

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 121071300040-3

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

ФГБНУ «Росинформагротех»,

канд. юрид. наук

П.А. Подьяблонский

« 14 » 12 2021 г.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Обоснование экономической эффективности способа уборки зерновых  
колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля

по теме:

2.1.10 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

(заключительный)

Директор КубНИИТиМ

М.И. Потапкин

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

Д.А. Петухов


Новокубанск 2021


## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
зам. директора по научной работе,  
вед. науч. сотр., канд. техн. наук  22.11.2021 Д.А. Петухов  
(методическое руководство)

Отв. исполнитель,  
вед. науч. сотр., канд. техн. наук  22.11.2021 В.И. Скорляков  
(введение, разделы 1, 2, 3, 4,  
5, 6, 7, заключение)

Исполнители:

Зав. лабораторией агротехнической  
оценки машин и технологий,  
науч. сотр.  22.11.2021 Т.А. Юрина  
(раздел 3)

Зав. лабораторией эксплуатационно-  
экономической оценки машин и  
технологий, науч. сотр.  22.11.2021 С.А. Свиридова  
(раздел 6)

Науч. сотр.  22.11.2021 А.Н. Назаров  
(разделы 2, 4, 5)

Науч. сотр.  22.11.2021 М.А. Белик  
(раздел 3)

Инженер 1 категории  22.11.2021 Е.В. Чумак  
(раздел 4)

Нормоконтроль  22.11.2021 В.О. Марченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 65 с., 10 рис., 14 табл., 37 источн.

### ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, СПОСОБ УБОРКИ, ЗЕРНОВАЯ КОЛОСОВАЯ КУЛЬТУРА, РАБОЧАЯ ШИРИНА ЗАХВАТА ЖАТКИ, ВЫГРУЗКА НА КРАЮ ПОЛЯ, ПЕРЕВОЗКА ЗЕРНА, ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Объект исследований – эксплуатационно-технологические и экономические показатели технологического процесса уборочных и транспортных машин на уборке зерновых колосовых культур прямым комбайнированием.

Цель исследования – обоснование размера совокупного эффекта нового способа уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля.

Метод проведения исследований состоит в обосновании источников и размеров эксплуатационно-технологической и экономической эффективности уборочных и транспортных машин при их работе новым способом с разгрузкой заполненного бункера на краю поля.

В результате исследований обобщены эксплуатационные показатели зерноуборочных комбайнов и автомобилей и впервые обоснован экономический эффект от их работы новым способом без проездов автомобилей по полям в размере 4480 руб./га.

Наиболее весомыми составляющими экономического эффекта являются:

- сокращение капитальных вложений в размере 4093 руб./га. (91,4 %) от сокращения потребности в автомобилях на 25,0 % (с 4 до 3);
- сокращение эксплуатационных затрат комбайна – 167 руб./га;
- сокращение затрат на послеуборочную вспашку – 184 руб./га.

Новизна – разработан и апробирован новый способ прямого комбайнирования озимой пшеницы при выгрузке зерна на краю поля без проездов автомобилей по полям (патент № 2695452).

Область применения – сельскохозяйственные предприятия различных форм собственности.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 6  |
| 1 Состояние вопроса и структурные элементы нового способа уборки<br>зерновых колосовых культур.....                     | 9  |
| 1.1 Подготовка зерноуборочного комбайна.....  | 11 |
| 1.2 Подготовка поля и расстановка зерноуборочных комбайнов.....   | 11 |
| 1.3 Определение рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости<br>движения зерноуборочного комбайна.....               | 13 |
| 1.4 Предуборочное определение урожайности зерна.....  | 15 |
| 1.5 Способ движения зерноуборочного комбайна, вид поворотов.....  | 17 |
| 1.6 Особенности применения грузовых автомобилей.....  | 19 |
| 1.7 Направление исследований.....   | 21 |
| 2 Программа и методика исследований.....  | 23 |
| 3 Предуборочная оценка урожайности для расчета параметров<br>технологического процесса зерноуборочного комбайна.....    | 26 |
| 3.1 Исследование способов оценок урожайности до уборки<br>и при прямом комбайнировании озимой пшеницы.....              | 26 |
| 3.2 Порядок определения урожайности озимой пшеницы и рабочей<br>ширины захвата жатки.....                               | 31 |
| 4 Обоснование расстояния проезда по полю автомобиля КАМАЗ-5320<br>в базовом способе уборки озимой пшеницы.....          | 34 |
| 5 Источники эффективности зерноуборочных комбайнов и грузовых<br>автомобилей в новом способе уборки озимой пшеницы..... | 36 |
| 5.1 Сравнительные эксплуатационно-технологические показатели<br>зерноуборочных комбайнов.....                           | 36 |
| 5.2 Сравнительные показатели грузовых автомобилей и сокращение<br>их потребности.....                                   | 39 |
| 5.3 Исходные предпосылки и снижение затрат на вспашку поля<br>после уборки.....   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| 6 Экономическая эффективность нового способа уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля ..... | 45 |
| 6.1 Эффективность зерноуборочных комбайнов .....  | 45 |
| 6.2 Экономические показатели грузовых автомобилей в сравнимых уборочно-транспортных звеньях .....                   | 46 |
| 6.3 Экономический эффект от сокращения эксплуатационно-технологических затрат на послеуборочной вспашке поля .....  | 47 |
| 6.4 Дополнительные эффекты и долгосрочно действующие факторы .....  | 49 |
| 7 Адаптация новой технологии уборки зерновых колосовых культур к производственно-хозяйственным условиям .....       | 51 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....  | 57 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....  | 61 |

## ВВЕДЕНИЕ

Зерновые колосовые культуры, особенно в южных степных регионах страны занимают около половины посевных площадей. 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 в южных степных регионах страны благодаря совершенствованию технологий возделывания, селекции и семеноводства отмечается рост урожайности озимых зерновых культур. Возросшая продуктивность объективно предопределяет потребность интенсификации уборочно-транспортного процесса, которая в последнее время реализуется путем переоснащения более производительными зерноуборочными комбайнами и большегрузными автомобилями. Но развитие данной тенденции обостряет ряд проблем традиционно применяемой технологии уборочных работ:

- увеличение проездов по полю транспортных средств к местам заполнения бункеров зерноуборочных комбайнов;
- увеличение техногенной нагрузки на почву;
- рост затрат транспортных средств от простоев в ожидании приема зерна.

В наибольшей мере проблемы связаны с необходимостью проездов транспортных средств по полю к местам заполнения бункеров зерноуборочных комбайнов, т.к. узкопрофильные шины оказывают большее, чем шины комбайнов, давление – в 6-8 раз превышающее допустимое [2].

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 [3]–[5]. Движение автомобиля по стерне с преодолением сопротивления деформируемой почвы характеризуется примерно в 3 раза

большим сопротивлением колес перекачиванию, чем по укатанной полевой дороге [6] и сопровождается увеличением расхода топлива в 2-2,5 раза [7]. Это вызвало необходимость поиска и применения 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 внутривладельческих полевых дорог.

В результате анализа традиционно применяемых и предлагаемых вариантов совершенствования уборочного процесса была установлена их недостаточная эффективность [8], [9]. Было определено, что наиболее радикальным решением проблем, связанных с проездом по полям транспортных средств, является выгрузка зерна из бункеров на краю поля. Был обоснован теоретически [10] и предложен способ комбайнирования, обеспечивающий заполнение бункера при подходе зерноуборочного комбайна к краю поля [11]. Полевыми экспериментами подтверждена принципиальная возможность работы комбайна челночным способом без поперечных переездов в пределах ширины загонки [12] с повышением его производительности до 2,9-6,7 % и найдена возможность сокращения расхода топлива при работе.

Сущность предложенного способа уборки [10]–[12] заключается в применении новой совокупности взаимосвязанных режимов работы зерноуборочных комбайнов (рабочая ширина захвата жатки и рабочая скорость движения), определяемой в зависимости от условий поля (урожайность, длина гона) при сохранении оптимальной загрузки молотилки, а также работой зерноуборочного комбайна челночным способом.

В процессе сравнительных полевых оценок работы зерноуборочных комбайнов новым способом с рабочей шириной захвата жатки и рабочей скоростью движения комбайна, выбираемых в зависимости от сочетания уро-

жайности, длины гона и вместимости бункера применяемого комбайна, установлен ряд особенностей, важных при производственном освоении нового способа и вызывающих необходимость корректировки известных правил выполнения технологической операции. Поэтому, наряду с высокой технологической преемственностью нового способа, для его освоения в с.-х. производстве актуально обоснование и конкретизация содержания основных элементов уборочного и транспортного процессов.

В процессе применения нового способа уборки в производственных полевых опытах в 2019-2020 гг. был накоплен опыт его производственного применения. Наряду с оценками сравнительных показателей отрабатывались элементы технологического процесса, направленные на:

- получение минимальной продолжительности элементов уборочно-транспортного процесса;
- обеспечение топливной экономичности зерноуборочных комбайнов и транспортных средств;
- снижение простоев уборочных машин и рациональную организацию транспортного процесса.

Показатели эксплуатационно-технологической эффективности нового способа уборки отражены в отчете о НИР АААА-А19-119040990057-1 за 2019 г. [13] и отчете о НИР АААА-А20-120101490036-5 за 2020 г. [14].

Для производственного освоения большое значение имеет размер совокупного эффекта от применения нового способа. Поэтому цель исследования – обоснование размера совокупного эффекта нового способа уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля, является актуальной.

В выполнении исследований принял участие зав. кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар), д-р техн. наук, профессор Труфляк Е.В.



## **1 Состояние вопроса и структурные элементы нового способа уборки зерновых колосовых культур**

В результате предыдущих научно-исследовательских работ [13], [14] был выполнен ряд аналитических и прикладных исследований. Метод проведения исследований был основан на анализе опубликованных результатах оценок технологических процессов уборки и транспортировки зерновых колосовых культур, на стандартизованных методах испытаний зерноуборочных комбайнов и на сравнительных полевых оценках эксплуатационно-технологических показателей машин.

Был проведен анализ типичных недостатков уборочно-транспортного процесса, анализ предлагаемых и применяемых способов снижения уплотнения почвы транспортными средствами при уборке зерновых колосовых культур [8]. Установлена недостаточная эффективность попыток организационного и технико-технологического совершенствования уборочно-транспортного процесса в направлении снижения уплотнения почвы.

В результате анализа методов и критериев оценок организационно-технологических совершенствований уборочно-транспортных процессов установлены недостатки методов оценки транспортного обеспечения уборочных работ. Полученные в большинстве 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 по действующему ГОСТ 17460 [15]. В них допускаются некорректная оценка эффективности предлагаемых вариантов транспортных звеньев при их сравнении с базовым вариантом уборочно-транспортной технологии, работающей с простоями комбайнов (основного звена) из-за недостатка традиционно применяемых транспортных средств (вспомогательного звена)

[9], [13]. Установлено, что некорректные оценки эффективности приводят к необоснованным рекомендациям развития транспортного обеспечения уборки зерновых колосовых культур.

Также установлено противоречие между ростом урожайности зерна с тенденцией роста техногенных нагрузок на почву от повышения вместимости бункеров зерноуборочных комбайнов и грузоподъемности транспортных средств. При анализе вариантов совершенствования уборочно-транспортного процесса, в том числе с применением бункеров-перегрузателей, установлено, что необходимо разрешение данного противоречия на новом организационно-технологическом уровне.

В результате поиска решения указанных проблем для условий южной степной зоны был обоснован 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 зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей (Патент на изобретение № 2695452 «Способ уборки зерновых культур прямым комбайнированием с выгрузкой зерна на краю поля») [11] и выполнено теоретическое обоснование предлагаемого способа уборки [10]. Разработаны формулы и программное обеспечение для расчета рабочей ширины захвата жатки и соответствующей рабочей скорости движения комбайна для обеспечения выгрузок зерна из заполненного бункера на краю поля. В полевых опытах в производственных условиях получены положительные результаты сравнительной эксплуатационной эффективности зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей при их работе новым способом в типичных условиях Краснодарского края [13], [14].

В результате исследований установлено, что выгрузка зерна из бункера комбайна на краю поля является перспективным направлением совершенствования организации производства и прогрессивным решением проблем общепринятой схемы загонной уборки, которое возможно на полях правильной геометрической формы и особенно актуально при увлажнении почвы бо-

лее 0,6 ППВ.

Накопленный опыт производственного применения нового способа уборки позволил сформулировать представленные ниже основные элементы операционной технологии подготовительных и уборочно-транспортных работ.

### **1.1 Подготовка зерноуборочного комбайна**

Обеспечение в процессе комбайнирования заданной уменьшенной рабочей ширины захвата жатки осуществлялось с помощью разметки вала мотовила полосами разного цвета (рисунок 1). Ширина полос, равная 0,1 м позволяет механизатору определять вылет жатки относительно края хлебостоя без применения измерительных инструментов, а неповторяемое сочетание цвета полос на заданном расстоянии – без напряжения зрения контролировать его в процессе работы. Реализация заданной рабочей скорости движения осуществляется механизаторами по бортовому спидометру зерноуборочного комбайна и может контролироваться специалистами хозяйства по продолжительности прохода длины гона или времени возврата на край поля для разгрузки.



Рисунок 1 – Разметка вала мотовила комбайна Дон-1500Б

### **1.2 Подготовка поля и расстановка зерноуборочных комбайнов**

Для южных степных районов характерны сравнительно большие размеры полей с правильной геометрической формой и развитой сетью внутри-

бригадных полевых дорог. В большинстве случаев преобладают поля в форме прямоугольника, что обеспечивает стабильность длины гона в пределах убираемого поля. При необходимости данное важное для работы новым способом условие необходимо обеспечить в процессе обкосов краев поля.

