

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

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

УДК 631.354.2.076

Рег. № НИОКТР АААА-А19-119040990057-1

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

ФГБНУ «Росинформагротех»,

канд. юрид. наук

\_\_\_\_\_ П. А. Подьяблонский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**Исследование и разработка технологического приема для  
повышения производительности уборочно-транспортного звена при  
уборке зерновых колосовых культур прямым комбайнированием**

по теме: 2.2.7 Проведение исследований по разработке конкурентоспособных  
технологий возделывания сельскохозяйственных культур

**2.2.7.3 Проведение исследований эффективности работы  
уборочно-транспортного комплекса при уборке зерновых колосовых  
культур прямым комбайнированием**

Директор КубНИИТиМ

М. И. Потапкин

Руководитель темы,  
зав. отделом, ведущий научн. сотр.,  
канд. техн. наук

Д. А. Петухов

Новокубанск 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы: Зав. отделом научных исследований и разработок, вед. научн. сотр., канд. техн. наук	_____	Д. А. Петухов (введение, заключение)
Отв. исполнитель: Вед. научн. сотр., канд. техн. наук	_____	В. И. Скорляков (раздел 1, 2, 3, 4, 5, 6, за- ключение)
Исполнители: Зав. лабораторией эксплуатационно-экономической оценки машин, науч. сотр.	_____	С. А. Свиридова (раздел 5)
Зав. лабораторией агротехниче- ской оценки машин и техноло- гий, науч. сотр.	_____	Т. А. Юрина (раздел 4)
Науч. сотр.	_____	А. Н. Назаров (раздел 1, 3, 4)
Инженер 1 категории	_____	М. А. Белик (раздел 4)
Инженер 1 категории	_____	Е. В. Чумак (раздел 4)
Агроном 1 категории	_____	О. Н. Негреба (раздел 4)
Нормоконтроль	_____	В. О. Марченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 65 с., 13 рис., 11 табл., 27 источн., 1 прил.

### ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, РАБОЧАЯ ШИРИНА ЖАТКИ, ВЫГРУЗКА НА КРАЮ ПОЛЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Объект исследований – технологический процесс уборочного и транспортного звена на уборке зерновых колосовых культур прямым комбайнированием.

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

Метод проведения исследований основан на анализе технологического процесса уборки зерновых колосовых культур и транспортировки зерна от комбайна, а также на стандартизованных методах испытаний зерноуборочных комбайнов и заключался в сравнительной оценке эксплуатационно-технологических, агротехнических и экономических показателей машин.

В результате исследований нового запатентованного способа уборки зерновых колосовых культур (патент № 2695452) установлена возможность выгрузки зерна из бункера комбайна на краю поля с повышением производительности комбайна на 6,7 % и увеличением плеча перевозок зерна автомобилем на 32,5 %.

Эффективность работы комбайнов в новом способе определяется повышением их производительности, а автомобилей – в сокращении их потребности, затрат на оплату труда водителей на 16,6 % и в исключении уплотнения почвы колесами транспортных средств.

Область применения – сельскохозяйственные предприятия южных степных регионов страны.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Состояние вопроса. Цели и задачи исследования .....	8
1.1 Типичные для южных степных районов характеристики полей и подъездных дорог .....	8
1.2 Заполняемость бункера комбайна в типичных условиях уборки озимой пшеницы .....	13
1.3 Типичные недостатки уборочно-транспортного процесса .....	18
1.4 Программа-методика исследований .....	22
2 Применяемые способы снижения уплотнения почвы транспортными средствами при уборке зерновых колосовых культур .....	27
3 Теоретическое обоснование предлагаемого способа уборки с разгрузкой заполненного бункера на краю поля .....	32
4 Сравнительные показатели эксплуатационно-технологической оценки комбайнов и автомобилей при предлагаемом способе уборки .....	37
4.1 Результаты сравнительной оценки комбайна в базовом и новом способах уборки .....	38
4.2 Эксплуатационная эффективность автомобиля и уборочно- транспортного звена при предлагаемом способе уборки .....	45
5 Экономическая эффективность нового способа уборки .....	49
6 Рекомендации для специалистов АПК по применению нового способа уборки .....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное) Патент на изобретение № 2695452 .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Широко применяемые в настоящее время технологии комбайновой уборки урожая зерновых колосовых культур с проездами по полю автомобилей с узкопрофильными шинами (и других транспортных средств) отличаются существенными недостатками. Рост производительности комбайнов, вместимости их бункеров и металлоемкости вызвал соответствующий рост вместимости и грузоподъемности транспортных средств и, несмотря на различные технические и организационные совершенствования, вызывает обострение следующих существующих проблем:

а) непредсказуемость мест заполнения бункера комбайна, расстояний и продолжительности проездов автомобиля по полю могут сильно различаться, что приводит к нестабильности рабочих циклов автомобилей. При необходимости обеспечения бесперебойной работы комбайнов это вызывает планирование и применение завышенного числа автомобилей и к значительным потерям их времени на ожидание очередной выгрузки зерна. При этом, несмотря на оптимальное сочетание уборочных машин и автомобилей простои автомобилей достигают 30-36 % [1];

б) повышенный износ шин и трансмиссий автомобилей при движении в нехарактерных для них условиях поля с деформируемой почвой и абразивной средой в виде остатков стеблей хлебостоя;

в) уплотнение почвы ходовыми органами комбайнов и узкопрофильными шинами автомобилей при их проездах по полю к местам заполнения бункера комбайна.

Исходными требованиями на базовые машинные технологические операции в растениеводстве (2005 г.) удельные давления движителей зерноуборочных комбайнов на почву ограничены 150 кПа при влажности почвы менее 0,6 наименьшей влагоёмкости почвы (далее – НВ) и 80-100 кПа – при влажности более 0,6 НВ [2]. Но максимальное удельное давление колес у комбайна Дон-1500Б с заполненным бункером может достигать 185 кПа и превы-

шать допустимое значение на 20 % при влажности почвы до 0,6 НВ и в 1,8-2,3 раза – при влажности почвы 0,6-0,9 НВ [3].

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 и нагрузкой на одно колесо до 3-4 т вызывают катастрофические для почвы давления и напряжения, превышающие максимально допустимые до 6-8 раз [3].

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

В связи с превышением допустимого давления на почву возникают проблемы, связанные со снижением эффективного плодородия, нитрификационной способности и водопроницаемости почв, повышением сопротивления их обработке [4].

Считается, что переуплотнение почвы при уборке колосовых культур является основным препятствием для перехода на минимальную обработку почвы [5]. Особенно значительные уплотнения возможны тогда, когда в период уборочных работ много осадков и комбайны с транспортными средствами сильно деформируют увлажненную почву. В результате этого значительно повышается глыбистость при последующей глубокой обработке почвы, особенно при иссушении пахотного слоя в предыдущий период [6].

О вредных последствиях для экологии и продуктивности почв при использовании автомобилей для вывоза зерна от комбайнов известно ученым и практикам со времени переоснащения сельскохозяйственных предприятий большегрузными автомобилями. Однако до настоящего времени проблема не находила эффективного решения. При этом нельзя не согласиться с ведущими учеными Кубани Е. И. Трубилиным и Г. Г. Масловым и др., которые в

мероприятиях по машинно-технологической модернизации полеводства, предложили запретить въезд на поля большегрузным грузовым автомобилям [7, 8]. По оценкам ученых Воронежского ГАУ за счет снижения эксплуатационной массы комбайнов и транспортных средств и запрещения движения большегрузных автомобилей с шинами высокого давления (0,6-0,9 МПа) за счет применения бункеров-перегрузжателей возможно повышение урожайности различных культур на 15-45 % [8].

Однако применение бункера-перегрузжателя не может обеспечить кардинальное решение проблемы переуплотнения, особенно в условиях повышенной влажности почвы, т. к. его вместимость должна не менее чем вдвое превышать вместимость бункера комбайна. Это требует применения трактора для его агрегатирования соответствующей массы и мощности, что также сопряжено с соответствующим давлением колес агрегата на почву. Кроме этого, приобретение бункера-перегрузчика увеличивает стоимость машин уборочного комплекса на 400-800 руб. в расчете на 1 га уборочной площади зерновых культур и вызывает дополнительную потребность в тракторе с механизатором.

В настоящее время нет способа уборки зерновых культур с выгрузкой зерна на краю поля без заезда на поле транспортных средств (как автомобилей, так и бункеров-перегрузчиков), обеспечивающего заполнение всего объема бункера комбайна при его подходе к краю поля и при его работе без снижения производительности.

Приведенные недостатки потребовали поиска новых технологических решений.

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

## **1 Состояние вопроса. Цели и задачи исследования**

При обосновании способа повышения эффективности работы уборочно-транспортного комплекса при уборке колосовых культур необходимо исходить из типичных условий его функционирования.

Объективно наибольшие урожайности зерновых колосовых культур, потребность в высокопроизводительных комбайнах и в большегрузных транспортных средствах для отвоза зерна от комбайнов наблюдается в южных степных регионах страны и, в частности, – в центральной зоне Краснодарского края.

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.

Валидационный полигон Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформротех» (КубНИИТиМ) общей площадью 2000 га лишь незначительно уступает типичным размерам полеводческой бригады центральной зоны Краснодарского края и содержит три севооборота, около половины площадей которых занимает озимая пшеница (рисунок 1). Вторая половина отводится под кукурузу на зерно, подсолнечник и сою.

Расстояние от тока до наиболее удаленных полей по внутренним дорогам достигает 5 км.

### **1.1 Типичные для южных степных регионов характеристики полей и подъездных дорог**

Для южных степных районов характерны сравнительно большие размеры полей с правильной прямоугольной формой.

Средние площади полей каждого из трех севооборотов имеют значимые различия (рисунок 1) и составляют соответственно – 71,2, 89,8 и 55,8 га.



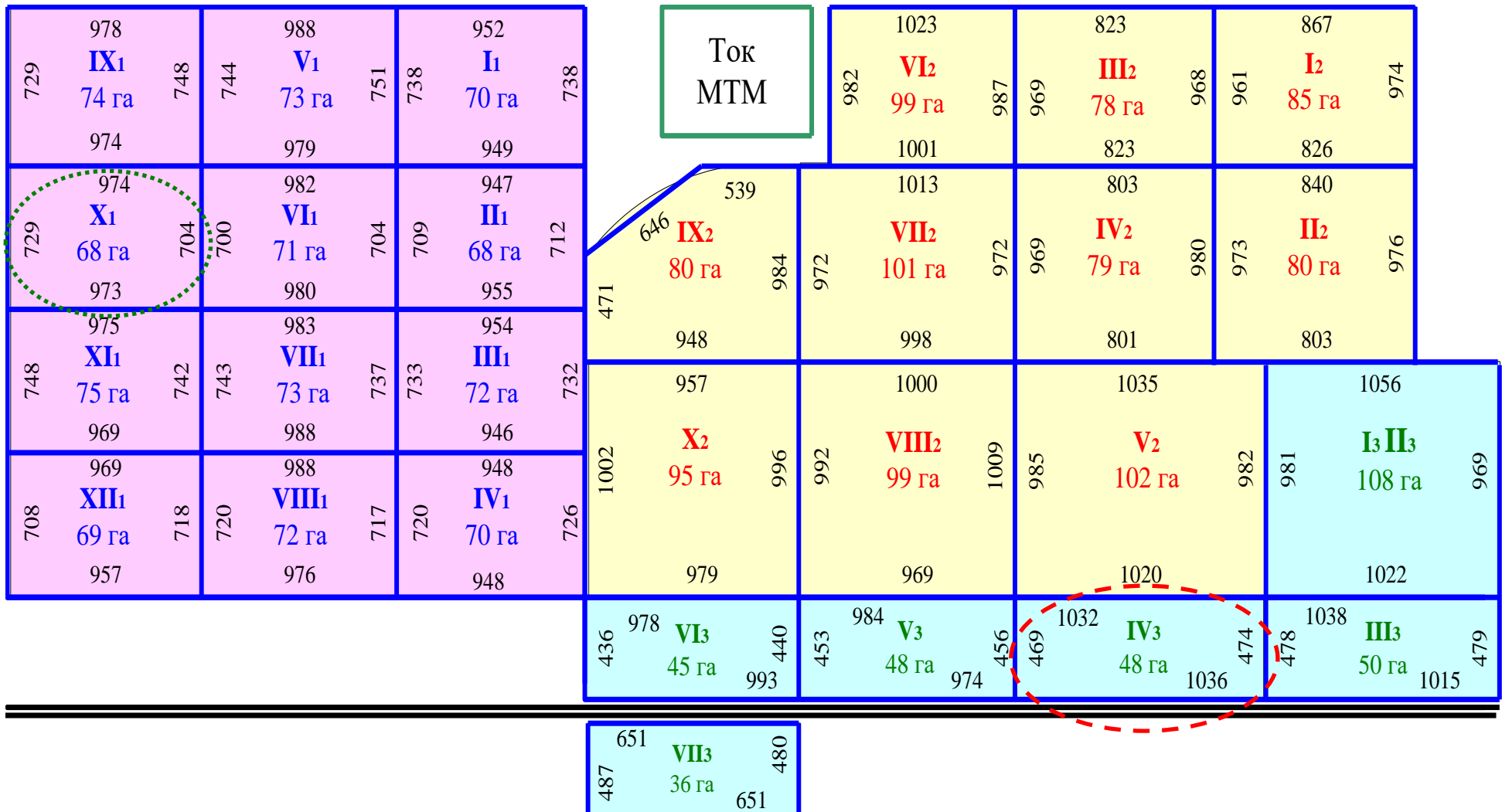


Рисунок 1 – Схема валидационного полигона КубНИИТиМ с площадями и размерами сторон полей

Преобладают поля с правильной геометрической формой, в большинстве случаев в форме прямоугольника, что обеспечивает стабильность длины гона в пределах убираемого поля. При уборке урожая зерновых культур длина рабочих проходов комбайнов по полям несколько меньше размера поля из-за предварительных обкосов с целью подготовки разворотных полос для комбайнов и для проездов транспортных средств.

