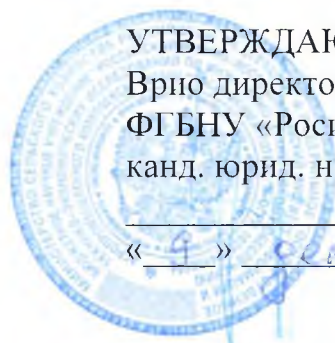


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

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

Per. № НИОКТР АААА-А20-120101490037-2



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

ФГБНУ «Росинформагротех»,

канд. юрид. наук

П.А. Подьяблонский

« 9 » сентября 2020 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследование и обоснование нового способа оценки показателей качества работы центробежных разбрасывателей минеральных удобрений

Задание 2.1.7 Проведение исследований по разработке инновационных технологий возделывания сельскохозяйственных культур

Тема 2.1.7.4 Проведение исследований и разработка ресурсосберегающего способа оценки показателей качества работы центробежных разбрасывателей минеральных удобрений

Директор КубНИИТиМ

М.И. Потапкин

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

Д.А. Петухов

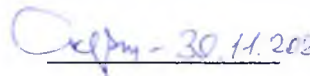
Новокубанск 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

 30.11.2020 Д.А. Петухов
(введение, заключение)

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

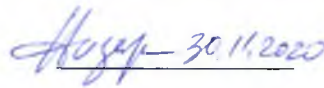
 30.11.2020 В.И. Скорляков
(введение, раздел 1, 2, 3, 4,
5, заключение)

Исполнители:

Науч. сотр.

 30.11.2020 О.Н. Негреба
(раздел 4)

Науч. сотр.

 30.11.2020 А.Н. Назаров
(раздел 4)

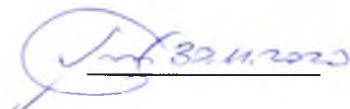
Науч. сотр.

 30.11.2020 И.Г. Попелова
(раздел 4)

Науч. сотр.

 30.11.2020 М.А. Белик
(раздел 4)

Нормоконтроль

 30.11.2020 В.О. Марченко

РЕФЕРАТ

Отчет 53 с., 1 кн., 18 рис., 10 табл., 28 источн., 1 прил.

ГРАНУЛИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ РАЗБРАСЫВАТЕЛИ, РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, МЕТОД ОЦЕНКИ, ОТБОР ПРОБ

Объектом исследования является метод получения относительных показателей содержания гранулированных минеральных удобрений (ГМУ) на учетных площадках по ширине разбрасывания центробежными аппаратами.

Цель исследования – обосновать усовершенствованный ресурсотрудосберегающий метод оценки показателей поперечного распределения ГМУ центробежными разбрасывателями.

Метод проведения исследований основан на анализе технологического процесса, а также на стандартизованном методе испытаний центробежных разбрасывателей ГМУ. Использован метод моделирования оценок поперечного распределения ГМУ по вариантам сокращенного числа контрольных пробоотборников, распределенных по ширине разбрасывания и метод аппроксимации значений массы ГМУ в пробоотборниках по вариантам с разным их количеством.

Результаты: Представлен анализ недостатков, сопутствующих увеличению ширины разбрасывания минеральных удобрений центробежными аппаратами. Обоснован метод получения относительных показателей содержания ГМУ на учетных площадках по ширине разбрасывания с применением в 6 раз меньшего числа пробоотборников.

Новизна исследований заключается в разработке нового ресурсотрудосберегающего метода получения относительных показателей содержания ГМУ по ширине разбрасывания.

Область применения – сельскохозяйственные предприятия всех форм собственности, система испытаний Минсельхоза России.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ состояния достигнутого уровня исследуемого вопроса и необходимость решения выявленных проблем	10
1.1 Факторы, обеспечивающие востребованность центробежных разбрасывателей	10
1.2 Требования к качеству разбрасывания гранулированных минеральных удобрений	12
1.3 Типичный характер поперечного распределения гранулированных минеральных удобрений	13
1.4 Недостатки технологий с применением центробежных разбрасывателей и факторы, влияющие на неравномерность разбрасывания.....	16
2 Предпосылки к выбору метода оценки поперечного распределения гранулированных минеральных удобрений.....	22
3 Программа и методика исследований.....	28
3.1 Цели и задачи исследования.....	28
3.2 Объект исследований.....	28
3.3 Программа исследований.....	29
3.4 Методика исследований	30
4 Результаты определения характеристик исходного распределения по результатам отбора проб	34
4.1 Показатели продольной неравномерности.....	35
4.2 Показатели поперечного распределения	35
5 Обоснование оптимального числа пробоотборников для оценки качества распределения удобрений	37
5.1 Результаты исследований при ширине разбрасывания 13 м.....	37
5.2 Результаты исследований при ширине разбрасывания 36 м.....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Характеристика условий исследований ..	53

