

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
**«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»  
(ФГБНУ «РОСИНФОРМАГРОТЕХ»)**

УДК 631.354.2.076

Рег. № НИОКТР АААА-А20-120101490036-5



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

ФГБНУ «Росинформагротех»,

канд. юрид. наук

П.А. Подьяблонский

« 9 » декабря 2020 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Исследование эксплуатационно-технологических показателей  
работы уборочно-транспортного комплекса и разработка нового способа  
уборки зерновых колосовых культур**

Задание 2.1.7 Проведение исследований по разработке инновационных  
технологий возделывания сельскохозяйственных культур

Тема 2.1.7.3 Исследование сравнительных показателей зерноуборочных и  
транспортных технических средств при реализации нового способа уборки  
зерновых культур

Директор КубНИИТнМ

М.И. Потапкин


Руководитель НИР,  
зам. директора по научной работе,  
вед. науч. сотр., канд. техн. наук

Д.А. Петухов

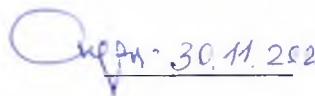
Новокубанск 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
зам. директора по научной работе,  
вед. науч. сотр., канд. техн. наук

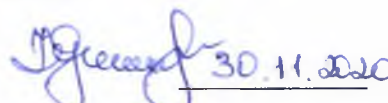
 30.11.2020 Д.А. Петухов  
(введение, заключение)

Отв. исполнитель,  
вед. науч. сотр., канд. техн. наук


 30.11.2020 В.И. Скорляков  
(введение, разделы 1, 2, 3,  
4, 5, заключение)

Исполнители:

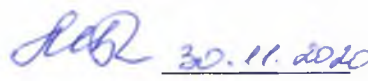
Зав. лабораторией агротехнической  
оценки машин и технологий,  
науч. сотр.

 30.11.2020 Т.А. Юрина  
(раздел 3)


Науч. сотр.

 30.11.2020 А.Н. Назаров  
(разделы 2, 3, 4)

Науч. сотр.

 30.11.2020 М.А. Белик  
(раздел 3)

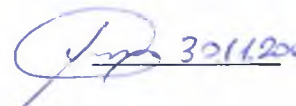
Науч. сотр.

 30.11.2020 О.Н. Негреба  
(раздел 3)

Инженер 1 категории

 30.11.2020 Е.В. Чумак  
(раздел 4)

Нормоконтроль

 30.11.2020 В.О. Марченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 62 с., 1 кн., 12 рис., 9 табл., 36 источн.

### ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, СПОСОБ УБОРКИ, ЗЕРНОВЫЕ КОЛОСОВЫЕ КУЛЬТУРЫ, РАБОЧАЯ ШИРИНА ЖАТКИ, ВЫГРУЗКА НА КРАЮ ПОЛЯ, ПЕРЕВОЗКА ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА, ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Объект исследований – технологический процесс уборочных и транспортных машин на уборке зерновых колосовых культур прямым комбайнированием.

Цель исследования – обоснование способа повышения производительности уборочно-транспортного звена при уборке колосовых культур прямым комбайнированием при выгрузках зерна в автотранспорт на краю поля.

Метод проведения исследований основан на анализе методов оценки и технологических процессов уборки и транспортировки зерновых колосовых культур, на стандартизованных методах испытаний зерноуборочных комбайнов и заключался в сравнительной оценке эксплуатационно-технологических и агротехнических показателей машин.

В результате исследований установлены недостатки методов оценки транспортного обеспечения уборочных работ, установлена возможность адаптации комбайнов разных марок к работе новым способом (патент № 2695452) с выгрузкой зерна из бункера комбайна на краю поля с повышением производительности комбайна и автомобилей КамАЗ-5420 и ЗиЛ-554.

Эффективность работы комбайнов и автомобилей в новом способе определяется повышением их производительности, в повышении стабильности рабочих циклов автомобилей, расхода топлива и в исключении уплотнения почвы колесами транспортных средств.

Область применения – сельскохозяйственные предприятия южных степных регионов страны.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 6  |
| 1 Анализ состояния вопроса в организационно-технологическом совершенствовании уборочно-транспортных процессов на уборке зерновых колосовых культур.....             | 10 |
| 1.1 Характерные особенности машинно-технологических схем перевозок зерна от комбайнов .....   | 10 |
| 1.2 Организационно-технологические совершенствования уборочного процесса .....  | 14 |
| 1.3 Анализ методов и критериев оценок организационно-технологических совершенствований уборочно-транспортных процессов .....  | 16 |
| 1.4 Недостатки и направления совершенствования информационно-методических ресурсов об эффективности транспортно-технологических схем отвоза зерна от комбайнов..... | 20 |
| 2 Программа и методика экспериментальных исследований.....  | 24 |
| 2.1 Цели и задачи исследований.....   | 24 |
| 2.2 Объекты исследований .....  | 24 |
| 2.3 Программа исследований.....   | 25 |
| 2.4 Определяемые показатели и методика полевых исследований .....   | 26 |
| 2.5 Производственные условия и организация проведения полевого опыта .....  | 28 |
| 2.6 Определение рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения комбайна.....  | 32 |
| 3 Результаты сравнительных оценок комбайнов в новом и базовом вариантах полевых опытов .....  | 36 |
| 4 Сравнительные эксплуатационные показатели автомобилей в базовом и новом вариантах работы.....   | 46 |

|  |    |
|--|----|
| 5 Факторы, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели машин по результатам сравнительных опытов..... | 50 |
| 5.1 Масса зерна, набираемого в бункер .....  | 50 |
| 5.2 Твердость почвы.....   | 52 |
| 5.3 Повышение вариабельности составляющих рабочего цикла автомобиля.....   | 52 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 54 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....   | 58 |

## ВВЕДЕНИЕ

Зерновые колосовые культуры в южных степных регионах страны занимают около половины посевных площадей. Но агротехнически ограниченный период их уборки сопряжен с наибольшей потребностью комбайнов, транспортных и других технических средств, а также механизаторов и водителей. При этом 50 %–55 % от всех затрат в технологиях составляют эксплуатационные затраты на уборку и транспортировку зерна [1].

В последние годы наблюдается устойчивый рост продуктивности зерновых колосовых культур, что вызывает рост потребности в высокопроизводительных уборочных и транспортных средствах. В результате конкуренции фирм в борьбе за производительность и из-за роста урожайности сельскохозяйственных культур значительно увеличились размерные характеристики зерноуборочных комбайнов. В настоящее время вместимость бункеров отдельных моделей комбайнов фирмы CLAAS достигает 13,5 м<sup>3</sup>, а фирмы New Holland – 14,5 м<sup>3</sup> при их массе соответственно 18,9 и 20 т [2]. Вполне очевидно, что в традиционном уборочно-транспортном процессе эта тенденция вызвала соответствующее увеличение грузоподъемности автомобилей.

Повышенные объемы зерна, перемещаемые по полю в технологических емкостях высокопроизводительных уборочных и транспортных машин, как и повышенная масса самих машин явились факторами, влияющими на увеличение давления на почву. При этом переоснащение уборочно-транспортных комплексов высокопроизводительными комбайнами и большегрузными автомобилями в наибольшей мере затрагивает южные степные регионы страны вследствие высоких урожаев и больших размеров полей.

При достигнутых в южных степных регионах высоких урожаях заполнение и выгрузка зерна из бункера происходят практически на каждом проходе комбайна по полю, а при урожайностях более 80-100 ц/га – возможно по две выгрузки, т. е. число проходов по полю транспортных средств сопоставимо с числом проходов комбайнов [3]. Непредсказуемость мест заполнения бункера

комбайнов, и, следовательно, расстояний и продолжительности проездов автомобилей по полю вызывает нестабильность рабочих циклов автомобилей и приводит к вынужденному планированию и применению завышенного числа автомобилей для исключения простоев комбайнов, что, в свою очередь, увеличивает потери времени на их пребывание на поле в ожидании очередной выгрузки зерна.

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников по уплотняющему воздействию движителей мобильных машин, проведенный Слюсаренко В.В. [4], подтверждает, что негативное воздействие со стороны машин на почву приводит к увеличению плотности на 30,6 % (до 1,6-1,8 г/см<sup>3</sup>), твердости до 100-120 Н/см, ухудшению макроагрегатного состава почв, к нарушению ее водного, воздушного и теплового режимов и снижению урожайности зерновых на 20 %–30 %.

Значительны потери при вспашке переуплотненных почв. Так, если сопротивление вспашке почвы по следам гусеничных тракторов возрастает на 16 %–25 %, по следам колесных тракторов, автомобилей и комбайнов – на 44 %–65 %, то по следам транспортных агрегатов – на 72 %–90 % [5]. При этом глубина переуплотнения почвы ходовыми органами тяжелых уборочных и транспортных машин достигает 0,8-1,0 м и если пахотный слой в процессе почвообработки может быть разуплотнен, то расположенная ниже и не подвергаемая механическому разуплотнению прослойка сохраняется до нескольких лет, снижая процессы влагопереноса в почве и другие важные для плодородия процессы.

Таким образом, стремление к выполнению уборочных работ в сжатые сроки при ограничении потребности механизаторов с применением высокопроизводительной уборочной техники усугубляет недостатки применяемого уборочно-транспортного процесса. В связи с этим оценка негативных последствий технического переоснащения уборочных работ особенно актуальна применительно к условиям южных степных регионов страны.

Острота проблемы переуплотнения и деградации почвы под воздействием современных уборочных и особенно транспортных машин вызвало логичные рекомендации ученых о запрете передвижений большегрузных автомобилей по полям [6], [7], [8]. Это вызывает необходимость поиска других технологических схем транспортировки зерна от комбайнов.

В южных степных районах исторически созданы предпосылки для обеспечения стабильной цикличности отвоза зерна от комбайнов и совершенствования на этой основе всего уборочного процесса. Для них типичны преимущественно выравненные прямоугольные поля, сравнительно высокая пространственная однородность продуктивности посевов, развитая сеть и стабильное состояние внутрихозяйственных полевых дорог.

В результате анализа с учетом вышеизложенного установлено, что наиболее эффективным является прием зерна от комбайна на краю поля [9]. С учетом данных особенностей нами был предложен новый способ уборки зерновых колосовых культур (патент № 2695452 [10]), позволяющий наиболее радикально решить проблему уплотнения почвы транспортными средствами и радикально повысить эффективность их эксплуатации на уборке. Сущность предложенного способа уборки заключается в применении новой совокупности взаимосвязанных режимов работы зерноуборочных комбайнов (рабочая ширина захвата жатки и рабочая скорость), определяемой в зависимости от условий поля (урожайность, длина гона) при сохранении оптимальной загрузки молотилки, а также работой комбайна челночным способом (без холостых переездов в пределах загонок) во всех сочетаниях полевых условий и режимов работы при исключении проездов по полю транспортных средств.

В рамках практической реализации нового способа в КубНИИТиМ в уборочный период 2019 г. была проведена сравнительная оценка уборочного звена в ограниченном составе (комбайн-автомобиль) и подтверждена принципиальная возможность применения нового способа уборки в производствен-



ных условиях с повышением производительности комбайна на 6,7 % и увеличением плеча перевозок зерна автомобилем на 32,5 % [9].

Однако в южных степных регионах страны преобладает групповой способ использования зерноуборочных комбайнов с разными параметрами и применением автомобилей разной грузоподъемности. Поэтому для оценки эксплуатационно-технологической эффективности уборочно-транспортного звена по новому способу в реальных производственных условиях необходимо проведение сравнительных полевых исследований.

Цель исследования – разработка способа уборки зерновых колосовых культур уборочно-транспортным комплексом при выгрузке зерна в автотранспорт на краю поля (без применения бункеров-перегрузчиков) с обеспечением повышения его производительности.

Задачи, которые необходимо решить для достижения цели работы:

1) Обобщение и анализ информации по оценке организационно-технологических мероприятий, направленных на повышение эффективности уборочно-транспортных комплексов.

2) Оценка сравнительных эксплуатационно-технологических показателей комбайнов и транспортных средств при базовом и новом способах работы по результатам хронометражных наблюдений.

3) Определение эксплуатационно-технологической эффективности уборочно-транспортного звена на уборке озимой пшеницы новым способом.

# **1 Анализ состояния вопроса в организационно-технологическом совершенствовании уборочно-транспортных процессов на уборке зерновых колосовых культур**

## **1.1 Характерные особенности машинно-технологических схем перевозок зерна от комбайнов**

1.1.1 Прямоточные перевозки зерна от комбайнов являются наиболее распространенной технологической схемой, известной с начала применения зерноуборочных комбайнов. Однако с развитием конструкций и ростом производительности комбайнов данный уборочно-транспортный процесс характеризуется нарастанием ряда недостатков, вызванных необходимостью увеличения проездов автомобилей по полю (в связи с ростом урожайности), рассредоточением по полю мест выгрузки зерна, варьированием расстояний и продолжительности проездов автомобилей по полю к комбайнам. Это приводит к нарушению ритмичности при отвозе зерна на ток и вызывает необходимость планирования и применения завышенного числа автомобилей, что сопровождается увеличением их простоев в ожидании очередной выгрузки зерна. Несмотря на оптимальное сочетание уборочных машин и автомобилей простои автомобилей достигают 30 %–36 %, а при использовании на прямых перевозках зерна большегрузных автомобилей КамАЗ потери времени, связанные с ожиданием погрузки и переездами по полю возрастают до 47 % [11]. В результате снижается производительность и эффективность эксплуатации транспортных средств.

Движение автомобиля по стерне с преодолением сопротивления деформируемой почвы характеризуется примерно в 3 раза большим сопротивлением колес перекачиванию, чем по укатанной полевой дороге [12] и сопровождается увеличением расхода топлива в 2-2,5 раза [13]. В то же время с ростом урожайности полей в южной степной зоне при типичной длине гона выгрузка зерна из бункера комбайна может быть необходима на каждом гоне, а общий пробег автомобилей по полю площадью 100 га может достигать 30 км и более.