При уборке урожая на больших полях базовым способом в зависимости от численного состава зерноуборочных комбайнов прямое комбайнирование начинают в 1-3 прокосах по 2-3 комбайна в каждом из них. По мере выполнения проходов комбайнов в раскос и, далее, – в свал освободившийся комбайн переезжает для выполнения нового прокоса с отсчетом необходимого расстояния по технологическим колеям.

В новом способе (в отличие от базового способа) каждая сторона прокоса должна быть предназначена для работы одного комбайна челночным способом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Работа комбайнов Дон-1500Б в новом варианте челночным способом

При этом количество прокосов на поле может быть запланировано двумя способами:

- исходя из соответствия количества применяемых зерноуборочных комбайнов необходимому количеству боковых кромок получаемых загонок (с учетом боковых сторон обкошенного поля);
- из соответствия числа зерноуборочных комбайнов числу загонок.

В первом варианте по боковым сторонам каждой загонки работают по одному зерноуборочному комбайну (при постепенном изменении в процессе работы ширины загонки), поэтому для каждого прокоса должны быть запланированы два зерноуборочных комбайна. Во втором варианте поле должно быть разделено прокосами на число частей равное числу зерноуборочных комбайнов с тем, чтобы каждый комбайн убирал свою загонку.

Комбайны расставляются по ширине поля на равных расстояниях с тем, чтобы завершать уборку поля без больших различий времени. При наличии в уборочном звене зерноуборочных комбайнов с существенными различиями пропускной способности ширину загонок целесообразно планировать пропорционально их производительности.

При уборке новым способом также важно, чтобы полевая дорога примыкала к разворотной полосе так, чтобы маршрут грузового автомобиля от тока до места выгрузки максимально пролегал в стабильных дорожных условиях. При отвозе зерна большегрузным автомобилем обслуживаемые зерноуборочные комбайны целесообразно располагать на соседних делянках.

### **1.3 Определение рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения зерноуборочного комбайна**

Для расчета рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения зерноуборочного комбайна при реализации нового способа уборки необходимо использовать показатели технической характеристики комбайна (вместимость бункера, конструкционная ширина захвата жатки), режимы работы (рабочая скорость движения при полном захвате жатки), характеристики поля и культуры (длина гона, урожайность и насыпная удельная масса культуры).

Для определения искомым параметров вычисляют значения промежуточных показателей:

- длины прохода до заполнения бункера  $L_{p,x}$ , м, по формуле

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

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

$\gamma$  – удельный вес культуры, кг/м<sup>3</sup>;

$y$  – урожайность, кг/м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина захвата жатки  $B$ , м;

- отношения длины прохода 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  $n = [n]$ .

После проведения промежуточных расчетов вычисляют значения искомым параметров:

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

$$B_p = \frac{B \cdot L_{p.x}}{[n] \cdot L}; \quad (3)$$

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

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

где  $v$  – скорость комбайна при полном захвате жатки, м/с.

Для облегчения расчетов в среде Excel используется разработанная в КубНИИТиМ элементарная программа (рисунок 3).

При расчете рабочей ширины захвата жатки предпочтительно исходить из четного числа проходов для обеспечения выгрузки зерна на одной стороне поля, т.к. при нечетном числе проходов потребуется поочередный прием зерна на противоположных краях поля.

| Строка | Столбец | Значение       | Столбец | Значение        | Столбец | Значение                  |
|--------|---------|----------------|---------|-----------------|---------|---------------------------|
| 2      | A       | 4680           | D       | 698             | J       | 1173                      |
| 3      | B       | Гон            | D       | 7,0             | F       | Длина хода до буфера      |
| 4      | B       | Буфер          | D       | 6,0             | H       | до целого с полной жаткой |
| 5      | B       | Урожайность    | D       | 0,57            | J       | 2                         |
| 6      | B       | Скорость       | D       | 4,5             | L       | 2                         |
| 7      | B       | Удельная масса | D       | 2,80            | J       | 5,9                       |
| 8      | B       | первый круг    | D       | 1396            | L       | 5,88147                   |
| 9      | B       | два гона       | D       | 4,8             | L       | 5,35581                   |
| 10     | D       | 0,747843       | F       | две трети жатки | H       | 4,6667                    |
| 11     | J       | остаток гона   | L       | -111,53         |         |                           |

Рисунок 3 – Вид рабочего окна прикладной программы для портативного компьютера

#### 1.4 Предуборочное определение урожайности зерна

Для расчета рабочих режимов зерноуборочных комбайнов (по выше-приведенным формулам) необходимо определять урожайность для каждого убираемого поля.

Наиболее достоверно урожайность может быть определена по результатам пробного прохода комбайна по длине гона с отвозом и взвешиванием зерна непосредственно перед началом работы всех зерноуборочных комбайнов. Однако в большинстве случаев при этом остальные комбайны должны находиться в вынужденном ожидании начала работы. Тем более переезд зерноуборочных комбайнов для уборки следующего поля в большинстве случаев осуществляется в разгар рабочего дня, что также требует дополнительных руководящих воздействий.

Оценка урожайности пробными обмолотами может быть выполнена в предыдущие дни. Но это сопряжено с дополнительными затратами и организационными сложностями из-за разных сроков созревания на разных полях, с необходимостью в ряде случаев досушивания зерна (из-за предварительного обмолота), с необходимостью обезличивания зерна.

Показатели способов, основанных на ручном отборе проб (снопами или колосьями) подвержены влиянию субъективных особенностей исполнителей.

Однако при наличии опыта и навыков специалистов агрономической службы хозяйства они могут быть использованы. Применительно к реализации нового способа уборки в условиях производства на основе подсчета продуктивных стеблей на контрольных площадках и отбора проб колосьев для последующего определения средней массы зерна с одного колоса возможно предварительное определение урожайности. Получаемое при этом отклонение урожайности от результатов контрольных обмолотов по нашим наблюдениям не превышает 10-12 %. В большинстве случаев при ручном отборе проб характерен большой показатель урожайности. Учитывая это, а также возможность дополнительного поступления зерна в бункер «с горкой» (в случае принятой в расчет заниженной оценки урожайности), данная ситуация не является критичной. Поэтому при полученной рабочей ширине захвата жатки (по результатам предварительно определенной урожайности и известной длины гона) возможно оперативное начало работы всеми зерноуборочными комбайнами. Но по результатам намолота и взвешивания зерна из первого бункера (при целом числе проходов комбайна по длине гона) проводят уточненный расчет рабочей ширины захвата и рабочей скорости движения, а предварительно заданная рабочая ширина захвата жатки подлежит корректировке. При остановке зерноуборочного комбайна для выгрузки второго заполненного бункера (или по мобильной связи) комбайнеру доводят значение уточненной рабочей ширины захвата жатки и соответствующей рабочей скорости движения.

Данный вариант заблаговременного определения и последующей корректировки значения урожайности на поле исключает простои зерноуборочных комбайнов перед началом работы на новом поле.

Необходимо отметить, что в условиях центральной зоны Краснодарского края, согласно нашим полевым опытам, масса поступившего в бункер зерна за целое число проходов отличается высокой стабильностью (коэффициент вариации не более 2 %). При работе в условиях с меньшей стабильностью урожайности необходимо следить за заполняемостью бункера и резуль-



татами взвешивания зерна и, при необходимости, уменьшать рабочую ширину захвата жатки.

### 1.5 Способ движения зерноуборочного комбайна, вид поворотов

Способ движения зерноуборочного комбайна – челночный при его индивидуальной работе на одной стороне прокоса.

В новом варианте прослеживается отсутствие закономерных различий продолжительности поворотов в процессе работы (рисунок 4) при варьировании их продолжительности 16,5-27,1 %, в то время как в базовом варианте – 42,8-56,9 % при средней продолжительности поворота в 1,5-1,7 раза больше из-за сопутствующих переездов в пределах ширины загонки.

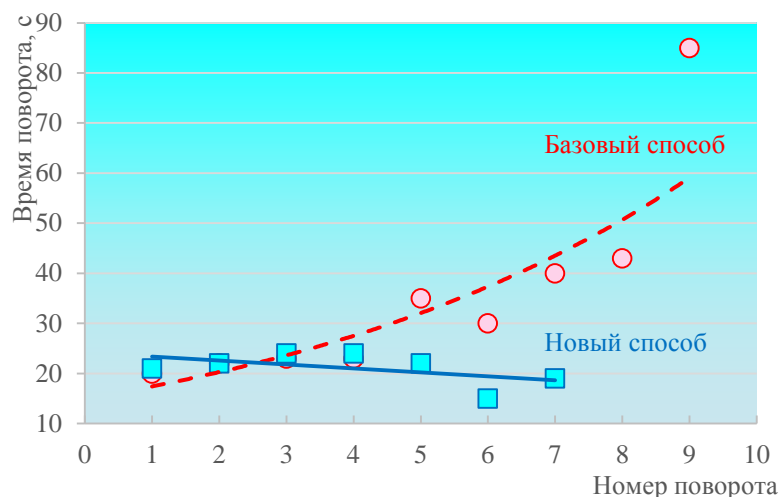


Рисунок 4 – Характер изменения времени поворота для зерноуборочных комбайнов Дон-1500Б с жаткой шириной захвата 6 м

При работе в загонке «в раскос» в базовом варианте характер изменения времени поворота имеет вид экспоненты. В результате для зерноуборочных комбайнов с 6- и 7-метровыми жатками установлено снижение средней продолжительности поворота в новом варианте в среднем на 32,3-41,7 %.

Разбивка поля в базовом варианте, как правило, осуществляется посредством прокосов через каждые 110-120 м, т.к. при большем расстоянии увеличиваются потери времени на поперечные переезды при поворотах. В новом варианте в связи с челночным способом работы зерноуборочных ком-

байнов и отсутствием поперечных переездов при поворотах в конце гона загонки могут располагаться на разном расстоянии друг от друга, особенно при индивидуальном закреплении автомобиля. Удаление зерноуборочных комбайнов друг от друга имеет значение лишь при приеме зерна автомобилем от двух комбайнов.

Снижение средней продолжительности поворотов в новом варианте является не только фактором повышения производительности комбайна, но работает в направлении стабилизации продолжительности рабочих циклов между выгрузками зерна. Кроме этого, применение челночных проходов зерноуборочных комбайнов исключает необходимость большого числа прокосов, что исключает появление при завершении уборки таких участков узких полос хлебостоя и так называемых «клиньев», требующих при их уборке неоптимальных режимов работы комбайнов.

Порядок перемещений зерноуборочного комбайна и грузового автомобиля при выгрузке зерна. Перед приемом зерна автомобиль может заранее занять фиксированное место ожидания комбайна в окрестности выхода его из загонки (в пределах 5-8 м от края хлебостоя), а комбайн останавливается для выгрузки зерна при завершении половины траектории разворота, т.е. параллельно дороге и по направлению последующего движения автомобиля в сторону отвоза зерна (рисунки 5, 6). При этом автомобиль тратит минимальное время для подъезда под шнек комбайна.



Рисунок 5 – Выгрузка зерна в новом варианте работы на краю поля в автомобиль КАМАЗ-5320

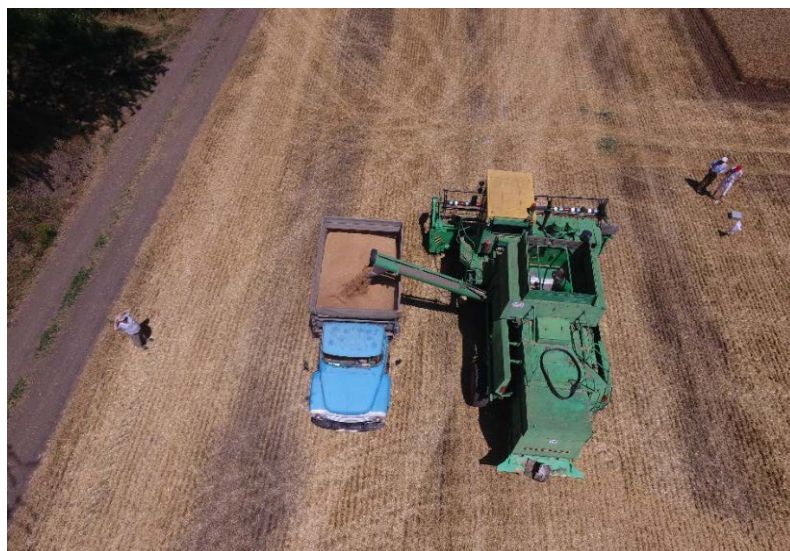


Рисунок 6 – Выгрузка зерна в новом варианте работы на краю поля в автомобиль ЗиЛ-554

Для исключения нерациональных переездов автомобилей в поисках комбайна с наименьшим временем до выгрузки зерна их целесообразно закреплять за конкретными зерноуборочными комбайнами. При этом каждый автомобиль КАМАЗ-5320 загружает зерно от двух комбайнов Дон-1500Б и др., а автомобили ЗиЛ-554 и ГАЗ-САЗ вмещают зерно от одного комбайна.

### **1.6 Особенности применения грузовых автомобилей**

Согласно действующему ГОСТ 17460-72 [15], уборка зерновых колосовых культур с транспортировкой зерна соответствует непрерывно-непоточному процессу, а соотношение производительностей в уборочном и транспортном звеньях соответствует выражению  $W_1 < W_2$ . При этом первое звено (уборочное) работает непрерывно, а машины во 2 звене работают периодически (исходя из цикличности выгрузок зерна из бункера). Непрерывная работа первого звена (уборочного) обеспечивается тем, что производительность машин транспортного звена должна быть выше предыдущего. Воплощение данного принципа для уборочно-транспортного звена «комбайн-автомобиль» реализуется при условии обеспечения бесперебойной работы комбайна, когда продолжительность рабочего цикла автомобиля (поле-ток-поле) меньше, чем продолжительность рабочего цикла комбайна (между вы-

грузками зерна).