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения эффективности производства и конкурентоспособности продукции растениеводства актуальными задачами являются повышение продуктивности посевов и снижение издержек на ее производство, что предполагает достижение максимальной окупаемости гранулированных минеральных удобрений (далее – ГМУ) урожаем.

Из результатов многочисленных исследований известно, что неравномерное внесение минеральных удобрений в разных почвенно-климатических условиях приводит к недополучению урожая и соответствующим экономическим потерям. Так, из исследований Овчинниковой Н.Г. [1] известно, что при распределении средних доз удобрений от 60 до 90 кг действующего вещества на гектар с неравномерностью от 30 % до 40 %, снижение урожая зерновых культур составляет 1,0 %-1,5 %. С увеличением дозы удобрений и степени неравномерности распределения потери урожая возрастают, достигая при 100-150 кг действующего вещества на гектар и неравномерности 50 %-60 % значений в пределах от 8,5 % до 13 % к урожаю при равномерном внесении. Таким образом, согласно результатам исследований Овчинниковой Н.Г. и других авторов [2], [3], неравномерность и величина коэффициента вариации удобрений, внесенных на поле, не только влияет на урожайность, но и ограничивает применение повышенных доз удобрений.

Известно, что в условиях неоднородного почвенного покрова на контрольных и опытных делянках стационаров отмечены сравнительно низкие показатели пространственного варьирования гумуса, подвижных форм фосфора, калия и урожая зерна озимой ржи, гречихи, озимой и яровой пшеницы (коэффициент вариации от 8 % до 11 %). Неравномерное внесение удобрений обусловило на опытных делянках тенденцию роста вариабельности агрохимических свойств фосфорных удобрений (P_2O_5) до 18 %-20 %, калия (K_2O) – до 16 %-18 % и урожая озимой ржи, озимой пшеницы, гречихи и силосной кукурузы – до 11 %-18 % [4].

Если прибавка урожая озимой пшеницы от внесения азотных удобрений на черноземе южном составляет 8,7 ц/га, то снижение прибавки при неравномерности от 10 % до 15 % составляет 2,2 %, при 20 %-30 % – 10,3 %, при 40 %-60 % – 19,5 %, а при 60 %-80 % – 30,5 % или 2,65 ц/га [2].

При неравномерном внесении ГМУ, например в 25 %-30 % в условиях Беларуси урожайность зерновых может снизиться на 5 %-7 % [5].

Вследствие значительного отклонения доз удобрений от оптимума на неудобренных и переудобренных участках опытных делянок оплата действующего вещества прибавками урожая снижалась в вариантах с 50 %-й неравномерностью внесения на 33 %-42 %, а со 100 %-й – в 2,2 раза [6].

Неравномерное внесение удобрений оказывает влияние на свойства урожая (снижает его технологические и биологические достоинства, способствует накоплению нитратов в сельскохозяйственных культурах), а также приводит к загрязнению окружающей среды. Неоднородность почвенного плодородия, обусловленная неравномерным распределением удобрений, часто является основной причиной полегания посевов зерновых колосовых культур даже при возделывании сравнительно устойчивых к полеганию сортов. Полегание затрудняет механизированную уборку зерновых культур, приводит к значительным потерям зерна, снижает его технологические свойства. Кроме этого, полеглые растения сильнее поражаются болезнями.

Показатели центробежных разбрасывателей (далее – ЦР) в условиях производственной эксплуатации превышают установленные требования в 2-3 раза. Данный недостаток ЦР на протяжении последних десятилетий отмечен в ряде публикаций. Так, согласно обобщенным данным Центрального НИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства, неравномерность распределения удобрений по поверхности почвы в производственных условиях составляет от 40 % до 60 % [7]. Согласно нашим исследованиям, данная ситуация существенно не изменилась при поступлении в хозяйства ЦР ведущих зарубежных фирм [8] и признаков улучшения данной ситуации нет до настоящего времени.