Указанные недостатки, обобщенные нами в [14] вызывают очевидное нарастание противоречия между ростом объемов перевозок зерна с полей (с ростом урожайности) и снижением эффективности эксплуатации автомобилей, т. к. чем мощнее автомобиль, тем весомее издержки от простоев и ограничения объемов перевозок с его применением.

Узкопрофильные шины автомобилей с повышенной грузоподъемностью (МАЗ, КамАЗ и др.) с внутренним давлением в шинах порядка 0,60-0,84 МПа и нагрузкой на одно колесо до 3-4 т вызывают катастрофические для почвы давления и напряжения, превышающие максимально допустимые до 6-8 раз [15]. В результате этого сформировано мнение о необходимости запрета проездов большегрузных автомобилей по полям [6]-[8].

Значительны потери при вспашке переуплотненных почв. Согласно [5] по критерию превышения сопротивления почвы вспашке техника может быть разделена на три группы, к одной из которых можно отнести гусеничные тракторы (Т-150 и др.) и колесный МТЗ-80, давление на почву которых составляет 138-169 кПа. По следам этих тракторов сопротивление вспашке повышается на 11,9 %–25,3 %. Ко второй группе можно отнести тяжелые колесные тракторы Т-150К и К-701, давление на почву которых составляет 180-205 кПа и превышение сопротивления вспашке составляет 43,6 %–43,9 %. К третьей группе следует отнести комбайн СК-6 (предшественник Дон-1500), автомобили ЗиЛ-130Б с давлением на почву 300-350 кПа, а также тракторы К-701 и Т-150К, перемещающиеся с номинальной тяговой нагрузкой, прирост сопротивления вспашке по следам которых равен 60 %–65 %. Еще одна группа включает транспортные агрегаты, максимальное давление которых достигает 407 кПа, а число проходов колес по одному следу равно 4-7, прирост сопротивления вспашке по следам которых равен 72 %–90 %.

Таким образом, согласно [5], следы комбайна СК-6 и автомобиля ЗиЛ-130Б, вмещающего не более одного бункера зерна, увеличивают сопротивление вспашке на 60 %–65 %, а многоколесные транспортные агрегаты, в

том числе автомобили повышенной грузоподъемности и тракторно-транспортные агрегаты, необходимые для работы с современными комбайнами, значительно больше – на 72 %–90 %.

1.1.2 Перевозки с использованием оборотных прицепов (или комбитрейлерные перевозки) при движении по полю обеспечивают замену автомобилей на тракторно-транспортные агрегаты.

Для облегчения формирования автопоездов трактор может буксировать по полю столько прицепов, сколько их цепляют на краю поля к автомобилю-тягачу. При этом оборотные прицепы могут также расставляться на поле непосредственно автомобилем-тягачем [11].

Отмечается, что звено из двух автомобилей-тягачей КрАЗ-256 и трех самосвальных прицепов ЗПТС-12 с одним трактором для поочередной транспортировки прицепов в пределах поля позволяет высвободить семь бортовых автомобилей грузоподъемностью до 5 т. Согласно обобщенным данным, приведенным в [11], с применением комбитрейлерных перевозок в условиях Казахстана простои комбайнов сокращаются на 5,4 %, потребность в транспортных средствах уменьшается в 2-3,5 раза, а себестоимость перевозок в расчете на 1 тыс. га снижается на 16 %. Однако данная схема перевозок характерна потерями времени на отсоединение и присоединение прицепов на краю поля и также высоким уплотнением почвы.

1.1.3 Перевозки с использованием сменных кузовов (контейнеров), располагаемых на краю поля

Согласно [16], среди вариантов перевалочной технологии перевозок зерна с использованием в качестве перегрузчика автомобиля ГАЗ-САЗ-2504 и сменных кузовов на краю поля, а также варианта с их расстановкой по полю, наиболее эффективным оказался вариант с расстановкой и заменой кузовов на краю поля при их заполнении зерном мобильным бункером-перегрузчиком в агрегате с трактором. Этот вариант также был эффективнее прямоочной технологии отвоза зерна от комбайнов с использованием большегрузных само-

свальных автомобилей типа КамАЗ-45143. При этом, согласно [17], с применением большегрузных автомобилей со сменными кузовами потребность автомобилей в сравнении с прямыми перевозками зерна с применением автомобилей КамАЗ-55102 (самосвал) может быть снижена в 2-3 раза.

1.1.4 Применение мобильных бункеров-перегрузчиков, процесс работы которых заключается в приеме зерна от комбайнов с последующей транспортировкой трактором на край поля (или к разгрузочным магистралям) и перегрузкой в автопоезд [13], [18], [19].

Мобильный бункер-перегрузчик осуществляет сборочно-транспортный процесс в пределах поля, передвигается к месту остановки комбайна для приема зерна (или передвигается рядом с комбайном при выгрузке зерна на ходу), осуществляет вывоз зерна на край поля как минимум от двух комбайнов, где перегружает зерно в кузов большегрузного автомобиля [19]. Данный способ потенциально позволяет исключить проезды автомобилей с наиболее высоким удельным давлением движителей по полю при сохранении высокой производительности комбайнов и автомобилей при отвозе зерна на ток. Но в связи с устойчивой тенденцией роста вместимости бункеров комбайнов диапазон вместимости предлагаемых на рынке бункеров-перегрузчиков также расширяется в большую сторону и достигает 50 м<sup>3</sup>. Известно, что с ростом вместимости бункера-перегрузчика необходимо применение более мощного трактора с соответствующей массой и соответствующим давлением на почву. При этом задние колеса трактора через прицепное устройство бункера-перегрузчика дополнительно догружаются частью его массы.

В связи с тем, что бункеры-перегрузчики могут быть оборудованы шинами более низкого давления, чем транспортные средства общего назначения, вполне возможно снижение степени уплотнения почвы [13]. Однако убедительных прямых подтверждений реализации такой возможности, особенно для всего тракторно-транспортного агрегата, обнаружить не удалось. Несмотря на это ряд исследователей считают применение бункеров-перегрузчиков зерна,

имеющих шадящие ходовые системы, обязательным требованием к транспортировке зерна от комбайнов [6] и связывают с их применением решение проблемы переуплотнения почвы при отвозе зерна от комбайнов.

В [20] отмечено, что использование стационарных (расставляемых на поле) бункеров-компенсаторов сокращает потребность в транспорте в 1,5 раза. Применение мобильных бункеров-перегрузчиков в сочетании с разгрузочными магистралями повышает производительность автомобилей на 37 %, а комбайнов на 21 % по сравнению с прямыми перевозками. В [19] отмечено, что от применения мобильного бункера-перегрузчика производительность высокопроизводительных уборочных машин повышается на 10 %–25 %.

## **1.2 Организационно-технологические совершенствования уборочного процесса**

Представляют интерес следующие организационно-технологические мероприятия:

1.2.1 Прокладка транспортных магистралей при подготовке полей к уборке путем поперечных прокосов.

Разгрузочные магистрали рекомендуется прокладывать в определенных местах поля с таким расчетом, чтобы между ними намолачивался целый бункер. На практике это достигается пробным проходом всеми комбайнами, входящими в звено. По оценкам Чеботарева М.И. [20] пробег автомобилей по полю с использованием разгрузочных магистралей в условиях Кубани снижается на 30 %–40 %, в среднем с 3 до 2 км. Для условий Сибири установлено, что прокладка транспортных магистралей сокращает средний пробег по полю в 3,5 раза, что также обеспечивает бесперебойную работу и повышает сменную производительность комбайна на 18 %–25 % [21].

1.2.2 Заблаговременная сигнализация о заполнении бункера комбайна, в частности – включение сигнализации о необходимости выгрузки зерна при заполнении 70 % объема бункера [22].

1.2.3 Применение систем оперативного управления процессами передвижения транспортных средств и приема зерна из бункеров комбайнов:

- автоматизация обработки, оформление и выдача документов на груз [23], взвешивание и передача полученной информации трактористом по спутниковой связи без участия комбайнера [24];

- применение комплексной системы оперативного учета затрат времени с учетом потерь времени на ожидание загрузки транспортных средств и разгрузки комбайна [25].

1.2.4 Применение средств позиционирования и мониторинга машин на поле, направленное на исключение нерациональных передвижений транспортных средств, прокладка разгрузочных магистралей с использованием средств позиционирования и мониторинга технических средств [21], [26], а также их прокладка в сочетании с применением мобильных компенсаторов [21]. В том числе прокладка транспортных магистралей в «онлайн» режиме в зависимости от длины гона и урожайности на основе технологий спутниковой навигации для формирования наиболее коротких маршрутов вывозки зерна [21], [23].

Согласно вышеизложенному, наукой и производственной практикой разработан ряд транспортно-технологических процессов, направленных на повышение эффективности уборочных комплексов машин. Одни требуют существенного технического переоснащения транспортных средств сменными прицепами, сменными кузовами, стационарными или мобильными бункерами-перегрузчиками, предназначенными для исключения жесткой взаимной привязки рабочих циклов комбайна и автомобиля и для исключения передвижения автомобилей непосредственно по полю. Другие совершенствования относятся к сфере организации производства и организационно-технологических мероприятий, при этом они потенциально применимы при использовании в разных транспортно-технологических схемах. Они не требуют применения новых транспортных средств, но в повышении эффективности транспортных комплексов они в той или иной мере могут конкурировать с вариантами,

предусматривающими техническое переоснащение.

Применительно к выбору какого-либо технологического совершенствования для производственного освоения, представленные в публикациях варианты и оценки отличаются следующими недостатками:

- отсутствие или неполное представление характеристик условий, в которых получены результаты оценок;

- отсутствие характеристик (оценочных показателей) по базовому варианту, относительно которого показана степень изменения показателей эффективности;

- отсутствие или неполное представление информации о методике проведения исследования.

При этом, среди представленных выше известных направлений совершенствования уборочно-транспортных процессов отсутствуют способы уборки с заполнением бункера при подходе комбайна к краю поля и перевозки зерна от комбайнов без проездов транспортных средств по полю.

### **1.3 Анализ методов и критериев оценок организационно-технологических совершенствований уборочно-транспортных процессов**

Одна из причин недостаточно активного распространения в производстве новых транспортно-технологических процессов заключается в том, что новые технологии уборочных работ или уборочно-транспортные звенья, представляющие собой комплексы машин, не подвергаются испытаниям и не получают квалифицированных оценок на машиноиспытательных станциях. Объектами испытаний на машиноиспытательных станциях являются лишь отдельные машины, входящие в состав уборочно-транспортных звеньев (комбайны, тракторно-транспортные агрегаты, автомобили).

Вторая причина кроется в сложности проведения таких оценок. В среднем уборочно-транспортное звено состоит из 5-6 комбайнов и примерно такого же числа транспортных средств. Для эксплуатационно-технологической



оценки, получения характеристик простоев и производительности машин в базовом и новом вариантах использования уборочно-транспортного звена необходимы хронометражные наблюдения за каждым техническим средством с привлечением большого числа исполнителей. Кроме этого, достоверная оценка эффективности новой технологии уборки (или нового комплекса машин) может быть получена только по результатам сравнения показателей с базовым вариантом, показатели которого также должны получать достоверную оценку.

В связи с разнообразием представленных в публикациях транспортно-технологических схем отвоза зерна актуальным является обоснованный выбор наиболее приемлемой схемы для условий конкретного хозяйства. Это может быть достигнуто представлением в публикациях результатов оценок как нового, так и базового варианта. При этом базовый вариант должен быть представлен наиболее распространенной транспортно-технологической схемой (в настоящее время это прямоточные перевозки). Вполне очевидно, что излагаемые в публикациях показатели уборочных и транспортных машин должны содержать достаточно информации для объективной оценки каждого из совершенствований и для последующего обоснованного выбора технологических схем для производственного освоения.

Необходимо также представление максимально полной информации по условиям и результатам работы нового варианта для обеспечения возможности моделирования процессов разных схем по результатам разных исследований и выработки на этой основе сравнительных оценок разных транспортно-технологических схем. Однако в процитированных выше публикациях не полно представлены характеристики поля, убираемой культуры и комплектации комбайнов, что не позволяет моделировать уборочно-транспортный процесс и получать недостающие показатели. Наряду с этим без достаточных оснований делаются выводы об относительных изменениях показателей (сокращение простоев комбайнов, автомобилей и др.).

В некоторых исследованиях наблюдаются признаки нерационального состава уборочных и транспортных машин в базовом (исходном) варианте их использования в виде простоев комбайнов в ожидании транспорта, тогда как принцип поточности механизированных процессов предполагает комплектование вспомогательного (транспортного) звена исходя из обязательного условия бесперебойной работы основного звена (т. е. комбайнов) [27]. Данный принцип неукоснительно используется в практике проведения уборочных работ большинства с.-х. предприятий (при обеспечении некоторой избыточности транспортной составляющей). Это обусловлено приоритетностью производительности на уборке в условиях нестабильности погодных условий и вероятности возрастания потерь зерна из-за самоосыпания при перестое на корню.

Согласно действующему ГОСТ 17460-72 [27], уборка зерновых колосовых культур с транспортировкой зерна соответствует непрерывно-непоточному процессу, а соотношение производительностей в уборочном и транспортном звеньях соответствует выражению  $W_1 < W_2 < W_3$ . При этом первое звено (уборочное) работает непрерывно, а машины в звеньях 2 и 3 работают периодически (исходя из цикличности выгрузок зерна из бункера). Непрерывная работа первого звена (уборочного) обеспечивается тем, что производительность машин каждого последующего звена должна быть выше предыдущего.

Допускаемое в производстве планирование уборочных работ с простоями комбайнов противоречит и научным принципам [28], и экономической целесообразности, но фактически может происходить из-за устоявшихся организационных производственных недостатков. Тем не менее, одним из критериев оценки совершенствования транспортных процессов авторами ряда публикаций обозначено повышение производительности комбайнов от 10 % до 40 % (таблица 1).