Методы расчетов рабочих циклов взаимодействующих на указанных условиях зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей, а также потребности автомобилей хорошо известны из разных источников [15], [16] и др. Схематично сравнительные показатели продолжительности рабочих циклов в типичных условиях Краснодарского края показаны на рисунке 7.

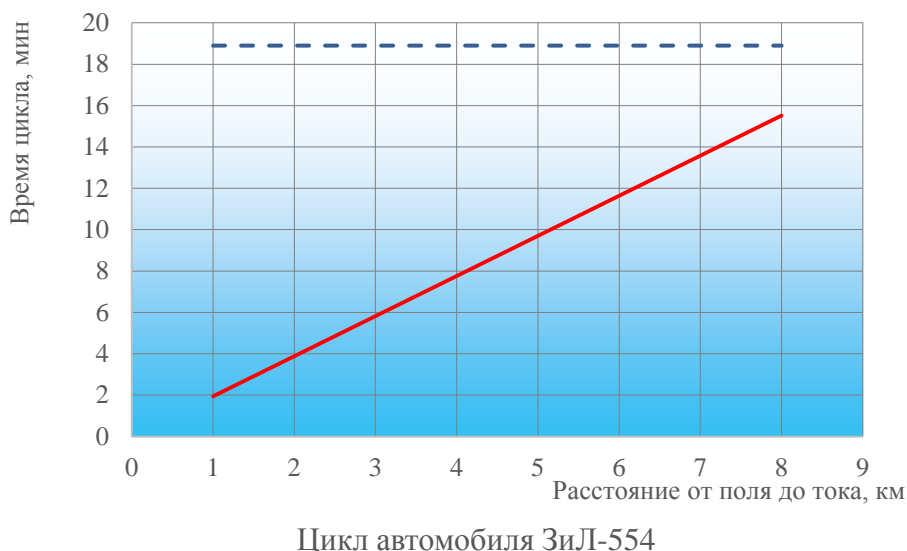


Рисунок 7 – Схема изменения рабочего цикла автомобиля относительно цикла зерноуборочного комбайна между выгрузками зерна

При работе зерноуборочных комбайнов с небольшим удалением от тока рабочие циклы между разгрузками существенно превышают рабочие циклы грузовых автомобилей и это позволяет одним автомобилем обслуживать более одного комбайна. Но по мере удаления полей от тока при прочих равных условиях продолжительность циклов автомобиля приближается к аналогичному показателю комбайна. При большей, чем 9-10 км удаленности поля продолжительность цикла автомобиля будет больше, чем у комбайна и для исключения простоев комбайна потребуется два автомобиля.

В условиях с близкими значениями продолжительности работы зерноуборочных комбайнов между выгрузками зерна и рабочих циклов грузовых автомобилей, а также при рассредоточении комбайнов по ширине поля, целесообразно применять закрепление автомобилей за конкретными комбайнами.

При этом каждый автомобиль типа КАМАЗ, как правило, обслуживает два комбайна.

При групповом транспортном обслуживании зерноуборочных комбайнов и выгрузке зерна на одной стороне поля при типичных прямолинейных границах полей при использовании нового способа уборки обеспечивается возможность визуального наблюдения за приближающимися к местам выгрузки зерна комбайнами (к краю поля) и за наличием (или отсутствием) там автомобилей.

Особенности применения большегрузных автомобилей. Исключение остановок зерноуборочного комбайна до окончания рабочего цикла на краю поля и предсказуемое время работы между разгрузками позволяет исключить простои широко применяемых автомобилей типа КАМАЗ между разгрузками первого и второго комбайнов. Минимальный интервал времени между приемами зерна от двух комбайнов достигается планированием синхронных проходов комбайнов по длине гона с отставанием второго комбайна от первого равного продолжительности остановки для выгрузки зерна. При этом автомобиль обеспечивает бесперебойную работу комбайнов при почти вдвое большем удалении поля от тока, чем при неорганизованном и наиболее неблагоприятном варианте – с разгрузками комбайнов через поочередное завершение рабочих проходов с отставанием на половину рабочего цикла.

### **1.7 Направление исследований**

В вышеизложенном материале данного раздела были обобщены и представлены рациональные элементы работ, касающиеся содержания операционной технологии уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля: подготовка зерноуборочного комбайна, подготовка поля и расстановка зерноуборочных комбайнов, определение рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения комбайна, предуборочное определение урожайности зерна, способ движения зерноуборочного комбайна и вид поворотов, особенности применения грузовых автомобилей.

В результате предыдущих исследований в КубНИИТиМ [13], [14] установлена принципиальная возможность высокопроизводительной работы комбайнов и автомобилей с применением нового способа уборки и получены их сравнительные эксплуатационно-технологические показатели. Наряду с полученными сравнительными эксплуатационно-технологическими показателями применяемых машин для практического производственного применения предлагаемой технологии важное значение имеют ее экономические показатели. Исходя из этого исследования в 2021 г. будут направлены на обоснование сравнительной экономической эффективности предлагаемой технологии уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля.

Выводы по разделу:

- для расчета рабочей ширины захвата жатки применяемых зерноуборочных комбайнов целесообразно использовать значения урожайности, определяемые при наступлении восковой спелости зерна путем отбора проб колосьев и подсчета продуктивных стеблей при возможной их корректировке по результатам взвешивания зерна из первого намолоченного бункера;

- для стабилизации маршрутов передвижения грузовых автомобилей предпочтительно исходить из четного числа проходов для обеспечения выгрузки зерна на одной стороне поля, обеспечивающей также возможность визуального наблюдения за приближающимися к местам выгрузки зерна комбайнами и за наличием (или отсутствием) там автомобилей;

- применение разгрузки зерноуборочных комбайнов на краю поля открывает возможность более широкого применения большегрузных автомобилей, вмещающих два и более бункеров. При отвозе зерна от двух комбайнов автомобилями типа КАМАЗ-5320 целесообразно обеспечивать синхронное движение комбайнов и их подход к краю поля с интервалом по времени, равном продолжительности разгрузки первого комбайна.

## 2 Программа и методика исследований

Программой исследований предусмотрено выполнение следующих этапов:

- обобщение эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей при работе новым способом – как источников эффективности;
- обоснование значений полученных показателей;
- обоснования, оценки и расчеты эффекта от последствия новой технологии (снижение затрат на вспашку, влияние на последующее плодородие).

Методика исследований основана на анализе производственного применения технологического процесса уборки зерновых колосовых культур новым способом. Использован опыт выполнения и рационализации элементов рабочего процесса в полевых опытах, направленных на обеспечение стабильной продолжительности элементов рабочего процесса и минимизации потерь времени на их выполнение.

Общий методический подход выражается в обобщении и обосновании источников и размеров эксплуатационно-технологической эффективности уборочных и транспортных машин, а также новой технологии в целом по результатам сравнительных оценок нового способа в полевых опытах в производственных условиях [13], [14].

При уточнении эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей по результатам сравнительных полевых опытов оценивали факторы, исключаемые с применением нового способа:

- размерные характеристики переуплотнения почвы колесами грузового автомобиля КАМАЗ (как наиболее применяемого при отвозе зерна от комбайна в базовом способе) и экономию эксплуатационных затрат пахотного агрегата при последующей вспашке;

- показатели снижения расхода топлива в цикло-рейсах отвоза зерна с края поля;

- экономия времени от исключения поперечных проездов зерноуборочных комбайнов при поворотах в конце гона (необходимых при базовом способе работы).

При сравнительной оценке в полевых опытах транспортное обеспечение в базовом варианте планировали из условия бесперебойной работы основного звена, т.е. зерноуборочных комбайнов [15], [16] исходя из соотношений рабочих циклов комбайнов и автомобиля (рисунок 8).

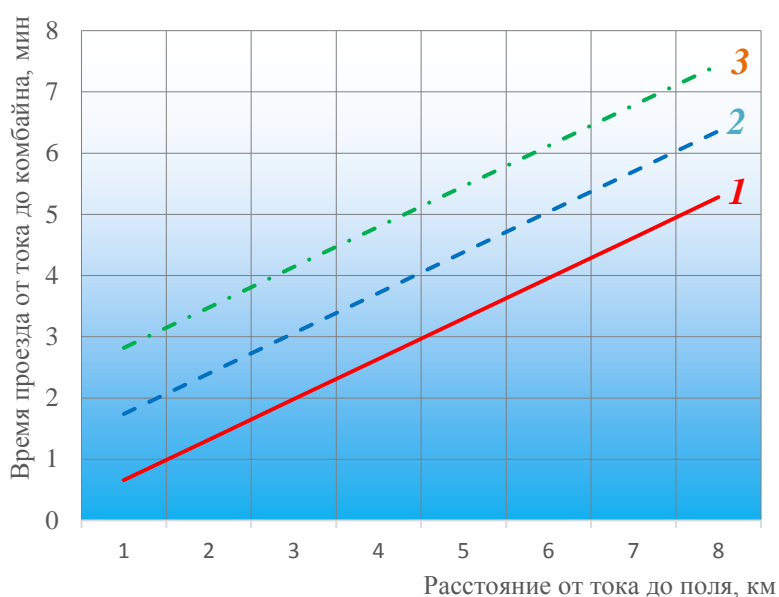


Рисунок 8 – Зависимость времени проезда по маршруту «ток-поле» от расстояния

При планировании транспортного обеспечения зерноуборочного комбайна затраты времени на проезд грузового автомобиля от тока до комбайна суммировали из времени передвижения по полевым дорогам (прямая 1) и времени передвижения по полю (отрезок между прямыми 1 и 3) из расчета нахождения комбайна с заполненным бункером на противоположном краю поля. При этом условии гарантированно обеспечивается бесперебойная работа комбайна. При оценке рабочих циклов транспортных средств, перевозящих зерно после одной выгрузки, учитывали среднее расстояние проезда по



полю (отрезок между прямыми 1 и 2), которое определяли также по результатам хронометражных наблюдений.

Обобщенные результаты сравнительных эксплуатационно-технологических оценок в годы проведения полевых опытов были приняты в качестве исходных показателей для расчета экономического эффекта.

Для расчета экономических показателей приняты три наиболее значимых составляющих:

1) эффект от снижения эксплуатационных затрат при уборке за счет повышения производительности и снижения расхода топлива по результатам проведенных полевых исследований;

2) эффект от снижения необходимого количества единиц грузового автотранспорта;

3) эффект от снижения эксплуатационных затрат при вспашке поля после уборки озимой пшеницы, получаемого за счет повышения производительности и снижения расхода топлива при работе пахотных агрегатов, что обусловлено исключением уплотнения почвы движителями грузовых автомобилей при уборке.

При расчете экономических показателей руководствовались стандартизованными методами – ГОСТ 34393-2018 [17] с применением сравнительной оценки по вариантам и определением прямых эксплуатационных затрат и капитальных вложений.

### **3 Предуборочная оценка урожайности для расчета параметров технологического процесса зерноуборочного комбайна**

#### **3.1 Исследование способов оценок урожайности до уборки и при прямом комбайнировании озимой пшеницы**

Известно, что для расчета рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения комбайна при реализации нового способа уборки необходимо использовать характеристики убираемого поля и культуры (длина гона, урожайность и насыпная удельная масса культуры) и параметры зерноуборочного комбайна (вместимость бункера, конструкционная ширина захвата жатки) (см. п.1). Среди других показателей наибольшую проблематичность в производственных условиях составляет определение урожайности.

Показатель урожайности зерна на поле перед началом работы зерноуборочных комбайнов становится востребованным непосредственно при производственном применении нового способа прямого комбайнирования в варианте с выгрузкой зерна из заполненного бункера на краю поля [11].

Вполне очевидно, что наиболее достоверные результаты могут быть получены посредством пробных обмолотов комбайном, которые широко практиковались ранее и в ряде хозяйств применяются до настоящего времени. Но их применение сопряжено с организационными сложностями из-за разных сроков созревания на разных полях, с необходимостью в ряде случаев досушивания зерна (из-за предварительного обмолота), с необходимостью обезличивания зерна. Это наиболее точный, но заведомо наиболее затратный метод. При этом необходимо учитывать фактор потерь зерна комбайном из-за различий адаптации его рабочих органов к условиям каждого поля, что приводит к заниженным оценкам (на величину потерь).

Показатели способов, основанных на ручном отборе проб, в сравнении с обмолотами комбайном по мнению специалистов хозяйств отличаются в пределах 5 %, т.к. произвольно в поле выбираются типичные участки, радующие глаз, что приводит к завышению урожайности. С учетом потерь зер-

на при уборке указанное отличие может быть еще большим.

На данном этапе исследований сравнению подвергали наиболее известные способы:

- отбор снопов с их обмолотом;
- пробный обмолот зерноуборочным комбайном (база для сравнения).

Исходными материалами для исследований послужили результаты полевых опытов 2017-2020 гг. при возделывании озимой пшеницы на полях валидационного полигона КубНИИТиМ (Новокубанский район, Краснодарский край) [18]–[21].

При исследованиях использовали методы, изложенные в ГОСТ 28301 [22], а также методы, применяемые при страховании с.-х. культур [23]–[27] и рекомендуемые к применению при оценках урожайности в производственных условиях [28].