К неравномерному распределению ГМУ приводит действие ряда факторов технологического процесса ЦР: выбор величины перекрытия удобряемых полос в смежных проходах, нестабильность скоростных режимов разбрасывателя и диска, неравномерный состав гранул и их устойчивость к разрушению. Отечественные удобрения не только неоднородны по размеру гранул, но зачастую содержат в себе большое количество пылевидных частиц. Дополнительное количество пылевидных частиц существенно увеличивается при ударном воздействии на гранулы лопаток разбрасывающего диска. Недостаточно устойчивые к разрушению гранулы частично разрушаются, в результате чего происходит увеличение пылевидной фракции и изменение размерного состава гранул в меньшую сторону. Это приводит к тому, что крупные частицы могут быть распределены по ширине разбрасывания сравнительно равномерно, а мелкие оседают преимущественно в зоне прохода корпуса ЦР [8].

В общем случае характер распределения ГМУ по ширине разбрасывания заключается в большем количестве удобрений по оси прохода и постепенном снижении к границам полосы разбрасывания. Поэтому для выравнивания количества удобрений при проходах ЦР применяют перекрытие удобряемых полос в смежных проходах.

Вследствие существенного влияния на качество разбрасывания свойств гранул (наряду с другими факторами), при настройках ЦР невозможно обойтись без инструментальных оценок качества распределения ГМУ в пробных проходах и выбора, на основе получаемой информации, величины перекрытия удобряемых полос в смежных проходах разбрасывателя.

При оценках неравномерности разбрасывания ГМУ по ширине ЦР, действующим стандартом [9] предусмотрена расстановка пробоотборников в сплошной ряд перпендикулярно к направлению движения агрегата. По результатам взвешивания ГМУ из каждого пробоотборника находят значение коэффициента вариации массы удобрений, что является показателем неравномерности. С применением полученных значений по вариантам перекрытий удоб-

ряемых полос (и соответствующих значений рабочей ширины захвата) находят оптимальное значение их перекрытия, обеспечивающее допустимое агротехническими требованиями значение неравномерности. С переоснащением производства высокопроизводительными ЦР с шириной разбрасывания до 40 м и более оценка неравномерности стала проблематичной не только в производственной практике, но и при испытаниях ЦР из-за большой потребности пробоотборников, затрат труда и времени.

Проблематичность соблюдения допустимых значений неравномерности разбрасывания заключается в том, что ГМУ каждой марки и каждой отдельной партии отличаются гранулометрическим составом, влажностью и устойчивостью к разрушению. Поэтому в каждом случае требуется настройка ЦР на заданную норму и допустимую неравномерность. Из-за отсутствия достоверных результатов оценок неравномерности при производственном применении ЦР, данный показатель в большинстве случаев значительно превосходит регламентированный агротехническими требованиями предел в 25 % [10], что приводит к существенному недополучению урожая и не соответствует потребности экологизации применяемых технологий. Особенно это касается азотных удобрений.

Как отмечено Ивановым А.И. с соавторами [11], неоднородность интенсивно используемых пахотных почв во многом связана с низкой равномерностью внесения удобрений и может быть значительно более высокой при их равномерном распределении.

Необходимо отметить, что европейским стандартом неравномерность ГМУ допускается не более, чем на 10 %-15 %, что показывает технологическое отставание отечественных технологий.

Таким образом, на пути реализации потенциала минеральных удобрений в производственных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и при испытаниях ЦР лежит несовершенство метода определения поперечной неравномерности разбрасывания ГМУ. Представляется, что совершен-

ствование метода оценки неравномерности разбрасывания ЦР является актуальным для продвижения принципов экологизации земледелия и повышения продуктивности и качества продукции растениеводства.

Цель исследования – обосновать усовершенствованный ресурсотрудосберегающий метод оценки показателей поперечного распределения ГМУ ЦР.

1 Анализ состояния достигнутого уровня исследуемого вопроса и необходимость решения выявленных проблем

1.1 Факторы, обеспечивающие востребованность центробежных разбрасывателей

В настоящее время наиболее распространены следующие способы применения ГМУ:

1 Разбрасывание по поверхности поля с последующей заделкой при обработке почвы, а также без заделки (при поверхностной подкормке озимых зерновых и других культур);

2 Внутрипочвенное внесение, применяемое совместно с посевом семян, при прикорневой подкормке посевов, а также в процессе почвообрабатывающих операций.

