

Таблица 4 – Влияние регулятора роста Фитовитал на урожайность гороха

Вариант		Урожайность, ц/га	Прибавка		
обработка семян	обработка посевов		ц/га	%	
Горох посевной					
Винцит Форте, КС (1,0 л/т)		27,3	–	–	
Винцит Форте, КС (1,0 л/т) + Фитовитал, в. р. к. (1,2 л/т)		30,1	2,8	10,3	
Винцит Форте, КС (1,0 л/т) + Фитовитал, в. р. к. (1,2 л/т)		Фитовитал, в. р. к. (0,6 л/га)	33,5	6,2	22,7
Винцит Форте, КС (1,0 л/т)		Фитовитал, в. р. к. (0,6 л/га)	30,1	2,8	10,3
Горох полевой					
Винцит Форте, КС (1,0 л/т)		29,4	–	–	
Винцит Форте, КС (1,0 л/т) + Фитовитал, в. р. к. (1,2 л/т)		32,0	2,6	8,8	
Винцит Форте, КС (1,0 л/т) + Фитовитал, в. р. к. (1,2 л/т)		Фитовитал, в. р. к. (0,6 л/га)	35,2	5,8	19,7
Винцит Форте, КС (1,0 л/т)		Фитовитал, в. р. к. (0,6 л/га)	32,3	2,9	9,9

Выводы

Основные элементы технологии возделывания гороха существенно различаются по своей значимости в формировании урожайности этой культуры. Возделывание гороха после неблагоприятного предшественника снижает урожайность зерна на 13–35 %, а чрезмерно высокая концентрация его в севообороте и бессменный посев – на 56–96 %.

При использовании гербицидов урожайность зерна гороха повышалась на 17,0–36,0 %, инсектицидов – на 19,1–26,7 %, фунгицидов – на 6,3–16,0 % в зависимости от применяемого препарата. Под влиянием микроэлементов этот показатель увеличивался на 8,8–22,7 %, а при проведении боронования посевов – на 9,6 %.

Вспашка и безотвальная обработка почвы не имели существенных различий по влиянию на урожайность зерна гороха.

Литература

1. Биологические (экономические) пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник / под ред. Сорока С. В. – Прилуки, 2018. – С. 26–27.
2. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур /

- И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Колос, 1979. – 416 с.
4. Эффективность инсектицида Агент, ВДГ при возделывании гороха посевного / М. В. Евсеенко [и др.] // Наше сельское хозяйство – 2019. – № 1. – С. 77–78.
5. Земледелие: учебник / под ред. Г. И. Баздырева. – М.: ИНФРА-М, 2013. – С. 108.
6. Концепция системы машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства, первичной переработки и хранения основных видов сельскохозяйственной продукции до 2015 г. и на период до 2020 года (рекомендации к применению) / Национальная академия наук Беларуси [и др.]; подгот.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: НАН Беларуси, 2014. – 138 с.
7. Малашевская, О. В. Влияние новых форм минеральных удобрений, ризобиального инокулянта и регуляторов роста на продуктивность гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О. В. Малашевская; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2022. – 25 с.
8. Рак, М. В. Влияние некорневых подкормок микроэлементами на урожайность люпина узколистного на дерново-подзолистой почве / М. В. Рак, Т. Г. Николаева // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 2. – С. 105–110.

УДК 631.517

Практическое применение автопилотирования при культивации почвы

Д. И. Романцевич, кандидат с.-х. наук, А. С. Журавский, В. В. Семашко, В. В. Колачев, магистранты
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

(Дата поступления статьи в редакцию 29.11.2022)

Использование инновационных технологий в хозяйственной деятельности без научного обоснования может привести к неэффективному результату. В этой связи актуальным является проведение научных исследований по обоснованию рационального использования элементов автоматизации и программного обеспечения. В статье нами проанализированы данные, полученные

The use of innovative technologies in economic activities without scientific justification can lead to inefficient results. In this regard, it is relevant to conduct scientific research to justify the rational use of automation elements and software. In the article, we analyzed the data obtained as a result of experiments on the use of autopilot in conjunction with software during soil cultivation. The possibilities of practical

в результате опытов по использованию автопилотирования в совокупности с программным обеспечением при проведении культивации почвы. Изучены возможности практического использования программного обеспечения, установленного на навигационном оборудовании трактора, для выдачи задания, а также сбора и анализа данных при выполнении культивации почвы. В статье также проведены исследования зависимости качества обработки почвы при культивации при разных способах движения и разной степени автоуправления.