Отбор сноповых образцов проводили в соответствии с ГОСТ 28301 [22]. Предварительную урожайность зерна  $Y_{\text{пред}}$ , т/га, (без учета потерь за комбайном) вычисляли по формуле

$$Y_{\text{пред}} = \frac{q_3}{S} \cdot 10^{-2}, \quad (5)$$

где:  $q_3$  – масса выделенного из снопа зерна, г;

$S$  – площадь рамки для определения характеристики снопа, м<sup>2</sup>.

По результатам отбора снопов расчет урожайности зерна на поле проводили с использованием значений трех показателей: числа продуктивных стеблей, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен.

В процессе проведения полевых опытов с различными вариантами возделывания озимой пшеницы был осуществлен отбор сноповых образцов по методике ГОСТ 28301 [22] и определены показатели стеблестоя и зерна (таблица 1).

Предшественниками озимой пшеницы был подсолнечник (2017-2019 гг.) и кукуруза на зерно (2020 г.).

Таблица 1 – Характеристики стеблестоя и зерна озимой пшеницы

| Год исследований     | Сорт озимой пшеницы | Вариант | Число продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup> | Среднее число зерен в колосе, шт. | Масса 1000 зерен, г |
|----------------------|---------------------|---------|--|-----------------------------------|---------------------|
| 2017                 | Стан                | 1       | 438  | 34,2                              | 44,2                |
|                      |                     | 2       | 437  | 35,6                              | 45,0                |
|                      |                     | 3       | 447  | 33,3                              | 44,8                |
|                      |                     | 4       | 425  | 37,8                              | 44,7                |
|                      |                     | 5       | 444  | 38,0                              | 43,9                |
| Среднее значение     |                     |         | <b>438,2</b>                                   | <b>35,8</b>                       | <b>44,52</b>        |
| Коэффициент вариации |                     |         | <b>1,93</b>                                    | <b>5,88</b>                       | <b>1,02</b>         |
| 2018                 | Иришка              | 1       | 521  | 39,0                              | 40,9                |
|                      |                     | 2       | 486  | 38,5                              | 42,1                |
|                      |                     | 3       | 532  | 35,0                              | 40,3                |
|                      |                     | 4       | 509  | 39,5                              | 41,3                |
| Среднее значение     |                     |         | <b>512</b>                                     | <b>38,0</b>                       | <b>41,15</b>        |
| Коэффициент вариации |                     |         | <b>3,85</b>                                    | <b>5,37</b>                       | <b>1,83</b>         |
| 2019                 | Алексеич            | 1       | 596  | 26,0                              | 44,6                |
|                      |                     | 2       | 604  | 27,3                              | 43,6                |
|                      |                     | 3       | 632  | 26,6                              | 43,7                |
|                      |                     | 4       | 628  | 27,4                              | 43,5                |
|                      |                     | 5       | 608  | 28,3                              | 43,1                |
| Среднее значение     |                     |         | <b>613,6</b>                                   | <b>27,1</b>                       | <b>43,7</b>         |
| Коэффициент вариации |                     |         | <b>2,55</b>                                    | <b>3,21</b>                       | <b>1,26</b>         |
| 2020                 | Таня                | 1       | 656  | 22,3                              | 42,3                |
|                      |                     | 2       | 624  | 22,9                              | 42,8                |
|                      |                     | 3       | 600  | 25,1                              | 41,2                |
|                      |                     | 4       | 656  | 23,3                              | 42,0                |
|                      |                     | 5       | 660  | 20,7                              | 42,7                |
|                      |                     | 6       | 656  | 22,4                              | 42,0                |
| Среднее значение     |                     |         | <b>642,0</b>                                   | <b>22,8</b>                       | <b>42,17</b>        |
| Коэффициент вариации |                     |         | <b>3,82</b>                                    | <b>6,32</b>                       | <b>1,38</b>         |

Установлено, что среднее число продуктивных стеблей изменялось по годам от 438 до 642 шт./м<sup>2</sup> при варьировании по вариантам в пределах года от 1,93 до 3,85 %. Среднее число зерен в колосьях варьировало по вариантам в пределах от 33,8 до 38,0 шт. (в 2017 г.), от 35,0 до 39,5 шт. (в 2018 г.), от 26,0 до 28,3 шт. (в 2019 г.) и от 20,7 до 25,1 шт. (в 2020 г.). Коэффициенты вариации в пределах каждого года не выходили за пределы 3,21-6,32 %.

Среди показателей наименьшая вариабельность получена для массы 1000 зерен – в среднем по годам в пределах от 1,02 до 1,83 % при следующих диапазонах значений по вариантам возделывания в пределах разных лет: в 2017 г. от 43,9 до 45,0 г, в 2018 г. – от 40,3 до 42,1 г, в 2019 г. – от 43,1 до

43,7 г и в 2020 г. – от 41,2 до 42,8 г.

Таким образом, наименьшей вариабельностью как по вариантам возделывания озимой пшеницы в пределах каждого года, так и в среднем по годам отличается показатель массы 1000 зерен – не более 1,83 %, поэтому значение данного показателя при расчетах предуборочной урожайности может быть принято по уровню предыдущих лет или по результатам оценок на 2-3 полях в текущем году. Число зерен в колосе имеет большие различия – коэффициент вариации до 6,32 %.

Для предуборочной оценки урожайности важной является точность прогнозирования урожайности по результатам отбора сноповых образцов. Поэтому представленные в таблице 1 показатели были сопоставлены с оценками урожайности, полученной путем взвешивания зерна из заполненного бункера комбайна по вариантам опытов в годы исследований (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты оценок урожайности по вариантам возделывания

| Год, сорт      | Вариант | Урожайность, ц/га            |                      | Отклонение от урожайности при уборке комбайном |      |
|----------------|---------|------------------------------|----------------------|--|------|
|                |         | по результатам отбора снопов | при уборке комбайном | ц/га   | %    |
|                |         |                              |                      |  |      |
| 2017, Стан     | 1       | 66,2                         | 68,0                 | -1,8   | 2,6  |
|                | 2       | 70,0                         | 65,7                 | 4,3  | 6,5  |
|                | 3       | 66,7                         | 66,4                 | 0,3  | 0,5  |
|                | 4       | 71,8                         | 65,7                 | 6,1  | 9,3  |
|                | 5       | 74,1                         | 65,4                 | 8,7  | 13,3 |
| 2018, Иришка   | 1       | 83,1                         | 73,3                 | 9,8  | 13,4 |
|                | 2       | 78,8                         | 72,8                 | 6,0  | 8,2  |
|                | 3       | 75,0                         | 75,0                 | 0  | 0    |
|                | 4       | 83,0                         | 75,4                 | 7,6  | 10,1 |
| 2019, Алексеич | 1       | 69,1                         | 71,3                 | -2,2   | 3,1  |
|                | 2       | 71,9                         | 69,9                 | 2,0  | 2,9  |
|                | 3       | 73,5                         | 70,3                 | 3,2  | 4,6  |
|                | 4       | 74,9                         | 69,4                 | 5,5  | 7,9  |
|                | 5       | 74,2                         | 70,0                 | 4,2  | 6,0  |
| 2020, Таня     | 1       | 61,9                         | 56,0                 | 5,9  | 10,5 |
|                | 2       | 61,2                         | 56,1                 | 5,1  | 1,8  |
|                | 3       | 62,1                         | 56,7                 | 5,4  | 9,5  |
|                | 4       | 64,2                         | 58,5                 | 5,7  | 9,7  |
|                | 5       | 58,3                         | 56,7                 | 1,6  | 2,8  |
|                | 6       | 61,7                         | 56,7                 | 5,0  | 8,8  |

В подавляющем большинстве (18 из 20 результатов сравнения) урожайность с применением для оценок сноповых образцов оказалась выше результатов комбайновой уборки. При этом отклонения урожайности по вариантам возделывания озимой пшеницы в годы исследований с 2017 г. по 2020 г. варьировали соответственно в пределах от 0,5 до 13,3; от 0 до 13,4; от 2,9 до 7,9 и от 1,8 до 9,7 %. В среднем по годам данные отклонения составили соответственно 6,4; 6,7; 2,5 и 3,95 % или в среднем за все годы – около 5 %.

Из изложенного выше видно, что методы предуборочной оценки продуктивного хлебостоя и среднего числа зерен в колосьях не обеспечивают стабильных показателей и могут существенно различаться от показателей метода прямого комбайнирования. Вполне очевидно, что для решения практических хозяйственных задач результаты предуборочной оценки урожайности с применением отбора сноповых образцов должны как можно точнее соответствовать результатам комбайновой уборки. Поэтому при использовании действующих методов оценок при предуборочных оценках урожайности целесообразно использовать следующую формулу

$$Y_{\text{комб}} = Y_{\text{сноп}} \cdot K \quad (6)$$

где:  $Y_{\text{комб}}$  – урожайность по результатам уборки комбайном, ц/га;

$Y_{\text{сноп}}$  – урожайность по результатам отбора снопов, ц/га;

$K$  – коэффициент, равный 0,95.

Применительно к задачам предуборочной оценки урожайности и выбора рабочей ширины захвата жатки (в способе уборки с разгрузкой на краю поля) отбор еще большего числа снопов неприемлем, т.к. чрезмерно трудоемок как при отборе снопов, так и при их последующем разборе. Приведенные результаты сравнения урожайности с отбором снопов в 10-ти кратной повторности показывают максимальные возможности данного способа предуборочной оценки урожайности.

Из таблиц 1 и 2 видно, что количественные показатели продуктивных стеблей и зерен в колосе существенно различаются по годам и вариантам, что подтверждает необходимость их определения по результатам отбора проб и

соответствующих подсчетов. Но масса 1000 зерен имеет более устойчивые значения как в пределах каждого года, так и в среднем по годам, поэтому может быть принята по сведениям хозяйства за последние годы.

В 16 из 20 результатов сравнения урожайности, т.е. в 80 % случаев, в которых различия урожайности превышают результаты комбайнирования более 2,5 %. Применение в представленной формуле коэффициента 0,95 обеспечивает снижение различий урожайностей. При этом важно существенное снижение наиболее высоких ошибок прогнозирования урожайности. Так, в 20 % случаев, в которых различия урожайности находятся в диапазоне 10,1-13,4 % применение коэффициента 0,95 позволяет снизить различия до 5,1-8,4 %.

### **3.2 Порядок определения урожайности озимой пшеницы и рабочей ширины захвата жатки**

Для расчета рабочей ширины захвата жатки по формуле 1 (см. пп. 1.3) необходимо определять урожайность для каждого убираемого поля. Наиболее достоверно урожайность может быть определена по результатам пробного прохода зерноуборочного комбайна по длине гона с отвозом и взвешиванием зерна непосредственно перед началом работы всех комбайнов. Однако при этом остальные комбайны должны находиться в вынужденном ожидании начала работы. Тем более переезд комбайнов для уборки следующего поля в большинстве случаев осуществляется в разгар рабочего дня, что требует дополнительных руководящих воздействий.

В связи со сравнительно высокой трудоемкостью отбора сноповых образцов и определения навесок зерна из них применительно к реализации нового способа уборки был принят способ подсчета продуктивных стеблей на контрольных площадках (без их срезания) и отбора проб колосьев (5 шт. с площадки) для последующего определения средней массы зерна с одного колоса.

Получаемая при этом урожайность отличается от результатов контрольных обмолов не более 10-12 %. В большинстве случаев при ручном

отборе проб характерен большой показатель урожайности. Учитывая это, а также возможность дополнительного поступления зерна в бункер «с горкой» (в случае принятой в расчет заниженной оценки урожайности), данная ситуация не является критичной. Поэтому, при полученной рабочей ширине захвата жатки (по результатам предварительно определенной урожайности и известной длины гона) возможно оперативное начало работы всеми комбайнами. Но по результатам намолота и взвешивания зерна из первого бункера (при целом числе проходов комбайна по длине гона) проводят уточненный расчет рабочей ширины захвата жатки и рабочей скорости движения комбайна. При остановке зерноуборочного комбайна для выгрузки второго заполненного бункера (или ранее по мобильной связи) уточненные значения доводят до комбайнеров.

Данный вариант заблаговременного определения и последующей корректировки значения урожайности на поле исключает простои зерноуборочных комбайнов перед началом работы на новом поле. При этом недостаточное заполнение первого бункера, вызываемое наиболее вероятной завышенной предуборочной оценкой урожайности, фактически не приводит к снижению сменной выработки комбайна.

Таким образом начинать работу зерноуборочных комбайнов на каждом новом поле целесообразно с рабочей шириной захвата жатки, найденной исходя из полученной предуборочной урожайности, а по результатам взвешивания первого намолоченного бункера целесообразно ввести для расчета уточненное значение урожайности.

Реализацию настройки рабочей ширины захвата жатки покажем на примере. При проведении сравнительного полевого опыта на поле I<sub>1</sub> была проведена предварительная предуборочная оценка урожайности методом отбора колосьев и подсчета продуктивных стеблей на контрольных площадках (0,25 м<sup>2</sup>). Предуборочной оценкой на трех учетных площадках путем подсчета установлено среднее число продуктивных стеблей с колосьями 102 шт., путем отбора и взвешивания определена средняя масса зерна с одного колоса



– 1,65 г и масса зерна с 1 м<sup>2</sup> – 670 г/м<sup>2</sup>, что соответствует расчетной урожайности 67,0 ц/га. С учетом длины гона после обкосов (698 м), вместимости бункера комбайна Палессе GS 12 (9 м<sup>3</sup>) и конструкционной ширины жатки – 7 м была вычислена рабочая ширина его жатки – 7 м при двух проходах комбайна по длине гона, обеспечивающая массу зерна в бункере 5,38 т (около 85,4 % от потенциальной вместимости). При данном значении рабочей ширины комбайн начал работу.