Сам факт повышения производительности комбайнов при изменении

транспортно-технологической системы показывает на недостаточную обеспеченность и несвоевременность подачи транспортных средств для приема зерна из бункеров комбайнов в базовом варианте. Даже если предположить низкую техническую надежность уборочных и транспортных машин и низкую надежность технологического процесса комбайнов, то транспортное обеспечение в базовом варианте, исходя из этого, должно и может быть спланировано достаточным, чтобы не быть источником простоев комбайнов.

Таблица 1 – Декларирование повышения производительности комбайнов с применением новых схем отвоза зерна (по материалам публикаций)

| Технологическая схема  | Рост производительности комбайнов, %                        | Источник             |
|--|---|----------------------|
| 1 Прокладка разгрузочных магистралей (прокосов)  | 18-25   | [21]                 |
| 2 Использование средств мониторинга и прогнозирования времени подъезда транспорта      | 15  | [25]                 |
| 3 Применение оборотных прицепов  | предпосылки роста от сокращения простоев комбайнов на 5,4 % | [11]                 |
| 4 Применение мобильных бункеров-перегрузчиков  | 10-25<br>до 40<br>28-30                                     | [19]<br>[12]<br>[24] |
| 5 Применение мобильных бункеров-перегрузчиков в сочетании с разгрузочными магистралями | 21  | [21]                 |
| 6 Использование сменных кузовов на краю поля   | 10-15   | [11]                 |

Можно предположить, что приведенные в таблице значения повышения производительности получены в реальных производственных условиях при заведомо ограниченной производительности комбайнов в базовом варианте из-за простоев в ожидании транспортных средств. Но тогда в каждом из представленных в таблице случаев бесперебойная работа комбайнов может быть достигнута путем увеличения числа универсальных транспортных средств (применяемых в базовом варианте). В этом случае, при оценке новой транспортно-технологической системы, наряду с новым составом машин транспортного звена (бункеры-перегрузчики, сменные кузова и др.) необходимо

рассматривать указанный альтернативный вариант, обеспечивающий исключение простоев комбайнов в базовом варианте.

Данный альтернативный вариант может оказаться экономически более предпочтительным вследствие большей универсальности и годовой загрузки, например, применяемых автомобилей. Применение тракторно-транспортных агрегатов с бункерами-перегрузчиками или переоборудованных автомобилей с комплектами сменных кузовов требует дополнительных капитальных вложений, тогда как кратковременные услуги стороннего грузового транспорта являются более доступными.

Применение при оценках данного принципиального методического положения позволит обеспечить достоверность оценок новых транспортно-технологических схем отвоза зерна, уточнить источники их эффективности и экономическую целесообразность применения.

#### **1.4 Недостатки и направления совершенствования информационно-методических ресурсов об эффективности транспортно-технологических схем отвоза зерна от комбайнов**

Приведенные выше публикации, посвященные транспортно-технологическим процессам на уборке зерновых колосовых культур, характеризуются разнообразием методических подходов и неполнотой информации об условиях проведения полевых опытов, а ряд из них – некорректной оценкой влияния транспортных процессов на производительность комбайнов. Это снижает достоверность оценок новых технологий уборочных работ и замедляет технико-технологическое переоснащение уборочных процессов в хозяйствах из-за невозможности выбора наиболее эффективного варианта.

Вполне очевидно, что организация полевого опыта для сравнительной оценки всех транспортно-технологических схем в единых условиях уборки в настоящее время является неразрешимой задачей. Однако работа уборочно-транспортных звеньев в одинаковых условиях уборки может быть смоделирована при соответствующем информационном обеспечении.

Для решения таких задач в Новокубанском филиале ФГБНУ «Росинформротех» разработана компьютерная программа «Моделирование производительности» [29], позволяющая определять производительность машин и агрегатов в зависимости от условий их работы (длина гона, рабочая ширина захвата, урожайность и др.), продолжительности элементов их рабочих циклов (повороты, выгрузки зерна и др.) и конструктивных параметров (ширина жатки, вместимость бункера и др.) [30]. Вид диалогового окна программы для комбайновой уборки со сбором урожая в бункер или сменный прицеп представлен на рисунке 1.

| Моделирование производительности технических средств технологических процессов растениеводства |       |       |      |   |       |       |   |  |  |
|--|-------|-------|------|---|-------|-------|---|--|--|
| 4 Уборка урожая в бункер комбайна или сменный прицеп   |       |       |      |   |       |       |   |  |  |
| Исходные данные  |       |       |      | Расчетные параметры                                   |       |       |   |  |  |
| <b>Состав агрегата</b>   |       |       |      | <b>Состав агрегата</b>                                |       |       |   |  |  |
| <b>Продолжительность времени, с :</b>  |       |       |      | <b>Продолжительность времени, с :</b>                 |       |       |   |  |  |
| - нормативной смены  | 28800 | 28800 | 0    | - прохода одного гона                                 | 558   | 545   | 0 |  |  |
| - регламентированного  | 5400  | 5400  | 0    | - основной работы                                     | 20088 | 20165 | 0 |  |  |
| - одного поворота  | 22    | 22    | 0    | - смены   | 28800 | 28659 | 0 |  |  |
| - единичной выгрузки бункера   | 140   | 120   | 0    | - остатка смены                                       | 0     | 141   | 0 |  |  |
| <b>Скорость движения, м/с :</b>  |       |       |      | <b>Число :</b>  |       |       |   |  |  |
| - рабочая  | 1,3   | 1,3   | 0,0  | - гонов   | 36    | 37    | 0 |  |  |
| <b>Расстояние, м :</b>   |       |       |      | <b>Урожай, кг :</b>                                   |       |       |   |  |  |
| - длина гона   | 698   | 698   | 0    | - поворотов   | 36    | 37    | 0 |  |  |
| <b>Характеристика агрегата :</b>   |       |       |      | <b>Урожай, кг :</b>                                   |       |       |   |  |  |
| - рабочая ширина захвата, м  | 6,0   | 5,9   | 0,0  | - выгрузок  | 18    | 19    | 0 |  |  |
| - вместимость бункера, куб. м  | 6,0   | 6,0   | 0,0  | - собранный за смену                                  | 86027 | 86955 | 0 |  |  |
| <b>Характеристика материала :</b>  |       |       |      | <b>Урожай, кг :</b>                                   |       |       |   |  |  |
| - урожайность, кг/кв. м  | 0,57  | 0,57  | 0,00 | - остаток в бункере                                   | -1787 | 1965  | 0 |  |  |
| - удельная плотность, кг/куб. м  | 780   | 780   | 0    |   |       |       |   |  |  |
| <b>Выходные параметры</b>  |       |       |      |   |       |       |   |  |  |
| <b>Состав агрегата</b>   |       |       |      | <b>Состав агрегата</b>                                |       |       |   |  |  |
| <b>Наработка за смену, га</b>  |       |       |      | <b>Наработка за смену, га</b>                         |       |       |   |  |  |
| 15,07  |       |       |      | 15,23   |       |       |   |  |  |
| <b>Производительность за 1 ч сменного времени, га</b>  |       |       |      | <b>Производительность за 1 ч сменного времени, га</b> |       |       |   |  |  |
| 1,88   |       |       |      | 1,91  |       |       |   |  |  |
| <b>Коэффициент использования времени смены</b>   |       |       |      | <b>Коэффициент использования времени смены</b>        |       |       |   |  |  |
| 0,70   |       |       |      | 0,70  |       |       |   |  |  |
| <b>Баланс времени</b>  |       |       |      | <b>Баланс времени</b>                                 |       |       |   |  |  |
|  |       |       |      |   |       |       |   |  |  |

Рисунок 1 – Диалоговое окно программы

Опыт применения программы показал достаточно высокую точность определения эксплуатационных показателей технических средств, что делает принципиально возможным проведение сравнительной оценки разных транспортно-технологических схем по результатам их моделирования и определения показателей применительно к типичным условиям полей любого хозяйства. Однако для этого необходимо накопление информации по элементам рабочих циклов машин, применяемых в разных технологических схемах и в разных условиях их применения. Исходя из этого, для повышения достоверности

оценок технологических схем отвоза зерна от комбайна и возможности последующего информационного развития получаемых результатов, методы их получения должны базироваться на следующих принципиальных положениях:

1.4.1 При проведении оценки необходимо определять и приводить исходные условия работы машин и их параметры:

- урожайность, влажность зерна;
- длина гона;
- расстояние от поля до весовой;
- параметры уборочных и транспортных машин (вместимость, ширина жатки);
- состав уборочных и транспортных машин при работе в сравниваемых вариантах;
- состав и параметры тракторных агрегатов, выполняющих транспортировку зерна от комбайна на край поля (марки машин, фирма-производитель, масса, размеры шин, вместимость емкости).

1.4.2 Определение средней продолжительности всех элементов рабочих циклов машин:

- рабочих циклов комбайна (продолжительность выгрузки, поворота, работы на длине гона и др.);
- рабочих циклов автомобиля и агрегатов, выполняющих транспортировку зерна от комбайна на край поля (продолжительность и рабочая скорость движения с грузом и без груза, в т. ч. на дороге и на поле, продолжительность времени ожидания приема зерна от комбайна, выгрузок и перегрузок зерна).

1.4.3 Определение средней продолжительности простоев уборочных и транспортных машин (с указанием причины и последующего элемента рабочего цикла).

Таким образом можно сделать следующие выводы:

- в связи с прогрессирующими негативными проявлениями, вызываемыми увеличением параметров уборочных и транспортных машин, в последние годы объектами повышенного внимания исследователей становятся новые

транспортно-технологические схемы уборки зерновых колосовых культур с применением компенсирующих емкостей разных типов;

- результаты исследований новых транспортно-технологических схем и организационных совершенствований уборочного процесса, представленные в ряде публикаций, не обеспечивают их достоверную сравнительную оценку из-за учета при сравнении нерационально скомплектованных (с недостатком транспортных средств) базовых вариантов. Наряду с этим, в большинстве публикаций отсутствует ряд характеристик условий работы машин в полевых опытах, что предусмотрено действующими стандартами по эксплуатационно-технологической оценке по типам машин;

- объектами для сравнения при оценке эффективности новых технико-технологических совершенствований должны быть уборочно-транспортные звенья, транспортные составляющие которых должны обеспечивать бесперебойную работу комбайнов;

- практическая значимость исследований данной направленности может быть повышена при размещении в публикациях показателей работы машин и элементов времени их рабочих циклов. Это позволит моделировать разные транспортно-технологические процессы при типичных для хозяйств или регионов исходных полевых условиях, обеспечивать их сравнительную оценку и последующий обоснованный выбор наиболее эффективного варианта.

## **2 Программа и методика экспериментальных исследований**

### **2.1 Цели и задачи исследований**

Цель исследований – экспериментальное обоснование показателей эксплуатационно-технологической эффективности комбайнов и автомобилей в новом способе уборки зерновых колосовых культур в производственных условиях их группового использования.

Задачи исследований:

- оценка адаптации комбайнов разных марок к настройкам технологических параметров для работы по новому способу;
- определение сравнительных эксплуатационно-технологических показателей работы комбайнов и автомобилей в новом и базовом вариантах их применения;
- проведение сравнительного анализа эксплуатационно-технологических показателей комбайнов и автомобилей.

### **2.2 Объекты исследований**

#### **2.2.1 Новый способ работы комбайна**

Сущность нового способа уборки заключается:

- в применении новой совокупности взаимосвязанных режимов работы зерноуборочных комбайнов (рабочая ширина захвата жатки и рабочая скорость), определяемой в зависимости от условий поля (урожайность, длина гона) при сохранении оптимальной загрузки молотилки;
- в работе комбайна челночным способом (без холостых переездов в пределах загонок) во всех сочетаниях полевых условий и режимов работы при исключении проездов по полю транспортных средств;
- в выгрузке зерна в транспортные средства на краю поля преимущественно с одной его стороны.

Для практического применения нового способа по результатам пробного прохода по полю (при прокосах) определяется урожайность зерна и рабочая



скорость комбайна, заданная для базового режима работы. С применением разработанных формул определяется расстояние до заполнения бункера комбайна. Данное расстояние делится на длину гона данного обкошенного поля, и посредством расчета находится уменьшенная ширина жатки, при которой комбайн обеспечит заполнение бункера при подходе к краю поля с ближайшим большим числом гонов. В связи с тем, что выгрузка зерна осуществляется на краю поля, применяется челночный способ проходов комбайна в загонке, что исключает потери времени на переезды внутри загонок. При этом не требуются проезды автомобилей по полю.

### 2.2.2 Базовый способ работы комбайна

Комбайн работает загонным способом с соответствующими переездами при поворотах в пределах загонок. Автомобиль при подъезде к загонке движется по дороге, а при сигнале от комбайна о заполнении бункера – по полю.

Имеющиеся комбайны были разделены на две группы для работы соответственно по новому и базовому вариантам (таблица 2).

Таблица 2 – Состав технических средств в сравниваемых вариантах уборочно-транспортных звеньев

| Наименование<br>технического<br>средства | Конструктивная<br>ширина жатки<br>комбайна, м | Распределение комбайнов и автомобилей по<br>сравниваемым вариантам, шт. |                 |
|--|---|---|-----------------|
|  |   | новый вариант   | базовый вариант |
| Комбайны:                                |   |   |                 |
| Палессе GS-12                            | 7   | 1   | 1               |
| Акрос 550                                | 7   | -   | 1               |
| Дон-1500Б                                | 7   | 1   | 1               |
| Дон-1500Б                                | 6   | 2   | 1               |
| Автомобили:                              |   |   |                 |
| КамАЗ-5320                               | -   |   |                 |
| ЗиЛ-554                                  | -   | 1   | 1               |
| ГАЗ-САЗ                                  | -   | 1   | 2               |

## 2.3 Программа исследований

2.3.1 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы комбайна с применением хронометражных наблюдений за его работой и транспортным средством по сравниваемым вариантам:

а) в новом способе работы (с выгрузкой зерна из заполненного бункера на краю поля);

б) в базовом способе работы (с выгрузкой зерна в каком-либо месте поля по мере наполнения бункера).