Введение

Современное развитие сельского хозяйства обусловлено внедрением в технологические операции элементов автоматизации и программного обеспечения. Внедрение нововведений должно происходить с четким пониманием, какие задачи при этом решаются и какой эффект получит производитель сельскохозяйственной продукции. Мировой опыт выполнения полевых работ напрямую связан с информационными технологиями, и в настоящее время на смену классическому интенсивному земледелию приходит прецизионное (точное). Инновации меняют не только технику, но и требуют пересмотра подходов к организации и выполнению технологических операций. Таким образом, современное сельское хозяйство за счет внедрения современных технологий трансформирует и совершенствует технологические процессы, что позволяет повысить эффективность деятельности и вывести сельскохозяйственное производство на новый качественный уровень. Развитие и внедрение цифровизации активно осуществляется в сельскохозяйственное производство. Одним из элементов цифровых решений является автопилотирование тракторов в сцепке с сельскохозяйственными орудиями при выполнении технологических операций. Автопилотирование осуществляется с использованием навигационного оборудования в совокупности с программным обеспечением, что позволяет выполнять операции с высокой точностью движения. Данное цифровое решение является одним из важнейших элементов точного земледелия. С целью изучения всех возможностей данного цифрового решения нами был проведен ряд опытов. Один из них – это опыт по обоснованию практического применения автопилотирования при культивации почвы на основе сравнительного анализа. Цель наших исследований – раскрыть возможности практического применения автопилотирования при культивации почвы на основе программного обеспечения, установленного в навигационном оборудовании.

Методика проведения исследований

В рамках инновационного общеобразовательного проекта ООО «Технологии земледелия», в период с 16 мая по 17 июня 2022 г., были проведены исследования в условиях опытных полей Учебного центра по точному земледелию на базе УПТО «Улльский государственный профессиональный лицей сельскохозяйственного производства им. Л. М. Доватора».

В качестве объекта исследования выбран технологический процесс работы трактора Беларус-3022 при выполнении культивации почвы.

Обработка почвы – один из важнейших агротехнических приемов земледелия. Именно приемы обработки

use of the software installed on the navigation equipment of the tractor for issuing a task, as well as collecting and analyzing data when cultivating the soil have been studied. The article also studies the dependence of the quality of tillage during cultivation with different methods of movement and varying degrees of auto-control.

почвы создают почвенные условия, в которых развиваются растения. Агротехнической наукой установлено, что для нормального роста растений почва должна содержать примерно 45 % минеральных веществ, 5 % органических веществ и 50 % капиллярных и некапиллярных пор, заполненных равным количеством (по 25 %) воды и воздуха. Нарушение этого состава ведет к недобору урожая. Снижение воздушной составляющей в результате переуплотнения почвы катками, ходовыми колесами тракторов и другой техники, наличие плужной подошвы приводит к недобору до 10–25 % урожая. С другой стороны, излишнее рыхление почвы, особенно легкой по механическому составу, ускоряет процессы испарения влаги, снижает подъем ее к корневой системе растений, в результате чего создается дефицит влаги, ведущий к снижению урожая до 10–12 % [1].

Таким образом, качество выполнения операций обработки почвы вносит значительный вклад в формирование будущего урожая. В этой связи одной из целей проводимых нами опытов была оценка влияния современных технологий на качество выполняемых работ при культивации и возможности программного обеспечения по сбору информации о выполненных работах.