Для реализации первого способа применяют разбрасыватели с центробежными дисками (навесные и прицепные), штанговые разбрасыватели с пневматическим или механическим транспортированием гранул к выпускным отверстиям, а также зернотуковые сеялки, используемые во многих хозяйствах для поверхностной подкормки.

Основной недостаток первого способа применительно к производственным условиям – зависимость неравномерности распределения по поверхности поля от типа применяемых машин. Так, согласно приемочным испытаниям машин, неравномерность распределения ГМУ по рабочей ширине захвата достигает следующих значений [12]:

- 17 %-25 % – ЦР (при рабочей ширине 12,5-27,9 м и рабочей скорости 6,9-13,0 км/ч);

- 5,6 %-13,5 % – штанговыми разбрасывателями (при рабочей ширине 10,5-21,6 м и рабочей скорости 6,7-9,0 км/ч);

- 2,1 %-10,6 % – механическими и пневматическими сеялками (при ширине захвата 1,8-18,2 м и рабочей скорости 5,3-15,0 км/ч).

В целом, показатели неравномерности распределения ГМУ по рабочей

ширине захвата машин при их настройках для испытаний в соответствии с действующими регламентами удовлетворяют действующим отечественным требованиям (25 %, 15 % и 10 % соответственно). При этом необходимо иметь в виду некоторую нелогичность в различиях требований в зависимости от типов машин, и, что в европейских странах действуют более жесткие требования для ЦР – 15 % вместо 25 %. Очевидно, что требования к неравномерности указанных типов машин были приняты несколько десятилетий назад, исходя из достигнутых показателей машин, на основе компромисса между необходимостью внесения требуемых объемов ГМУ в установленные агротехнические сроки и наличием техники в хозяйствах. Несмотря на это, наибольшее распространение получили ЦР вследствие их эксплуатационно-экономических свойств (если не учитывать влияние на урожай и окупаемость внесенных удобрений). Как отмечено в [13]: «Машины с центробежными дисковыми разбрасывающими устройствами по сравнению с другими типами машин имеют ряд преимуществ: высокую производительность, маневренность, простоту и надежность конструкции, низкую металлоемкость и малую энергоемкость рабочих органов для сплошного внесения твердых удобрений».

Однако проблема заключается не только в установленных размерах и различиях требований. Если в условиях производственной эксплуатации машин показатели штанговых разбрасывателей и зернотуковых сеялок не выходят за пределы, регламентируемые агротехническими требованиями и получаемые при испытаниях, то показатели ЦР в условиях производственной эксплуатации превышают установленные требования в 2-3 раза. Данный недостаток ЦР на протяжении последних десятилетий отмечен в ряде публикаций. Согласно нашим исследованиям, данная ситуация существенно не изменилась при поступлении в хозяйства ЦР ведущих зарубежных фирм [8]. Однако отмеченные выше преимущества ЦР при сравнительной оценке экономической эффективности с другими техническими средствами с учетом их влияния на прибавки урожая могут быть недостаточными, если не будут обеспечены требуемые показатели неравномерности, как при испытаниях, так и при производственном применении.

1.2 Требования к качеству разбрасывания гранулированных минеральных удобрений

В 70-80 г. г. были выполнены многочисленные исследования, направленные на обоснование требований к качеству разбрасывания ГМУ, по результатам которых с учетом сравнительных эксплуатационных показателей ЦР было установлено допустимое значение неравномерности. Согласно агротехническим требованиям, неравномерность распределения ГМУ по ширине (коэффициент вариации) ЦР допускается не более 25 % [10], но при производственном применении ЦР данный показатель в большинстве случаев значительно выше. Также были выполнены многочисленные исследования, направленные на оценки потерь урожая разных культур от неравномерного распределения ГМУ (частично представленные во введении), позволяющие учитывать экономические оценки потерь. Вполне очевидно, что такие исследования актуальны и в настоящее время в изменившихся условиях производства (новые севообороты, сорта, системы обработки почвы и удобрения). Получение достоверной информации об экономических потерях от неравномерного внесения ГМУ позволило бы по-новому взглянуть на проблему производителей и сформировать их запросы как на технические средства внесения ГМУ, так и на важность и экономическую целесообразность настроек ЦР с применением инструментальных методов.