2.3.2 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы автомобилей с применением хронометражных наблюдений за их работой при новом и при базовом способе работы комбайнов.

2.3.3 Сравнительный анализ эксплуатационно-технологических показателей комбайнов и автомобилей при базовом и новом способах работы.

## **2.4 Определяемые показатели и методика полевых исследований**

Методика выполнения экспериментальных полевых исследований основана на результатах анализа технологического процесса уборки зерновых колосовых культур и транспортировки зерна от комбайна, а также на стандартизованных методах испытаний зерноуборочных комбайнов и заключается в сравнительной оценке эксплуатационно-технологических и агротехнических показателей уборочных и транспортных машин.

Место проведения полевых оценок – валидационный полигон КубНИИТиМ.

Культура – озимая пшеница, урожайность 60-80 ц/га.

2.4.1 Номенклатура определяемых показателей:

- характеристика поля (площадь, длина гона, ширина загонок, удаленность от тока), схемы проезда автомобилей и мест разгрузок бункеров;
- характеристика культуры (сорт, урожайность и др.);
- параметры комбайна (марка, ширина жатки, объем бункера).

2.4.2 Показатели технологического процесса комбайна с определением агротехнических показателей качества работы комбайнов методами, предусмотренными ГОСТ 28301 [31], [30], ГОСТ 24055 [32], [31]:

- рабочая скорость – заданная, реализуемая по бортовому спидометру комбайна и фактическая (по времени прохождения длины гона);

- высота среза;
- потери зерна молотилкой;
- потери зерна жаткой;
- дробление зерна;
- содержание сорной примеси;
- рабочая ширина захвата;
- потери времени на повороты при работе в загонке в базовом (с переездами) и в новом (без переездов) способе (до окончания работы в загонке);
- степень заполнения бункера при новом и базовом способах работы комбайна;
- производительность за 1 ч основного времени, га/ч;
- производительность за 1 ч сменного времени, га/ч;
- удельный расход топлива, кг/га.

#### 2.4.3 Показатели автомобиля в транспортном процессе:

- масса перевозимого зерна в каждом рабочем цикле автомобиля (для нового и базового способа работы комбайна);
- затраты времени в рабочих циклах;
- расстояния от тока до загонки по дороге и от дороги до комбайна по полю (в базовом способе);
- расстояния от тока до загонки (в новом способе);
- скорости движения по дороге и по полю;
- сокращение пробега автомобиля в рабочем цикле в новом способе при неизменном расстоянии от тока до поля;
- сокращение времени подъезда автомобиля к комбайну из режима ожидания в новом и базовом способах.

#### 2.4.4 Порядок и методы определения функциональных показателей

Перед началом работы комбайнов на опытных участках определяют почвенные и другие условия проведения оценок, проводят измерение длины гона (после обкоса краев поля) и, во время прокосов – урожайности и рабочей скорости комбайна.

Показатели условий полевых оценок определяют согласно ГОСТ 28301 [31] и ГОСТ 20915 [32], эксплуатационно-технологические – по ГОСТ 24055 [33]. Исследования по вариантам способов уборки проводят в условиях одного поля с одинаковой высотой среза растений и режимом работы измельчителя-разбрасывателя.

Для сравнительной оценки базового и нового способов уборки контрольные загоны должны быть одинаковыми по длине, а их ширина в базовом варианте должна соответствовать действующим зональным рекомендациям.

Оценка израсходованного комбайнами топлива проводится методом «долива до полного бака» по счетчику заправочного устройства поочередно по мере очередной выгрузки зерна из бункера, т. е. при получении целого достаточного числа законченных рабочих циклов. Дозаправка автомобилей проводится после завершения работы закрепленных комбайнов и разгрузки на току.

## **2.5 Производственные условия и организация проведения полевого опыта**

Сравнительный полевой опыт уборки озимой пшеницы новым и базовым способом был реализован на поле I<sub>1</sub> урожайностью 57,1 ц/га с удалением от тока на 6,4 км.

Поле было обкошено со всех сторон на ширину 28 м и разделено на две равные части посредством прокоса для уборки соответственно базовым и новым способом. На половине поля с базовым способом уборки прокосы выполнялись в соответствии с действующими рекомендациями [34] в среднем через 110-120 м для работы комбайнов «в раскос» с последующим переходом на работу «в свал».

Участок поля для нового способа посредством прокоса разделили на две равные части, образовав таким образом в хлебном массиве 4 боковых стороны для челночных проходов четырех комбайнов для работы каждого из них на своей стороне (рисунок 2).

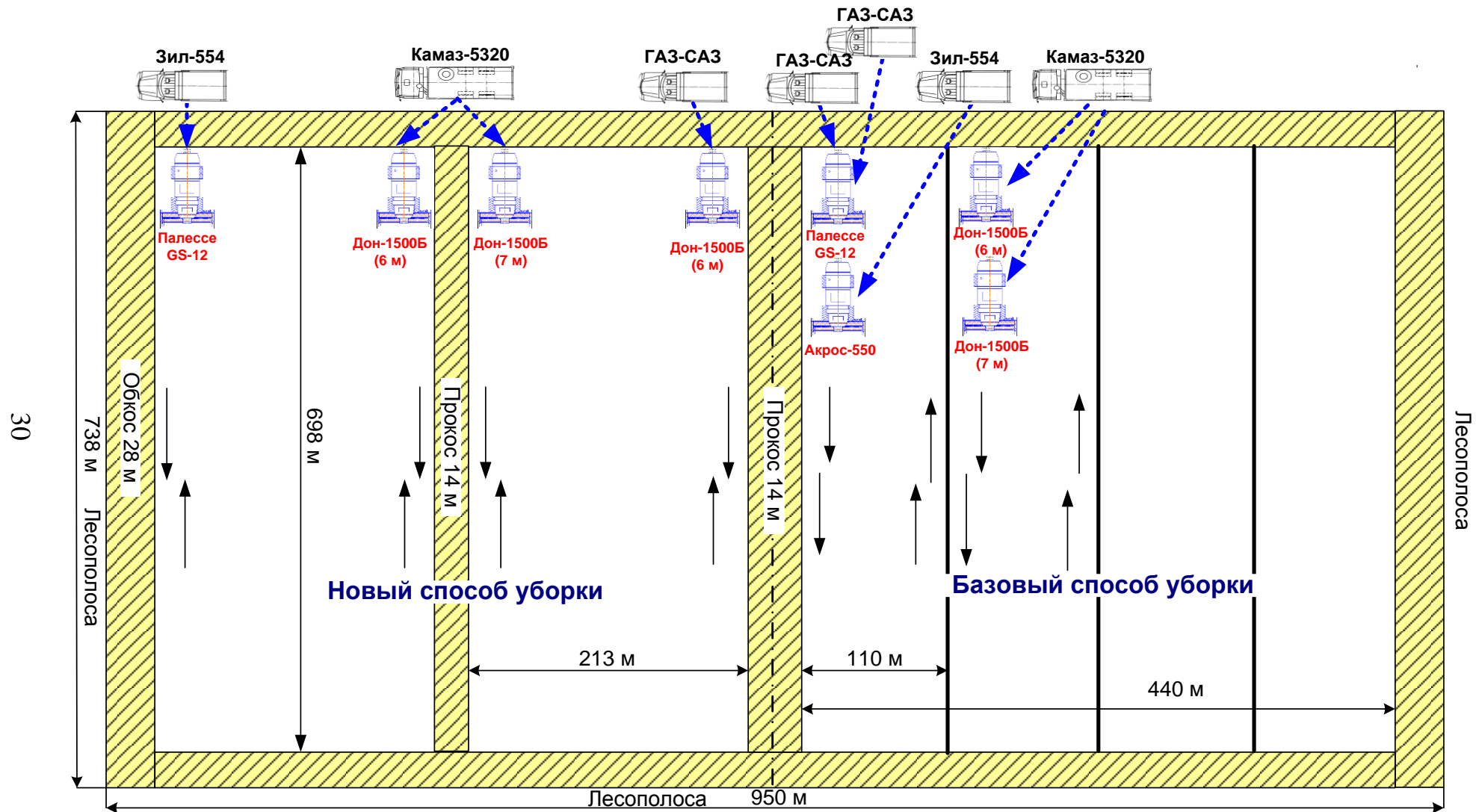


Рисунок 2 – Схема разграничения участков поля и технических средств для работы по новому и базовому вариантам

В связи с близкими значениями продолжительности работы комбайнов между выгрузками зерна и рабочих циклов автомобилей, а также из-за рассредоточенности комбайнов каждого варианта по ширине отведенных участков поля, в рамках устоявшейся хозяйственной практики было проведено закрепление автомобилей за конкретными комбайнами. При этом каждый автомобиль КамАЗ в том и другом варианте отвозил зерно от двух комбайнов Дон-1500Б, автомобили ЗиЛ-554 и ГАЗ-САЗ отвозили зерно от закрепленных за каждым из них комбайнов. Это позволило исключить нерациональные проезды автомобилей в поисках комбайна с наименьшим временем до выгрузки зерна.

Центральные валы жаток комбайнов, предназначенных для работы по новому варианту предварительно были раскрашены полосами разных цветов для обеспечения точности вождения при ограниченной рабочей ширине заданного размера (рисунок 3).



Рисунок 3 – Разметка вала мотовила комбайна Дон-1500Б

Перед началом работы комбайны были расставлены по запланированным участкам поля, заправлены до полного бака (для последующей оценки расхода топлива методом «долива до полного бака»).

Комбайнам базового варианта, исходя из их работы с полным захватом жатки, агрономической службой хозяйства была задана рабочая скорость 4,5 км/ч. Исходя из этого, а также урожайности 57,1 ц/га (найденной по результатам первого прокоса), длины гона после обкосов (698 м) и вместимости бункера, была определена и задана комбайнерам рабочая ширина жатки для каждого комбайна (таблица 3) и соответствующее этому расстоянию сочетание цветных полос, соответствующих при движении комбайна границе хлеба.

Т а б л и ц а 3 – Заданные и фактически реализованные в опыте режимы работы комбайнов

| Марка комбайна   | Шифр комбайна, механизатор | Ширина жатки, м |          | Скорость движения, км/ч |             |
|--|----------------------------|-----------------|----------|-------------------------|-------------|
|  |                            | конструкционная | заданная | заданная                | фактическая |
| Базовый вариант  |                            |                 |          |                         |             |
| Палессе GS 12  | Чернышев                   | 7               | 6,9      | 4,5                     | -           |
| Акрос 550  | Ж7-Б, Уткин                | 7               | 6,9      | -\\-                    | -           |
| Дон-1500Б  | Ж7-Б, Кваст                | 7               | 6,9      | -\\-                    | 4,3         |
| Дон-1500Б  | Ж6-Б, Сыса                 | 6               | 5,9      | -\\-                    | 3,9         |
| Новый вариант  |                            |                 |          |                         |             |
| Дон-1500Б  | Ж6-Н1, Сахно               | 6               | 5,9      | 4,6                     | 4,6         |
| Дон-1500Б  | Ж6-Н2, Полушин             | 7               | 5,9      | 5,4                     | 5,2         |
| Дон-1500Б  | Ж6-Н3, Биценко             | 6               | 5,9      | 4,6                     | 5,1         |
| Палессе GS 12  | Степаненко                 | 7               | 3,9      | 5,7                     | -           |
|  |                            |                 | 5,2      | 6,0                     | -           |
| Пр и м е ч а н и е – Ж6 – 6-метровая жатка, Ж7 – 7-метровая жатка; Н и Б – соответственно новый и базовый варианты работы. |                            |                 |          |                         |             |

Также, исходя из обеспечения равенства подач в молотилки зерновой массы, были определены и доведены рабочие скорости комбайнов по новому варианту. При этом исходным условием для планирования режимов работы было соблюдение равенство подач в молотилку (при прочих равных условиях), предусмотренное расчетной формулой. При этом, для комбайнов Дон-1500Б с 6-метровыми жатками рабочая ширина жатки для данной урожайности и длины гона, согласно расчетам, была равна 5,9 м, т. е. соответствовала рабочей ширине в базовом варианте.

У комбайна Дон-1500Б с 7-метровой жаткой из условия заполнения и

выгрузки зерна на краю поля рабочая ширина также была равна 5,9 м (при конструктивной ширине 7 м). Однако, из условия равенства подач в молотилку комбайна в новом варианте рабочая скорость, согласно расчету, была задана большей, чем у аналогичного комбайна в базовом варианте (соответственно 5,4 км/ч вместо 4,5 км/ч).

В процессе работы за всеми комбайнами и автомобилями осуществлялись хронометражные наблюдения (как индивидуально, так и за группой машин).

## **2.6 Определение рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения комбайна**

Рабочую ширину захвата жатки и рабочую скорость движения комбайна при реализации нового способа уборки вычисляли с использованием параметров технической характеристики комбайна (емкости бункера, ширины захвата жатки), режима работы (рабочей скорости движения) и характеристик поля и культуры (длины гона, урожайности и удельной массы культуры).

Для определения искомых параметров проведено вычисление значений ряда промежуточных показателей:

- длины рабочего хода (расстояния до заполнения бункера)  $L_{р.х}$ , м, по формуле

$$L_{р.х} = \frac{V \cdot \gamma}{y \cdot B}, \quad (1)$$

где  $V$  – емкость бункера, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – удельная масса культуры, кг/м<sup>3</sup>;

$y$  – урожайность, кг/м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина захвата жатки  $B$ , м;

- отношения длины рабочего хода к длине гона  $n$  по формуле



$$n = \frac{L_{p,x}}{L}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина гона, м.

Полученное значение округляют до ближайшего целого большего (вверх с избытком)  $n = \lceil n \rceil$ .