При проведении опыта определялись функциональные, энергетические и эксплуатационно-технологические показатели использования агрегата с применением систем точного земледелия (курсоуказатель, автопилот) и без этих систем при петлевом и беспетлевом гоновых способах движения (челночный, с перекрытием).

Сравнение выполнено методом сплошного хронометража как в ручном режиме, так и с использованием программного обеспечения.

Объектом данного технологического процесса взят трактор Беларус, наиболее часто используемый при выполнении различных сельскохозяйственных работ.

В наших исследованиях выполнение операции по культивации почвы осуществлялось трактором Беларус-3022 в агрегатировании с культиватором КЧ-6. Также данный трактор в опыте был оборудован системой автовождения, которая позволяла собирать информацию о скорости трактора, точности движения трактора при выполнении культивации, а также строить карты рельефа и площади обработки поля. Данная информация собиралась при выполнении культивации во всех вариантах опыта. Пилотирование машинно-тракторного агрегата осуществлялось опытным механиком трактора с навыками эксплуатации системы автовождения в течение двух сельскохозяйственных сезонов.

Научный интерес заключался в определении на основе современного программного обеспечения сравнительной эффективности качества выполнения культивации почвы при ручном управлении и использовании средств параллельного вождения – курсоуказателя и автопилота

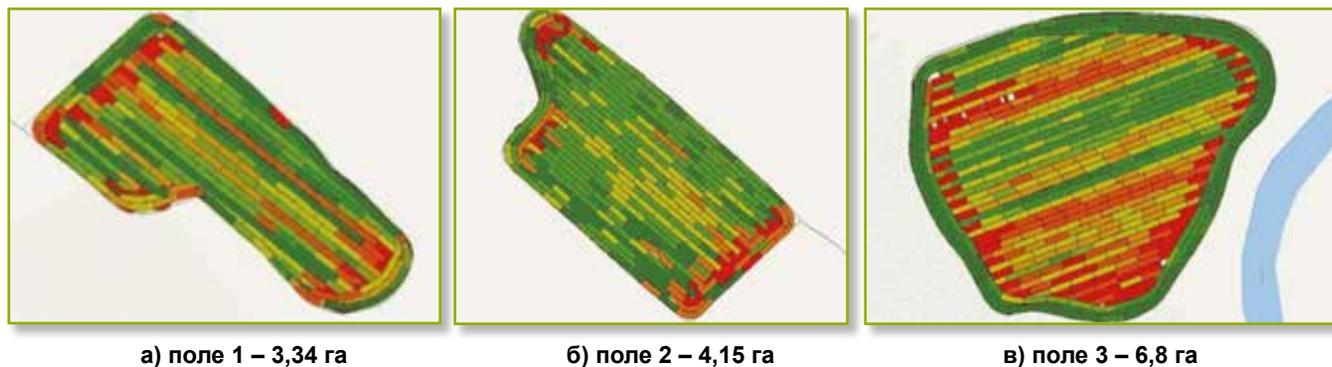


Рисунок 1 – Контуры опытных участков

(в том числе при заданной с помощью программного обеспечения линии навигации).

Одновременно была поставлена задача обоснования выбора рационального способа движения машинно-тракторного агрегата (МТА), включая технологические развороты.

Для обеспечения достоверности полученных результатов каждый полевой опыт был проведен на 3 участках разной конфигурации (рисунок 1).

Основные параметры, характеризующие каждый из опытных участков, представлены в таблице 1.

При проведении полевого опыта, помимо обоснования целесообразности применения систем параллельного вождения, дана оценка выбора рационального способа движения агрегата при выполнении сельскохозяйственных работ.

Для сравнения были применены два наиболее часто используемых при обработке почвы гоновых способа движения: челночный с петлевым поворотом и движение МТА с перекрытием (рисунок 2).