В результате длина и ширина поля приобретает окончательные размеры, чем определяется основная уборочная площадь и исходные условия для работы комбайнов при их оценках.

Для примера рассмотрим подготовку полей  $X_1$  и  $IV_3$  (см. рисунок 1) для уборки комбайном с захватом жатки 7 м и бункером вместимостью 9 м<sup>3</sup>.

Примем, что для обеспечения поворотов в конце гонов поля обкошены вкруговую четырьмя проходами комбайна с жаткой захватом 7 м. При этом подготовленный к уборке массив примет следующие параметры (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры полей, подготовленных к прямому комбайнированию

Наименование показателя	Значение показателя по полю	
	$X_1$	$IV_3$
Габариты поля (средние), м:		
- длина;	973	1034
- ширина	716	471
Габариты обкошенного хлебостоя, м:		
- длина;	917	978
- ширина	660	415

Немаловажная роль при уборке зерновых культур принадлежит оптимальной транспортной доступности – наличию и состоянию внутрибригадных полевых дорог, просек в лесополосах для проездов техники и др. (рисунок 2). При уборке базовым способом также важно иметь полевую дорогу, примыкающую к разворотной полосе с тем, чтобы большая часть маршрута автомобиля от тока до места выгрузки пролегла по дороге, а маршрут проезда по полю к комбайну был максимально коротким.

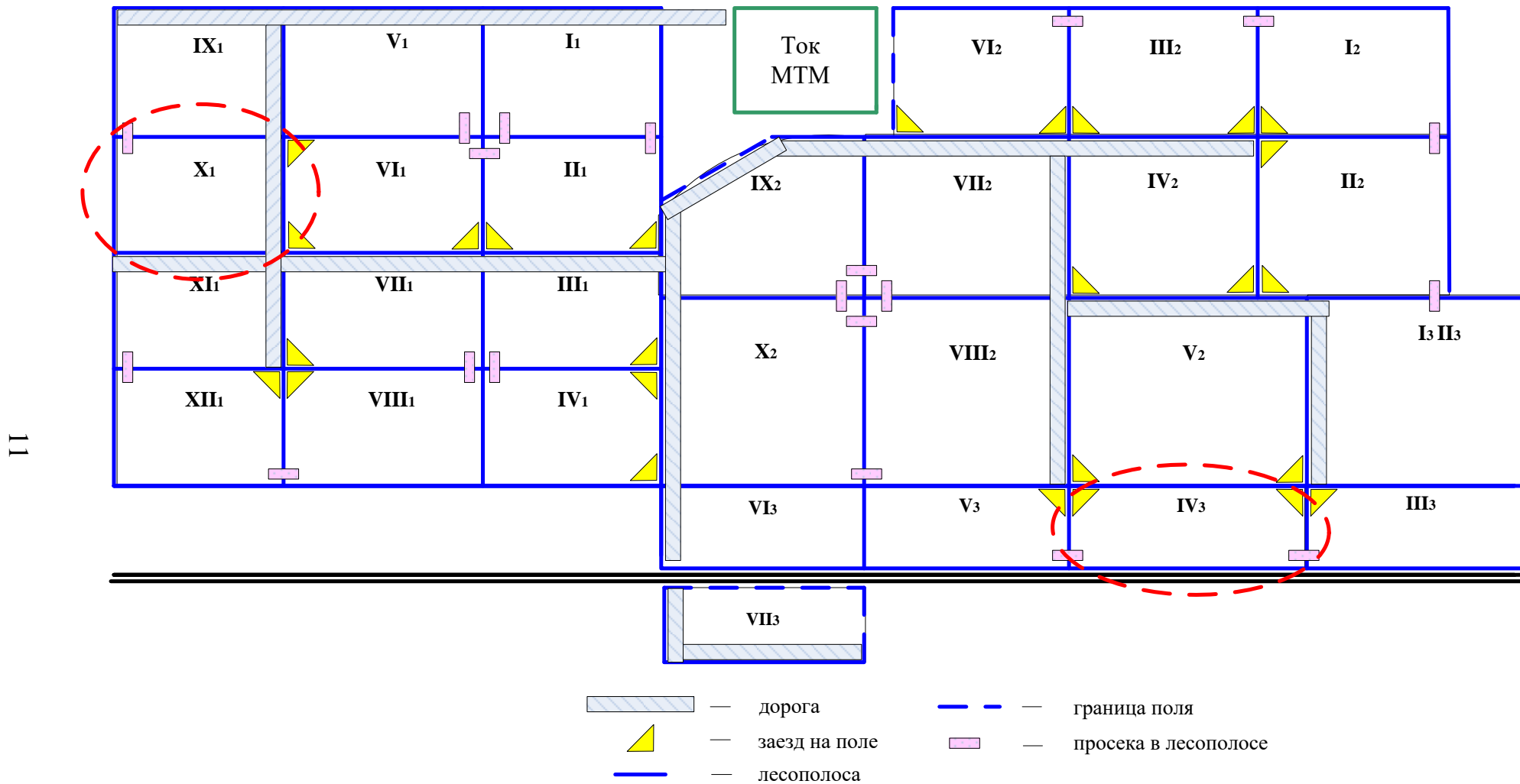


Рисунок 2 – Схема валидационного полигона КубНИИТиМ с дорожной сетью

Поле  $X_1$  имеет свободный доступ к полевой дороге с одной короткой стороны на всем её протяжении, а поле  $IV_3$  – два угловых доступа с одной длинной стороны (верхней на рисунке 2). Поэтому, с точки зрения транспортной доступности, для поля  $X_1$  предпочтительно выглядит движение комбайна вдоль длинной стороны и выгрузка на обкосе короткой стороны, прилегающей к дороге, а для поля  $IV_3$  предпочтительно движение комбайна вдоль длинной стороны и выгрузка вдоль короткой левой стороны (с меньшим расстоянием до тока).

Исходя из вышеизложенного, при типичной организации внутрибригадных дорог некоторое сокращение передвижения автотранспорта по полям в базовом варианте может быть достигнуто за счет максимального передвижения от тока и обратно по дорогам, за счет выбора мест ожидания заполнения бункера комбайна в окрестностях очередного поворота комбайна, а проезд к комбайну с заполненным бункером – по кратчайшему пути, параллельному границам загонки.

Но при крупногрупповом использовании технических средств и при использовании автомобилей с большой вместимостью (на несколько бункеров) их передвижения по полю резко увеличиваются как за счет поперечных переездов к очередному комбайну в пределах загонки, так и за счет переезда в соседние загонки (по поперечным прокосам). Исходя из этого, наиболее привлекательна выгрузка зерна из бункеров комбайнов на краю поля. Основные положительные моменты, которые следует ожидать в случае реализации способов разгрузки на краю поля:

- частичное решение общей транспортной задачи – устранение нерационального перемещения комбайном значительной части убранного урожая от края поля вглубь массива;

- отсутствие нерегулируемого проезда порожнего и груженого автомобиля по сжатому полю, приводящего к излишнему уплотнению почвы и преждевременному износу покрышек, коробки перемены передач, двигателя и перерасходу топлива;

- возможность движения комбайна челночным способом, осуществление поворотов комбайна по минимальному пути (открытой петлей без прямолинейного участка) с полностью выгруженным бункером, что позволяет несколько снизить суммарное время на повороты.

При достаточном обеспечении транспортом (в случае более высокой производительности транспортной составляющей) автомобиль может заранее занять фиксированное место выгрузки в 5-8 м от края хлебостоя, а комбайн может выгружать бункер на краю при завершении половины траектории разворота, т. е. при остановке параллельно дороге и направлению последующего движения автомобиля.

## **1.2 Заполняемость бункера комбайна в типичных условиях уборки озимой пшеницы**

Общие принципы операционной технологии выполнения механизированных полевых работ применительно к прямому комбайнированию колосовых культур заключаются в следующем:

- улучшение дорог и подготовка подъездных путей;
- подготовка поворотных полос, разгрузочных и транспортных магистралей, обкосов и прокосов;
- выбор рациональной конфигурации, ориентации и размеров загонок;
- выбор способа движения комбайнов;
- проведение противопожарных распахек и другие организационные мероприятия

Оптимальным загоном считается такой, в котором обеспечивается максимальная выработка агрегатов [9].

Традиционно выгрузка урожая, собранного зерноуборочным комбайном, в кузов транспортного средства производится по мере полной загрузки бункера.

При реализации данной схемы подготовки поля в зависимости от сочетания урожайности, длины гона, ширины жатки и вместимости бункера, со-

отношение длины циклового рабочего хода (до заполнения бункера) комбайна и длины гона не является целым числом, что приводит к вероятностному характеру расположения места заполнения бункера и вызывает необходимость проездов по полю транспортными средствами для приема зерна из заполненного бункера. При этом место разгрузки комбайна и загрузки транспортного средства в общем случае трудно поддается регулированию. В случае однократного соотношения «бункер/кузов» и небольших размеров поля погрузочный автомобиль приближается к комбайну и удаляется грузёным по кратчайшему пути. В то же время большегрузный автомобиль вынужден ожидать в поле моментов полной загрузки второго и (возможно) третьего комбайна, а также маневрировать по полю для приема зерна от очередного комбайна с заполненным бункером.

На практике, в подавляющем большинстве хозяйств используется индивидуальный или групповой загонный способ прямого комбайнирования с комбинацией движения комбайнов «в раскос» и «в свал» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Автомобиль в режиме ожидания при базовом способе уборки при групповом использовании комбайнов

Основное преимущество данной схемы – простота организации, контроля намолотов зерна комбайнами и широкая возможность маневрирования техникой в пределах поля и отдельных загонок.

Для поиска рациональных направлений совершенствования уборочных

работ было проведено изучение основных закономерностей заполнения бункера в зависимости от условий комбайнирования – от урожайности зерна, количества гонов и их длины.

Расчеты были выполнены для различных сочетаний длины гона и урожайности (таблица 2) применительно к уборке урожая комбайном с шириной жатки 7 м и вместимостью бункера 9 м<sup>3</sup> с помощью компьютерной программы.

Таблица 2 – Расчетное целое число проходов комбайна по полю

Длина гона, м	Число гонов, 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 2 видно, что увеличение длины гона от 300 до 1000 м и урожайности от 30 до 80 ц/га число целых возможных проходов комбайна по полю для выгрузки зерна на краю снижается с 11 до одного. Но при этом прослеживается тенденция снижения заполнения бункера перед очередной выгрузкой (таблица 3).

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.

Таблица 3 – Степень заполнения бункера за целое число проходов

Длина 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

В условиях, обеспечивающих возрастание целого числа проходов комбайна, необходимых для заполнения бункера, происходит сужение диапазонов и повышение среднего значения его заполнения (таблица 4). Однако такие условия возможны в регионах с меньшими урожайностями и размерами полей, что характерно по мере удаления на север.

Таблица 4 – 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

Из таблицы 4 видно, что при допустимом условиях уборки числе гонов от одного до трех возможно заполнение бункера в сравнительно широких преде-



лах: 47,6-77,8 % – при одном пройденном гоне, 64,2-97,2 % – при двух и 70,0-99,2 % – при трех гонах. Стабильно высокая степень заполнения бункера (более 85,1 %) возможна лишь при пяти и более проходах комбайна, что возможно в условиях работы комбайна при малых сочетаниях длины гона и урожайности. Однако, согласно таблице 3 для южных степных районов страны характерны условия работы, когда возможно прохождение целого числа гонов не более одного-трех. 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 течение 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 числа гонов удовлетворительно описывается логарифмической кривой (рисунок 4).