После проведения промежуточных расчетов вычислены значения иско- мых параметров:

- расчетный захват жатки  $B_p$ , м, по формуле

$$B_p = \frac{B \cdot L_{p,x}}{\lceil n \rceil \cdot L}; \quad (3)$$

- расчетная скорость движения  $v_p$ , м/с, по формуле

$$v_p = \frac{v \cdot B}{B_p}. \quad (4)$$

Для облегчения приведенных расчетов в среде Excel использовали со- зданную элементарную программу (рисунок 4).

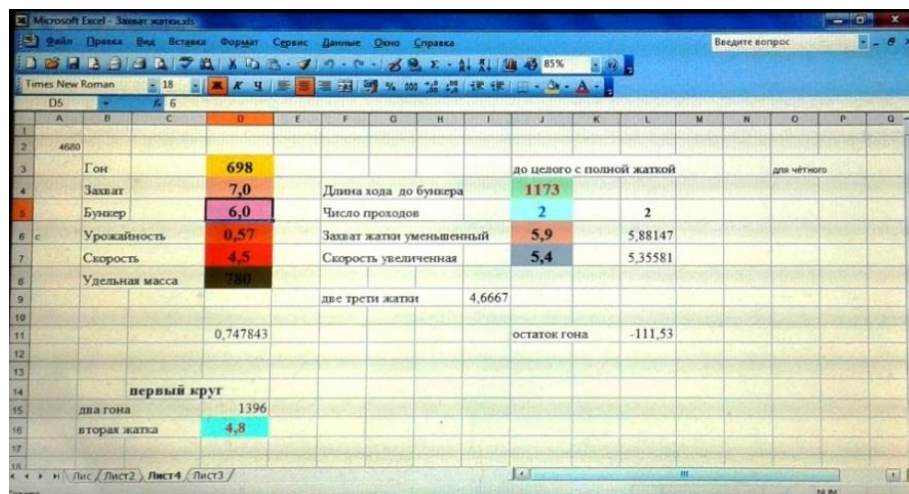


Рисунок 4 – Вид рабочего окна прикладной программы на портативном компьютере

Исходя из заданной скорости движения комбайнов в базовом способе (4,5 км/ч), длине гона (698 м) и урожайности культуры (57,1 ц/га) на опытном поле, вычисленные по описанному алгоритму параметры имеют следующие значения (таблица 4).

Принятые в эксперименте значения рабочей ширины захвата жаток позволили комбайнам Дон-1500Б работать по схеме «круг-выгрузка» (рисунки 5 и 6), а комбайну Палессе GS-12 – по схеме «полтора круга-выгрузка».

Т а б л и ц а 4 – Расчетные значения рабочей ширины захвата жатки и скорости движения комбайнов в новом варианте

| Марка комбайна | Ширина захвата жатки, м |                   | Расчетная скорость движения, км/ч |
|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------|
|                | конструкционная         | расчетная рабочая |                                   |
| Дон-1500Б      | 6,0                     | 5,9               | 4,6                               |
|                | 7,0                     | 5,9               | 5,4                               |
| Палессе GS-12  | 7,0                     | 5,2               | 6,0                               |



Рисунок 5 – Выгрузка зерна в новом варианте работы на краю поля в автомобиль КамАЗ

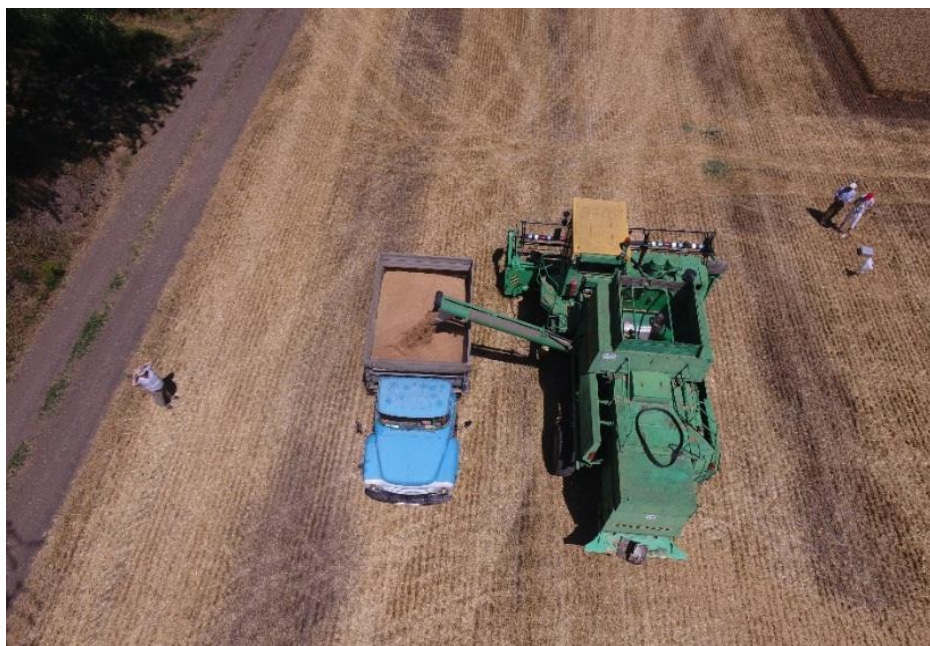


Рисунок 6 – Выгрузка зерна в новом варианте работы на краю поля в автомобиль ЗиЛ

Для организации наиболее предпочтительной выгрузки всей группы комбайнов на одной стороне поля для комбайна Палессе GS-12 был произведен перерасчет рабочей ширины захвата и скорости движения применительно к схеме работы «два круга-выгрузка». При этом потребовалось уменьшить ширину захвата до 3,9 м, а скорость движения увеличить до 8,0 км/ч. Другим вариантом могла стать работа с полным захватом жатки и выгрузка зерна после двойного прохода (туда-обратно). Но при этом недобор зерна в бункер составил бы более одной тонны. В совокупности с ростом в структуре затрат времени контрольной смены продолжительности выгрузок и дефиците времени на поиск и расчет альтернативных вариантов сравнительных показателей по данному комбайну не было получено.

### **3 Результаты сравнительных оценок комбайнов в новом и базовом вариантах полевых опытов**

Полевой опыт был проведен 03.07.2020 г. в соответствии с методикой, описанной в разделе 2, на поле I<sub>1</sub> валидационного полигона КубНИИТиМ общей площадью 75 га урожайностью – 57,1 ц/га. Комбайны в базовом и в новом вариантах согласно схеме опыта (рисунок 1) работали на выделенных для них половинах поля (рисунки 7-9).



Рисунок 7 – Работа комбайнов Дон-1500Б в базовом варианте



Рисунок 8 – Работа комбайна Дон-1500Б в новом варианте с 7-метровой жаткой при ее рабочей ширине 5,9 м



Рисунок 9 – Работа комбайна Палессе GS-12 с 7-метровой жаткой

В производственных условиях уборки наиболее точно заданные режимы работы были выдержаны комбайнами Дон-1500Б и Акрос 550, что позволило получить достоверные результаты сравнительной оценки нового варианта их работы (таблица 5).

Таблица 5 – Характеристики рабочего процесса комбайнов Дон-1500Б и Акрос 550

| Марка комбайна   | Шифр комбайна, фамилия механизатора | Продолжительность работы комбайна, мин. |                   | Секундная производительность, м <sup>2</sup> /с | Средняя масса зерна при выгрузке, кг |
|--|-------------------------------------|---|-------------------|---|--------------------------------------|
|  |                                     | на длине гона                           | до выгрузки зерна |   |                                      |
| Базовый вариант  |                                     |   |                   |   |                                      |
| Акрос 550  | Ж7-Б Уткин                          | 9,83                                    | 25,38             | 8,20  | 7155                                 |
| Дон-1500Б  | Ж7-Б Кваст                          | 9,98                                    | 20,94             | 8,24  | 5652                                 |
| Дон-1500Б  | Ж6-Б Сыса                           | 10,67                                   | 27,00             | 6,26  | 5652                                 |
| Новый вариант  |                                     |   |                   |   |                                      |
| Дон-1500Б  | Ж6-Н1 Сахно                         | 9,05                                    | 18,87             | 7,28  | 4888                                 |
| Дон-1500Б  | Ж7-Н2 Полушин                       | 8,07                                    | 13,58             | 8,52  | 4823                                 |
| Дон-1500Б  | Ж6-Н3 Биценко                       | 7,87                                    | 14,97             | 8,36  | 4823                                 |
| Примечание – Ж6 – 6-метровая жатка, Ж7 – 7-метровая жатка; Н и Б – соответственно новый и базовый варианты работы. |                                     |   |                   |   |                                      |

В базовом варианте комбайны Дон-1500Б Ж7-Б и Ж6-Б в среднем проходили длину гона (698 м) соответственно за 9,98 мин и 10,67 мин, т. е. с небольшим отличием по времени. Но продолжительность работы до выгрузки зерна у комбайна с 6-метровой жаткой (27,0 мин) была существенно большей, чем у комбайна с 7-метровой жаткой (20,94 мин), т. к. Дон-1500Б Ж7-Б при движении собирал зерно с большей ширины при одинаковой вместимости бункера и одинаковой заданной специалистами хозяйства скорости.

В новом варианте, благодаря тому что для этих аналогичных комбайнов была задана одинаковая рабочая ширина захвата (5,9 м), продолжительность работы комбайнов до выгрузки имела меньшие различия (для комбайнов Ж7-Н2 и Ж6-Н3, обслуживаемых одним КамАЗом – соответственно 8,52 и 8,36 мин).

Наряду с некоторыми отклонениями от заданных скоростных режимов работы, исходя из запланированного в опыте равенства подач в молотилку как в базовом, так и в новом варианте работы (таблица 3) наиболее точно заданные режимы были выдержаны в сравниваемых вариантах комбайнами Дон-1500Б с 7-метровыми жатками. Сокращение продолжительности работы до выгрузки комбайна Дон-1500Б с 7-метровой жаткой в новом варианте работы (в сравнении с базовым вариантом) составило 35,1 % (отчасти за счет меньшего на 13,5 % заполнения бункера, а также за счет заданной увеличенной рабочей скорости). Вполне очевидно, что в зависимости от степени отличия расчетной ширины жатки от конструкционной (и при соответствующем увеличении скорости комбайна), этим определяются более жесткие требования к срокам возврата на поле транспортных средств после отвоза зерна.

Отмеченные различия продолжительности работы двух комбайнов до заполнения бункеров при их обслуживании одним большегрузным автомобилем, например автомобилем КамАЗ, загружающим два бункера, имеют важное значение с точки зрения влияния на предсказуемость времени ожидания выгрузки второго бункера (от второго комбайна).

В базовом варианте комбайны Дон-1500Б Ж7-Б и Ж6-Б в среднем выгружали по 5652 кг, в то же время в новом варианте комбайны Дон-1500Б Ж7-Н2 и Ж6-Н3 в среднем выгружали на 827 кг или на 13,5 % меньше – по 4823 кг, а комбайн Ж6-Н1 – 4823 кг, т. е. на 14,7 % меньше. Отчасти это вызвано тем, что в базовом варианте комбайны заполняли бункеры сверх их конструктивной вместимости, т. е. «с горкой». По нашим оценкам это превышение в среднем составляет около 250 кг зерна. Но при расчете рабочей ширины захвата жатки для нового варианта работы исходили из конструкционной вместимости бункера комбайна и предусматривали вероятное превышение поступления зерна из-за неоднородности продуктивности хлебостоя при последующем применении нового способа в разных условиях. Поэтому выгрузка зерна в соответствии с особенностями нового варианта работы осуществлялась на краю поля независимо от степени заполнения бункера (рисунок б).

Характер заполнения бункеров сравниваемых комбайнов Дон-1500Б с 7-метровыми жатками (Ж7-Б и Ж7-Н2), представленный на рисунке 10, показывает, что заполнение конструкционного объема бункера (без горки) в базовом варианте происходило при массе зерна 5400 кг (точка Б графика) примерно за 100 м до края поля (с длиной гона 698 м), т. е. до окончания второго (обратного) прохода.

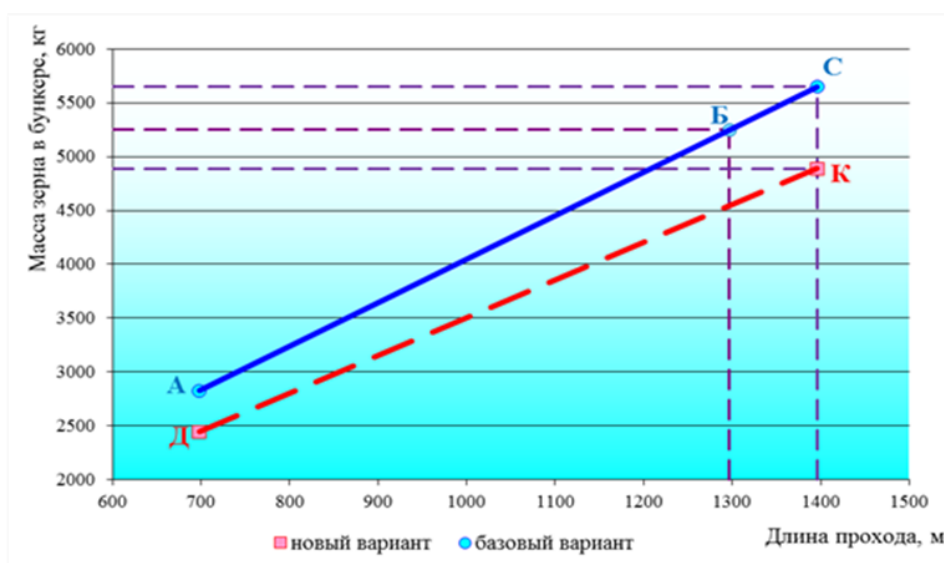


Рисунок 10 – Зависимость массы зерна в бункере комбайна Дон-1500Б от длины рабочих проходов в базовом и новом вариантах работы

При завершении гона, что соответствовало перемещению из точки Б в точку С графика комбайн достигал общей длины прохода 1400 м, набирая при этом дополнительно 250 кг зерна. При работе комбайна по новому способу при соответствующем перемещении за два гона из точки Д в точку К комбайн набирал в среднем 4823 кг зерна.