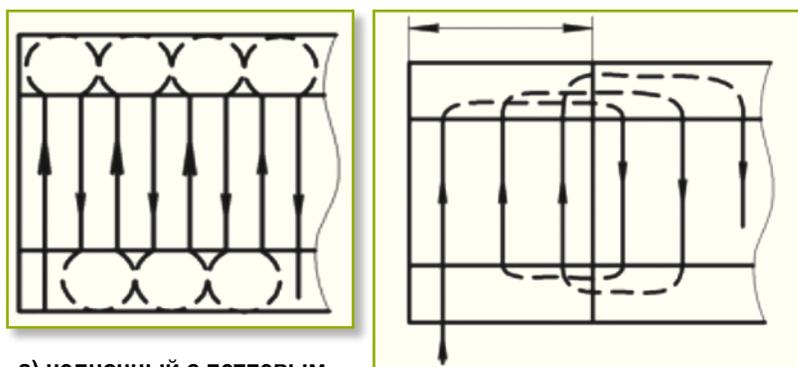
Традиционно классическим и основным (в подавляющем большинстве сельскохозяйственных предприятий) способом движения при проведении культивации является ручное управление гоновым челночным способом. Исходя из этого, данный способ принимался нами в исследованиях за базу сравнения.

полнении культивации почвы автоматически собирается такая информация, как траектория движения машинно-тракторного агрегата, обработанная и не обработанная площадь поля с точностью до 2,5 см, скорость движения. Данную информацию можно интерпретировать в виде различных электронных карт-слоев информации по обрабатываемому полю и проанализировать, сводя итоговые данные в таблицы или графики. Таким образом, навигационное оборудование, помимо функции точного автопилотирования, является инструментом сбора и анализа агрономической информации в режиме реального времени. В ручном режиме собрать такой массив данных даже в рамках малых по размерам полей практически невозможно [3].

Рисунок 3 иллюстрирует определение площади двойной обработки почвы в программном обеспечении. Определяется не только площадь обработки агрегатом почвы через заданные интервалы, но и площадь двойных проходов агрегата (рисунок 3, б). Площади двойных проходов (перекрытий) суммируются по полю. Аналогичным образом ведется учет площади огрехов. Таким образом, определяется не только общая площадь некачественно обработанных участков, но и определяются точные места на карте поля, где имелись перекрытия или огрехи.

Результаты исследований и их обсуждение

Техника с навигационным оборудованием дает возможность выполнять работу более качественно, не допуская пропусков (огрехов) и двойных полос (перекрытий) с точностью движения агрегата по полю до 2,5 см. Также навигационное оборудование работает в совокупности с программным обеспечением, которое позволяет мониторить и собирать важнейшие слои технологической информации. В частности, при вы-



а) челночный с петлевым поворотом
б) с перекрытием

Рисунок 2 – Способ и схема движения МТА [2]

Таблица 1 – Характеристика опытных участков

Показатель	Поле 1	Поле 2	Поле 3	В среднем
Площадь контура, га	3,34	4,15	6,8	4,76
Длина гона по полям (макс. длина), м	301,4	324,8	327,7	317,97
Максимальная ширина (мин. количество проходов), м	144,7	151,7	274,9	190,43
Дельта высот по полям, м	4,07	2,99	3,36	3,47

Вся полученная в процессе проведения полевого опыта информация сведена и представлена в таблице 2.