Наряду с универсальностью регламентированного действующим стандартом показателя поперечной неравномерности распределения ГМУ через коэффициент вариации, за получаемым значением скрывается нелицеприятная конкретика. Фактически же, при оценке качества данной технологической операции и заданной нормы внесения ГМУ с допустимыми отклонениями в меньшую и большую стороны, превышение допустимого коэффициента вариации означает определенные площади поля с меньшей и с большей дозой удобрений. Поэтому в свое время предложен и обоснован более жесткий критерий оценки качества распределения удобрений – коэффициент отклонения от заданной дозы, который аккумулирует в себе относительные потери удобрений

в сравнении с равномерным распределением оптимальной дозы [14].

Вполне очевидно, что при внесении агрономически обоснованной оптимальной средней дозы удобрений из-за неравномерного распределения на участках поля с уменьшенной дозой будет снижение урожайности, а на участках с повышенной дозой – снижена окупаемость удобрений урожаем с возможными нарушениями качества продукции.

Значение допустимой неравномерности 25 % было установлено и действует более 30 лет. Но снижение прибавки при неравномерности от 10 % до 15 % составляет 2,2 %, а при 20 %-30 % – 10,3 % [2]. Поэтому допустимое значение неравномерности разбрасывания ГМУ ЦР может быть уменьшено до уровня штанговых разбрасывателей (15 %) для стимулирования поиска более совершенных технических решений.

1.3 Типичный характер поперечного распределения гранулированных минеральных удобрений

Известно, что типичное распределение ГМУ по ширине разбрасывания ЦР характеризуется большим их количеством по оси прохода агрегата и постепенным уменьшением к краям полосы разбрасывания. Такая картина распределения обусловлена действием следующих факторов:

1) при решении задачи увеличения дальности полета гранул и ширины разбрасывания в современных конструкциях ЦР предусмотрена высокая частота вращения дисков (700-800 мин⁻¹). Наряду с созданием предпосылок для повышения производительности ЦР, это вызывает рост линейной скорости рабочих лопаток и ударных воздействий на гранулы, поступающие на диск. При этом разрушение гранул может достигать от 15 % до 23 % [15], [16], а оседание пылевидной фракции в зоне прохода разбрасывателя в ряде случаев приводит к увеличению нормы удобрений в данной зоне в 1,5-3,0 раза.

Решением проблемы повышения дальности полета гранул при ограничении их разрушения и повышения равномерности разбрасывания, в послед-

ние десятилетия заняты все ведущие фирмы-производители ЦР. Наряду с воплощаемыми в ЦР новыми техническими решениями паритета со штанговыми разбрасывателями не достигнуто из-за различий физико-механических характеристик гранул разных применяемых удобрений, в т. ч. различий их влажности, а также из-за влияния субъективных особенностей исполнителей при настройках и эксплуатации ЦР;

2) известно, что большей дальностью полета при сходе с лопаток диска отличаются крупные гранулы, но под воздействием дозирующих и разбрасывающих рабочих органов разбрасывателей размерные характеристики смещаются в меньшую сторону. В процессе полета гранул происходит их сепарация, т. к. преимущество в дальности полета имеют крупные гранулы. Это оказывает влияние на однородность размерного состава гранул по ширине их разбрасывания и на уменьшение относительного количества удобрений по мере удаления от разбрасывающих дисков.

Нашими полевыми оценками [8] установлено, что, если между колесами разбрасывателя вносится на 56 % больше ГМУ, чем в среднем по ширине захвата, то более половины этого превышения (32,4 %) составляют фракции с размерами менее 1 мм, преимущественно образовавшиеся при разрушении гранул. Но по мере удаления от линии прохода их массовое содержание резко снижается. При этом содержание фракций размером до 1 мм по мере удаления от линии прохода разбрасывателя уменьшается с 32,4 % до 1,5 % от средней нормы внесения, а фракций размером от 1 до 2 мм – от 77,8 % до 28,6 %.