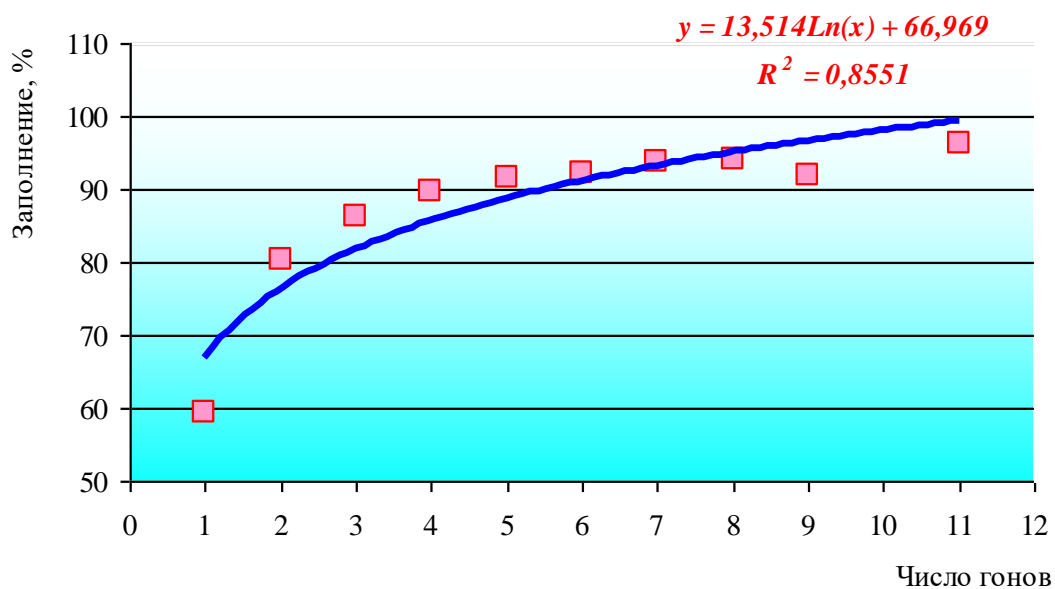


Рисунок 4 – Зависимость степени среднего заполнения бункера от числа гонов

Таким образом, достижение высокой заполняемости бункеров комбайнов при подходе к краям полей в условиях сравнительно высокого варьирования длины рабочих проходов комбайна и урожайности на полях примени-

тельно к типичным условиям полеводства южных степных районов, проблематично.

Учитывая широкое варьирование геометрических параметров полей (см. рисунок 1) и урожайности культур даже в пределах одного хозяйства, а также технические характеристики применяемых комбайнов, вопрос практического применения выгрузки на краю поля требует творческого подхода при его решении.

Таким образом, выгрузка зерна на краю поля в условиях высоких урожаев и длин гонов с применением традиционной технологии уборочных работ приводит к существенному снижению степени заполнения бункеров, что повлечет рост числа остановок комбайна для выгрузок зерна с соответствующими потерями времени.

Разгрузка бункера по мере его заполнения в пределах поля вызывает практически непредсказуемое распределение мест приема зерна автомобилями и необходимость проездов по полю в среднем равных половине длины гона.

### **1.3 Типичные недостатки уборочно-транспортного процесса**

Традиционно применяемая классическая схема уборки зерновых культур не лишена ряда серьёзных негативных технологических факторов, таких как необходимость проездов автомобилей по полю, вызывающих переуплотнение почвы колесами транспортных средств и снижение почвенного плодородия, недостаточная стабильность рабочих циклов транспортных средств и их простои в ожидании приема зерна из заполненных бункеров на каком-либо участке поля.

Выгрузка урожая, собранного зерноуборочным комбайном, в кузов транспортного средства производится по мере полной загрузки бункера. При этом должно соблюдаться условие цельнократного соотношения вместимости бункера комбайна и кузова автомобиля. При наличии в хозяйстве большого парка автомобилей разной грузоподъемности, это соотношение воз-

можно выдерживать на уровне 1:1. Но различного рода ограничения объективного характера вынуждают сельхозтоваропроизводителей использовать автомобили большой грузоподъемности, выдерживая соотношение вместимостей 2:1 и 3:1. При этом общая масса загруженного автомобиля может превышать 30 т, что приводит к запредельному переуплотнению почвы.

На примере уборки озимой пшеницы зерноуборочным комбайном Десна-Полесье GS 12 при урожайности 72,4 ц/га видно, что места выгрузки сосредоточены на разных расстояниях от края поля (рисунок 5, расстояния на рисунке указаны от «нижнего» края поля).

Рассредоточенные по полю места выгрузки зерна вызывают ряд негативных последствий:

а) подъезд к комбайну автомобиля марки ЗиЛ (соотношение вместимостей 1:1) осуществлялся с одной стороны поля (нижней на рисунке 5). При этом суммарная длина двустороннего (порожнего и груженого) проезда автомобиля по полю от края хлебостоя к семи местам выгрузки полного бункера комбайна составляет 6,74 км. В среднем расстояние одного проезда автомобиля по полю (до комбайна и обратно) незначительно превышало длину гона;

б) движение в нехарактерных для автомобилей условиях поля с деформируемой почвой и абразивной средой в виде остатков стеблей хлебостоя вызывает повышенный износ шин и трансмиссий. При средней в условиях Краснодарского края урожайности озимой пшеницы 60 ц/га, вместимости бункера комбайна 6 т и при средней удаленности комбайна от края поля 417 м общий пробег автомобиля при уборке в 100 га по стерне составит 83,4 км, половина из которых – с зерном;

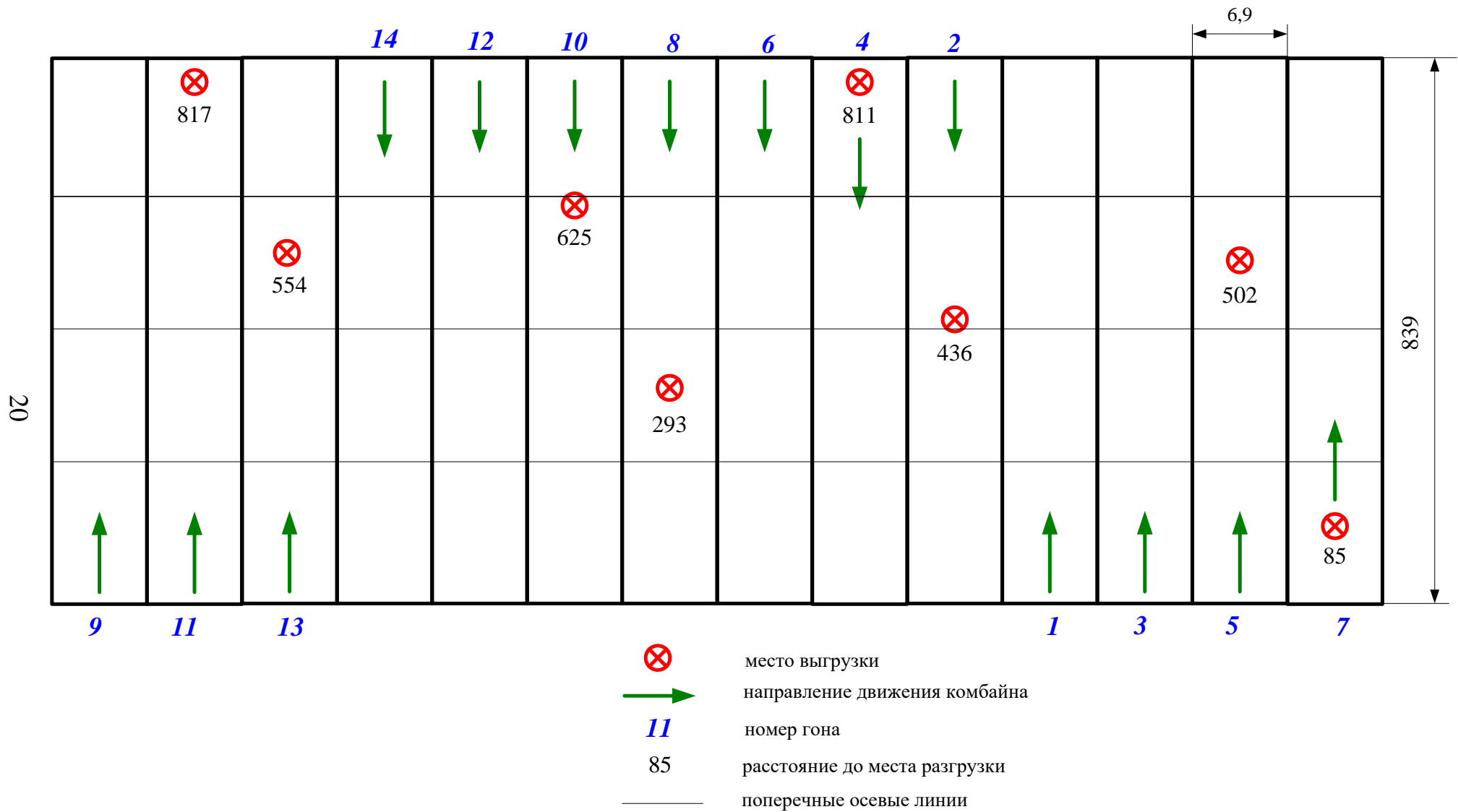


Рисунок 5 – Схема работы зерноуборочного комбайна Десна-Полесье GS-12 с жаткой захватом 7 м в базовом варианте

в) при вместимости кузова, достаточной для приема двух бункеров про- бег может быть уменьшен до 58,4 км, но при большем давлении на почву. Тяжелые условия передвижения по полям с преодолением сопротивления деформируемой почвы и неровностей поверхности приводят к повышенному расходу топлива и ограничению скорости (не более 20 км/ч);

г) согласно исследованиям К. Н. Демьяновского с соавторами [10, 11] установлено, что диапазону скоростей автомобиля от 14 до 40 км/ч по стерне соответствует частота внешних воздействий 1,1-3,1 Гц, а вибраци- онная нагрузка на водителя составляет от 1,42 м/с<sup>2</sup> до 2,82 м/с<sup>2</sup>, что в 2,5-3,5 раза превышает санитарные нормы, установленные требованиями СН 2.2.4/2.18.566-96 [11];

д) наиболее острой является проблема переуплотнения почвы колесами автомобилей. Если максимальное удельное давление колес у комбайна Дон-1500Б с заполненным бункером может достигать 185 кПа и превышать допустимое значение на 20 % при влажности почвы до 0,6 НВ и в 1,8-2,3 раза – при влажности почвы 0,6-0,9 НВ [3], то шины автомобилей воздействуют на почву гораздо сильнее. В отличие от колес комбайнов, для которых суще- ствуют более широкие возможности выбора типоразмера шин и снижения тем самым давления на почву, колеса и шины автомобилей выбираются примени- тельно к передвижению по дорогам, имеющим твердое основание. Узкопро- фильные шины автомобилей с повышенной грузоподъемностью (МАЗ, КамАЗ и др.) с внутренним давлением в шинах порядка 0,60-0,84 МПа и нагрузкой на одно колесо до 3-4 т вызывают катастрофические для почвы давления и напряжения, превышающие максимально допустимые до 6-8 раз [3];

ж) значительны потери при вспашке переуплотненных почв. Так, сопро- тивление вспашке почвы по следам гусеничных тракторов возрастает на 16-25 %, по следам колесных тракторов, автомобилей и комбайнов – на 44-65 %, а по следам транспортных агрегатов – на 72-90 % [12]. Очевидно, что исключение их передвижения по полям позволит устранить данный наиболее разрушительный для почвы фактор и будет способствовать посту-

пательному развитию продуктивности полей;

и) еще одним недостатком указанных известных способов уборки зерновых культур прямым комбайнированием (по п. 1 и п. 2) при работе комбайнов в загонке следует считать наличие поворотов в конце гона с холостым проездом в пределах ширины загонки прямолинейного участка переменной длины (как при работе «в раскос», так и «в круг»), что обусловлено необходимостью постоянного расположения при рабочих проходах комбайна его выгрузного шнека в сторону скошенного поля (за исключением полей с малыми длинами гона и урожайностями, типичными в отдельных регионах). На исследуемом участке суммарная длина прямолинейных участков поворотов оценивается в 140 м (14 м в среднем на каждый из 10 поворотов);

к) рассредоточенные по полю места выгрузки зерна вызывают широкое варьирование расстояний и продолжительности проездов автомобиля по полю (с малой скоростью), а также затрат времени на ожидание выгрузки. Это затрудняет планирование и обеспечение ритмичности работы автомобилей при отвозе зерна на ток и приводит к необходимости применения завышенного числа автомобилей, что, в свою очередь, сопровождается увеличением их простоев в ожидании очередной выгрузки зерна.

## **1.4 Программа и методика исследований**

### **1.4.1 Цели и задачи исследования**

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

Задачи исследования:

- анализ известных мероприятий по снижению уплотнения почвы транспортными средствами при отвозе зерна от комбайнов;
- разработка теоретических зависимостей для определения рабочих параметров и режимов работы зерноуборочного комбайна, обеспечивающих за-

полнение бункера зерном и его выгрузку на краю поля без снижения его производительности;

- определение сравнительных эксплуатационно-технологических показателей работы комбайна и автомобиля по новому и базовому вариантам работы комбайна;

- проведение сравнительного анализа эксплуатационно-технологических показателей комбайна и автомобиля;

- определение экономической эффективности работы уборочных и транспортных машин по новому способу.

## **1.4.2 Объекты исследований**

### **1.4.2.1 Уборочно-транспортное звено в составе:**

- зерноуборочный комбайн с жаткой для прямого комбайнирования и разбрасывателем измельченной соломы;

- автомобиль.