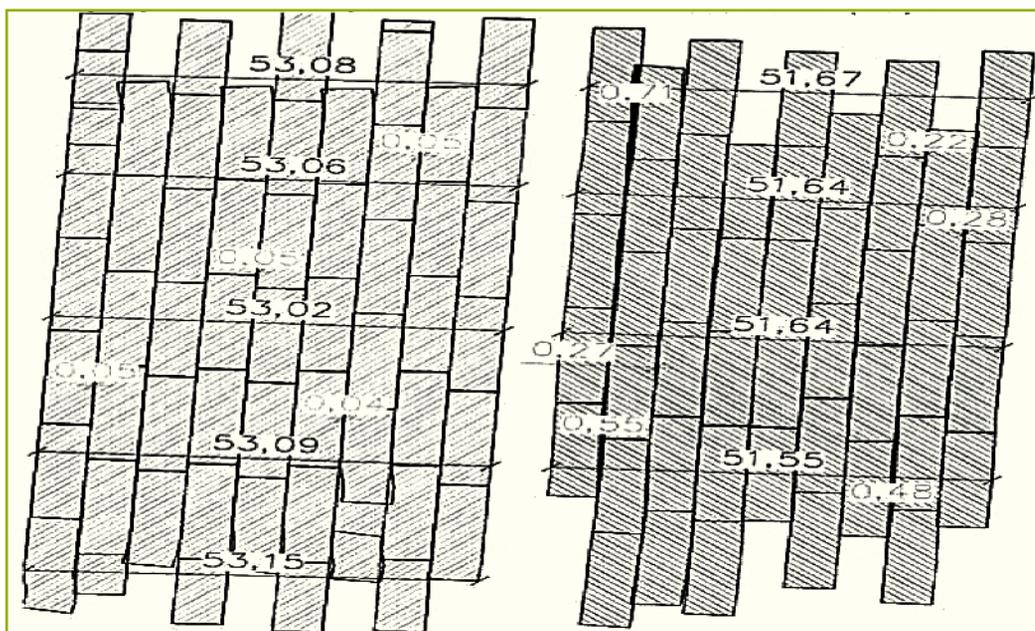
Качество обработки почвы при культивации будет зависеть от:

- площади, где рабочие органы не воздействовали на почву (огрехи), тем самым не выполнили свою основную функцию по созданию оптимальных условий для подготовки почвы под сев семян, что снизит их всхожесть, а следовательно и урожайность высеваемой культуры;
- площади двойных проходов рабочих органов культиватора (перекрытий), что приводит к излишнему рыхлению почвы и создает дефицит влаги, обуславливающий снижение урожая.

Чем больше площади поля подвержены этим негативным явлениям, тем ниже потенциальный урожай как

на этих участках, так и в целом по обрабатываемому полю.

В таблице 2 представлена информация по площади огрехов и перекрытий как в гектарах, так и в процентном соотношении относительно обрабатываемой площади. Также сумма площади огрехов и перекрытий дает информацию о площади некачественной обработки почвы при культивации. Данные опытов, представленные в таблице 2, показывают, что при ручном управлении процент некачественной обработки почвы от общей площади поля составляет 17,28 %, использование курсоуказателя при движении может позволить снизить это значение до 12,60 %, а использование системы автопилотирования в совокупности с программным обеспечением значительно снижает это значение – до 5,39 %.



а) гоновый челночный (автопилот + ПО)

б) гоновый челночный (ручное управление)

Рисунок 3 – Пример определения площади двойной обработки почвы

Таблица 2 – Общие результаты сравнительных хозяйственных испытаний при культивации почвы

Показатель	Гоновый челночный (ручное управление)	Гоновый челночный (курсоуказатель)	Беспетлевой перекрытием (курсоуказатель)	Гоновый челночный (автопилот)	Беспетлевой перекрытием (автопилот)	Гоновый челночный (автопилот + ПО*)
Площадь контура, га	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76
Площадь огрехов, га	0,12	0,13	0,13	0,08	0,09	0,05
Площадь перекрытий, га	0,70	0,50	0,47	0,31	0,37	0,20
Площадь обработки, га	5,34	5,13	5,10	4,99	5,04	4,91
Расход топлива, л	53,40	51,30	51,00	49,93	50,43	49,13
Процент использования рабочего времени, %	64,00	78,00	82,00	83,00	85,00	83,00
Процент огрехов, %	2,59	2,8	2,8	1,68	1,82	1,12
Процент перекрытий, %	14,7	10,5	9,87	6,51	7,7	4,27
Процент некачественной обработки почвы, %	17,28	13,3	12,67	8,19	9,52	5,39

Примечание – *ПО – определение линий навигации в программном обеспечении.

На основании собранной в результате проведения опытов информации нами построен график (рисунок 4), иллюстрирующий как изменялось качество проведения культивации почвы с учетом использования системы автопилотирования в комбинации с разными вариантами движения агрегата по полю.