Общее содержание фракций с размерами до 1,0 мм увеличивается с 0,15 % до 14,39 % у разбрасывателя Voggballe M2(W) и от 2,0 % до 7,0 % – у разбрасывателя Vicon RS-M (при его настройке представителем фирмы). Наиболее равномерно по ширине захвата распределяются крупные гранулы (3-5 мм). Разрушение гранул при их подаче на диск оказывает существенное влияние на характер их распределения. Поэтому типичное распределение ГМУ по ширине разбрасывания ЦР характеризуется большим их количеством по оси прохода агрегата и постепенным уменьшением к краям полосы разбрасывания. Под воздействием указанных факторов распределение ГМУ по ширине разбрасывания имеет вид кривой Гаусса (рисунок 1).

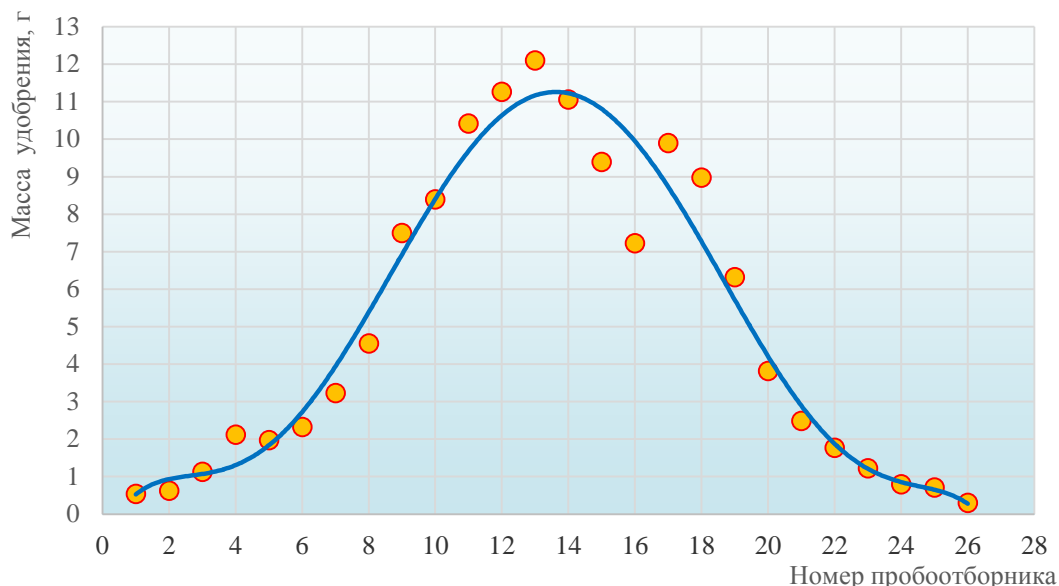


Рисунок 1 – Типичное изменение массы ГМУ по ширине разбрасывания

Исходя из характера распределения ГМУ по ширине, в пределах удобряемой полосы при проходе разбрасывателя, для выравнивания относительного количества удобрений на поле применяют перекрытие удобряемых полос в смежных проходах посредством выбора оптимального расстояния между смежными колеями (рисунок 2).