### **1.4.2.2 Новый способ работы комбайна.**

По результатам пробного прохода по полю (при прокосах) определяется урожайность зерна и рабочая скорость комбайна. С применением разработанных формул определяется расстояние до заполнения бункера комбайна. Данное расстояние делят на длину гона данного обкошенного поля и посредством расчета находят уменьшенную ширину жатки, при которой комбайн обеспечит заполнение бункера при подходе к краю поля с ближайшим большим числом гонов. В связи с тем, что выгрузка зерна осуществляется на краю поля, применяется челночный способ проходов комбайна в загонке, что исключает потери времени на переезды внутри загонок. При этом не требуются проезды автомобилей по полю.

### **1.4.2.3 Базовый способ работы комбайна:**

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

### **1.4.3 Программа исследований:**

- анализ известных мероприятий по снижению уплотнения почвы транспортными средствами при отвозе зерна от комбайнов;
- разработка теоретических зависимостей для определения рабочих параметров и режимов работы зерноуборочного комбайна, обеспечивающих заполнение бункера зерном и его выгрузку на краю поля без снижения производительности комбайна;
- определение эксплуатационно-технологических показателей работы комбайна с применением хронометражных наблюдений за работой комбайна и транспортным средством по сравниваемым вариантам:
  - а) в новом способе работы (с разгрузкой заполненного бункера на краю поля);
  - б) в базовом способе работы (с выгрузкой зерна в каком-либо месте поля по мере наполнения бункера);
- определение эксплуатационно-технологических показателей работы автомобилей с применением хронометражных наблюдений за их работой при новом и при базовом способе работы комбайнов;
- сравнительный анализ эксплуатационно-технологических показателей комбайнов и автомобилей при базовом и новом способах работы;
- определение экономической эффективности работы уборочных и транспортных машин по новому способу.

### **1.4.4 Методика полевых исследований**

Место проведения полевых оценок – валидационный полигон КубНИИ-ТиМ.

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

#### **1.4.4.1 Номенклатура определяемых показателей:**

- характеристики поля (площадь, длина гона, ширина загонок, удаленность от тока), схемы проезда автомобилей и мест разгрузок бункеров;
- характеристика культуры (сорт, урожайность и др.);



- параметры комбайна (марка, ширина жатки, объем бункера).

1.4.4.2 Показатели технологического процесса комбайна с определением агротехнических показателей качества работы комбайнов методами, предусмотренными ГОСТ 28301 [13], ГОСТ 24055 [15]:

- рабочая скорость – заданная, реализуемая по бортовому спидометру комбайна и фактическая (по времени прохождения длины гона);
- высота среза;
- потери зерна молотилкой;
- потери зерна жаткой;
- дробление зерна;
- содержание сорной примеси;
- рабочая ширина захвата;
- потери времени на повороты при работе в загонке в базовом (с переездами) и в новом (без переездов) способе (до окончания работы в загонке);
- потери времени на расчет и обозначение меток-ограничителей рабочей ширины жатки в новом способе;
- степень заполнения бункера при новом и базовом способах работы комбайна;
- производительность за 1 ч основного времени, га/ч;
- производительность за 1 ч сменного времени, га/ч;
- удельный расход топлива, кг/га.

1.4.4.3 Показатели автомобиля в транспортном процессе:

- масса перевозимого зерна в каждом рабочем цикле автомобиля (для нового и базового способа работы комбайна);
- затраты времени в рабочих циклах;
- расстояния от тока до загонки по дороге и от дороги до комбайна по полю (в базовом способе);
- расстояния от тока до загонки (в новом способе);
- скорости движения по дороге и по полю;
- увеличение расчетного расстояния бесперебойного обслуживания

комбайна заданным числом автомобилей (одним или двумя) в новом и в базовом способах;

- сокращение пробега автомобиля в рабочем цикле в новом способе при неизменном расстоянии от тока до поля;

- сокращение времени подъезда автомобиля к комбайну из режима ожидания в новом и базовом способах.

#### 1.4.4.4 Порядок и методы определения функциональных показателей

##### Определение условий проведения исследований.

Перед началом работы комбайнов на опытных участках проводят измерение длины гона (после обкоса краев) и, во время прокосов – урожайности и рабочей скорости комбайна.

Показатели условий полевых оценок определяют согласно ГОСТ 28301 [13] и ГОСТ 20915 [15], эксплуатационно-технологические – по ГОСТ 24055 [14].

Исследования по вариантам способов уборки проводят в условиях одного поля на рядом расположенных загонках, с использованием в сравниваемых вариантах того же комбайна с одинаковой высотой среза растений и режимом работы измельчителя-разбрасывателя.

Для сравнительной оценки базового и нового способов уборки контрольные загонки должны быть одинаковыми по длине, а их ширина должна соответствовать действующим зональным рекомендациям. На каждой контрольной загонке необходимо определить показатели, характеризующие условия работы комбайна.

## **2 Применяемые способы снижения уплотнения почвы транспортными средствами при уборке зерновых колосовых культур**

Интенсификация производства, рост урожайности сельскохозяйственных культур и производительности уборочных машин вызвали рост объемов грузоперевозок. Это потребовало увеличения производительности и экономической эффективности транспортных средств, что определило тенденцию переоснащения автопарков автомобилями большей грузоподъемности. Появление большегрузных автомобилей на полях обусловлено также ростом вместимости бункеров зерноуборочных комбайнов. Так, при поступлении на производство комбайнов Дон-1500Б, Acros 580 и Togum 760 ёмкость их бункеров соответственно составляла 6, 9 и 12 м<sup>3</sup>. При этом даже комбайны Дон-1500Б в зависимости от влажности почвы превышают допустимое давление на почву от 20 % до более чем двукратного. В то же время шины высокого давления большегрузных автомобилей (МАЗ, КамАЗ) могут превышать допустимое давление в 6-8 раз [3].

Колени, создаваемые в процессе возделывания озимой пшеницы опрыскивателями, а также зерноуборочными комбайнами и автомобилями создают на поле неровности, минимальный и максимальный размер которых соответственно равен 0,0490 и 0,0742 м [3].

Наряду с ущербом от деградации почвы и ростом энергозатрат на ее обработку, неровности почвы вынуждают ограничивать рабочую скорость агрегатов при лущении стерни и исключать рекомендуемые и наиболее эффективные для качества лущения направления движения агрегатов (под углом 60-90° относительно проходов уборочных и транспортных средств).

Наибольшее давление на почву оказывают большегрузные автомобили. При достигнутых в южных степных регионах высоких урожаях заполнение и выгрузка зерна из бункера происходят практически на каждом проходе комбайна по полю, а при урожайностях более 80 ц/га – возможно по две выгрузки, т. е. число проходов по полю транспортных средств сопоставимо с числом

проходов комбайнов.

Известен ряд следующих рекомендаций, направленных на снижение уплотнения почвы транспортными средствами:

- рекомендации водителям грузовых машин, работающих на вывозе зерна, по использованию колеи, остающейся после прохода комбайна. И только при параллельной приемке зерна из бункера им разрешается ехать рядом с комбайном. При ожидании загрузки машины также должны стоять на технологической колее, а не просто на краю поля. Это позволяет сократить общую уплотняемую площадь (там, где еще не прошла сельхозтехника). Но в отечественных условиях, по ряду причин, реализация данной, вполне разумной рекомендации, маловероятна;

- ряд исследователей считают необходимым запретить допуск большегрузных автомобилей на поля. Однако при наблюдаемой тенденции роста вместимостей бункеров современных комбайнов вместимость кузовов автомобилей не может быть меньшей. В противном случае это вызовет снижение производительности технических средств, вызовет рост их потребности и ухудшит экономические показатели;

- наряду с этим, согласно результатам оценок ряда исследователей, в последние годы прослеживается тенденция необоснованного завышения вместимости бункеров комбайнов. Вполне очевидно, что выбор вместимости бункеров в обоснованных оптимальных пределах будет способствовать как снижению затрат энергии на передвижение комбайна, так и сократит требуемую вместимость транспортных средств;

- в производственной практике в ряде случаев, особенно при высокой влажности почвы, применяются уборочно-транспортные процессы, исключющие проезды автомобилей по полю. Так, согласно каталогу продукции компании «Лилиани», известен способ уборки зерновых культур прямым комбайнированием с выгрузкой зерна на краю поля из бункера комбайна в кузов автомобиля вне зависимости от степени его заполнения, если зерно от очередного последующего прохода по полю не сможет вместиться в бункер. Однако,

как было показано в п. 1.2, в условиях южных степных регионов это приведет к снижению эффективности, как комбайнов, так и автомобилей из-за роста числа остановок комбайна для выгрузок зерна с соответствующими потерями времени и сменной выработки;

- в последние годы многие исследователи решение проблемы переуплотнения почвы при уборке зерновых культур связывают с использованием бункера-перегрузчика, который представляет собой тракторно-транспортный агрегат с меньшим, чем у большегрузных автомобилей удельным давлением на почву. Бункер-перегрузчик осуществляет сборочно-транспортный процесс в пределах поля, передвигается к месту остановки комбайна для выгрузки зерна (или передвигается рядом с комбайном при выгрузке зерна на ходу), осуществляет вывоз зерна на край поля как минимум от двух комбайнов, где перегружает зерно в кузов большегрузного автомобиля [16]. Данный способ позволяет исключить проезды автомобилей с высоким удельным давлением двигателей по полю при сохранении высокой производительности комбайнов и автомобилей при отвозе зерна на ток. Но при этом требуются существенные затраты на приобретение дорогостоящего бункера-перегрузчика. Так, реализуемый фирмой ООО «Агроэффект» бункер-перегрузчик с ёмкостью кузова 24 м<sup>3</sup> и грузоподъемностью 18 т стоит около 2,0 млн. руб., а с ёмкостью кузова 31 м<sup>3</sup> и грузоподъемностью 24 т – более 2,5 млн. руб. Очевидно, что при указанных грузоподъемностях бункеры-перегрузчики, наряду с решением вопросов организации бесперебойного вывоза зерна от комбайнов, как это отмечено в опубликованном фирмой материале [17] вряд ли обеспечат радикальное решение проблемы переуплотнения почвы транспортными средствами при уборке. В конкурентной борьбе за производительность фирмы-производители зерноуборочных комбайнов выпускают новые модели комбайнов, значительно превышающие установленные нормы воздействия двигателей на почву из-за большой вместимости бункеров (до 10-12 м<sup>3</sup>) и металлоемкости, что отмечено в процитированной выше статье Дьячкова А. П. и др. [3]. Поэтому среди предлагаемых направлений снижения уплотнения почвы ключевым является отказ

от тяжелой техники для механизации растениеводства, особенно тяжелых самоходных комбайнов [18]. Очевидно, что это также можно отнести к указанным бункерам-перегрузчикам (проектируемым под параметры новых комбайнов), т. к. для транспортировки заполненного зерном бункера-перегрузчика вместимостью 24-31 м<sup>3</sup> необходим мощный трактор с соответствующей массой.

Поочередное воздействие на почву колес трактора и бункера-перегрузителя также негативно воздействует на почву, тем не менее, оптимальным считается следующее трехэтапное построение уборочно-транспортного процесса [8, 19]:

- а) сбор зерна комбайном по площади поля;
- б) сбор зерна мобильным бункером-накопителем от комбайнов и доставка на край поля;
- в) погрузка зерна в автомобиль повышенной грузоподъемности и доставка от края поля на ток.

Исходя из того, что, в настоящее время все серийно выпускаемые и применяемые в сельском хозяйстве автомобили существенно превышают допустимое давление на почву, учеными ВИМ предлагается разработка автомобиля КамАЗ на сменном гусеничном движителе [20]. Однако, при всей потенциальной эффективности внедрения единичных экземпляров таких транспортно-технологических машин, они не получили широкого распространения в дальневосточном регионе по причине малого ресурса металлозвенчатой гусеницы и низкой эксплуатационной надежности самой гусеничной ходовой тележки [21].

Таким образом, наиболее радикальным предложением, способным в настоящее время решить проблему уплотнение почвы при уборке зерновых колосовых культур ходовыми органами большегрузных транспортных средств является исключение их выезда на поля. Это возможно при выгрузках зерна на краю поля независимо от степени заполнения бункера комбайна, но при существенном снижении сменной выработки комбайна.

В настоящее время нет способа уборки зерновых культур с выгрузкой зерна на краю поля без заезда на поле транспортных средств (как автомобилей, так и бункеров-перегрузчиков), обеспечивающего заполнение всего объема бункера комбайна при его подходе к краю поля и при его работе без снижения производительности.

Решение данной проблемы может быть найдено на основе нового способа уборки зерновых колосовых культур.

### **3 Теоретическое обоснование предлагаемого способа уборки с разгрузкой заполненного бункера на краю поля**

При малых длинах гона (до 300-350 м), особенно при небольших урожайностях для заполнения бункера комбайна требуются многократные рабочие проходы по полю, поэтому визуально или при помощи расчета по элементарным формулам возможно определение допустимого числа проходов с выгрузкой на одной стороне поля. При этом, в сравнении с традиционным способом уборки, уменьшение наработки комбайна от некоторого роста числа остановок для выгрузки зерна (из-за недостаточно заполненного бункера) будет незначительным.