По результатам двойного прохода комбайна по полю и взвешивания зерна была определена фактическая урожайность – 57,1 ц/га. В результате уточненного расчета с использованием данного значения урожайности и с использованием рабочей программы (см. рис. 3) была определена окончательная рабочая ширина захвата жатки – 5,2 м, при которой при трех проходах по длине гона бункер заполняется до 6,2 т или на 98 %.

Применение предуборочной приближенной оценки урожайности зерна на поле позволило исключить простои зерноуборочных комбайнов для настроек их жаток на необходимую рабочую ширину захвата.

#### 4 Обоснование расстояния проезда по полю автомобиля КАМАЗ-5320 в базовом способе уборки озимой пшеницы

Полевые исследования были проведены 11 июня 2021 г. в период уборки озимой пшеницы на полях валидационного полигона КубНИИТиМ. Опыт был проведен на поле IV<sub>2</sub> площадью 78 га с длиной гона после обкосов краев – 918 м. Автомобиль КАМАЗ-5320 обслуживал два зерноуборочных комбайна Десна-Полесье GS 12.

Значения времени и пути в каждом цикле получены с помощью прибора ИП-287, оснащенного навигационной системой. Средние результаты работы по 4 циклам представлены в таблице 3. Характеристика автомобиля при движении по дороге и по полю представлена параметрами пути, времени и скорости. Данные параметры были рассчитаны для движения по двум направлениям: «ток-комбайн» и «комбайн-ток».

Таблица 3 – Показатели передвижений автомобиля КАМАЗ-5320 по маршрутам «ток-комбайн» и «комбайн-ток»

| Показатель     | Ток-первый комбайн |         | Между комбайнами | Второй комбайн-ток |           |
|----------------|--------------------|---------|------------------|--------------------|-----------|
|                | по дороге          | по полю |                  | по полю            | по дороге |
| Длина пути, м  | 2036               | 656     | 549              | 588                | 2103      |
| Время, с       | 272                | 88      | 104              | 154                | 277       |
| Скорость, км/ч | 27,0               | 26,6    | 19,0             | 13,7               | 27,4      |

Представленные в таблице 3 значения позволили установить разницу между расстояниями, пройденными по полю автомобилем до его загрузки от первого комбайна (пустой) и после загрузки от второго комбайна (с грузом). Средний путь по полю порожнего автомобиля получен равным 656 м, что на 68 м превышает путь, пройденный полностью загруженного автомобиля по полю (588 м). Очевидно, что причина этого в том, что заполнение бункера второго комбайна в среднем происходило на большем удалении от края поля, чем первого. При этом среднее расстояние переезда от первого до второго комбайна составило 549 м.

Путь по дороге загруженного автомобиля в среднем получен больше на 269 м, чем путь порожнего. Это объясняется, тем, что в среднем место выезда с поля загруженного автомобиля в данном случае удалено от места въезда вследствие различий точек разгрузки первого и второго комбайнов.

Из таблицы 3 видно, что расстояние переезда автомобиля от края поля к первому комбайну (656 м) и, далее, – от первого до второго комбайна (549 м) в сумме составляет 1205 м. С учетом расстояния проезда по полю после приема зерна от второго комбайна (588 м) средняя длина маршрута автомобиля по полю составляет 1793 м. Из них проезд до первого комбайна составляет 36,6 %, между первым и вторым комбайном – 30,6 % и с полной загрузкой до края поля 32,8 %.

При движении автомобиля с тока к месту работы скорость движения по дороге незначительно превышает скорость движения по полю (на 0,4 км/ч) из-за отсутствия необходимости ехать быстрее и предстоящего ожидания на поле заполнения бункеров комбайнов. Средняя скорость движения по полю порожнего автомобиля составила 26,6 км/ч, загруженного – 13,7 км/ч. В среднем скорость движения автомобиля по полю составляет 20 км/ч, что соответствует результатам оценок предыдущих лет.

Полученное среднее расстояние проезда автомобиля по полю в цикло-рейсе отвоза зерна от двух комбайнов согласуется с результатами наблюдений других исследователей. Так, по данным Чеботарева М.И. с соавторами [29] средний пробег по полю с использованием разгрузочных магистралей (поперечных прокосов) снижается на 30-40 % и обычно не превышает 2 км.

## **5 Источники эффективности зерноуборочных комбайнов и грузовых автомобилей в новом способе уборки озимой пшеницы**

### **5.1 Сравнительные эксплуатационно-технологические показатели зерноуборочных комбайнов**

В условиях равенства подач в молотилки зерноуборочных комбайнов в единицу времени обеспечивается равенство намолотов зерна за основное время работы. Превышение производительности комбайна в единицу сменного времени в новом варианте работы в среднем составляет 2,9 % за счет работы челночным способом с исключением поперечных переездов комбайна (в пределах загонки) при поворотах в конце гона. В среднем продолжительность поворота комбайнов с 6- и с 7-метровыми жатками сокращается с 34-36 до 21-23 с, т.е. на 32,3-41,7 % [14].

При уменьшении в новом варианте рабочей ширины захвата жатки и с повышением рабочей скорости движения, комбайн обмолачивает более узкие полосы хлебостоя. Благодаря увеличенной рабочей скорости движения комбайн приходит на край поля для выгрузки заполненного бункера быстрее, чем в базовом варианте. Наряду с этим для уборки массива одинаковой ширины в новом варианте комбайн должен сделать больше проходов по полю, чем в базовом варианте, но при одинаковых затратах времени. При этом продолжительность работы молотильного аппарата сохраняется одинаковой по времени.

Степень увеличения числа проходов определяется частным от деления рабочей ширины захвата жатки в базовом варианте на уменьшенную рабочую ширину захвата жатки в новом варианте. Исходя из этого, производительность зерноуборочного комбайна в гектарах за единицу времени при соблюдении равенства подач в молотилку может различаться лишь на величину затрат времени на повороты в конце гона.

Необходимо отметить, что работа зерноуборочного комбайна с уменьшенным рабочим циклом между выгрузками зерна задает соответствующие

условия для сокращения рабочего цикла автомобиля. При этом в базовом варианте рабочие циклы автомобиля значительно больше из-за необходимости проездов автомобилей по полю с малой скоростью к местам заполнения бункеров комбайнов. Непредсказуемость расстояний переездов в базовом варианте работы в общем случае вызывает необходимость планирования повышенного числа автомобилей для обеспечения бесперебойной работы зерноуборочных комбайнов.

Согласно результатам сравнительного полевого опыта [14] в новом и в базовом вариантах производительность зерноуборочного комбайна Дон-1500Б в единицу сменного времени получена соответственно 2,14 и 2,08 га/ч.

В опытах 2020 г. комбайны Дон-1500Б с 7-метровыми жатками в новом и базовом вариантах показали расход топлива соответственно равный 12,9 и 15,3 л/га (таблица 4), что соответствует экономии топлива в новом варианте на 2,4 л/га или на 16 %.

Таблица 4 – Расход топлива зерноуборочными комбайнами при разном заполнении бункера при работе

| Наименование показателя                | Комбайн                       |                               |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
|  | Дон-1500Б с 7-метровой жаткой | Дон-1500Б с 6-метровой жаткой |
| Масса зерна, набираемого в бункер, кг: |                               |                               |
| - в базовом варианте                   | 5652                          | 5652                          |
| - в новом варианте                     | 4823                          | 4888                          |
| Расход топлива, л/га:                  |                               |                               |
| - в базовом варианте                   | 15,3                          | 16,0                          |
| - в новом варианте                     | 12,9                          | 13,1                          |

Как известно, к факторам, повышающим расход топлива зерноуборочным комбайном, относится большая рабочая скорость движения, масса комбайна (в том числе масса зерна в бункере) и сопротивление почвы перекатыванию колес, зависящее от их заглубления. В данном случае, наряду с большей скоростью движения комбайна в новом варианте (5,2 км/ч вместо 4,3 км/ч), на снижение расхода топлива повлияла заданная меньшая масса

зерна, набираемого в бункер (в новом и базовом способах в среднем соответственно 4823 и 5652 кг).

Влияние на расход топлива дополнительной массы зерна, набираемой в бункер, также подтверждена сравнением показателей зерноуборочных комбайнов с 6-метровыми жатками. Так, в новом варианте они набирали в бункер в среднем соответственно 4888 и 4823 кг и расходовали топлива 13,1 и 12,9 л/га соответственно. В то же время аналогичный комбайн в базовом варианте работы, набирая до 5652 кг зерна, показал расход топлива 16,0 л/га. Таким образом, работа комбайнов с 6-метровыми жатками в новом варианте позволила сократить расход топлива на 2,9 и 3,1 л/га, т.е. на 18,1 и 19,3 %, т.к. в среднем они набирали в бункер зерна на 13,5-14,7 % меньше, а для комбайна с 7-метровой жаткой экономия топлива составила 16 %.

Указанные задаваемые ограничения при заполнении бункера в новом способе работы стали возможными благодаря постоянной длине прохода зерноуборочного комбайна между выгрузками зерна, соответствующей целому числу проходов по длине гона.

Данные результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями Воронежского ГАУ, согласно которым при увеличении вместимости бункера комбайна повышается расход топлива из-за транспортировки дополнительного зерна [2]. Как обоснованно отмечено авторами, 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 целесообразность увеличения грузоподъемности бункера с удельной вместимостью – 1,1-1,3 м<sup>3</sup>/кг/с.

В результате проведенных полевых опытов установлено, что, несмотря на меньшее заполнение бункеров комбайнов зерном перед выгрузками в новом способе производительность комбайнов незначительно, но превышает показатели в базовом способе (соответственно 2,14 и 2,08 га/ч). Однако рабо-

та новым способом позволяет существенно уменьшить расход топлива – с 15,3 до 12,9 л/га (таблица 5).

Таблица 5 – Исходная информация для расчета экономических показателей зерноуборочных комбайнов при работе новым и базовым способом

| Наименование показателя  | Новый вариант | Базовый вариант |
|--------------------------|---------------|-----------------|
| Марка комбайна           | Дон-1500Б     | Дон-1500Б       |
| Производительность, га/ч | 2,14          | 2,08            |
| Расход топлива, л/га     | 12,9          | 15,3            |
| Объем работ, га          | 1000          | 1000            |

## **5.2 Сравнительные показатели грузовых автомобилей и сокращение их потребности**

В наибольшей мере сокращение продолжительности рабочих циклов грузовых автомобилей обусловлена сокращением продолжительности рабочих циклов зерноуборочных комбайнов вследствие большей рабочей скорости движения, задаваемой в новом способе из условия равенства подач в молотилку.

Предыдущими исследованиями было установлено, что, 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 23,5 % большую производительность (соответственно 22,71 т/ч вместо 18,53 т/ч) при обслуживании каждым из них двух комбайнов вследствие большего числа рейсов в единицу времени (таблица 6).

Наиболее объективным результирующим показателем работы сравниваемых грузовых автомобилей в новом и базовом вариантах работ послужила продолжительность их циклов по результатам фиксации времени их прибытия для взвешивания, что определяет интенсивность их эксплуатации. В базовом варианте продолжительность цикла автомобилей ЗиЛ-554 и КАМАЗ-5320 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.

Таблица 6 – 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 (б) | 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   |

Движение грузового автомобиля по стерне с преодолением сопротивления деформируемой почвы характеризуется примерно в 3 раза большим сопротивлением колес перекатыванию, чем по укатанной полевой дороге [6] и сопровождается увеличением расхода топлива в 2-2,5 раза [7].

В то же время с ростом урожайности полей в южной степной зоне при типичной длине гона выгрузка зерна из бункера зерноуборочного комбайна может быть необходима на каждом гоне, а общий пробег грузовых автомобилей по полю может быть сопоставим с пробегом комбайна.

Расход топлива 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 %, что обусловлено отсутствием проездов по полю в тяжелых почвенных условиях.

Таким образом, по результатам оценок за 2020 г. производительность автомобиля КАМАЗ при отвозе зерна от двух комбайнов Дон-1500Б получена:

- в новом способе 22,7 т/ч при расходе топлива на 100 км пробега – 38,2 л;
- в базовом способе 18,53 т/ч при расходе топлива на 100 км пробега



41,94 л.

В новом варианте в автомобиль выгружали 9,65 т, а в базовом варианте 11,30 т. При урожайности зерна на поле 5,71 т за 1 рейс автомобиль отвозил зерно в базовом способе с 1,98 га, а в новом – с 1,69 га.

Пробег за 1 рейс в новом способе 12,87 км, в базовом – 14,47 км (из-за необходимости проезда по полю и большего на 0,4 км удаления базового варианта). Но рабочий цикл отвоза зерна (по времени приезда на весовую) в новом способе был 25,7 мин., в базовом – 36,7 мин. (из-за большей рабочей скорости движения зерноуборочных комбайнов при меньшей рабочей ширине захвата жатки в новом способе, а также из-за простоев в базовом способе в ожидании приема зерна).

Если за смену (12 ч) 6 комбайнов могут убирать 120 га и намолачивать 720 т зерна, то при групповом способе работы для отвоза потребуется:

- в новом способе 2,64 автомобиля (или 3 из условия бесперебойной работы комбайнов, т.е. один автомобиль на два комбайна – что фактически было в полевом опыте при индивидуальном закреплении);

- в базовом способе 3,24 автомобиля (или 4 из условий бесперебойной работы комбайнов).

Таким образом, работа новым способом уборочного звена позволяет сократить потребность автомобилей КАМАЗ-5320 с 4 до 3.

Предположим, что в новом способе три КАМАЗа отвезут зерно с края поля от 6 комбайнов. При этом длина маршрута «поле-ток» такова, что возврат автомобиля и комбайна в точку выгрузки совпадают по времени.