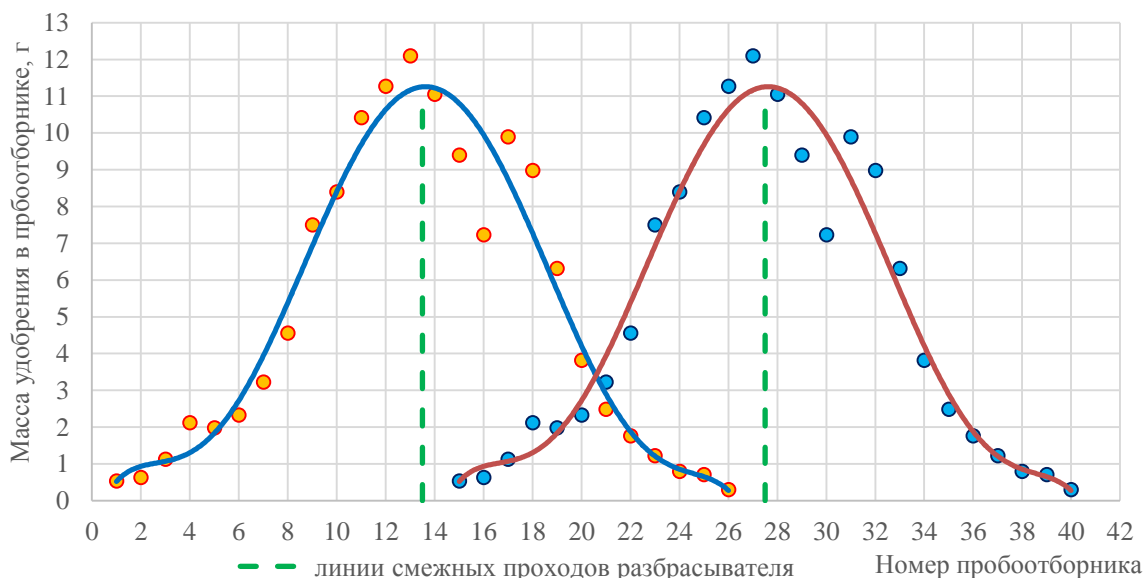


Рисунок 2 – Схема перекрытия удобряемых полос в смежных проходах

В производственной практике при игнорировании мероприятий по настройке разбрасывателей на заданное качество поперечного распределения

удобрений (в первую очередь за счет перекрытий удобряемых полос поля), происходит чередование полос с повышенным и пониженным относительным содержанием ГМУ.

1.4 Недостатки технологий с применением центробежных разбрасывателей и факторы, влияющие на неравномерность разбрасывания

Более чем полувековая история применения ЦР сопровождается публикациями результатов исследований о недостаточном качестве распределения ГМУ по площади поля, характерном при производственном применении. Основная причина в том, что регламентированный ГОСТ 28714 [9] метод оценки распределения ГМУ по ширине захвата предназначен для испытаний разбрасывателей и вследствие сложности и трудоемкости в производственной практике не используется.

Согласно ГОСТ 28714 [9] за неравномерность распределения удобрений по общей и рабочей ширине их внесения принимают коэффициент вариации массы удобрений, попавшей в отдельные пробоотборники, установленные по рабочей ширине разбрасывания в сплошной ряд перпендикулярно к направлению движения машины. При этом пробоотборники при испытаниях ЦР составляют в три сплошных поперечных ряда, а при каждом скоростном режиме опыт проводят в трехкратной повторности.

Необходимость отбора проб ГМУ и применения пробоотборников обусловлена специфическими особенностями технологического процесса ЦР. Если при испытаниях она продиктована потребностью получения достоверных оценок ЦР, то при их производственной эксплуатации объективно необходима для обеспечения равномерного распределения удобрений по площади поля и получения наибольших прибавок урожая.

Проблематичность соблюдения допустимых значений неравномерности разбрасывания заключается в том, что ГМУ каждой марки и каждой отдельной партии отличаются гранулометрическим составом, влажностью и устойчиво-

стью к разрушению. В условиях существенных различий физико-механических свойств ГМУ в каждом случае требуется настройка ЦР на заданную норму и допустимую неравномерность. Как отмечено в [16] «качественное распределение удобрений по поверхности почвы центробежными аппаратами обеспечивается в основном правильной регулировкой и установкой рабочей ширины разбрасывания с учетом вида и гранулометрического состава».

По результатам отбора проб определяют среднюю массу удобрений в пробоотборниках, неравномерность их распределения и вычисляют рабочую ширину (по результатам нахождения оптимального перекрытия в смежных проходах), а также дозу внесения удобрений.

Стандартом [9] рекомендованы к применению при испытаниях пробоотборники с размерами $0,5 \times 0,5 \times 0,15$ м или $1,0 \times 0,25 \times 0,15$ м, предназначенные для сплошной трехрядной расстановки по ширине полосы разбрасывания. В последние полтора десятка лет происходило переоснащение сельскохозяйственных предприятий новыми моделями ЦР с повышенной шириной разбрасывания гранул (до 30-40 м вместо 12-15 м). Поэтому потребность пробоотборников с учетом указанной повторности отбора проб возрастает до 240 шт. Их расстановка и взвешивание поступивших удобрений приводит к большим затратам времени и усложняет испытания разбрасывателей. С применением современных ЦР в производственных условиях существующий метод настроек становится трудновыполнимым, что исключает возможность проверки настроек разбрасывателя, рекомендуемых инструкциями по эксплуатации. В то же время для выполнения рекомендованных в инструкциях настроек необходимо обладать определенными навыками, обучение которым не проводится. Из-за указанных недостатков в производственных условиях качество распределения ГМУ оценивают визуально, допуская двух-трехкратное превышение требуемых показателей неравномерности, что приводит к ограничению прибавок продуктивности от применения удобрений.