На рисунке 4 на правой вертикальной оси отражен процент огрехов и перекрытий от общей площади поля, на левой вертикальной оси – расход топлива в литрах, а по горизонтальной оси – варианты опыта. По мере глубины использования элементов автопилотирования относительно ручного управления гоновым челночным способом значение процента огрехов от общей площади поля имеет четкую тенденцию к снижению – с 2,59 % до 1,12 % (более чем в 2 раза). При этом все варианты движения в режиме автопилотирования в среднем на 1 % снижают площадь огрехов.

Также режим автопилотирования позволяет значительно снизить площадь перекрытий относительно ручного управления – с 14,7 % от общей площади поля до 4,27 % (более чем в 3 раза). Это значительное снижение достигается высокой точностью движения машинно-тракторного агрегата.

Таким образом, выполнение культивации в режиме автопилота позволяет увеличить качество обработки

почвы за счет снижения площади перекрытий и огрехов. Результаты опыта показали, что наиболее качественным способом обработки почвы при культивации является движение машинно-тракторного агрегата гоновым челночным способом с построением линий навигации в программном обеспечении. Данный способ движения предполагает построение линий навигации с учетом точных контуров и рельефа поля в направлении наибольшей длины гона в программном приложении. Также следует отметить, что способ автовождения машинно-тракторного агрегата при культивации беспетлевым перекрытием с автопилотом оказался менее качественным относительно гонового челночного способа с построением линий навигации в программном обеспечении. Это объясняется отсутствием опыта у механизатора как при выборе линии навигации, так и при движении данным способом (через два прохода, когда не видно стыковой линии).

По результатам исследований (рисунок 4) прослеживается прямая зависимость расхода топлива от некачественной обработки почвы. Значительное сокращение двойной обработки в перекрытиях сокращает объемы работ под нагрузкой, тем самым сокращается расход топлива.

В проводимых исследованиях по вариантам опыта нами определялся процент использования рабочего