В базовом способе, помимо движения автомобиля по полевой дороге, в среднем необходимо проезжать к местам заполнения бункеров от двух комбайнов зерном, согласно результатам хронометражных наблюдений, расстояние равное 1793 м с учетом их взаимного расположения (см. п. 4). При скорости движения автомобиля КАМАЗ-5320 по стерне, равной, согласно нашим оценкам, в среднем 20 км/ч, на это затрачивается 5,38 мин. Поэтому, в сравнении с новым способом, для обеспечения бесперебойной работы зерно-

уборочных комбайнов в базовом способе требуется большее число грузовых автомобилей [4].

### **5.3 Исходные предпосылки и снижение затрат на вспашку поля после уборки**

Передвижение грузовых автомобилей в пределах поля к местам заполнения бункеров зерноуборочных комбайнов происходит в условиях большой вариабельности расстояний проезда при вынужденном ограничении скорости движения из-за роста сопротивления перекачиванию колес и повышенной динамики на стерневом фоне. При этом большегрузные транспортные средства при приеме зерна более чем от одного комбайна отличаются наибольшими расстояниями передвижения по полю.

Проблема переуплотнения почвы колесами автомобилей при уборке зерновых культур намного острее, чем уплотнение комбайнами. Узкопрофильные шины автомобилей с повышенной грузоподъемностью (МАЗ, КАМАЗ и др.) с внутренним давлением в шинах порядка 0,60-0,84 МПа вызывают катастрофические для почвы давления и напряжения, превышающие максимально допустимые в 6-8 раз [2]. Причина этого заключается в том, что повышенная динамика ходовых систем автомобилей при движении по стерневому фону с коротким шагом неровностей поля, приводит к превышению статической нагрузки в 3,8-5,9 раз [30].

При высоких урожайностях (более 80-100 ц/га) число проходов по полю транспортных средств в расчете на единицу площади сопоставимо с числом проходов комбайнов и составляет около 25 % площади поля.

В связи с превышением допустимого давления на почву, наряду с проблемами, связанными со снижением эффективного плодородия, нитрификационной способности и водопроницаемости почв, повышается сопротивление почвы обработке [31].

Особенно значительные уплотнения возможны тогда, когда в период уборочных работ много осадков и зерноуборочные комбайны с транспорт-

ными средствами сильно деформируют увлажненную почву. В результате этого значительно повышается глыбистость при последующей глубокой обработке почвы, особенно при иссушении пахотного слоя в предыдущий период [31].

Исключение проездов по полям транспортных средств является радикальным решением, реализуемым лишь в новом варианте [11] прямого комбайнирования с разгрузкой зерноуборочных комбайнов на краю поля.

Известно, что если у колесных тракторов К-701 и Т-150К, перемещающихся с номинальной тяговой нагрузкой, прирост сопротивления вспашке по следам равен 60-65 %, то у многоколесных транспортных агрегатов (очевидно, что это автомобили повышенной грузоподъемности, а также некоторые бункеры-перегрузжатели зерна), с числом проходов колес по одному следу равном 4-7 максимальное давление достигает 407 кПа, а прирост сопротивления вспашке по следам равен 72-90 % [32]. В то же время известно, что меньшее на 18 % максимальное давление на почву обеспечивает снижение энергозатрат на вспашке более чем на 20 % [33].

Согласно нашим оценкам, всего при уборке уплотняется 44,7 % площади поля, из них следами комбайнов (с 7-метровыми жатками и шириной колес 790 мм) уплотняется 23,2 % и автомобилями КАМАЗ-5320 уплотняется 21,5 % площади поля. Как отмечено в [32] по следам автомобилей с повышением грузоподъемности сопротивление вспашке повышается на 60-90 %.

Исключение проездов автомобилей по полю позволяет сохранить от переуплотнения 21,5 % площади поля, на которой перерасход топлива при вспашке, согласно нормативам [34], составляет 7,5 кг/га. При приеме зерна от двух комбайнов автомобиль КАМАЗ, согласно нашим оценкам (см. п. 4), в среднем проезжает по полю типичных размеров 1793 м и за один рейс вывозит зерно с площади около двух гектаров. При этом, при общей ширине следов автомобиля 1,2 м на каждом гектаре уплотняется 21,5 % площади поля. Исходя из этого, экономия топлива на вспашке составит 1,61 кг/га в расчете на единицу площади поля.

Наряду с исключением уплотнения почвы большегрузными автомобилями в новом способе увеличивается площадь уплотнения почвы колесами зерноуборочного комбайна. В зависимости от среднего значения уменьшенной рабочей ширины захвата жатки (1,2 м), например до 5,6 м вместо 6,8 м уплотняемая ходовыми органами комбайна площадь поля может увеличиться на 5,0 п.п. (с 23,2 до 28,2 %).

Таким образом, в новом способе уборки (с исключением передвижений грузовых автомобилей по полям) в сравнении с базовым способом общая уплотняемая площадь при средней уменьшенной рабочей ширине захвата жатки сокращается с 44,7 до 28,2 %. При этом величина давления колес применяемых в настоящее время зерноуборочных комбайнов значительно меньше, чем большегрузных автомобилей.

Исходные варианты для расчетов и нормативные значения производительности и расхода топлива [34] представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выработка агрегата и расход топлива при вспашке участков поля, уплотненных автомобилями при уборке

| Наименование показателя             | Значение показателя        |                             |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                     | с уплотнением автомобилями | без уплотнения автомобилями |
| Агрегат                             | К-701+ПТК-9-35             | К-701+ПТК-9-35              |
| Удельное сопротивление вспашке, кПа | 72-78                      | 60-65                       |
| Выработка за 7-часовую смену, га    | 9,0                        | 11,7                        |
| Производительность, га/ч            | 1,29                       | 1,67                        |
| Расход топлива, кг/га               | 33,8                       | 26,5                        |

## **6 Экономическая эффективность нового способа уборки зерновых колосовых культур с выгрузкой зерна на краю поля**

Оценку экономической эффективности предлагаемого способа уборки озимой пшеницы с выгрузкой зерна в автотранспорт на краю поля производили в сравнении с базовым способом уборки, применяемым традиционно в хозяйствах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов Российской Федерации.

При расчете экономического эффекта предлагаемого способа уборки приняты три составляющие:

- эффект от снижения эксплуатационных затрат зерноуборочного комбайна за счет повышения производительности и снижения расхода топлива по данным проведенных полевых исследований;

- эффект от снижения необходимого количества единиц грузового автотранспорта;

- эффект от снижения эксплуатационных затрат при вспашке поля после уборки озимой пшеницы, получаемого за счет повышения производительности и снижения расхода топлива при работе пахотных агрегатов, что обусловлено меньшим уплотнением почвы движителями грузовых автомобилей при уборке.

### **6.1 Эффективность зерноуборочных комбайнов**

Экономические показатели комбайнов в сравниваемых вариантах уборочного звена были определены на основе эксплуатационно-технологических показателей оценки (п. 5.1), полученных в результате хронометражных наблюдений за зерноуборочными комбайнами. Значения эксплуатационных затрат денежных средств комбайнов представлены в таблице 8.

В результате расчета установлено, что применение предлагаемого способа работы зерноуборочного комбайна с разгрузкой зерна на краю поля

приводит к снижению эксплуатационных затрат денежных средств на 167 руб./га или на 7,9 %.

Таблица 8 – Исходные показатели и эксплуатационные затраты комбайнов в новом и базовом способах уборки

| Наименование показателя                            | Значение показателей для способа уборки |        |
|--|---|--------|
|  | базового                                | нового |
| Производительность за 1 ч времени, га/ч:           |   |        |
| - основного  | 2,77                                    | 2,85   |
| - сменного   | 2,08                                    | 2,14   |
| Коэффициент:                                       |   |        |
| - использования сменного времени                   | 0,80                                    | 0,80   |
| - готовности                                       | 0,98                                    | 0,98   |
| Расход топлива, кг/га                              | 15,32                                   | 12,87  |
| Цена комбайна с жаткой, руб.                       | 2 563 300                               |        |
| Эксплуатационные затраты денежных средств, руб./га | 2 122                                   | 1 955  |

## 6.2 Экономические показатели грузовых автомобилей в сравниваемых уборочно-транспортных звеньях

При определении экономического эффекта исходили из результатов работы автомобилей КАМАЗ-5320 в уборочно-транспортных звеньях при их работе новым и базовым способом (см п. 4).

По результатам эксплуатационно-технологической оценки, проведенной по данным полевых испытаний, при применении предлагаемого способа по сравнению с базовым способом потребность в автотранспорте снижается на один грузовой автомобиль (см п. 4).

При применении на уборке предлагаемого способа вместо базового способа в результате сокращения числа автомобилей с 4 до 3 изменяется потребность в капитальных вложениях, потребности в обслуживающем персонале (водителях) и, как следствие, в оплате труда обслуживающего персонала (таблица 9).

Установлено, что с применением предлагаемого способа работы уборочно-транспортного звена вместо базового способа капитальные вложения в необходимое количество грузовых автомобилей (3 вместо 4) снижаются на

4 093 тыс. руб. или на 25,0 %; общий фонд оплаты труда водителей снижается на 36 руб./га или на 25,0 %.

Таблица 9 – Исходные показатели и результаты расчета экономического эффекта от снижения потребности автомобилей КАМАЗ-5320 в уборочно-транспортном звене

| Наименование показателя   | Значение показателя по способу уборки |        |
|---|---------------------------------------|--------|
|   | базовый                               | новый  |
| Потребность в грузовых автомобилях грузоподъемностью 15 т, шт.  | 4                                     | 3      |
| Цена грузового автомобиля, тыс. руб.                            | 4 093                                 |        |
| Капитальные вложения, тыс. руб.                                 | 16 372                                | 12 279 |
| Потребность в обслуживающем персонале, чел.                     | 4                                     | 3      |
| Средняя тарифная ставка водителя грузового автотранспорта, руб. | 190                                   |        |
| Фонд оплаты труда водителей, руб./га                            | 109                                   | 82     |
| Коэффициент социальных отчислений от размера зарплаты           | 1,32                                  |        |
| Фонд оплаты труда водителей с учетом отчислений, руб./га        | 144                                   | 108    |

### **6.3 Экономический эффект от сокращения эксплуатационно-технологических затрат на послеуборочной вспашке поля**

Т.к. при сравнительной оценке технологий состояние почвы должно быть доведено до одинакового состояния, то поэтому необходимо учитывать затраты на вспашку.

Ряд исследователей отмечают снижение удельного сопротивления почвы и эксплуатационных затрат на вспашку от снижения давления на почву применяемых технических средств [4], [32], [33], [35].

Эксплуатационные затраты на вспашке определяли по методике [17], [36] на основе справочных данных [34], представленных по агрегату К-701+ПТК-9-35 в разделе 5.3 (таблица 10).

Эксплуатационные затраты в базовом варианте с учетом вспашки части уплотненной грузовым автомобилем площади составляют 3020 руб./га. За счет исключения переуплотнения 21,5 % площади поля колесами автомобиля

эксплуатационные затраты снижаются с 3020 до 2 836 руб./га, т.е. на 184 руб./га или на 6,12 %.

Таблица 10 – Результаты расчета эксплуатационных затрат на вспашке с учетом доли площади, уплотненной грузовым автомобилем

| Наименование показателя   | Значение показателей по вариантам |                        |                                  |
|---|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|   | базовый                           |                        | новый без уплотнения автомобилем |
|   | уплотненная площадь               | не уплотненная площадь |                                  |
| Процентное содержание уплотненной и не уплотненной площади, %                                       | 21,5                              | 78,5                   | 100                              |
| Эксплуатационные затраты на вспашке уплотненной и не уплотненной площади, руб./га                   | 3694                              | 2836                   | 2836                             |
| Эксплуатационные затраты на 1 га с учетом соотношения уплотненной и не уплотненной площади, руб./га | 794                               | 2226                   | 2836                             |
| Экономия эксплуатационных затрат в новом варианте от исключения проездов автомобилей, руб./га       | -                                 | -                      | 184                              |

С учетом указанных выше трех составляющих был получен суммарный экономический эффект от применения предлагаемого способа уборки по сравнению с применением базового способа (таблица 11).

Таблица 11 – Суммарный экономический эффект от применения нового способа уборки

| Наименование показателя  | Значение показателя |
|--|---------------------|
| Экономия эксплуатационных затрат на комбайнировании и на вспашке – всего, руб./га,<br>в том числе на операции: | 351                 |
| - уборка   | 167                 |
| - вспашка  | 184                 |
| Экономия капитальных вложений в транспортном звене, руб./га  | 4 093               |
| Экономия фонда заработной платы, руб./га   | 36                  |
| Суммарный экономический эффект, руб./га  | 4480                |

Применение предлагаемого способа уборки с разгрузкой зерноуборочных комбайнов на краю поля вместо базового способа уборки, приводит к суммарной экономии денежных средств при уборке в размере 4480 руб./га.



Составляющими экономического эффекта являются:

- сокращение капитальных вложений в размере 4 093 руб./га (91,4 %) от сокращения потребности в грузовых автомобилях на 25,0 % (с 4 до 3);
- сокращение эксплуатационных затрат комбайнов – 167 руб./га;
- сокращение затрат на послеуборочную вспашку – 184 руб./га.

Наибольшую весомость в суммарном экономическом эффекте имеет экономия от сокращения числа грузовых автомобилей (91,4 %), на втором месте снижение затрат на вспашку (4,1 %). Эксплуатационные затраты зерноуборочных комбайнов снижаются на 3,5 %.