На полях с большими длинами гона и урожайностями бункер комбайна может быть заполнен как при двух-трех проходах по полю, так и до окончания первого прохода. При этом, при выгрузке зерна на краю поля бункер может быть заполнен от 0,50 до 0,95 его объема.

В последние годы в южных степных регионах страны благодаря достижениям селекции, новым технологиям и росту объемов применяемых удобрений существенно увеличились урожайности зерновых культур. Данное изменение опережает переоснащение большинства хозяйств новыми комбайнами с большей пропускной способностью молотильно-сепарирующих устройств (МСУ). Поэтому оптимальная загрузка молотилок большинства существующих в хозяйствах комбайнов происходит на сравнительно небольших рабочих скоростях. Лишь на полях с невысокой урожайностью для загрузки МСУ необходимо увеличивать рабочую скорость до допустимых по агротребованиям значений.

Исходя из этого, в подавляющем большинстве случаев по условиям выравнивания поля зерноуборочный комбайн потенциально имеет возможность использования увеличенной рабочей скорости. Данное обстоятельство открывает возможность сочетания высокопроизводительной работы комбайна с заполнением бункера при его подходе к краю поля и выгрузкой зерна в



кузов автомобиля на краю поля благодаря выбору сочетания рабочей ширины жатки (при частичном ее движении по скошенному хлебостоя) и рабочей скорости.

При полной ширине захвата жатки при базовой (загонной) схеме работы заполнение объема бункера  $Q$ , м<sup>3</sup> прямо пропорционально зависит от урожайности зерна на поле, ширина захвата жатки и длины прохода комбайна, обратно пропорционально от насыпной объемной массы зерна и определяется по формуле:

$$Q = \frac{Y \cdot B_{\text{р.о.}} \cdot L_{\text{пх}}}{\gamma} \quad (1)$$

где  $Y$  – урожайность зерна на поле, кг/м<sup>2</sup>;

$B_{\text{р.о.}}$  – ширина захвата жатки, м;

$L_{\text{пх}}$  – длина прохода комбайна для заполнения бункера, м;

$\gamma$  – насыпная объемная масса зерна, кг/м<sup>3</sup>.

Из (1) находим выражение длины прохода комбайна  $L_{\text{пх}}$  по полю до заполнения бункера зерном:

$$L_{\text{пх}} = \frac{Q \cdot \gamma}{Y \cdot B_{\text{р.о.}}} \quad (2)$$

Число проходов по полю  $n$  до заполнения бункера может быть найдено путем деления длины прохода комбайна  $L_{\text{пх}}$  на длину гона:

$$n = \frac{L_{\text{пх}}}{L_{\text{Г}}} \quad (3)$$

где  $L_{\text{Г}}$  – длина гона, м.

В подавляющем большинстве случаев, в зависимости от сочетания урожайности, длины гона, ширины жатки и вместимости бункера, данное значение не является целым числом, что и вызывает необходимость проездов по

полю транспортных средств для приема зерна из заполненных бункеров комбайнов туда, где произошло заполнение бункера.

Заполнение всего объема бункера при подходе комбайна к краю поля возможно при проходе расстояния, цельнократного длине гона данного поля  $n \cdot L_{\Gamma}$ , для чего значение  $n$ , полученное от деления  $L_{\text{пх}}$  на длину гона  $L_{\Gamma}$ , необходимо округлять до ближайшего большего целого числа (данное действие выражается соответствующим математическим знаком –  $\lceil n \rceil$ ).

При использовании неполной рабочей ширины жатки возможно заполнение бункера за целое число проходов  $\lceil n \rceil$ , т. е. поступление в бункер объема зерна  $Q$ :

$$Q = \frac{Y \cdot B_{\text{р.х.}} \cdot L_{\Gamma} \cdot \lceil n \rceil}{\gamma} \quad (4)$$

где  $B_{\text{р.х.}}$  – неполная рабочая ширина жатки, м.

Из равенства правых частей выражений (1) и (4) можно определить рабочую ширину жатки  $B_{\text{р.х.}}$ , при которой заполнение всего объема бункера комбайна будет происходить при его подходе к краю поля (к концу гона):

$$B_{\text{р.х.}} = \frac{B_{\text{р.о.}} \cdot L_{\text{пх}}}{\lceil n \rceil \cdot L_{\Gamma}} \quad (5)$$

Как видно из выражения (5), неполная рабочая ширина захвата жатки комбайна  $B_{\text{р.х.}}$  зависит от величины полной ширины захвата жатки  $B_{\text{р.о.}}$ , длины прохода  $L_{\text{пх}}$ , необходимой для заполнения бункера при использовании полной ширины жатки и от расстояния, соответствующего ближайшему большему целому числу гонов, т. е. кратного длине гона  $\lceil n \rceil \cdot L_{\Gamma}$ .

Сохранение фактической подачи хлебной массы в молотилку комбайна при уменьшении рабочей ширины жатки возможно за счет соответствующего увеличения рабочей скорости, что вытекает из выражения фактической пода-

чи в МСУ через рабочую ширину захвата жатки, рабочую скорость и урожайность.

Фактическую подачу в МСУ  $q$  (кг/с) в базовом варианте работы вычисляют по формуле:

$$q = B_{p.o.} \cdot V_1 \cdot \mathcal{U} \quad (6)$$

где  $V_1$  – рабочая скорость в базовом варианте работы комбайна, м/с.

Фактическая подача в МСУ в варианте работы с уменьшенной рабочей шириной жатки и увеличенной рабочей скоростью может быть получена по формуле:

$$q = B_{p.x.} \cdot V_2 \cdot \mathcal{U} , \quad (7)$$

где  $V_2$  – рабочая скорость в новом варианте работы комбайна, м/с.

Из условия равенства фактической подачи в базовом и новом вариантах, т. е. из равенства правых частей формул (6) и (7) находим выражение для расчета увеличенной рабочей скорости:

$$V_2 = \frac{B_p \cdot V_1}{B_{p.x.}} \quad (8)$$

Таким образом, заполнение всего объема бункера комбайна при его подходе к краю поля (к концу гона) возможно при использовании неполной ширины жатки, определяемой по формуле (5), а сохранение фактической подачи в МСУ комбайна (и соответственно производительности комбайна за единицу времени основной работы) – за счет увеличения его рабочей скорости, определяемой по формуле (8).

Таким образом, отличительными признаками предлагаемого нового способа комбайнирования (приложение А) с выгрузкой полного бункера на краю поля [22] является новая совокупность последовательных действий, содержащая:

- определение урожайности зерна на поле и рабочей скорости применяемого зерноуборочного комбайна (в условиях данного поля по уровню допу-

стимых потерь зерна) при использовании всей ширины его жатки;

- расчет рабочей ширины жатки применяемого комбайна для обеспечения наполнения бункера комбайна при его проходе расстояния, кратного длине гона, т. е. при подходе к границе поля и соответствующей увеличенной рабочей скорости, 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 без заездов на поле;

- осуществление рабочих проходов комбайна челночным способом.

#### **4 Сравнительные показатели эксплуатационно-технологической оценки комбайнов и автомобилей при предлагаемом способе уборки**

Сущность предлагаемого способа уборки заключается в применении новой совокупности взаимосвязанных режимов работы зерноуборочных комбайнов (рабочая ширина жатки и рабочая скорость), определяемой в зависимости от условий поля (урожайности, длины гона), а также работой комбайна челночным способом (без холостых переездов в пределах загонок) во всех сочетаниях полевых условий при исключении проездов по полю транспортных средств.

Опыты в базовом и новом вариантах работ проведены на одном поле с одним и тем же комбайном согласно методике (см. п. 1.4).

Для практической проверки предлагаемого технологического приема в сравнении с базовым способом уборки был использован зерноуборочный комбайн Десна-Полесье GS-12 с жаткой захватом 7 м и автомобиль ЗИЛ-4331 грузоподъемностью 6 т.

Для обеспечения визуализации механизатором положения жатки относительно края хлебостоя при работе комбайна в условиях нового технологического приема ось мотовила жатки по окружности была окрашена полосами трех цветов, ярко контрастирующих с основными цветовыми тонами жатки и хлебостоя колосовых культур (рисунок 6).

Ширина чередующихся полос не закрашенного фона и цветных полос составила 10 см, что вполне достаточно для удовлетворительного вождения комбайна с рассчитанными параметрами рабочего захвата жатки. Общая ширина закрашенного участка с каждой стороны составила 2,2 м. При проведении расчетов учитывалось, что общая ширина жатки с каждой стороны на 0,2 м больше ширины мотовила за счет отклонения растений делителями к режущему аппарату и мотовилу. Постоянное присутствие в поле зрения механизатора ярких цветных полос не привело к дискомфорту зрительного восприятия им рабочего пространства.



Рисунок 6 – Вид левого блока цветных полос с рабочего места механизатора

Полевые исследования проведены в период уборки озимой пшеницы на полях валидационного полигона КубНИИТиМ. Особенности созревания культуры в начале уборочной компании привели к тому, что по периметру полей были оставлены для дозревания полосы хлебостоя шириной 30-50 м, что привело к серьезному изменению длин рабочих гонов при условии выполнения всех остальных подготовительных мероприятий (обкосов, прокосов, противопожарной распашки и др.). Установленная из соображений обеспечения полноты сбора зерна и допустимых потерь зерна скорость движения комбайна составляла 3 км/ч.

#### **4.1 Результаты сравнительной оценки комбайна в базовом и новом способах уборки**

Эксперимент по сравнительной оценке работы комбайна челночным способом с неполным захватом жатки в новой технологии уборки был проведен 25 и 26 июля в соответствии с методикой (см. п. 1.4).

Общая схема эксперимента представляла собой выполнение следующих действий:

- выполнение пробного прокоса с полным захватом жатки с выгрузкой урожая и взвешиванием;
- выполнение обратного рабочего прохода для возвращения комбайна

на исходную позицию, т. е. на сторону поля, предназначенную для выгрузки зерна;

- проведение (после получения данных об урожае с пробного прокоса) расчетов по разработанной программе «Захват жатки», установленной на планшете с определением уменьшенной ширины жатки и соответствующей повышенной рабочей скорости;

- выполнение основной части эксперимента – смежных челночных проходов комбайна с неполным захватом жатки (рисунок 7) в сравнении с общепринятой загонной схемой движения с выгрузкой зерна из каждого заполненного бункера и его взвешивания.



Рисунок 7 – Комбайнирование с неполным захватом жатки

В качестве базового варианта принята используемая в хозяйстве загонная индивидуальная схема работы комбайна со следующими параметрами – четыре круга работы «в раскос» и три круга «в свал» (рисунок 8).

Условия проведения сравнительного эксперимента соответствовали типичным, складывающимся при уборке озимой пшеницы в центральной зоне Краснодарского края (таблица 5).



Рисунок 8 – Комбайнирование по базовому варианту – «в раскос» с полным захватом жатки

Таблица 5 – Условия проведения сравнительного эксперимента с комбайном Полесье GS 12 на поле I<sub>2</sub> 25.06.2019 г.

Наименование показателя	Значение показателя
<i>Общие характеристики</i>	
Культура, сорт	Озимая пшеница «Ганя»
Способ уборки	Прямое комбайнирование
Тип почвы	Предкавказский слабовыщелоченный чернозем
Рельеф, микрорельеф	Ровный, выровненный
Влажность почвы в слое от 0 до 10 см, %	18,45
Твердость почвы в слое от 0 до 10 см, МПа	1,25
<i>Характеристика убираемой культуры</i>	
Высота, см:	
- растения;	87,0
- стерни	9,7
Потери зерна от самоосыпания, г	0
Полеглость растений, %	5,4
Отношение массы зерна к массе соломы	1:1
Биологическая урожайность зерна, т/га	78,1
Масса 1000 зерен, г	44,5
Влажность, %:	
- зерна;	13,2
- соломы	31,5
Засоренность культуры сорняками, %	0

Предварительная оценка соотношения урожайности культуры, сформированных длин гонов и параметров комбайна, выделенного для эксперимента, показала, что основным наиболее предпочтительным способом движения комбайна по полю с неполным захватом жатки будет «круг-выгрузка», т. е. выгрузка на одном краю поля (при выборе соответствующей ширины рабочей части жатки по формуле 5 (см. п. 3).



Урожай с предварительного прокоса длиной 839 м при полном захвате жатки составил 4720 кг. В результате расчета по программе «Захват жатки» были получены следующие данные:

- урожайность – 81,3 ц/га;
- захват жатки – 4,6 м;
- скорость движения – 4,6 км/ч.

Разница между средними массами зерна в бункере по базовому варианту работы комбайна (при выгрузке полного бункера) и при работе с неполным захватом жатки и с выгрузкой на краю поля, полученными по результатам взвешивания на весовой хозяйства составляет 215 кг (таблица 6).