Вполне очевидно, что возможность приема дополнительного объема зерна позволяет в данном и ряде других случаев дорабатывать в базовом варианте до конца гона. Но в других случаях сверхнормативное поступление зерна является экономически нецелесообразным из-за нерациональных затрат энергии на транспортировку дополнительной массы зерна. Как отмечают исследователи [7], вместимость бункеров большинства зарубежных зерноуборочных комбайнов значительно превышает научно обоснованные оптимальные значения, что приводит к их повышенной металлоемкости. При этом выражается сомнение в целесообразности увеличения удельной вместимости бункеров отечественных зерноуборочных комбайнов до 1,1-1,3 м<sup>3</sup>/кг/с [7]. Ущерб от завышенного объема бункера или от набора в бункер максимально возможной массы зерна (с горкой) проявляется в повышении затрат топлива из-за дополнительных затрат энергии на самопередвижение комбайна, особенно с повышением влажности почвы. Такие условия сложились на поле при сравнительной оценке работы комбайнов, что позволило оценить различия расхода топлива.

По истечении контрольного времени (в среднем 3 ч) после завершения очередной выгрузки зерна из бункера был осуществлен контроль израсходованного топлива методом «долива до полного бака» с одновременной оценкой убранной площади. Продолжительность и время начала подконтрольной работы комбайнов соответствовало наименьшему изменению влажности хлеба и ее влиянию на условия работы комбайнов.

Комбайны Дон-1500Б (Ж7-Н2 и Ж6-Н3) при работе по новому варианту сделали по 5 выгрузок зерна, остальные комбайны – по 4 выгрузки (таблица 6).



Т а б л и ц а 6 – Результаты работы комбайнов до контрольной дозаправки при определении расхода топлива

| Марка комбайна  | Шифр комбайна, фамилия механизатора | Количество выгрузок | Скошено, га | Производительность, га/ч |                 | Расход топлива, л/га |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------|-------------|--------------------------|-----------------|----------------------|
|                 |                                     |                     |             | W <sub>0</sub>           | W <sub>см</sub> |                      |
| Базовый вариант |                                     |                     |             |                          |                 |                      |
| Палессе GS 12   | Чернышев                            |                     | 4,82        | 3,31                     | 2,32            | 13,49                |
| Акрос 550       | Уткин                               | 4                   | 4,44        | 2,92                     | 2,04            | 14,64                |
| Дон-1500Б       | Ж7-Б, Кваст                         | 4                   | 3,85        | 2,97                     | 2,08            | 15,32                |
| Дон-1500Б       | Ж6-Б, Сыса                          | 4                   | 4,12        | 2,25                     | 1,58            | 16,02                |
| Новый вариант   |                                     |                     |             |                          |                 |                      |
| Дон-1500Б       | Ж6-Н1, Сахно                        | 4                   | 3,29        | 2,62                     | 1,83            | 13,07                |
| Дон-1500Б       | Ж7-Н2, Полушин                      | 5                   | 3,77        | 3,06                     | 2,14            | 12,87                |
| Дон-1500Б       | Ж6-Н3, Биценко                      | 5                   | 4,12        | 3,01                     | 2,11            | 12,87                |

Полученные перед дозаправками различия значений скошенных комбайнами площадей обусловлены действием ряда факторов:

- различиями числа проходов по длине гона из-за неодновременности дозаправок;
- различиями конструктивной и рабочей ширины жаток;
- различиями заданных рабочих скоростей в новом варианте (таблица 3) и отклонений от них в процессе работы.

Так, Кваст и Сахно прошли до заправки по 8 гонов, а Сыса, Полушин и Биценко – по 10 гонов. При этом при одинаковой вместимости бункера, но меньшей рабочей ширине жатки (5,9 и 6,9 м) для намолота 4 бункеров в целом комбайну с меньшей шириной жатки в базовом варианте потребовалось сделать 10 проходов по длине гона вместо 8.

Заправки были растянуты по времени, поэтому абсолютные значения наработки комбайнов на момент дозаправки не является показателями их оценки, но интерес представляют относительные показатели, т. е. расход топлива на единицу убранной площади.

Комбайны Дон-1500Б с 7-метровыми жатками в новом и базовом вариантах показали производительность в единицу сменного времени соответственно 2,14 и 2,08 га/ч при расходах топлива 12,87 и 15,32 л/га (таблица 6),

что соответствует экономии топлива в новом варианте 2,45 л/га или 16 %.

Как известно, к факторам, повышающим расход топлива комбайном, относится большая рабочая скорость, масса комбайна (в том числе масса зерна в бункере) и сопротивление почвы перекачиванию колес, зависящее от твердости поверхности и их заглубления. В данном случае, наряду с большей скоростью в новом варианте (5,2 км/ч вместо 4,3 км/ч), на снижение расхода топлива, вероятно, повлияла меньшая масса зерна, набираемого в бункер (в среднем соответственно 4823 и 5652 кг).

Обычно на практике применяется скорость движения на уборке 3-5 км/ч [35]. Поэтому в реализованном сравнительном опыте увеличение рабочей скорости до 5,2 км/ч (при снижении рабочей ширины жатки до 5,9 м) лишь незначительно превышает указанный диапазон, а различие массы зерна, набираемого в бункер, более существенны.

Влияние на расход топлива дополнительной массы зерна, набираемой в бункер также хорошо видно из сравнения показателей комбайнов с 6-метровыми жатками. Так, в новом варианте комбайны Ж6-Н1 и Ж6-Н3 с равной рабочей шириной жатки 5,9 м набирали в бункер в среднем соответственно 4888 и 4823 кг и расходовали топлива 13,07 и 12,87 л/га. В то же время аналогичный комбайн Ж6-Б в базовом варианте работы показал расход топлива 16,02 л/га.

Таким образом, работа комбайнов с 6-метровыми жатками в новом варианте позволила сократить расход топлива на 3,13 и 3,33 л/га, т. е. на 19,3 % и 20,6 %, т. к. в среднем они набирали в бункер зерна на 15,6 % и на 17,19 % меньше, а для комбайна с 7-метровой жаткой экономия топлива составила 16 %.

При работе в новом и базовом вариантах существенным является различие значений времени поворота комбайнов в конце гона. Так, в базовом варианте среднее время поворота комбайнов Дон-1500Б (с переездом в пределах загонки) находится в пределах 34-36 с, в то время как в новом варианте комбайны поворачивали в среднем за 21-23 с (таблица 7).

Таблица 7 – Средняя продолжительность поворотов комбайнов

| Характеристика<br>элемента времени      | Значение параметра в варианте работы комбайна |                    |                    |                    |
|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | базовом                                       |                    | новом              |                    |
|   | Дон-1500Б+<br>ЖУ-7                            | Дон-1500Б+<br>ЖУ-6 | Дон-1500Б+<br>ЖУ-7 | Дон-1500Б+<br>ЖУ-6 |
| Среднее значение $\bar{x}_{cp}$ , с     | 34  | 36                 | 23                 | 21                 |
| Стандартное отклонение<br>$\sigma$ , ±с | 14  | 20                 | 6                  | 3                  |
| Коэффициент вариации<br>$v$ , %         | 42,8  | 56,9               | 27,1               | 15,5               |

В базовом варианте средняя продолжительность поворотов для комбайна с 6 и 7-метровой жатками выше в 1,5-1,7 раза из-за сопутствующих переездов. При этом в базовом варианте варьирование времени поворота (с переездом в пределах ширины загонки) составляет 42,8 %–56,9 %, что свидетельствует о значительном разбросе отдельных значений из-за различий расстояний переездов, в то время как в новом варианте вариация времени поворота составляет 16,5 %–27,1 %.

При работе в загонке «в раскос» в базовом варианте при числе гонов до 10 характер изменения времени поворота имеет вид экспоненты, а в новом варианте прослеживается отсутствие закономерных различий продолжительности поворотов в процессе работы (рисунки 11 и 12).

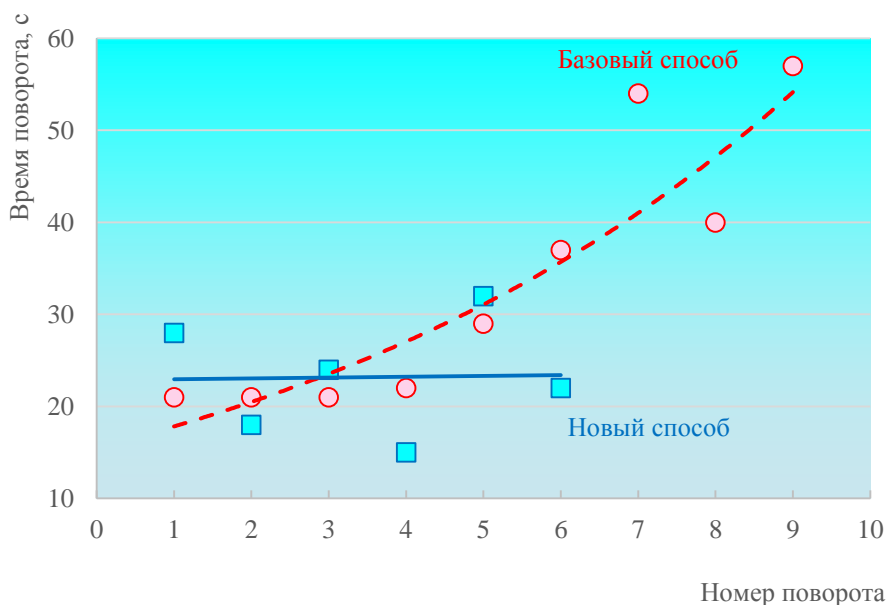


Рисунок 11 – Характер изменения времени поворота для комбайнов Дон-1500Б с жаткой шириной захвата 7 м

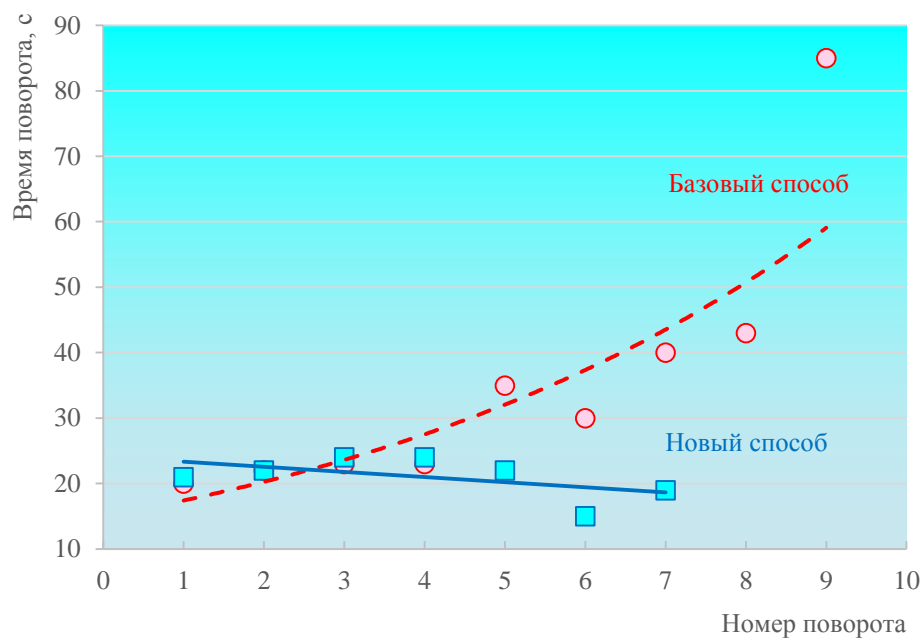


Рисунок 12 – Характер изменения времени поворота для комбайнов Дон-1500Б с жаткой шириной захвата 6 м

При этом в обоих случаях в базовом варианте продолжительность первых четырех поворотов практически совпадает со средней продолжительностью поворота в новом варианте и значительно увеличивается начиная с пятого поворота (до трех раз к десятому повороту).

Различия вариабельности продолжительности поворотов комбайнами с 7 и 6-метровыми жатками (рисунки 11, 12) объясняются индивидуальными особенностями механизаторов, управляющих комбайнами. Очевидно, что в данном случае немаловажную роль играют уровень подготовки (квалификация) и быстрота приобретения навыка поворота при челночном способе работы (т. к. применение таких поворотов было предложено с началом опыта). Но в результате было установлено, что продолжительность поворотов в новом варианте в среднем снижается на 32,3 %–41,7 %.

Снижение продолжительности поворотов в новом варианте является не только фактором повышения производительности комбайна, но работает в направлении стабилизации продолжительности рабочих циклов. Кроме этого,

применение челночных проходов комбайнов исключает необходимость прокосов хлебного массива через каждые 110-120 м, что исключает появление при завершении уборки таких участков, как узких полос хлебостоя и так называемых «клиньев», не обеспечивающих в последних проходах оптимальную загрузку молотилки. Однако в данном опыте изучение данного фактора не вошло в задачи исследований, а в целом в пределах контрольного времени получено незначительное повышение производительности комбайна Дон-1500Б с 7-метровой жаткой (на 2,9 %) (таблица 6) в отличие от сравнительного опыта прошлого года с одним образцом комбайна, когда повышение производительности составило 6,5 %. Т. е. как минимум производительность комбайна в новом варианте не уступает базовому.