Проведенный сравнительный экономический анализ двух способов уборки позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности нового способа уборки с разгрузкой зерноуборочных комбайнов на краю поля вместо базового способа уборки. Его применение приводит к суммарной экономии денежных средств при уборке в размере 4480 руб./га, что свидетельствует о целесообразности его применения на уборке озимой пшеницы и других зерновых колосовых культур.

#### **6.4 Дополнительные эффекты и долгосрочно действующие факторы**

Введение в практику нового способа уборки и рекомендаций обеспечит следующие дополнительные эффекты:

- на убираемых полях устраняется необходимость поперечных прокозов (разгрузочных магистралей), необходимых для проездов транспортных средств, а также исключается образование так называемых «клиньев» и проходов с недостаточной загрузкой молотилки при их уборке;
- исключается повышенный износ шин и трансмиссий грузовых автомобилей, характерный для движения по стерневым полям с повышенной динамической нагрузкой и с превышением санитарных норм для водителей;
- создаются лучшие предпосылки для автоматизированного вождения зерноуборочных комбайнов и применения для отвоза зерна большегрузных автомобилей с реальной возможностью существенного сокращения затрат

труда при транспортном обслуживании уборки зерновых колосовых культур;  
- снижение периодически повторяемой при уборке зерновых колосовых культур техногенной нагрузки на почву, наряду со снижением затрат на ее обработку, создает предпосылки к повышению продуктивности посевов.

В связи со сложностью и высокой трудоемкостью экспериментального определения повышения продуктивности посевов от исключения проездов грузовых автомобилей по полям, воспользуемся результатами известных оценок.

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. Анализ отечественных и зарубежных литературных источников по уплотняющему воздействию движителей мобильных машин, проведенный Слюсаренко В.В. [37], 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 %.

По оценкам ученых Воронежского ГАУ за счет снижения эксплуатационной массы зерноуборочных комбайнов и транспортных средств и запрещения движения большегрузных автомобилей с шинами высокого давления (0,6-0,9 МПа) возможно повышение урожайности различных культур на 15-45 % [4].

Очевидно, что в наибольшей мере повышение урожайности возможно для различных культур, высеваемых в летнее-осенний период на убранных полях озимой пшеницы без их уплотнения транспортными средствами (озимый рапс, озимый ячмень, многолетние травы, а также пожнивные посевы).

## **7 Адаптация новой технологии уборки зерновых колосовых культур к производственно-хозяйственным условиям**

В аспекте различий нового и базового способов уборки наиболее значимыми условиями являются размеры полей, длина гона и урожайность, а также наличие и состояние внутрибригадных полевых дорог.

Первичной производственно-хозяйственной единицей является полеводческая бригада, содержащая полевые севообороты, необходимые постройки и технические средства для возделывания, уборки и приема урожая зерновых и других культур с полей.

В южных степных регионах в соответствии с реализованными в свое время проектами землеустройства преобладают поля с правильной геометрической формой, в большинстве случаев в форме прямоугольника, что обеспечивает стабильность длины гона в пределах убираемого поля. Средние площади полей каждого из трех севооборотов типичной растениеводческой бригады имеют значимые различия и составляют соответственно – 71,2; 89,8 и 55,8 га [13]. При уборке урожая зерновых культур длина рабочих проходов зерноуборочных комбайнов по полям несколько меньше размера поля из-за предварительных обкосов шириной около 30 м (с каждой стороны) с целью подготовки разворотных полос для комбайнов.

Стабильное состояние внутрибригадных полевых дорог с проездами в полевых защитных лесополосах обеспечивает при уборке зерновых культур оптимальную транспортную доступность и наличие полевой дороги, примыкающей к полосе разворота и разгрузки комбайнов (рисунок 9).

Из рисунка 9 видно, что свободный доступ на поля имеется с полевой дороги с одной или двух сторон. В отдельных случаях урожай вывозят с поля по временной дороге, прокладываемой по краю обкоса.

Исходя из вышеизложенного, при типичной организации внутрибригадных дорог наличие уже имеющейся сети полевых дорог вполне удовле-

творяет потребностям нового способа уборки – разгрузке зерноуборочных комбайнов на краю поля без проездов грузовых автомобилей по полям.

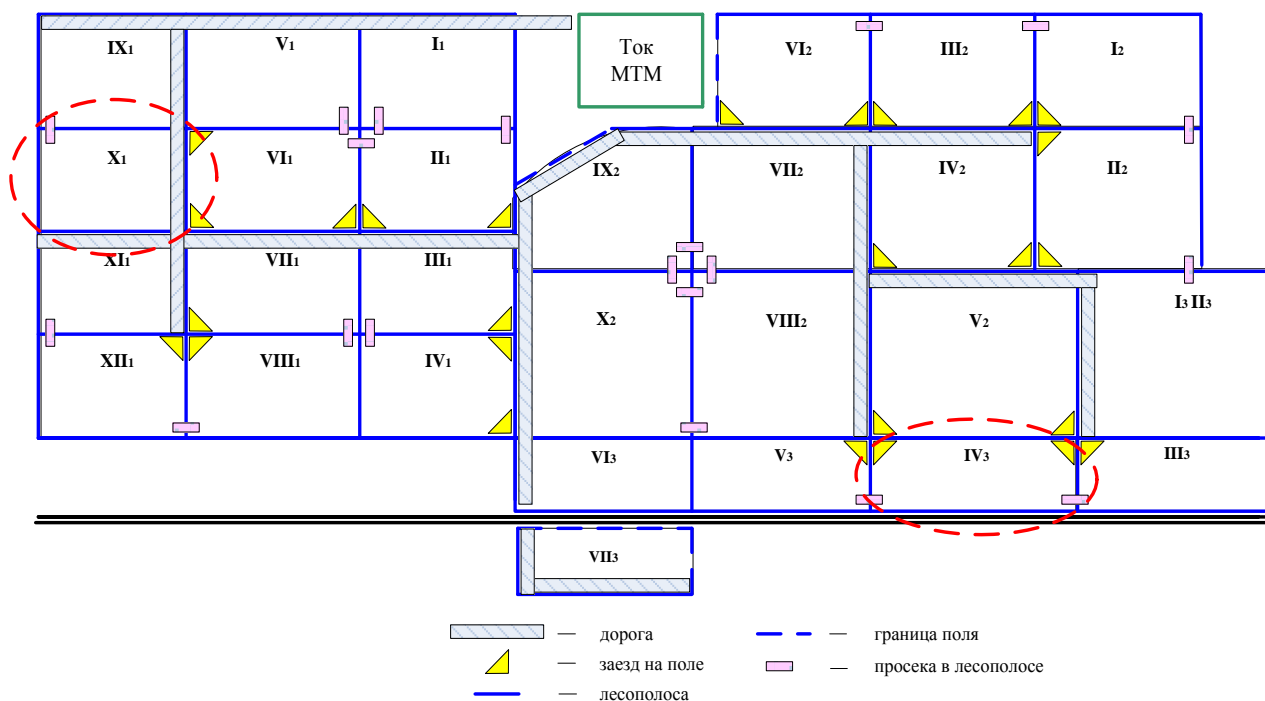


Рисунок 9 – Схема расположения полей типичной растениеводческой бригады с дорожной сетью

В отличие от базового способа уборки в новом способе автомобиль может заранее занять известное место выгрузки, так как комбайн движется челночным способом под прямым углом к дороге по одной и той же стороне убираемого массива или прокоса. При этом комбайн разгружает бункер на краю при завершении половины траектории разворота, т.е. при остановке параллельно дороге и направлению последующего движения автомобиля.

Для уточнения рациональных условий применения нового способа уборки было проведено изучение основных закономерностей заполнения бункера в зависимости от условий убираемого поля – от урожайности зерна и длины гона. По значениям данных факторов для различных сочетаний длины гона и урожайности (таблица 12) применительно к уборке урожая комбайном с шириной захвата жатки 7 м и вместимостью бункера 9 м<sup>3</sup> с помощью компьютерной программы (см. рис. 3 настоящего отчета) проводили расчеты числа проходов комбайна по полю.

Таблица 12 – Расчетное целое число проходов комбайна по полю

| Длина гона, м | Число проходов при урожайности, ц/га: |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | 30                                    | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| 300           | 11                                    | 9  | 8  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  |
| 350           | 9                                     | 8  | 7  | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  |
| 400           | 8                                     | 7  | 6  | 5  | 5  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 450           | 7                                     | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  |
| 500           | 6                                     | 5  | 5  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |
| 550           | 6                                     | 5  | 4  | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 600           | 5                                     | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 650           | 5                                     | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  |
| 700           | 4                                     | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  |
| 750           | 4                                     | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  |
| 800           | 4                                     | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 850           | 4                                     | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 900           | 3                                     | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 950           | 3                                     | 3  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 1000          | 3                                     | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |

Из таблицы 12 видно, что при увеличении длины гона (с 300 до 1000 м) и урожайности (с 30 до 80 ц/га) количество целых возможных проходов комбайна по полю для выгрузки зерна на краю снижается с 11 до одного. Но при этом без применения расчетной (уменьшенной для условий данного поля) ширины захвата жатки прослеживается тенденция снижения заполнения бункера перед очередной выгрузкой (таблица 13).

Согласно таблице 13 сочетание условий поля (урожайность и длина гона) и вместимости бункера комбайна, обеспечивающих пять и более проходов комбайна по длине гона позволяют заполнять более 85-90 % объема бункера (таблица 14). В данных условиях выгрузку на краю поля можно производить при работе комбайна базовым способом (с полной шириной захвата жатки) с применением программы для расчета требуемого числа проходов. Однако данные сочетания невысокой урожайности и преимущественно небольшой длины гона характерны для условий Нечерноземья, но не для южных степных регионов.

Таблица 13 – Степень заполнения бункера за целое число проходов

| Длина<br>гона, м | Заполнение бункера (%) при урожайности, ц/га: |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 30  | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   |
| 300              | 96,3  | 91,9 | 93,3 | 91,9 | 87,5 | 96,3 | 87,5 | 94,8 | 81,7 | 87,5 | 93,3 |
| 350              | 91,9  | 95,3 | 95,3 | 91,9 | 85,1 | 93,6 | 81,7 | 88,5 | 95,3 | 76,6 | 81,7 |
| 400              | 93,3  | 95,3 | 93,3 | 87,5 | 97,2 | 85,6 | 70,0 | 75,8 | 81,7 | 87,5 | 93,3 |
| 450              | 91,9  | 91,9 | 87,5 | 98,4 | 87,5 | 96,3 | 78,8 | 85,3 | 91,9 | 98,4 | 70,0 |
| 500              | 87,5  | 85,1 | 97,2 | 87,5 | 97,2 | 80,2 | 87,5 | 94,8 | 68,1 | 72,9 | 77,8 |
| 550              | 96,3  | 93,6 | 85,6 | 96,3 | 80,2 | 88,2 | 64,2 | 69,5 | 74,9 | 80,2 | 85,6 |
| 600              | 87,5  | 81,7 | 93,3 | 78,8 | 87,5 | 96,3 | 70,0 | 75,8 | 81,7 | 87,5 | 93,3 |
| 650              | 94,8  | 88,5 | 75,8 | 85,3 | 94,8 | 69,5 | 75,8 | 82,2 | 88,5 | 94,8 | 50,6 |
| 700              | 81,7  | 95,3 | 81,7 | 91,9 | 68,1 | 74,9 | 81,7 | 88,5 | 95,3 | 51,0 | 54,4 |
| 750              | 87,5  | 76,6 | 87,5 | 98,4 | 72,9 | 80,2 | 87,5 | 94,8 | 51,0 | 54,7 | 58,3 |
| 800              | 93,3  | 81,7 | 93,3 | 70,0 | 77,8 | 85,6 | 46,7 | 50,6 | 54,4 | 58,3 | 62,2 |
| 850              | 99,2  | 86,8 | 99,2 | 74,4 | 82,6 | 90,9 | 49,6 | 53,7 | 57,8 | 62,0 | 66,1 |
| 900              | 78,8  | 91,9 | 70,0 | 78,8 | 87,5 | 96,3 | 52,5 | 56,9 | 61,3 | 65,6 | 70,0 |
| 950              | 83,1  | 97,0 | 73,9 | 83,1 | 92,4 | 50,8 | 55,4 | 60,0 | 64,7 | 69,3 | 73,9 |
| 1000             | 87,5  | 68,1 | 77,8 | 87,5 | 97,2 | 53,5 | 58,3 | 63,2 | 68,1 | 72,9 | 77,8 |

Таблица 14 – Заполнение бункера комбайна в зависимости от допустимого условиями уборки числа гонов

| Число проходов (гонов) | Степень заполнения бункера, %: |         |
|------------------------|--------------------------------|---------|
|                        | интервал                       | среднее |
| 1                      | 47,6-77,8                      | 59,3    |
| 2                      | 64,2-97,2                      | 80,4    |
| 3                      | 70,0-99,2                      | 86,3    |
| 4                      | 81,7-99,2                      | 89,7    |
| 5                      | 85,1-98,4                      | 91,5    |
| 6                      | 87,5-96,3                      | 92,1    |
| 7                      | 91,9-95,3                      | 93,6    |
| 8                      | 93,3-95,3                      | 94,0    |
| 9                      | 91,9                           | 91,9    |
| 11                     | 96,3                           | 96,3    |

В южных степных регионах страны поля характеризуются большими размерами с длинами гона 700-1000 м и наибольшей урожайностью. В этих условиях при работе комбайна базовым способом при числе проходов равном единице возможно заполнение бункера примерно на половину его емкости, что, в общем случае, свидетельствует о недостаточной эффективности схемы «гон-выгрузка» в базовом варианте.