Таблица 6 – Масса зерна в бункере комбайна при работе по разным технологическим схемам

Порядковый номер взвешивания	Масса зерна в бункере, кг при работе	
	базовым способом	с неполным захватом жатки
1	6620	6460
2	6440	6240
3	6520	6300
4	6620	6380
5	6620	6280
6	6520	6340
7	6480	-
8	6560	-
Среднее значение, кг	6548	6333
Коэффициент вариации, %	1,1	1,2

Статистическая проверка по программе «Элементарный анализ данных» (разработка КубНИИТиМ) свидетельствует о том, что при 95 % значимости критерия Стьюдента различие между средними значениями масс является существенным, хотя для производственных условий разница в 3,4 % является вполне приемлемой. Тем не менее, степень заполнения бункера может быть повышена путем корректировки расчетной зависимости. Однако на начальном этапе освоения данной технологии работ для этого необходимо набрать больше экспериментальных данных о вариабельности массы собранного зерна в рабочих проходах.

Хронометраж элементов времени контрольной смены проведен с применением универсального хронометра ИП-287 [24] (рисунок 9).

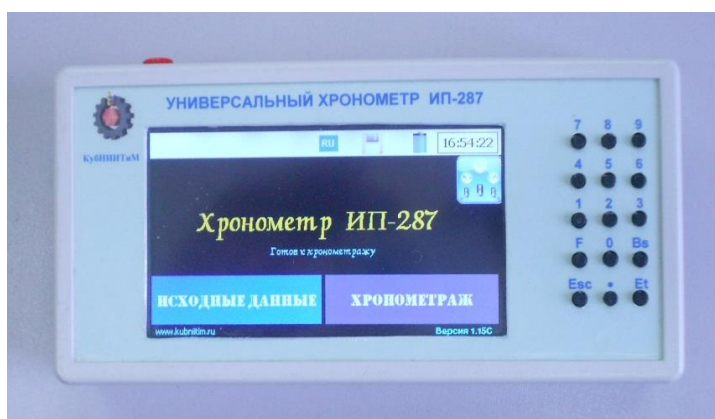


Рисунок 9 – Общий вид прибора «Универсальный хронометр ИП-287»

Определение длины гонов, географических координат характерных точек опытных участков проводилось с использованием навигатора Etrex (Garmin Ltd, США) (рисунок 10).



Рисунок 10 – Общий вид навигатора Etrex

При загонной работе комбайна Десна-Полесье GS-12 в базовом варианте на поле озимой пшеницы (см. рисунки 5 и 8) было выполнено четыре круга (восемь гонов) убранных «в раскос», и три круга (шесть гонов), убранных «в свал».

Пять из восьми мест выгрузки полного бункера локализованы в центральной части поля, на расстояниях 214-436 м от краев поля (расстояния на рисунке 8 указаны от «нижнего» края поля).

Подъезд автомобиля марки ЗиЛ 4331 (соотношение вместимостей бункер комбайна/кузов автомобиля – 1:1) осуществлялся с одной стороны поля (нижний край рисунка 5). При этом суммарная длина двустороннего (порожнего и с грузом) пробега автомобиля от ближайшей точки края хлебостоя к восьми местам выгрузки полного бункера комбайна составила 8,25 км (1,03 км в среднем на одну выгрузку).

Общий объём внутривоспользовательских грузоперевозок урожая в загонке (при средней массе полного бункера 6,55 т и без учета транспортирования по разворотной полосе) на данном участке оценивается в 27,0 т·км (3,4 т·км на одну выгрузку).

В базовом загонном способе работы комбайна холостые проезды при поворотах в пределах ширины загонок на исследуемом участке, состоящем из 14 гонов составили 252 м (19 м в среднем на каждый из 13 поворотов).

Расчет эксплуатационно-технологических показателей контрольных смен комбайна по вариантам опыта проведен с использованием компьютерной программы «Эксплуатационно-технологическая оценка» [23] (разработка КубНИИТиМ), реализующей положения ГОСТ 24055 [15] (рисунок 11, таблица 7).

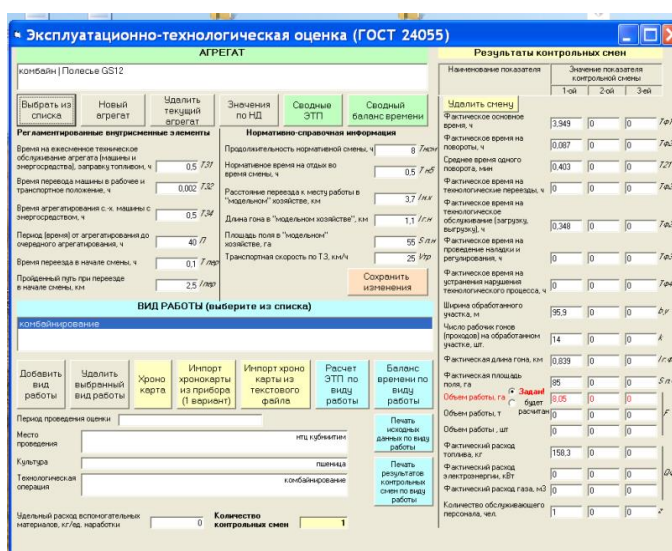


Рисунок 11 – Общий вид диалогового окна программы «Эксплуатационно-технологическая оценка»

Таблица 7 – Результаты хронометражных наблюдений и расчета эксплуатационно-технологических показателей комбайна

Наименование показателя	Значение показателя по варианту опыта		Изменение к базовому варианту, $\pm\%$
	с полной жаткой	с неполной жаткой	
Рабочая ширина захвата, м	6,9	4,6	-33
Скорость движения, км/ч	3,0	4,6	+53
Производительность за 1 ч времени, га:			
- основного;	2,0	2,1	+5
- сменного	1,5	1,6	0
Расход топлива, кг/га	12,8	16,7	+30,5
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:			
- коэффициент рабочих ходов;	0,981	0,975	-0,6
- технологического обслуживания;	0,919	0,884	-4,4
- использования сменного времени	0,75	0,74	-4,0

Результаты эксплуатационно-технологической оценки показывают, что, несмотря на некоторое ухудшение ряда эксплуатационно-технологических коэффициентов, в варианте с неполным захватом жатки и выгрузкой зерна на краю поля получено повышение производительности за 1 ч сменного времени с 1,5 до 1,6 га/ч, т. е. на 6,7 %. Однако в новом варианте получено значительное повышение расхода топлива – с 12,8 до 16,7 кг/га. Вероятно это связано с увеличением сопротивления на передвижение комбайна при увеличенной скорости (4,6 км/ч вместо 3,0 км/ч), но требует дополнительных оценок при последующих опытах.

Детальный анализ структурных элементов сменного времени (поворотов, выгрузок) показывает, что большие значения этих показателей в новом варианте опыта с частью жатки обусловлены большим на единицу числом выгрузок (из-за несколько меньшего заполнения бункера зерном и возросшим более чем в 1,5 раза числом поворотов (таблица 8) из-за увеличенной скорости.

Однако продолжительность маневрирования и остановки комбайна для выгрузки зерна в новом варианте почти вдвое меньше, т. к. автомобиль заведомо располагается у края загонки и не выезжает на поле.

Таблица 8 – Детализация некоторых элементов сменного времени

Наименование элемента времени	Число и среднее значение элемента времени, с по вариантам опыта	
	базовый	с частью жатки
Повороты	21/25	32/22
Маневрирование и остановка для выгрузки	15/45	16/23
Выгрузка бункера	15/139	16/137

Анализ времени поворотов в рассматриваемых вариантах опыта показывает, что при движении в загонке «в раскос» время поворота находится в прямой зависимости от длины прямолинейного участка (таблица 9, рисунок 12).

Таблица 9 – Зависимость времени поворота комбайна от номера гона при комбайнировании «в раскос»

Номер поворота	Расстояние между осевыми линиями прохода комбайна, м	Время поворота, с
1	6,9	38
2	13,8	22
3	20,7	23
4	27,6	25
5	34,5	28
6	41,4	31
7	48,3	31
Среднее значение	-	28

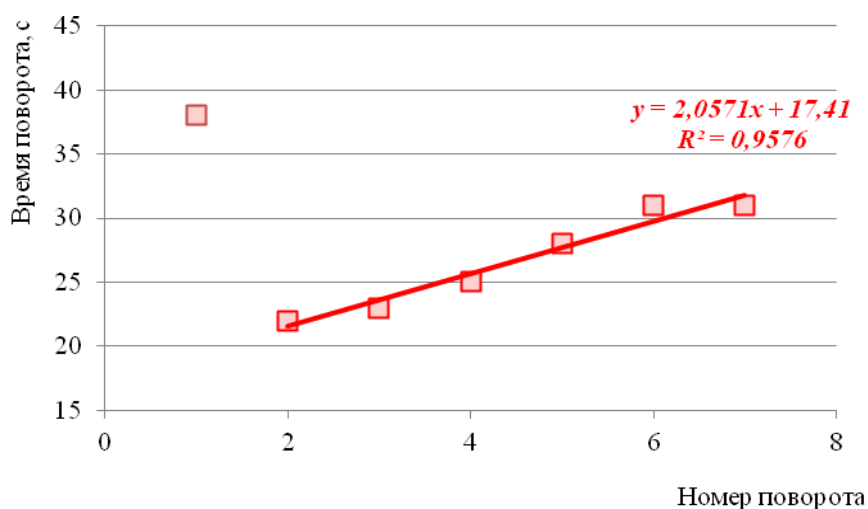


Рисунок 12 – Зависимость времени поворота комбайна от номера поворота при работе в загонке «в раскос»

Продолжительность поворота (от второго до седьмого) в базовом способе увеличивается с 22 до 30 с (в среднем 26 с), в новом способе – в среднем 22 с без закономерных изменений.

#### **4.2 Эксплуатационная эффективность автомобиля и уборочно-транспортного звена при предлагаемом способе уборки**

Известно, что выбор количественного состава транспортного звена проводят исходя из производительности основного звена, т. е. зерноуборочного комбайна [25]. При этом, с увеличением расстояния от тока до поля потребное количество транспортных средств также возрастает.

В полевом опыте работы комбайна по базовому и по новому способу хронометражные наблюдения были выполнены как за комбайном, так и за автомобилем.

Расстояние от края поля номер  $I_2$  до тока было равно 2,6 км, что позволило обслуживать комбайн одним автомобилем. При этом средняя скорость движения автомобиля по полевым дорогам с грузом была равна 57,4 км/ч, а без груза – 64,7 км/ч. При движении автомобиля по стерне (в базовом способе) скорость автомобиля составила 17,5 км/ч или (4,86 м/с).

В новом способе автомобиль в ожидании подхода комбайна к краю поля находился в среднем 5,94 мин. Среднее время на выгрузку зерна на току – 3,13 мин. Потери времени на переезд к комбайну (413 м) по полю (туда и обратно) в базовом способе в среднем составляют 47 с (или 0,79 мин).

Слагаемые затрат времени цикла автомобиля:

- в базовом способе на движение поле-ток с грузом – 2,71 мин, без груза – 2,41 мин, выгрузка на току – 3,13 мин, проезд по полю (туда и обратно) – 0,79 мин;

- в новом способе – движение на ток с грузом – 2,71 мин, без груза – 2,41 мин, выгрузка на току – 3,13 мин, проезд по полю (туда и обратно) – 0,0 мин;

Исходя из этого время цикла автомобиля:

- в базовом способе – 9,04 мин;
- в новом способе – 8,25 мин, т. е. на 0,79 мин меньше.

Лимит времени, задаваемый комбайном на прохождение одного и двух гофов:

- в базовом способе – 16,76 мин и 33,52 мин (и 26 с на поворот);
- в новом способе – 10,92 мин и 21,84 мин (и 22 с на поворот).

Исходя из экономии данных затрат времени было определено дополнительное расстояние «плеча перевозки зерна» при работе по новому способу:

Принимая среднюю скорость при движении с грузом и без – 61,05 км/ч., получим дополнительное расстояние «плеча перевозки зерна», которое будет равно произведению средней скорости на половину экономии времени, т. е. 1441 м.

С учетом экономии времени (0,79 мин) от исключения проезда по полю и ожидания комбайна (5,94 мин) из-за небольшой удаленности опытного поля (2,6 км) предельное расстояние бесперебойного обслуживания комбайна одним автомобилем в новом способе равно 5,7 км, а двумя автомобилями – до 11,4 км. При базовом способе работы данные расстояния на 32,5 % меньше, т. е. соответственно 4,3 и 8,6 км.

Таким образом, применение нового способа позволяет увеличить бесперебойное обслуживание комбайна автомобилем ЗИЛ на расстоянии 5,7 км вместо 4,3 км в базовом варианте (рисунок 13).

Транспортное обслуживание одного зерноуборочного комбайна осуществляется в хозяйствах с ограниченными площадями зерновых колосовых культур. В хозяйствах и бригадах с оптимальными размерами посевных площадей в подавляющем большинстве случаев используют крупногрупповой способ работы комбайнов и автомобилей.