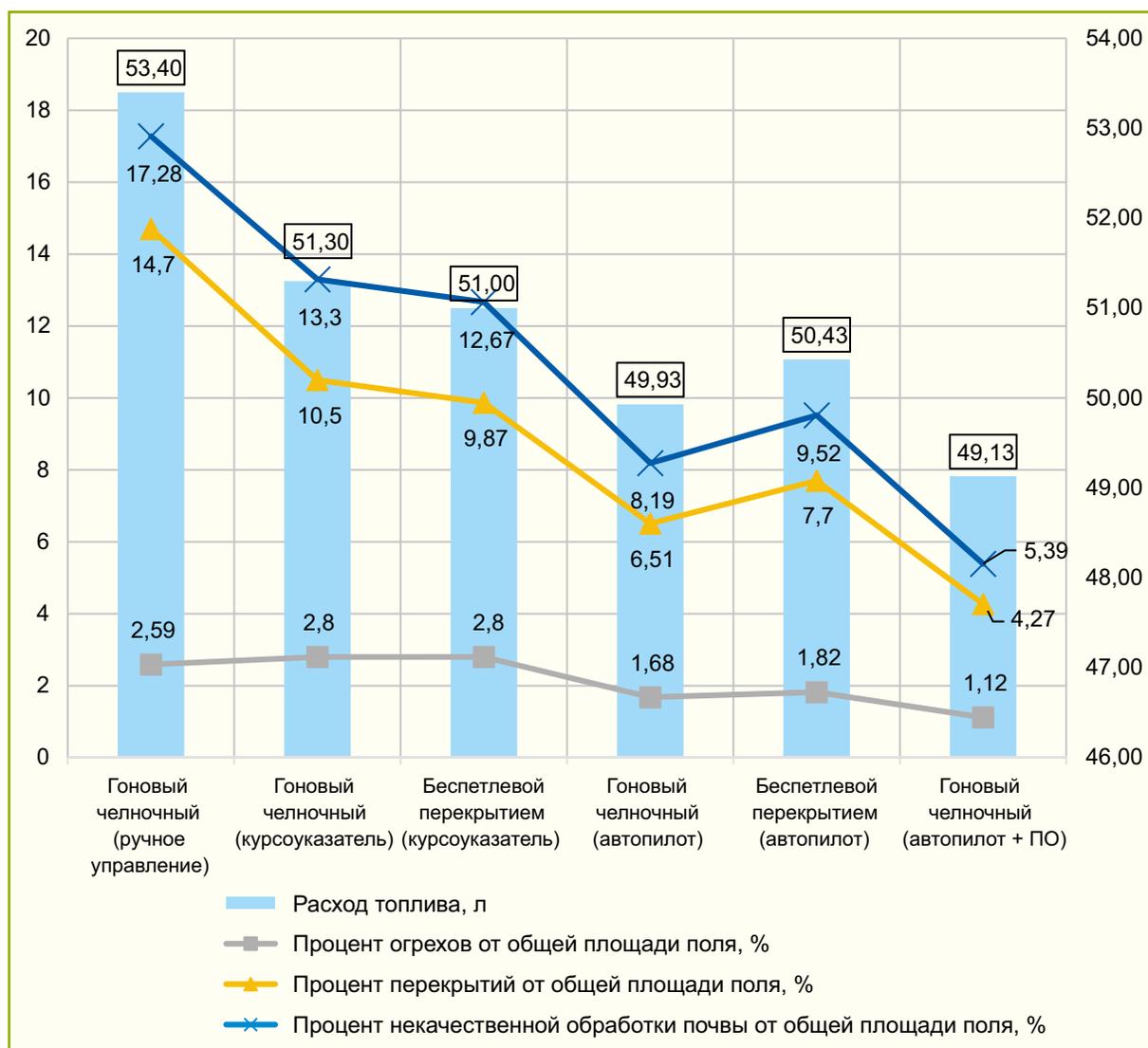


Рисунок 4 – Процент некачественной обработки почвы и расход топлива по вариантам исследований