Из таблицы 14 видно, что при допустимом условиями уборки наибольшем возможном целом числе гонов от 1 до 3 возможно заполнение

бункера в сравнительно широких пределах: 47,6-77,8 % – при одном возможном гоне, 64,2-97,2 % – при двух и 70,0-99,2 % – при трех гонах. Стабильно высокая степень заполнения бункера (более 85,1 %) может быть получена лишь при пяти и более проходах комбайна, что возможно лишь в условиях работы комбайна при малых сочетаниях длины гона и урожайности, характерных для Нечерноземной зоны страны.

Для южных степных районов страны согласно таблице 13 характерны условия работы, когда возможно прохождение целого числа гонов не более 1-3 в том числе с вероятностью заполнения бункера на 70 %. Наблюдаемая при этом невысокая и нестабильная заполняемость бункера не позволяет рекомендовать выгрузку зерна при работе базовым способом из-за неизбежных потерь времени на остановки комбайна для выгрузок зерна в течении смены. Кроме указанного недостатка нестабильность заполнения бункеров будет создавать проблемы заполнения транспортных средств и учета зерна от отдельных комбайнов.

Общий характер зависимости степени заполнения бункера комбайна от возможного числа проходов по длине гонов удовлетворительно описывается логарифмической кривой (рисунок 10).

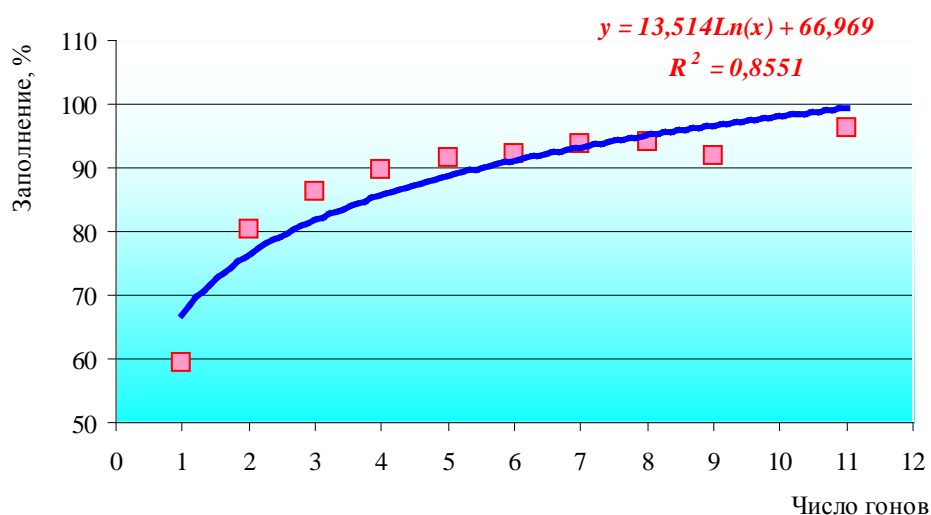


Рисунок 10 – Зависимость степени среднего заполнения бункера от числа гонов при базовом способе работы комбайна

Следовательно, при использовании базового способа уборки достижение высокой заполняемости бункеров комбайнов при подходе к краям полей применительно к типичным условиям полеводства южных степных районов, проблематично.

Таким образом, в условиях южных степных регионов страны при варьировании урожайности культур и длины гонов на полях в пределах одной бригады, а также технических характеристик применяемых зерноуборочных комбайнов, вопрос практического применения выгрузки на краю поля обеспечивается (как это показано выше) с применением нового способа комбайнирования с уменьшенной (по результатам расчета) рабочей шириной захвата жатки.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост урожайности зерновых культур, производительности зерноуборочных комбайнов и вместимости их бункеров вызвал соответствующий рост вместимости транспортных средств. В этих условиях более очевидно проявляются недостатки широко применяемой традиционной технологии комбайновой уборки урожая зерновых колосовых культур с проездами по полю грузовых автомобилей (и других транспортных средств):

- рост давления ходовых органов зерноуборочных комбайнов и транспортных средств на почву и усиление ее деградации;

- отсутствие стабильной ритмичности рабочих циклов грузовых автомобилей из-за необходимости их проезда по полям с ограниченной скоростью при варьировании расстояний до мест выгрузки зерна из бункеров, что приводит к вынужденному завышению числа автомобилей для обеспечения бесперебойной работы зерноуборочных комбайнов;

- указанные недостатки вызывают очевидное нарастание противоречия между ростом объемов перевозок зерна с полей (с ростом урожайности) и снижением эффективности эксплуатации грузовых автомобилей, т.к. чем мощнее автомобиль, тем весомее издержки от простоев и ограничения объемов перевозок с его применением.

Анализ складывающейся в последнее время ситуации показывает недостаточную эффективность попыток организационного и технико-технологического совершенствования уборочно-транспортного процесса в направлении снижения уплотнения почвы (различные перегрузочные транспортные технологии и др.).

В результате поиска решения указанных проблем для условий южной степной зоны с выравненными преимущественно прямоугольными полями 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 повы-

шением производительности комбайнов и автомобилей (Патент на изобретение № 2695452).

Сущность предлагаемого способа уборки заключается в применении новой совокупности взаимосвязанных режимов работы зерноуборочных комбайнов (рабочая ширина захвата жатки и рабочая скорость движения), 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.

Отличительными признаками предлагаемого способа комбайнирования с выгрузкой полного бункера на краю поля является новая совокупность последовательных действий, содержащая:

- определение урожайности зерна на поле и рабочей скорости движения применяемого зерноуборочного комбайна (для условий данного поля по уровню допустимых потерь зерна) при использовании всей ширины его жатки;

- расчет рабочей ширины захвата жатки применяемого зерноуборочного комбайна исходя из урожайности, длины гона и вместимости бункера для обеспечения наполнения бункера комбайна при его проходе расстояния, кратного длине гона, т.е. при подходе к границе поля, а также расчета соответствующей увеличенной рабочей скорости движения, обеспечивающей сохранение фактической подачи в молотилку и производительности комбайна (по намолоту зерна) в единицу основного времени;

- выгрузку зерна на краю поля в кузов транспортного средства, выполняющего отвоз зерна на ток;

- осуществление рабочих проходов комбайна челночным способом.

В условиях уборки озимой пшеницы в 2019-2021 гг. на опытных полях КубНИИТиМ были реализованы сравнительные полевые опыты в типичных производственных условиях, подтвердившие возможность производственного применения и получение положительных результатов эксплуатационно-

технологической эффективности зерноуборочных комбайнов:

- 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 (12,9 л/га вместо 15,3 л/га).

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 автомобиль 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, а автомобиль ЗиЛ-554 за контрольное время обеспечил на 10,0 % большую производительность (соответственно 13,60 т/ч вместо 12,36 т/ч).

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

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

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

- сокращение продолжительности работы комбайна до выгрузки зерна (за счет их большей рабочей скорости движения при уменьшенной рабочей

ширине захвата жатки) – в 1,54 раза (13,58 мин. вместо 20,94 мин.).

Экологическая и эксплуатационно-технологическая эффективность нового способа уборки выражается:

- в исключении наибольшего (по величине и глубине проникновения) уплотнения почвы при уборке ходовыми органами транспортных средств (автомобилями или бункерами-перегрузателями) при последующем сокращении затрат на глубокую обработку почвы (преимущественно на вспашку);

- в обеспечении стабильной ритмичности рабочих циклов грузовых автомобилей за счет приема зерна от комбайна на краю поля без проездов по полю к местам заполнения бункеров в базовом способе, что позволяет точнее определять потребность автомобилей в зависимости от удаленности поля от тока.

В результате расчетов экономической эффективности установлено, что применение предлагаемого способа уборки с разгрузкой зерноуборочных комбайнов на краю поля вместо базового способа уборки, приводит к суммарной экономии денежных средств при уборке в размере 4480 руб./га. Наиболее весомыми составляющими экономического эффекта являются:

- сокращение капитальных вложений в размере 4 093 руб./га (91,4 %) от сокращения потребности в грузовых автомобилях на 25,0 % (с 4 до 3);

- сокращение эксплуатационных затрат комбайнов – 167 руб./га;

- сокращение затрат на послеуборочную вспашку – 184 руб./га.

Предлагаемый способ уборки зерновых колосовых культур с разгрузкой зерноуборочных комбайнов на краю поля экономически более эффективен по сравнению с базовым способом в южных степных регионах страны с преимущественно однородным рельефом, высокой урожайностью, с выравненными при землеустройстве геометрическими формами полей с большими размерами и высокими урожаями. Особенно актуально применение нового способа в условиях повышенного увлажнения почвы и при ограниченной несущей способности почвы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Петренко Н.В. Направления повышения эффективности уборочных работ // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 35–41.
- 2 Дьячков А.П., Колесников Н.П., Семьнин 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. – Ч. 2. – С. 105–108.
- 3 Абаев В.В. Требования к комплексной механизации работ уборочно-го комплекса // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 5. – С. 31–33.
- 4 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.
- 5 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).
- 6 Пухов Е.В., Следченко В.А., Лавренов Д.Н., Мешкова С.С. Повышение эффективности уборочно-транспортных работ на уборке зерновых культур. В сборнике: Доклады ТСХА. – 2019. – С. 11–14.
- 7 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.
- 8 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.

9 Скорляков В.И. Анализ схем транспортировки зерна от комбайнов и совершенствование оценок их эффективности // Матер. XII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. ИнформаГро-2020. Научно-информационное обеспечение инновационного развития. С. 424–437.

10 V.I. Skorlyakov, A.N. Nazarov and D.A. Petukhov A new way to unload combine harvesters at the field edge // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). E3S Web of Conferences 193, 01023 (2020).

11 Патент № 2695452 Российская Федерация, СПК (52) А01D 91/04 (2019.05). Способ уборки зерновых культур прямым комбайнированием с выгрузкой зерна на краю поля : № 2018127042 : заявл. 23.07.2018 : опубл. 23.07.2019 / Скорляков В.И., Назаров А.Н., Петухов Д.А. ; заявитель Росинформагротех. – 3 с.

12 Скорляков В.И., Назаров А.Н., Петухов Д.А. Результаты производственного применения зерноуборочного комбайна с выгрузкой зерна на краю поля // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 2. – С. 2–26.

13 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.

14 Исследование эксплуатационно-технологических показателей работы уборочно-транспортного комплекса и разработка нового способа уборки зерновых колосовых культур. Отчет о НИР АААА-А20-120101490036-5. – 2020. – 62 с.

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

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

17 ГОСТ 34393–2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.

18 Юрина Т.А., Дробин Г.В., Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Богословская О.А., Глущенко Н.Н. «Использование наночастиц металлов в предпосевной обработке семян озимой пшеницы в Новокубанском районе» в сборнике статей международной исследовательской организации «Cognito» по материалам XXVI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века». – М., 2017. С. 49–51.

19 Влияние наночастиц металлов на морфометрические показатели озимой пшеницы Юрина Т.А., Глущенко Н.Н. В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы X Междунар. научно-практической Интернет-конференции. – 2018. – С. 27–30.

20 Дробин Г.В., Юрина Т.А., Глущенко Н.Н. Исследование влияния биологических и нанопрепаратов на морфометрические изменения растений озимой пшеницы / Г.В. Дробин, Т.А. Юрина, Н.Н. Глущенко // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 4. – С. 29–32.

21 Юрина Т.А., Богословская О.А., Глущенко Н.Н. Изменения биометрических параметров растений озимой пшеницы при применении экспериментальных препаратов на основе современных нанотехнологий / В сб. научных трудов VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2020)». – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 333–337.

22 ГОСТ 28301–2015 Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2016. – 39 с.

23 Никитин А.В., Щербаков В.В. Страхование сельскохозяйственных культур с государственной поддержкой: науч. издание. – Мичуринск-научкоград РФ: Изд-во Мичурин. гос. аграр. ун-та. – 2006. – 190 с.

24 Тупикин В.В. и др. Методика страхования урожая сельскохозяйственных культур с государственной поддержкой: учебно-методическое пособие / Донской ГАУ. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – 84 с.

25 Плющиков В.Г., Довлетярова Э.А., Ильясова Н.И. Методические аспекты экспертного и технологического сопровождения страхования рисков в АПК. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2007. – № 1–2. – С. 4–10.

26 Приложение № 5 к Правилам страхования (стандартные) урожая сельскохозяйственных культур, посадок многолетних насаждений, осуществляемого с государственной поддержкой [Электронный ресурс]. – URL: <https://mcx73.ru/files/strahovanie/....docx>.

27 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры (выпуск второй). – М.: – 1989. – 195 с.

28 Паштецкий В.С., Радченко Л.А. и др. Рекомендации по проведению уборки озимых и ранних яровых зерновых, зернобобовых, масличных культур в условиях 2020 года. – Симферополь: ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2020. – 44 с.

29 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.

30 Оберемок В.А., Пархоменко С.Г., Аванесян А.М., Меликов И.М. Влияние функциональных характеристик подвески и шин на нагруженность колес автомобиля при движении по стерне зерновых колосовых. Вестник аграрной науки Дона. – 2014. – № 4 (28). – С. 9–16.

31 Тарасенко Б.И. Обработка почвы. – Краснодар: Кн. изд-во, 1987. – 175 с.

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

33 Кравченко В.А., Меликов И.М. Агротехнические показатели функционирования ходовой системы зерноуборочного комбайна высокой производительности. Вестник аграрной науки Дона. – Т. 3. – 2018. – № 43. – С. 30–36.



34 Единые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве. – М., 1981.

35 Методика определения оптимальной грузоподъемности бункера зерноуборочного комбайна / А.П. Дьячков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (47). – Ч. 2. – С. 92–98.

36 СТО АИСТ 4.6–2018 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. – Росинформагротех, – 2018. – 29 с.

37 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.