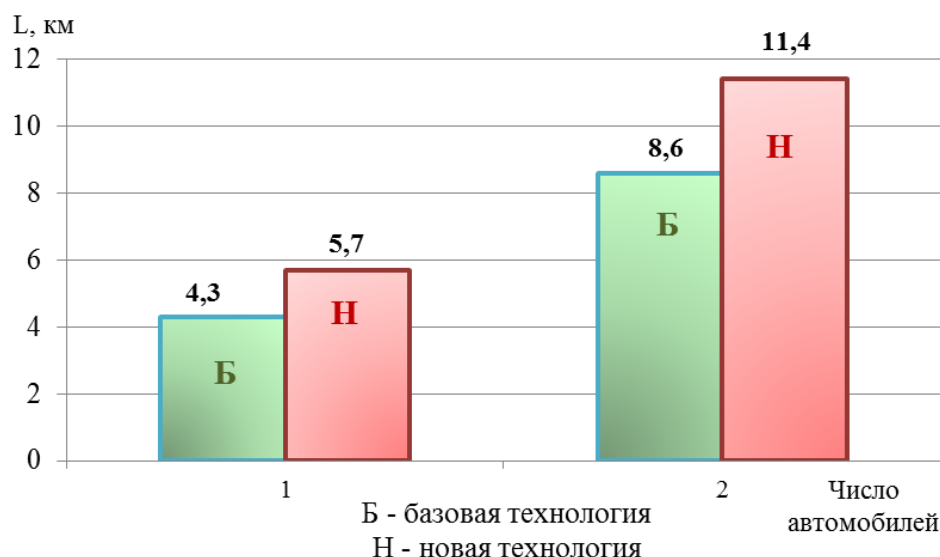


Рисунок 13 – Предельные расстояния перевозок зерна от комбайна на ток из условий его бесперебойной работы

В условиях валидационного полигона КубНИИТиМ уборочно-транспортный комплекс состоит из шести зерноуборочных комбайнов и шести автомобилей. Состав транспортного звена обеспечивает бесперебойную работу комбайнов на самых удаленных полях при некоторых потерях времени в ожидании заполнения бункера у очередного комбайна и приема зерна. Это свидетельствует о некоторой избыточности числа автомобилей транспортного звена для исключения простоев комбайнов от возможной неритмичности заполнения бункеров.

Согласно проведенным расчетам, при разгрузке заполненных бункеров на краю поля (по предложенному способу) за счет исключения потерь времени на передвижение автомобилей по полю бесперебойная работа уборочного звена из шести комбайнов обеспечивается при меньшем числе автомобилей (пять вместо шести).



## 5 Экономическая эффективность нового способа уборки

Площади зерновых колосовых культур в южных степных регионах страны составляют около половины посевных площадей. В Краснодарском крае зерновые колосовые занимают около 1,5 млн. га. Этим определяются потенциальные объемы применения предлагаемой технологии и возможные объемы эффективности.

Основным условием, обеспечивающим применение предлагаемого способа уборки зерновых культур, является наличие прямоугольных полей. Такие условия в наибольшей степени характерны для центральной зоны Краснодарского края.

Экономическую эффективность новой технологии обеспечивают следующие особенности предлагаемой технологии:

1) снижение техногенного воздействия на почву при уборке зерновых колосовых культур за счет исключения проездов по полю транспортных средств.

Известно, что при замене большегрузных автомобилей на бункеры перегружатели при вывозе зерна от комбайнов на край поля удельное сопротивление при дальнейших обработках почвы снижается на 30-40 %, что создает условия для экономии топлива [8].

Согласно [4] по критерию превышения сопротивления почвы вспашке техника может быть разделена на три группы, к одной из которых можно отнести гусеничные тракторы (Т-150 и др.) и колесный МТЗ-80, давление на почву которых составляет 138-169 кПа. По следам этих тракторов сопротивление вспашки повышается на 11,9-25,3 %. Ко второй группе можно отнести тяжелые колесные тракторы Т-150К и К-701, давление на почву которых составляет 180-205 кПа и превышение сопротивления вспашке составляет 43,6-43,9 %. К третьей группе следует отнести комбайн СК-6, автомобили ЗИЛ-130Б с давлением на почву 300-350 кПа, а также тракторы К-701 и Т-150К, перемещающиеся с номинальной тяговой нагрузкой, прирост сопротивления вспашке по следам которых равен 60-65 %. Еще одна группа вклю-

чает транспортные агрегаты, максимальное давление которых достигает 407 кПа, а число проходов колес по одному следу равно 4-7, прирост сопротивления вспашке по следам которых равен 72-90 %.

Таким образом, согласно [4] следы комбайна СК-6 (предшественник Дон-1500) и автомобиля ЗИЛ-130Б, вмещающего не более одного бункера зерна, увеличивают сопротивление вспашке на 60-65 %, а многоколесные транспортные агрегаты (автомобили повышенной грузоподъемности, а также некоторые бункеры-перегрузжатели зерна) – на 72-90 %.

Согласно предварительным оценкам, 34-37 % площади поля при уборке уплотняется следами комбайнов и автомобилей, из них две трети – комбайнами и одна треть – автомобилями с повышением сопротивления вспашке на 60-90 % (в зависимости от грузоподъемности автомобиля). Исключение проездов автомобилей по полю позволяет сохранить от переуплотнения 11-12 % площади поля. При этом перерасход топлива при вспашке составит, согласно нормативам с разными сопротивлениями почвы [26], 7,5 кг/га или в расчете на единицу убираемой площади 0,9 кг/га.

Наряду с исключением уплотнения почвы большегрузными автомобилями в новом способе увеличивается площадь уплотнения почвы колесами комбайна. В зависимости от расчетного значения уменьшенной рабочей ширины жатки, например 4,6 м вместо 6,85 м, уплотняемая ходовыми органами комбайна площадь поля может увеличиваться на 10,7 % (с 21,9 до 32,6 %). Однако, в зависимости от сочетаний урожайности, длины гона, вместимости бункера и ширины жатки комбайна величина уменьшаемой части жатки на разных полях равновероятна в пределах от 0,10 до 2,3 м, а величина давления колес комбайна значительно меньше, чем большегрузного автомобиля. В зависимости от условий уборки на разных полях рабочая ширина жатки должна быть уменьшена в среднем на 1,1 м, что соответствует приросту уплотняемой комбайном площади на 5,3 %.

Переуплотнение почвы оказывает как прямое отрицательное действие на урожайность следующей культуры, так и последствие за счет увеличения

пылевидной фракции, ухудшения нитрификационных процессов, уменьшения влагоемкости и других факторов, вызываемых уплотнением почвы [4]. В связи со сложностью и высокой трудоемкостью экспериментального определения повышения продуктивности посевов от исключения проездов автомобилей по полям, воспользуемся результатами известных оценок.

Известно повышение урожайности различных культур на 15-45 % [27] за счет снижения переуплотнения и распыления почвы, а также снижения плотности плужной подошвы за счет снижения массы комбайнов при движении по полю во время уборки и запрещения движения автомобилей с шинами высокого давления (0,6-0,9 МПа), благодаря сбору урожая в мобильные бункеры-накопители из бункеров комбайнов и перегрузкой его на краю поля в транспортные средства большой грузоподъемности. Исходя из этого, сохранение от переуплотнения 11-12 % площади поля в предлагаемой технологии может обеспечить повышение урожайности различных культур на 1,7-5,4 %. В первую очередь это относится к сельскохозяйственным культурам, высеваемым в летне-осенний период на убранных полях озимой пшеницы (озимый рапс, озимый ячмень, многолетние травы, а также пожнивные посева).

2) обеспечение стабильности рабочих циклов автомобилей, увеличение плеча перевозок зерна от комбайнов и сокращение их потребности.

За счет исключения движения автомобиля по полю увеличение плеча перевозок зерна составляет 32,5 % (п. 4.2), а сокращение числа автомобилей при групповой работе комбайнов на одном поле за счет стабильности рабочих циклов и более точного их планирования в среднем на один автомобиль (с шести до пяти автомобилей).

Экономическая оценка сокращения потребности в автотранспорте проведена применительно к условиям уборки озимой пшеницы – на валидационном полигоне КубНИИТиМ на площади 1100 га в течение 12 дней, с продолжительностью работы в день – 14 ч. Необходимая потребность в технике при базовом способе уборки составляет шесть комбайнов и шесть грузовых автомобилей (из них четыре грузовых автомобиля грузоподъемностью 7 т и два

грузовых автомобиля грузоподъемностью 15 т).

По результатам эксплуатационно-технологической оценки, проведенной по данным полевых испытаний, при применении предлагаемой технологии по сравнению с базовым способом потребность в автотранспорте снижается на один грузовой автомобиль грузоподъемностью 7 т. Это приводит к изменениям потребности в капитальных вложениях, потребности в обслуживающем персонале (водителях) и, как следствие, в оплате труда обслуживающего персонала (таблица 10).

Таблица 10 – Экономическая эффективность от снижения числа автомобилей

Наименование показателя	Значение показателя по способу уборки	
	базовый	предлагаемый
Потребность в грузовых автомобилях, шт., грузоподъемностью: - 7 т; - 15 т	4 2	3 2
Цена грузового автомобиля, тыс. руб., - самосвал зерновоз КамАЗ-43255 Евро 5 (грузоподъемностью 7 т); - самосвал «сельхозник» КамАЗ-45144 (грузоподъемностью 15 т)	2 849 3 700	
Капитальные вложения, тыс. руб.	18 796	15 947
Потребность в обслуживающем персонале, чел.	6	5
Средняя тарифная ставка водителя грузового автотранспорта, руб.	99,36	
Фонд оплаты труда водителей за период уборки, тыс. руб.	116,8	97,4
Коэффициент социальных отчислений от размера заработной платы	1,32	
Общий фонд оплаты труда водителей за период уборки, тыс. руб.	154,2	128,5

При применении предлагаемого способа уборки вместо базового капитальные вложения в необходимое число грузовых автомобилей снижаются на 2 849 тыс. руб. или на 15,1 %; общий фонд оплаты труда водителей за период уборки снижается на 25,7 тыс. руб. или на 16,6 %.

Таким образом, предлагаемый способ загрузки грузового автотранспорта экономически более эффективен по сравнению с базовым способом, что говорит о целесообразности его применения на уборке озимой пшеницы.

Еще одним положительным свойством новой технологии является повышение производительности за счет сокращения «клиньев» и исключение проходов с недостаточной загрузкой молотилки, т. к. с каждого прокоса одновременно два комбайна могут работать челночным способом, продвигаясь в разные стороны поля. А еще два комбайна аналогично могут работать, продвигаясь к середине поля. Для звена из шести комбайнов целесообразно делать два прокоса с делением массива на три равные части.

Экономические показатели комбайнов в сравниваемых вариантах уборочного звена (таблица 11) были получены на основе показателей эксплуатационно-технологической оценки.

Таблица 11 – Показатели экономической оценки сравниваемых вариантов уборочного звена

Наименование показателя	Значение показателя по варианту уборочного звена	
	базовый	предлагаемый
<i>Исходные данные для проведения расчетов по экономической оценке</i>		
Производительность за 1 ч времени, га/ч:		
- основного;	2,0	2,1
- сменного	1,5	1,6
Расход топлива, кг/га	12,8	16,7
Цена комбайна, руб.	5 113 142	
<i>Показатели экономической оценки (на 1100 га)</i>		
Потребность:		
- в МТА, шт.;	6	6
- в механизаторах, чел.;	6	6
- в капитальных вложениях, тыс. руб.	30 679	30 679
<i>Показатели экономической оценки (на 1 га)</i>		
Затраты труда, чел.-ч	0,67	0,62
Расход топлива, кг	12,8	16,7
Эксплуатационные затраты, руб.	3 670	3 706

Наряду с большей производительностью комбайна при работе новым способом (1,6 га/ч вместо 1,5 га/ч) и меньшим затратам труда (0,62 чел.-ч/га вместо 0,67 чел.-ч/га) эксплуатационные затраты в новом варианте получены выше, чем в базовом варианте на 36 руб./га из-за большего расхода топлива, вызванного вероятно большей рабочей скоростью комбайна (соответственно 4,6 и 3,0 км/ч). Однако, как было отмечено выше, расчетное значение умень-

шенной ширины жатки и увеличенной скорости зависит от урожайности и длины гона на конкретном поле и от вместимости бункера применяемого комбайна. Поэтому прирост скорости при работе новым способом на разных полях в среднем составит 0,8-0,9 км/ч при соответствующем меньшем приросте расхода топлива на передвижение комбайна.

Эксплуатационные затраты при работе комбайна по новому способу незначительно превышают показатель базового способа – соответственно 3 706 руб/га и 3 670 руб/га (около 1 %).

Экономический эффект также выражается:

- в снижении капитальных вложений в необходимое количество грузовых автомобилей на 15,1 % и в снижении фонда оплаты труда водителей за период уборки зерновых колосовых культур на 16,6 %;

- в снижении затрат дизельного топлива на вспашку переуплотненной автомобилями почвы на 0,9 кг/га в расчете на единицу убираемой площади;

- повышение урожайности на 1,7-5,4 % различных культур, высеваемых в летне-осенний период на убранных полях озимой пшеницы без их уплотнения транспортными средствами (озимый рапс, озимый ячмень, многолетние травы, а также пожнивные посевы).