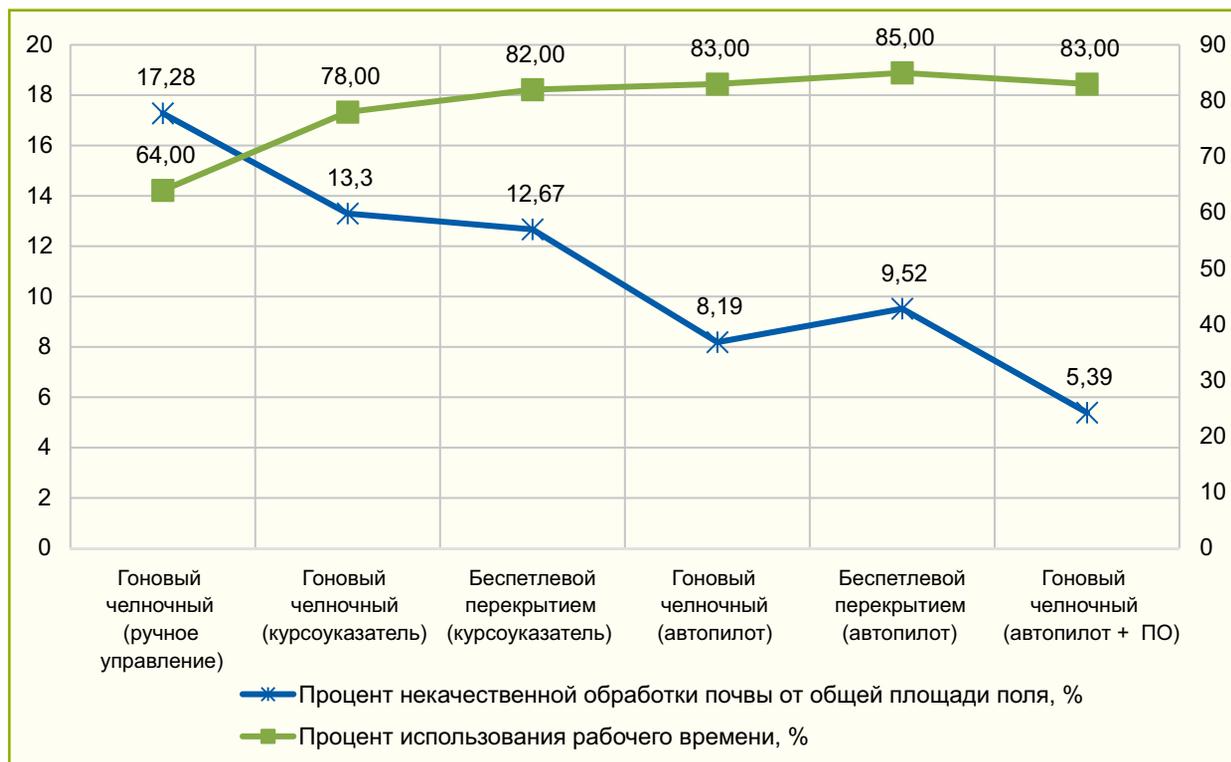


Рисунок 5 – Процент некачественной обработки почвы и процент использования рабочего времени по вариантам исследований

времени как отношение времени в работе (воздействие рабочих органов культиватора на почву) к общему времени движения по полю при выполнении культивации. Данный показатель отражает эффективность использования рабочего времени, то есть сколько процентов от общего времени агрегат находится в работе.

Как иллюстрирует приведенный на рисунке 5 график, с использованием автопилотирования не только сокращается площадь некачественной обработки почвы при культивации, но и увеличивается процент использования рабочего времени. Увеличение времени в работе при использовании автопилотирования относительно ручного управления с 64 % до 85 % обосновано сокращением времени на развороты.

Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты.

1. Использование современного программного обеспечения, установленного в навигационном оборудовании, которое смонтировано на машинно-тракторный агрегат, при выполнении культивации почвы позволяет:

а) с точностью до 10 см создавать карту поля с учетом площади и рельефа;

б) определить точные места и площади участков с двойной обработкой (перекрытия) и необработанных участков (огрехи) по полю, что в целом составляет площадь некачественной обработки;

в) определить оптимальные линии навигации движения машинно-тракторного агрегата с целью сокращения площади перекрытий и огрехов, снижения расхода топлива и увеличения процента использования рабочего времени.

2. Использование автопилотирования улучшает качественные показатели проведения культивации почвы и позволяет:

а) относительно ручного управления более чем в 3 раза снизить площадь некачественной обработки (с 17,28 % до 5,39 %), на 8 % снизить расход топлива и на 19 % увеличить процент использования рабочего времени;

б) относительно ручного управления с использованием курсоуказателя более чем в 2 раза снизить площадь некачественной обработки (с 12,67 % до 5,39 %), на 4 % снизить расход топлива и на 1 % увеличить процент использования рабочего времени.

3. Лучшим способом движения, относительно всех вариантов опыта, при выполнении культивации почвы трактором Беларус-3022 в агрегатировании с культиватором КЧ-6 является гоновый челночный с использованием автопилота в совокупности с определением линий навигации в программном обеспечении.

Литература

1. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс] / Рекомендации по проведению весенней обработки почвы и посева. – Минск, 2018. – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/rekomendatsii-porovedeniyu-vesennej-obrabotki-pochvy-i-poseva>. – Дата доступа: 20.08.2022.
2. Спирин, Н. Н. Методическое пособие по курсовому проектированию разработано по программе профессионального модуля ПМ 02 «Эксплуатация сельскохозяйственной техники» для студентов специальности 110809 Механизация сельского хозяйства. – Чита, КА ЗаБАИ, 2017. – 59 с.
3. Романцевич, Д. И. Основные элементы прецизионного земледелия / Д. И. Романцевич, Е. Ю. Юзефович // Наука и инновации. – 2021. – № 3 (217). – С. 26–30.