#### 4 Сравнительные эксплуатационные показатели автомобилей в базовом и новом вариантах работы

Транспортные звенья базового и нового вариантов включали по одному КамАЗ-5320 и по одному ЗиЛ-554 (см. таблицу 2). Каждый из КамАЗ-5320 отвозил зерно от двух комбайнов Дон-1500Б с 6 и 7-метровой жаткой. ЗиЛ-554 в базовом варианте отвозил зерно от комбайна Акрос 550, а в новом варианте – от комбайна Дон-1500Б с 6-метровой жаткой. За указанными автомобилями производился сплошной хронометраж. Кроме этого, на весовой хозяйства фиксировали время прибытия и отъезда автомобилей после выгрузки зерна и массу зерна.

Анализ результатов хронометражных наблюдений показал, что средняя продолжительность рабочего цикла автомобилей в новом варианте уборки значительно меньше, чем в базовом варианте: для автомобиля ЗиЛ-554 – 25,0 мин вместо 34,0 мин, а для автомобиля КамАЗ соответственно 25,7 мин вместо 36,7 мин (таблица 8). При этом, в базовом варианте, как было отмечено выше, комбайн с 7-метровой жаткой выгружал заполненный «с горкой» бункер преимущественно на краю поля, что ограничивало проезды по полю и потери времени применяемого автомобиля КамАЗ.

Таблица 8 – Средняя продолжительность элементов рабочих циклов автомобилей при отвозе зерна от комбайнов по вариантам работы

| Наименование показателя                                       | Средняя продолжительность элементов рабочих циклов, с |                 |               |                 |
|---|---|-----------------|---------------|-----------------|
|   | ЗиЛ-554   |                 | КамАЗ-5320    |                 |
|   | новый вариант   | базовый вариант | новый вариант | базовый вариант |
| Проезд от края поля к комбайну                                | -   | 65              | -             | 91              |
| Ожидание приема зерна   | 117   | 593             | 152           | 180             |
| Прием зерна из бункера в кузов                                | 129   | 128             | 245           | 249             |
| Проезд от комбайна к краю поля                                | -   | 75              | -             | 134             |
| Проезд от края поля на ток                                    | 520   | 576             | 397           | 588             |
| Взвешивание и выгрузка  | 112   | 112             | 386           | 386             |
| Проезд от тока на край поля                                   | 504   | 512             | 375           | 566             |
| Продолжительность цикла, мин (по времени прибытия на весовую) | 25,0  | 34,0            | 25,7          | 36,7            |

Причины большей продолжительности рабочих циклов автомобилей в базовом варианте заключаются в необходимости проезда по полю с невысокой скоростью к местам заполнения бункеров комбайнов. Как видно из таблицы 8, особенно это проявляется при приеме зерна КамАЗами от двух комбайнов (средние затраты времени на проезд к комбайнам и обратно соответственно 91 с и 134 с). У автомобиля ЗиЛ-554 данные затраты времени меньше – в среднем соответственно равны 65 и 75 с. Таким образом, на передвижение по полю (до комбайнов и обратно) в базовом варианте ЗиЛ тратил 2,33 мин, а КамАЗ – 3,75 мин. При этом один из двух комбайнов, обслуживаемых КамАЗом, выгружался преимущественно у края поля, что ограничивало проезды.

Сокращению рабочих циклов также способствовала большая рабочая скорость комбайна в новом варианте, что видно из сравнения комбайнов Дон-1500Б с 7-метровыми жатками (таблица 3). При этом характерным для нового варианта работы является меньшая продолжительность ожидания приема зерна от комбайна.

В условиях производственного применения и жесткого закрепления автомобилей за комбайнами (по два комбайна за КамАЗами и по одному – за ЗиЛами) на некоторые элементы времени цикла (продолжительность проезда от тока до поля и обратно) оказали влияние субъективные, но логически обоснованные навыки водителя. Так, КамАЗ-5320 в новом варианте работы проезжал от поля до тока и обратно соответственно за 397 и 375 с, тогда как в базовом – значительно медленнее, соответственно за 588 и 566 с. Наряду с несколько меньшим расстоянием до участка поля с новым вариантом опыта (в среднем на 300 м), водитель КамАЗ-5320 из базового варианта ориентировался на ритмичность заполнения бункеров комбайнов, исходя из которой причин для проездов с большей скоростью не было. К тому же на маршруте движения находился недостаточно выравненный участок дороги с гравийным покрытием и несколько поворотов под прямым углом сразу за посадками. Очевидно, что водитель при отсутствии стимула в перевозке большего количества зерна

руководствовался соображениями обеспечения бесперебойной работы комбайнов при экономии топлива и безопасности движения. В то же время при передвижении автомобилей ЗиЛ-554 с близкими значениями затрат времени в сравниваемых вариантах, в базовом варианте автомобиль возвращался на поле значительно быстрее, о чем свидетельствует среднее время ожидания приема зерна на поле – 593 с (вместо 180 с у КамАЗ-5320). При отсутствии жесткого закрепления за комбайнами в стремлении водителей перевезти большее количество зерна различия в скорости по дорогам по нашим наблюдениям существенно снижаются.

Несмотря на указанные особенности выбора скорости движения, наиболее объективным результирующим показателем работы сравниваемых автомобилей в новом и базовом вариантах работ послужила продолжительность их циклов по результатам фиксации времени их прибытия для взвешивания. В базовом варианте продолжительность цикла автомобилей ЗиЛ и КамАЗ составила соответственно 34,0 и 36,7 мин, а в новом – 25,0 и 25,7 мин, т. е. меньше на 26 % у КамАЗ-5320 – и на 30,0 % у ЗиЛ-554.

В промежутке времени 2,5-3,0 ч после начала работы после завершения очередного транспортного цикла автомобили были дозаправлены с целью определения относительных показателей расхода топлива и других показателей транспортного процесса.

В связи с большей удаленностью участка поля в базовом варианте и дополнительными передвижениями автомобилей непосредственно по полю, при расчете показателей учитывали разные значения пробега в рабочем цикле: соответственно 14,47 км и 12,87 км (таблица 9).

Автомобиль КамАЗ-5320 благодаря меньшей продолжительности рабочих циклов в новом варианте работы (в среднем 25,7 мин вместо 36,7 мин) выполнил 6 рейсов вместо 4 при соответствующих примерно равных затратах времени работы до дозаправки – 2,45 ч в базовом и 2,57 ч – в новом вариантах работы. Автомобиль ЗиЛ-554 выполнил в новом варианте 6, а в базовом – 5 рабочих циклов.



Таблица 9 – Эксплуатационные показатели автомобилей по вариантам

| Наименование показателя          | Вариант опыта |               |            |         |
|----------------------------------|---------------|---------------|------------|---------|
|                                  | базовый       |               | новый      |         |
|                                  | КамАЗ-5320    | ЗиЛ-554       | КамАЗ-5320 | ЗиЛ-554 |
| Закрепленные комбайны:           |               |               |            |         |
| - Дон-1500Б                      | 2             | -             | 2          | 1       |
| - Акрос 550                      | -             | 1             | -          | -       |
| Пробег, км:                      |               |               |            |         |
| - за рейс                        | 14,47         | 14,47         | 12,87      | 12,87   |
| - за подконтрольное число рейсов | 50,68         | 72,31         | 70,80      | 77,22   |
| Перевезено зерна, т:             |               |               |            |         |
| - за один рейс                   | 11,3          | 7,0           | 9,7        | 5,7     |
| - за подконтрольное число рейсов | 34,0          | 35,0          | 58,4       | 34,0    |
| Производительность, т/ч          | 18,53         | 12,36         | 22,71      | 13,60   |
| Расход топлива, л:               |               |               |            |         |
| - всего за подконтрольное время  | 21,0          | 36,0 (бензин) | 29,5       | 16,0    |
| - за цикл                        | 5,25          | 7,20          | 4,92       | 2,66    |
| - на одну тонну                  | 0,46          | 1,02          | 0,50       | 0,47    |
| - на 100 км пробега              | 41,94         | 49,70         | 38,20      | 20,72   |

Несмотря на существенно меньшую (на 13,5 %) изначально заданную заполняемость бункера комбайна зерном в новом варианте работы автомобиль КамАЗ-5320 за контрольное время обеспечил на 23,48 % большую производительность (соответственно 22,71 т/ч вместо 18,53 т/ч) при обслуживании каждым из них двух комбайнов и меньший расход топлива на тонну перевезенного зерна. Автомобиль ЗиЛ-554 за контрольное время обеспечил на 10,0 % большую производительность (соответственно 13,60 т/ч вместо 12,36 т/ч).

Расход топлива за один цикл и на 100 км пробега у автомобиля КамАЗ-5320 в новом варианте был меньше, чем в базовом на 3,74 л (38,20 л вместо 41,94 л) или на 8,9 %. Сравнительных корректных показателей расхода топлива у автомобилей ЗиЛ-554 получить не удалось из-за того, что автомобили различались по виду применяемого топлива.

## **5 Факторы, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели машин по результатам сравнительных опытов**

### **5.1 Масса зерна, набираемого в бункер**

По результатам сравнения расхода топлива комбайнами Дон-1500Б с 7-метровой жаткой в базовом и новом вариантах их работы была установлена 16 % экономия топлива в новом варианте (раздел 3). Работа комбайнов с 6-метровыми жатками позволила сократить расход топлива на 19,3 % и 20,6 % или на 3,13 л/га и 3,33 л/га. Фактором, способствующим экономии топлива в новом варианте работы комбайнов, явилась уменьшенная на 13,5 %–14,7 % наполняемость бункеров зерном.

Данные результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями Воронежского ГАУ, согласно которым при увеличении вместимости бункера комбайна повышается расход топлива из-за транспортировки дополнительного зерна. Как отмечено в последующем исследовании Дьячкова А.П. с соавторами [7] «увеличение грузоподъемности бункера ведет к росту массы зерноуборочного комбайна с интенсивностью 300-400 кг/м<sup>3</sup> и увеличению мощности двигателя на 5 кВт/м<sup>3</sup>. По этой причине увеличение эксплуатационной массы комбайна требует создания ходовой части повышенной грузоподъемности с большим удельным сопротивлением перекачиванию, при этом увеличивается объем транспортной работы в расчете на 1 т собранного урожая, что соответственно ведет к дополнительному расходу топлива. Так, при урожайности 3,0 т/га и увеличении вместимости бункера с 3 до 9 м<sup>3</sup> дополнительный объем транспортных работ (т·км) в расчете на 1 т собранного зерна увеличивается на 43 %, а дополнительный расход топлива для выполнения транспортной работы в расчете на 1 т собранного зерна (кг/т) увеличивается на 69 %. При вместимости бункера 12 м<sup>3</sup> на транспортирование дополнительных масс самой машины и зерна в расчете на 1 т собранного урожая расходуется топлива в разы больше, чем при бункерах с вместимостью соответственно 6 и

3 м<sup>3</sup>». По этой причине увеличение грузоподъемности бункера зерноуборочного комбайна в два раза позволяло повысить его производительность всего на 2,5 %–5,0 % [7].

Представленные результаты исследований Воронежского ГАУ и наши сравнительные оценки расхода топлива комбайнами Дон-1500Б с уменьшенным (на 13,5 %–14,7 %) заполнением бункеров в новом варианте работы показывают значимую топливосберегающую эффективность ограниченного заполнения бункеров комбайнов.

Как обоснованно отмечено авторами [7], по результатам их исследования, одним из перспективных источников экономического эффекта при эксплуатации уборочно-транспортного комплекса будет «экономия топлива при эксплуатации комбайнов с оптимальными объемами бункеров за счет снижения энергетических затрат на перемещение самих комбайнов и массы собираемого в бункеры зерна». При этом авторы ставят под сомнение увеличение грузоподъемности бункера с удельной вместимостью 1,1-1,3 м<sup>3</sup>/кг/с.

Вполне очевидно, что соблюдение рекомендаций по оптимальным объемам бункеров обеспечит сокращение давления ходовых органов на почву. Однако, в связи с необоснованно завышенными (относительно оптимальных значений) объемами бункеров зерноуборочных комбайнов многих фирм имеющих и поступающих в хозяйства данная проблема далека от решения.

В то же время оперативное решение данной проблемы возможно в процессе производственной эксплуатации имеющихся комбайнов с завышенными объемами бункеров. Согласно результатам наших сравнительных оценок в полевом опыте (см. раздел 3) установлено, что это возможно при уменьшенном (на 13,5 %–14,7 %) заполнении бункеров зерном перед выгрузками, в результате чего было обеспечено снижение расхода топлива на 16,0 %–20,6 % без снижения производительности комбайнов.

Таким образом, при эксплуатации имеющихся в хозяйствах комбайнов (в том числе с завышенными в ряде случаев объемами бункеров) снижение массы собираемого в бункеры зерна является весомым фактором снижения

энергетических затрат на перемещение комбайнов и (как было подтверждено результатами сравнительного полевого опыта) снижения расхода топлива на 16,0 %–20,6 %.

В зависимости от состояния почвы это также может быть использовано для ограничения давления на почву ходовых органов комбайнов. Однако для исключения роста числа проездов автомобилей по полю для приема зерна от комбайнов, они должны работать по новому варианту, т. е. выгружать зерно на краю поля.

## **5.2 Твердость почвы**

Вполне очевидно, что чем меньше твердость поверхности поля, тем большая глубина следа от колес комбайна, тем большее сопротивление передвижению комбайна с соответствующим ростом затрат топлива. Как отмечено в [36], на самопередвижение комбайна в зависимости от условий эксплуатации, затраты мощности могут составлять 30 %–50 % всей мощности двигателя. Поэтому в условиях недостаточной несущей способности почвы (при ее повышенной влажности) целесообразен энергосберегающий режим работы комбайнов с ограниченным (на 13 %–15 %) заполнением бункера перед выгрузкой. Особенно это касается высокопроизводительных комбайнов с высокими размерными характеристиками.

## **5.3 Повышение вариабельности составляющих рабочего цикла автомобиля**

В базовом варианте – это проезд по полю к месту заполнения бункера комбайна с заведомо неизвестным расстоянием.