## **6 Рекомендации для специалистов АПК по применению нового способа уборки**

Область применения – агропромышленные предприятия южных степных регионов страны.

Подготовительные операции заключаются:

- в нанесении на ось мотовила комбайнов (начиная с краев) разметки в виде контрастирующих друг с другом и с хлебостоем цветных полос шириной по 10 см для выдерживания механизатором заданной рабочей ширины жатки на стыках полос тех или иных цветов;

- в подготовке поля (обкосы и прокос) с целью определения урожайности зерна (как исходной информации для выбора рабочей ширины жатки и рабочей скорости).

Новая совокупность последовательных действий содержит:

- определение урожайности зерна на поле и рабочей скорости применяемого зерноуборочного комбайна в традиционном варианте работы в условиях данного поля (исходя из уровня допустимых потерь зерна молотильно-сепарирующим устройством) при использовании всей ширины его жатки;

- расчет рабочей ширины жатки применяемого комбайна для обеспечения наполнения бункера комбайна при его проходе расстояния, кратного длине гона, т. е. при подходе к границе поля и соответствующей увеличенной рабочей скорости, обеспечивающей сохранение фактической подачи в молотилку и производительности комбайна (по намолоту зерна) в единицу основного времени. Рекомендуемую рабочую ширину захвата жатки  $B_{р.х.}$ , при которой заполнение всего объема бункера комбайна будет происходить при его подходе к краю поля (к концу гона) вычисляют по формуле 5.

Неполная рабочая ширина захвата жатки комбайна  $B_{р.х.}$  зависит от величины полной ширины захвата жатки  $B_{р.о.}$ , длины прохода  $L_{пх}$ , необходимой для заполнения бункера при использовании полной ширины жатки и от

расстояния, соответствующего ближайшему большему целому числу гонов, т. е. кратного длине гона  $\lceil n \rceil \cdot L_r$ .

Из условия равенства фактической подачи в базовом и новом вариантах, расчет увеличенной рабочей скорости производится по формуле:

$$V_2 = \frac{B_p \cdot V_1}{B_{p.x.}}$$

3 Выгрузку зерна на краю поля в кузов транспортного средства, выполняющего отвоз зерна.

4 Осуществление рабочих проходов комбайна челночным способом.

5 Планирование транспортного обеспечения работы комбайна (или числа автомобилей) исходя из длины рабочих проходов комбайна и соответствующих требуемых затрат времени, а также удаленности поля от тока, скорости движения автомобиля, затрат времени на выгрузку зерна на току и продолжительности рабочего цикла автомобиля в целом.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост производительности комбайнов, вместимости их бункеров и металлоемкости вызвал соответствующий рост вместимости транспортных средств. В то же время за последние полтора десятка лет значительно выросла урожайность зерновых колосовых культур. В этих условиях более очевидно проявляются недостатки широко применяемой традиционной технологии комбайновой уборки урожая зерновых колосовых культур с проездами по полю автомобилей (и других транспортных средств) и обостряются проблемы, связанные с ростом давления ходовых органов комбайнов и транспортных средств на почву и с недостаточной эффективностью попыток организационного и технико-технологического совершенствования уборочно-транспортного процесса в направлении снижения уплотнения почвы.

Проблема переуплотнения почвы колесами автомобилей при уборке зерновых культур намного острее, чем уплотнение комбайнами. В отличие от колес комбайнов, для которых существуют более широкие возможности выбора типоразмера шин и снижения тем самым давления на почву, колеса и шины автомобилей выбираются применительно к передвижению по дорогам, имеющим твердое основание. Узкопрофильные шины автомобилей с повышенной грузоподъемностью (МАЗ, КамАЗ и др.) с внутренним давлением в шинах порядка 0,60-0,84 МПа, согласно оценкам разных исследователей, вызывают катастрофические для почвы давления и напряжения, многократно превышающие максимально допустимые. При этом, движение по стерне вызывает повышенный износ шин и трансмиссий автомобилей из-за нехарактерных для них условий поля с деформируемой почвой.

В традиционной технологии уборочных работ непредсказуемость мест заполнения бункера комбайна, расстояний и продолжительности проездов автомобиля по полю приводит к нарушению ритмичности работы автомобилей при отвозе зерна на ток и вызывает необходимость планирования и применения завышенного числа автомобилей, что сопровождается увеличением

простоев в ожидании очередной выгрузки зерна. Это ограничивает производительность транспортных средств и показатели эффективности их эксплуатации.

При достигнутых в южных степных регионах высоких урожаях заполнение и выгрузка зерна из бункера происходят практически на каждом проходе комбайна по полю, а при урожайностях более 80-100 ц/га – возможно по две выгрузки. Т. е. число проездов по полю транспортных средств сопоставимо с числом проходов комбайнов. Согласно проведенным исследованиям средняя длина двусторонних (порожних и с зерном) проездов автомобиля от ближайшей точки края хлебостоя к местам выгрузки полного бункера комбайна составила 1,03 км в среднем на одну выгрузку, что при уборке 70-гектарного поля соответствует около 70 км движения автомобилей по полю.

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

Анализ попыток совершенствования уборочно-транспортного процесса, в том числе с применением бункеров-перегрузателей, показывает, что необходимо разрешение данного противоречия на новом организационно-технологическом уровне. При этом исключение проездов автомобилей по полям является актуальным для сохранения плодородия и технологических свойств почв, для ограничения глыбистости, роста сопротивления их обработке и сохранения водопроницаемости.

Еще одним недостатком традиционного способа уборки зерновых культур прямым комбайнированием (по п. 1 и п. 2) является работа комбайнов по загонкам с необходимостью переездов в пределах ширины загонок в пределах ширины загонок (как при работе «в раскос», так и «в круг»), что обусловлено необходимостью постоянного расположения при рабочих проходах комбайна его выгрузного шнека в сторону скошенного поля. Длина прямо-

линейных участков проезда комбайнов при каждом повороте в среднем составляет 19 м, что вызывает непроизводительные затраты времени смены.

В результате анализа традиционно применяемого уборочно-транспортного процесса обоснован новый способ уборки зерновых культур с выгрузкой зерна на краю поля (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), 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 применяемого зерноуборочного комбайна (в условиях данного поля по уровню допустимых потерь зерна) при использовании всей ширины его жатки;

- расчет рабочей ширины жатки применяемого 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 и соответствующей увеличенной рабочей скорости, 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.

Приведены формулы для расчета рабочей ширины жатки и соответствующей рабочей скорости для обеспечения выгрузок зерна на краю поля.

Представлены сравнительные эксплуатационные показатели работы комбайна и автомобиля в типичных условиях Краснодарского края.

Установлено, что выгрузка комбайнов на краю поля позволяет сохранить его производительность и исключить проезд транспортных средств по полю. При этом исключается необходимость проездов по полям и применения в уборочно-транспортных комплексах как автомобилей, так и бункеров-перегрузателей.

По результатам хронометражных наблюдений за работой комбайна в базовом и новом способе в условиях одного поля и соблюдении равенства подач в молотилку получена производительность за единицу сменного времени: 1,5 га/ч в базовом способе (при рабочей ширине жатки 6,9 м и рабочей скорости 3,0 км/ч) и 1,6 га/ч – в новом способе (при рабочей ширине жатки 4,6 м и рабочей скорости 4,6 км/ч). При этом продолжительность поворота комбайна (от второго до седьмого) в базовом способе увеличивается с 22 до 30 с (в среднем 26 с), в новом способе сохраняется на одном уровне – в среднем 22 с.

В результате хронометражных наблюдений за работой автомобиля установлено, что благодаря экономии времени от исключения проезда по полю (в среднем 0,79 мин) предельное расстояние бесперебойного обслуживания комбайна одним автомобилем увеличивается на 32,5 % (в опыте – с 4,3 до 5,7 км).

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 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.

Согласно проведенным расчетам, при разгрузке заполненных бункеров на

краю поля (по предложенному способу) за счет исключения потерь времени на передвижение автомобилей по полю бесперебойная работа уборочного звена из шести комбайнов обеспечивается при меньшем числе автомобилей (пять вместо шести).

Эксплуатационные затраты при работе комбайна по новому способу незначительно превышают показатель базового способа – соответственно 3 706 и 3 670 руб./га (около 1 %). Но экономический эффект также выражается:

- в снижении капитальных вложений в необходимое количество грузовых автомобилей на 15,1 % и в снижении фонда оплаты труда водителей за период уборки зерновых колосовых культур на 16,6 %;

- в снижении затрат дизельного топлива на вспашку полей после уборки в расчете на единицу убираемой площади на 0,9 кг/га;

- повышение урожайности на 1,7-5,4 % различных культур, высеваемых в летне-осенний период на убранных полях озимой пшеницы без их уплотнения транспортными средствами (озимый рапс, озимый ячмень, многолетние травы, а также пожнивные посевы).

В результате исследований установлено, что выгрузка зерна из бункера комбайна на краю поля – одно из перспективных направлений совершенствования организации производства и прогрессивное решение проблем общепринятой схемы загонной уборки, которое возможно на полях правильной геометрической формы и особенно актуально при увлажнении почвы более 0,6 НВ.

Область применения – сельскохозяйственные предприятия южных степных регионов страны.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

2 Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. - М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2005. - 271 с.

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

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

5 Спириин А. П. Минимальная обработка почвы. М.: «Издательство ВИМ», 2005. - 168 с.

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

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

8 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.

9 Оберемок В. А., Аванесян А. М., Демьяновский К. Н. Анализ влияния характеристик подвески и шин на нагруженность колес автомобиля при движении по стерневому фону. [Электронный ресурс]. Научный журнал КубГАУ. - 2015. - № 109 (05). Адрес ссылки: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/>.

10 Горбачёв И. В., Шрейдер Ю. М. Подготовка полей к уборке зерновых // Сельский механизатор. - 2012. - № 8. - С. 16-18.

11 Демьяновский К. Н., Руденко И. П., Оберемок В. А. К обоснованию скорости движения автомобиля при проведении уборочно-полевых работ. [Электронный ресурс]. - Научный журнал КубГАУ. - 2017. - № 128 (04). - Адрес ссылки: <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/33.pdf>.

12 Погодин Н. Н., Кучко В. В., Барсукевич Ф. А., Шатило С. В. Уплотнение почв сельскохозяйственной техникой // Мелиорация. - 2008. - № 1 (59). - С. 70-74.

13 ГОСТ 28301-2015 Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний.- М.: Стандартиформ, 2016. -39 с.

14 ГОСТ 24055-2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. - М.: Стандартиформ, 2017. - 23 с.

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

16 Золотых М. Т. Технология сборочно-транспортного процесса при уборке зерновых культур с применением стационарно-передвижного бункера-перегрузчика: Дисс. ... канд. техн. наук. - Воронеж, 1984. - 213 с.

17 Рынок АПК.- 2017. № 5. С. 92.

18 Маслов Г. Г. Эффективные направления снижения уплотнения почвы для сохранения ее плодородия. [Электронный ресурс]. Научный журнал КубГАУ. - 2019. - № 146 (02). Адрес ссылки: <http://ej.kubagro.ru/2019/02/pdf/>.

19 Абаев В. В. Требования к комплексной механизации работ уборочно-го комплекса //Техника и оборудование для села. - 2011. - № 5. - С. 31-33.

20 Годжаев З. А., Измайлов А. Ю., Евтюшенков Н. Е., Крюков М. Л. К вопросу создания экологически безопасных всесезонных автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. - 2016. - № 3. - С. 48-52.

21 Панасюк А. Н., Липоконь А. В., Канделя М. В., Лазарев В. И. Перспективы внедрения ресурсосберегающих перегрузочных технологий в ма-

шинное земледелие Дальнего Востока // Вестник ФГОУ МГАУ. - 2008. - №3. - С. 83-85.

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

23 Таркинский В. Е., Трубицын Н. В., Петухов Д. А. Инновационные методы эксплуатационно-технологической оценки сельскохозяйственной техники // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. - 2019. - № 2 (35). - С. 78-83.

24 Попелова И. Г., Переверзева Т. А. Использование портативного персонального компьютера для ведения хронометража // Техника и оборудование для села. - 2013. - № 3. - С. 43-44.

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

26 Единые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве. М.: 1981.

27 Дьячков А. П., Колесников Н.П., Бровченко А.Д. и др. Методика определения оптимальной грузоподъемности бункера зерноуборочного комбайна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2015. - № 4 (47), Ч. 2. - С. 92-98.



ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2695452

**Способ уборки зерновых культур прямым  
комбайнированием с выгрузкой зерна на краю поля**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Российский научно-исследовательский  
институт информации и технико-экономических  
исследований по инженерно-техническому обеспечению  
агропромышленного комплекса" (ФГБНУ  
"Росинформагротех") (RU)*

Авторы: *Скорляков Виктор Иосифович (RU), Назаров Андрей  
Николаевич (RU), Петухов Дмитрий Анатольевич (RU)*

Заявка № 2018127042

Приоритет изобретения **23 июля 2018 г.**


Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **23 июля 2019 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **23 июля 2038 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 *Г.П. Ивлиев*

