве энергосредства МФА помимо указанных преимуществ по сравнению с обычным комбайном обеспечило также высокое качество зерна (табл.4).

У сильных и ценных пшениц общая стекловидность зерна должна быть не менее 60%, клейковина 28%, а у ценных – 23-27%.

Оптимизация работы уборочно-транспортного звена, состоящего из двух МФА с самоходными комбайнами и необходимого количества накопителей перегрузчиков для бесперебойной работы звеньев потока, по критерию минимум времени ожидания обслуживаемых звеньев, позволила установить параметры машин уборочно-транспортного процесса, режимы их работы, потребность в них, оптимальные условия уборки зерна, т.е. все, что необходимо для высокопроизводительного использования техники с соблюдением точности и ритмичности процесса.

Таблица 4 – Показатели качества зерна пшеницы сорта Ольхон

| Показатели                                         | Значение      |
|----------------------------------------------------|---------------|
| Дробление зерна, %<br>в т.ч. с выбитыми зернышками | 0,37<br>0,012 |
| Натура зерна, г/л                                  | 824           |
| Масса 1000 зерен, г                                | 46,9          |
| Микрповреждение, %                                 | 17,2          |
| Общая стекловидность                               | 81,9          |
| Содержание сырой клейковины, %                     | 26,6          |
| Содержание протеина, %                             | 17,8          |
| Класс пшеницы                                      | 3             |
| Класс после дозревания и очистки                   | 2             |
| Всхожесть семян, %                                 | 96,1          |

В пятой главе представлена экономическая эффективность предлагаемой технологии. Затраты труда на уборочный процесс сни-

зились на 37,8%, эксплуатационные затраты – на 16,9%, металлоемкость – на 35,8%, энергоемкость – на 23,3%. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составил 1014 рублей на каждом гектаре уборочной площади. Чистый дисконтированный доход 509,4 тыс. рублей, а дисконтированный срок окупаемости инвестиции – 1,6 года.

## **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 бильными МСУ, не превышающих 0,6%, а также выполняющим требования по прямым потерям зерна и соломы при ее прессовании прицепным пресс-подборщиком ПРФ-180. При использовании конверсионных гусеничных систем удельное давление на почву снижается на 22,5%.

3. По разработанным 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 в 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 и 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 м<sup>3</sup> и один бункер-перегрузчик с емкостью 28 м<sup>3</sup>, 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 раздельным 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 и предложения 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.

**Основные положения диссертации опубликованы  
- в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Агрегат для уборки зерновых колосовых с одновременным прессованием соломы // Ринас Н.А. // Сельский механизатор. 2018. № 10. С. 22-23.

2. Эффективная альтернатива комбайновой уборке зерна // Маслов Г.Г., Ткаченко В.Т., Ринас Н.А. // Сельский механизатор. 2018. № 7-8. С. 4-5.

3. Совершенствование технологии посева и уборки зерновых колосовых культур // Сергунцов А.С., Ринас Н.А. // Электронный научный журнал. 2016. № 6 (9). С. 128-132.

4. Оптимальные параметры многофункционального уборочного агрегата и продолжительность уборки озимой пшеницы // Маслов Г.Г., Цыбулевский В.В., Палапин А.В., Ринас Н.А. // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 25-27.

5. Многофункциональный уборочный агрегат // Маслов Г., Палапин А., Ринас Н. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2014. № 1-2. С. 16-19.

6. К решению проблемы комплексной уборки зерновых культур // Ринас Н.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 103. С. 431-445.

7. Многофункциональные уборочные агрегаты - основа снижения затрат // Ринас Н.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 480-491.

**- в прочих изданиях:**

8. Характер макро - и микрповреждений зерна при комбайновой уборке // Ринас Н.А., Малышев С.А. // В сборнике: приоритеты и научное обеспечение технологического прогресса. Сборник статей международной научно-практической конференции. 2017. С. 114-116.

9. Совершенствование процессов уборки зерновых культур // Ринас Н.А., Малышев С.А. // В сборнике: приоритеты и научное обеспечение технологического прогресса. Сборник статей международной научно-практической конференции. 2017. С. 116-118.

10. Энерго - ресурсосбережение на уборке зерновых культур //

Ткаченко В.Т., Ринас Н.А. // В сборнике: приоритеты и научное обеспечение технологического прогресса. Сборник статей международной научно-практической конференции. 2017. С. 118-121.

11. Анализ макро- и микроповреждения зерна комбайнами // Ринас Н.А. // В сборнике: научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г. 2017. С. 319-320.

12. Недостатки комбайновой технологии уборки зерна и пути их устранения // Ринас Н.А., Ткаченко В.Т. // В сборнике: Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Сукиасян Асатур Альбертович. 2017. С. 85-87.

13. Повышение эффективности роторных зерноуборочных комбайнов // Ринас Н.А., Ткаченко В.Т. // В сборнике: проблемы и перспективы развития науки в России и мире. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2017. С. 92-95.

14. Направления увеличения валовых сборов зерна за счет качества уборки и комплексности работ // Ринас Н.А. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год. Ответственный за выпуск А. Г. Кощаев. 2016. С. 235-236.

15. Перспективы комплексной уборки зерновых колосовых культур // Ринас Н.А., Маслов Г.Г. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Кощаев. 2016. С. 392-393.

17. Модернизация технологии уборки зерновых колосовых культур // Ринас Н.А. // В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий Материалы XX Международной научно-производственной конференции. 2016. С. 75-76.

18. Перспективный способ уборки колосовых культур с одновременным прессованием соломы // Ринас Н.А. // Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2016. № 5-2 (82). С. 220-223.

19. Сбережение ресурсов на уборке зерна // Ринас Н.А. // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2. С. 30-34.

20. Совершенствование технологии уборки зерновых колосовых культур на кубани//Ринас Н.А., Малышев С.А. // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 56-59.

21. Оптимизация продолжительности уборки зерновых культур и основных параметров многофункционального агрегата // Маслов Г.Г., Палапин А.В., Ринас Н.А. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2014. № 2(57). С. 29-34.

22. Optimization of flow and rhythm of work of the harvest-transport link//Maslov G.G., Tsybulevsky V.V., Rinas N.A., Yudina E.M.//Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Т. 10. № 1. С. 1025-1031.

23. Concept of creating energy-resource-saving technologies for harvesting grain with multifunctional aggregates //Maslov G.G., Trubilin E.I., Yudina E.M., Rinas N.A.// Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Т. 9. № 4. С. 623-630.

**- патенты и свидетельства**

24. Прицепной зерноуборочный агрегат //Маслов Г.Г., Ринас Н.А., Малышев С.А. / Патент на полезную модель RUS 163823 31.12.2015

25. Навесной зерноуборочный комбайн //Маслов Г.Г., Палапин А.В., Ринас Н.А., Юдин М.О. / Патент на полезную модель RUS 141083 15.10.2013

26. Уборочная машина // Маслов Г.Г., Ринас Н.А. / Патент на полезную модель RUS 148089 26.08.2014

27. Машина полевая для заготовки и сбора зернового вороха // Маслов Г.Г., Сергунцов А.С., Ринас Н.А., Дайбова Л.А. / Патент на изобретение RUS 2626161 17.10.2016

Подписано к печати \_\_. \_\_. 2020 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная Офсетная печать  
Уч.-изд. л. 1 Заказ № \_\_\_\_\_  
Тираж 100 экз.

---

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13