Для планирования рационального сочетания уборочных и транспортных машин при заданной удаленности поля наиболее важными являются два исходных условия:

- продолжительность рабочих циклов;
- вариабельность рабочих циклов.

При этом при прочих равных условиях, чем больше вариабельность продолжительности заполнения бункера комбайна зерном, тем больше продолжительность простоев автомобиля в ожидании приема зерна. При этом для обеспечения бесперебойной работы комбайна, рабочий цикл автомобиля не должен превышать наименьшую возможную продолжительность рабочего цикла комбайна. При невыполнении данного условия для исключения простоев комбайна количество автомобилей должно быть увеличено при неизбежном соответствующем росте их простоев.

В базовом варианте применения комбайнов и автомобилей, несмотря на очевидную затратность, тенденция увеличения вместимости бункеров наблюдается у большинства комбайнов ведущих фирм. В основе этого лежит стремление сократить остановки для выгрузок зерна, повысить за счет этого продолжительность работы в течении смены и производительность комбайна, а также производительность транспортных средств посредством повышения их грузоподъемности.

Для комбайнов это вызывает необходимость повышения прочности несущих конструкций и их массы, тем более массы в загруженном зерном состоянии.

В транспортном звене это приводит к дальнейшему росту давления на почву большегрузных транспортных средств. Причем, необходимость проездов автомобилей по полю на непредсказуемое место заполнения бункера часто приводит к простоям комбайнов. А увеличенная вместимость бункера – к перевозке значительных объемов зерна в сторону противоположного края поля с соответствующим увеличением проезда автомобиля вслед комбайну.

С увеличением длины гона среднее расстояние проездов автомобилей к местам выгрузки комбайнов также увеличивается. При этом увеличивается доля в маршруте перевозки зерна движения с малой скоростью по полю.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных источников по теме исследования показал, что среди предлагаемых известных совершенствований уборочно-транспортных работ отсутствуют способы, сочетающие выгрузку заполненного бункера на краю поля, повышение производительности комбайнов и автомобилей, а также исключают проезд каких-либо транспортных средств по полю.

В результате анализа методов и критериев оценок организационно-технологических совершенствований уборочно-транспортных процессов установлены недостатки методов оценки транспортного обеспечения уборочных работ.

Полученные в ряде исследований показатели эффективности технологических схем уборочно-транспортных процессов, предлагаемых транспортных технических средств (стационарные и мобильные бункеры-перегрузчики и др.) и организационно-технологических мероприятий не соответствуют стандартизованным методическим принципам их построения (ГОСТ 17460 [27]). В них допускается некорректная оценка эффективности предлагаемых вариантов транспортных звеньев при сравнении с базовым вариантом уборочно-транспортной технологии, работающей с простоями комбайнов (основного звена) из-за недостатка традиционно применяемых транспортных средств (вспомогательного звена).

Наряду с этим, в связи с устойчивой тенденцией повышения продуктивности зерновых колосовых культур, размерно-массовых характеристик комбайнов и транспортных средств возрастает негативное воздействие на почву их ходовых систем и затраты на техническое обеспечение уборочных работ.

В результате поиска решения указанных проблем для условий южной степной зоны предложен новый способ уборки зерновых колосовых культур прямым комбайнированием с выгрузкой заполненного бункера на краю поля и с исключением проезда каких-либо транспортных средств по полю, а также

с повышением производительности комбайнов и автомобилей. В условиях уборки озимой пшеницы в 2020 г. на опытном поле КубНИИТиМ был реализован сравнительный полевой опыт в типичных производственных условиях с групповым использованием комбайнов и автомобилей, подтверждающий возможность производственного применения и получение положительных результатов эксплуатационно-технологической эффективности:

1) Установлена возможность заполнения и выгрузки зерна из бункеров на краю поля комбайнов Палессе GS-12 и Дон-1500Б с 6 и 7-метровой жатками. Из 4 комбайнов, отведенных для работы по новой технологии для условий выделенного поля урожайностью озимой пшеницы 57,1 ц/га и длиной гона после обкосов 698 м, согласно расчетам, условиям заполнения бункера при подходе комбайна к краю поля комбайны соответствовали при рабочей ширине жатки 5,7 м (Палессе GS-12) при трех проходах по длине гона и комбайны Дон-1500Б при рабочей ширине жатки 5,9 м – при двух проходах по длине гона.

2) По результатам сравнительной оценки комбайнов одинаковой марки и комплектации (Дон-1500Б с 7-метровыми жатками), работающими по базовой и новой технологиям установлено, что в новом варианте при рабочей ширине жатки 5,9 м (вместо 6,9 м в базовом варианте) и скорости 5,4 км/ч (вместо 4,3 км/ч в базовом варианте) получено:

- средняя продолжительность поворотов получена меньшей на 32,4 % (23 с вместо 34 с);

- продолжительность работы перед выгрузками сократилась в 1,54 раза (13,58 мин вместо 20,94 мин);

- получена большая на 2,9 % производительность (2,14 га/ч вместо 2,08 га/ч) и меньший на 16 % расход топлива (12,87 л/га вместо 15,32 л/га).

3) При сравнительной оценке процессов транспортировки зерна от комбайнов установлено:

- вследствие меньшей продолжительности работы комбайнов перед выгрузками продолжительность рабочих циклов (по времени прибытия на весовую) в базовом и новом вариантах автомобиля ЗиЛ-554 получена соответственно 34,0 и 25,0 мин, автомобиля КамАЗ-5320 – соответственно 36,7 и 25,7 мин, что свидетельствует о сокращении рабочих циклов указанных автомобилей в новом варианте на 26 %–30 %;

- несмотря на существенно меньшую (на 13,5 %) изначально заданную заполняемость бункера комбайна зерном) в новом варианте работы автомобиля КамАЗ-5320 за контрольное время обеспечил на 23,5 % большую производительность (соответственно 22,71 т/ч вместо 18,53 т/ч) при обслуживании двух комбайнов и меньший расход топлива на тонну перевезенного зерна. Автомобиль ЗиЛ-554 за контрольное время обеспечил на 10,0 % большую производительность (соответственно 13,60 т/ч вместо 12,36 т/ч).

Потери времени в базовом варианте на проезд автомобилей по полю к местам заполнения бункеров комбайнов в среднем составили:

- среднее время проезда от края поля до комбайна в базовом варианте 65 с (ЗиЛ-554) и 91 с (КамАЗ-5320);

- среднее время проезда от комбайна до края поля 75 с (ЗиЛ-554) и 134 с (КамАЗ-5320).

4) Наиболее весомыми факторами, обеспечивающими повышение эффективности уборочно-транспортного звена в новом способе, являются:

- прием зерна от комбайнов на краю поля без потерь времени на передвижение автомобилей непосредственно по полю;

- сокращение продолжительности поворотов в конце гона для комбайнов с 6-ти и 7-метровыми жатками на 32,3 %–41,7 %;

- сокращение продолжительности работы комбайна до выгрузки зерна (за счет их большей рабочей скорости при уменьшенной рабочей ширине) – в 1,54 раза (13,58 мин вместо 20,94 мин).

5) По результатам полевых опытов установлены вопросы, требующие дополнительных исследований:



- обоснование допустимого смещения оси симметрии рабочей части жатки и соответствующего увеличения рабочей скорости комбайна по критерию допустимых потерь зерна;
- обоснование оптимального заполнения бункеров комбайнов;
- обеспечение при работе новым способом точности заданных технологических параметров заданной рабочей скорости комбайнов;
- обеспечение при работе новым способом выгрузки зерна на одной стороне поля комбайнов, с различными конструкционными параметрами бункеров и жаток.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Петренко Н.В. Направления повышения эффективности уборочных работ. Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 35–41.

2 Гольтяпин В.Я. Новые зерноуборочные комбайны: особенности и инновационные разработки. Техника и оборудование для села. – 2017. – № 10. – С. 40–47.

3 Назаров А.Н. Обоснование параметров выгрузки комбайнов на краю поля. В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы XI Международной научно-практической интернет конференции. – 2019. – С. 430–436.

4 Слюсаренко В.В. Механико-технологическое совершенствование движителей энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и их влияние на агроэкологическое состояние почвы и ее продуктивность. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Саратов, 2000. – 469 с.

5 Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

6 Абаев В.В. Требования к комплексной механизации работ уборочного комплекса // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 5. – С. 31–33.

7 Дьячков А.П., Трофимова Т.А., Колесников Н.П. и др. Совершенствование транспортно-технологического процесса функционирования машин и комплексов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (52). – С. 94–101.

8 Трубилин Е.И., Маслов Г.Г., Перстков В.В. Почему «буксует» машинно-технологическая модернизация сельскохозяйственного производства. Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 128 (04). – [Электронный ресурс]: – URL <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/33.pdf>. (дата обращения 05.03.2020)

9 Исследование и разработка технологического приема для повышения

производительности уборочно-транспортного звена при уборке зерновых колосовых культур прямым комбайнированием. Отчет о НИР АААА-А19-119040990057-1. – 2019. – 65 с.

10 Патент РФ № 2695452 Способ уборки зерновых культур прямым комбайнированием с выгрузкой зерна на краю поля / Скорляков В.И., Назаров А.Н., Петухов Д.А. – № 2018127042, заявл. 23.07.18, опубл. 23.07.19, Бюл. – № 21.

11 Измайлов А.Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2007. – 200 с.

12 Пухов Е.В., Следченко В.А., Лавренев Д.Н., Мешкова С.С. Повышение эффективности уборочно-транспортных работ на уборке зерновых культур. В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. – С. 11–14.

13 Сметнев А.С., Ферябков А.В., Юдин Ю.Б. Методы интенсификации транспортно-технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2016. – № 22 (27). – С. 25–31.

14 Скорляков В.И. Анализ технологических схем отвоза зерна от комбайнов в типичных условиях южных степных регионов. Техника и оборудование для села. – 2020. – № 3. – С. 27–32.

15 Дьячков А. П., Колесников Н. П., Семьинин С. В. и др. Возможности повышения производительности технологических агрегатов, используемых в сельском хозяйстве, при снижении отрицательных воздействий на почву. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (47). – Ч. 2. – С. 105–108.

16 Чулков А.С. эффективность уборки зерновых культур с применением сменных кузовов. Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 4. – С. 24–25.

17 Горшенин В.И., Соловьёв С.В., Абросимов А.Г. Эффективность при-

менения большегрузных автомобилей со сменными кузовами при уборке зерновых культур. В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов. Под общей редакцией В.А. Солопова. – 2017. – С. 21–28.

18 Астафьев В.Л., Султанов И.И. Обоснование транспортного обеспечения на уборочных работах. Вестник науки и образования. – 2018. – № 15–1 (51). – С. 24–29.

19 Пискарев А.В., Тихоновский В.В. Транспортное обслуживание зерноуборочных комбайнов с применением зернонакопителей перегружателей. В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического обеспечения процессов и производств в АПК. Новосибирский государственный аграрный университет, Инженерный институт. – 2016. – С. 137–138.

20 Чеботарев М.И., Шапиро Е.А., Черный Н.А. Опыт использования комплекса машин для уборки зерновых в хозяйствах АПК Краснодарского края. АгроСнабФорум. 2016. № 5 (144). С. 24–28.

21 Блынский Ю.Н., Тихоновский В.В., Сухосыр А.В. Применение систем спутниковой навигации в построении уборочно-транспортного процесса на уборке зерновых в Сибири. Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (9). – С. 52–56.

22 Орлянский А.В., Михайленко П.А., Орлянская И.А. Имитационное моделирование уборочного процесса с применением бункера-перегрузчика зерна. АгроСнабФорум. – 2017. – № 5 (153). – С. 73–75.

23 Есин К.С., Севостьянов А.Л. Логистика перевозок зерна: программное обеспечение расчета оптимального количества транспортных средств. Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2014. — № 1 (32). – С. 117–124.

24 Васильев А.А., Серков С.Ю., Ковалев С.В. и др. Организация убороч-

ных работ по трехфазной технологии. В сборнике: Инновации в науке и практике. Сборник статей по материалам XIV международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 165–171.

25 Пухов Е.В., Астанин В.К., Следченко В.А., Мешкова С.С., Волков В.С. Моделирование процессов функционирования транспортных и технологических машин на примере уборки зерновых культур. Вестник Воронежского ГАУ. – 2019. – № 3. – С. 19–25.

26 Тихоновский В.В., Блынский Ю.Н., Гуськов Ю.А. Повышение эффективности работы машин на уборке зерновых в Сибири. – 2016. – № 3 (250). – С. 72–81.

27 ГОСТ 17460–72 Транспортно-производственные процессы в механизированном сельскохозяйственном производстве. Классификация, оценка и методы расчета. ВИМ, ВНИИНМАШ. – 1972. – 83 с.

28 Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. – М. «Колос». – 1973. – 319 с.

29 Скорляков В.И., Назаров А.Н., Попелова И.Г. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU / Моделирование производительности. – № 2017663570, 07.12.2017. Заявка № 2017660343 от 16.10.2017

30 Скорляков В.И., Назаров А.Н. Метод оценки основных параметров сельскохозяйственных машин на этапе проектирования. Техника и оборудование для села. – 2018. – № 2. – С. 22–26.

31 ГОСТ 28301–2015 Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2016. – 43 с.

32 ГОСТ 20915–2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартиформ, 2013. – 24 с.

33 ГОСТ 24055–2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандартиформ, 2017. – 26 с.

34 Горбачев И.В., Шрейдер Ю.М. Подготовка полей к уборке зерновых// Сельский механизатор. – 2012. – № 8. – С. 16–18.

35 Маслов Г.Г., Юдин М.О. Формирование парка зерноуборочных комбайнов на Кубани. Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 6 (9). – [Электронный ресурс]. URL: <http://co2b.ru/docs/enj.2016/06.106/pdf> (дата обращения 25.04.2020).

36 Плаксин А.М., Кожемякин П.А., Власов Д.Б. Противоречие конструктивного совершенствования и практики использования зерноуборочных комбайнов. Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 65. – С. 41–49.