Проблема усложнена тем, что вопросам технологических настроек разбрасывателей не уделяется должного внимания и при их испытаниях. Так, в

результате анализа 10 протоколов испытаний на трех машиноиспытательных станциях (МИС) не выявлено сведений о проведении настройки разбрасывателей на оптимальную величину перекрытия удобряемых полос по результатам пробных проходов разбрасывателя (или оптимального расстояния между колеями в смежных проходах), как и оценок продолжительности настроек. Нет также оценок отклонений расстояния между колеями при движении разбрасывателя по полю. Выполнение указанных действий предусмотрено ГОСТ 28714 [9] и, согласно нашим исследованиям, без их выполнения невозможно обеспечить требуемые показатели качества работы ЦР.

Наиболее весомым фактором, препятствующим эффективному применению на ЦР микропроцессорных систем, и априорному установлению параметров поперечного распределения ГМУ является непредсказуемое различие их характеристик в условиях производственного применения. Поэтому, как отмечает Панев С.Б. [17], «известные зависимости для описания закономерностей распределения частиц громоздки и мало приспособлены для микропроцессорных систем».

В любом случае проверка результативности настроек может быть реализована лишь по результатам пробных проходов ЦР, отбора проб ГМУ в пробоотборники и получения фактических параметров распределения ГМУ по ширине разбрасывания. Полученная таким образом информация является основой для осуществления регулирующих воздействий. Лишь на основе этих данных возможно моделирование вариантов перекрытий полос рассеяния удобрений и выбор приемлемого варианта с лучшими показателями неравномерности.

Процесс отбора проб и настройки занимает не менее двух часов рабочего времени и требует участия не менее двух исполнителей. Однако необходимость выполнения такой настройки обусловлена большим влиянием на рабочий процесс ЦР характеристик минеральных удобрений каждой партии: соотношением размерных характеристик гранул, влажности и прочности гранул,

степени разрушения гранул рабочими лопатками центробежного диска (в зависимости от скорости лопаток и способа подачи гранул на диск) и другими факторами.

В производственной практике выбор режима работы ЦР осуществляется на основе компромисса между производительностью и равномерностью распределения удобрений. При этом, при отсутствии инструментальных оценок качества распределения, выбор, как правило, делается в пользу производительности.

При игнорировании мероприятий по настройке разбрасывателей на заданное качество поперечного распределения удобрений (в первую очередь за счет степени перекрытий удобряемых полос в смежных проходах) в типичном случае происходит их полосная локальная передозировка в окрестностях оси прохода разбрасывателя. При последующей вегетации растений это приводит к потерям урожая от неоднородности питания растений на поле, а также из-за полегания зерновых культур в зоне прохода разбрасывателя.

На разных этапах развития конструкций ЦР повышение их производительности и ширины разбрасывания ограничивалось ростом разрушения (распыления) гранул. Это наиболее весомый фактор роста неравномерности, т. к. пылевидные фрагменты гранул оседают в зоне прохода разбрасывателя, а их дифференциация по размерам в результате разрушения приводит к разной дальности их полета после схода с разбрасывающего диска.

При решении задачи увеличения дальности полета гранул и ширины разбрасывания в современных конструкциях ЦР, за счет специальных систем подачи гранул на диск достигается высокая частота вращения дисков ($700-800 \text{ мин}^{-1}$). Но, наряду с созданием предпосылок для повышения производительности ЦР, применение предельных скоростных режимов дисков вызывает рост линейной скорости рабочих лопаток и ударных воздействий на гранулы, поступающих на диск. Это, как известно, приводит к увеличению интенсивности разрушения гранул и образованию пылевидной фракции, а также к увеличению нормы удобрений в зоне прохода разбрасывателя в 1,5-3,0 раза.

Признаком, сигнализирующим о необходимости снижения скорости вращения диска, при работе разбрасывателя с каким-либо удобрением является визуально определяемое пылевидное облако в зоне разбрасывающих дисков.

Еще одной причиной повышения неравномерности ГМУ ЦР, сопряженной с большей, чем у сеялок и штанговых разбрасывателей рабочей шириной захвата, является сложность определения и соблюдения заданного расстояния между колеями в смежных проходах при движении по полю.

По результатам оценок машин для внесения удобрений Центральной машиноиспытательной станцией подтверждено, что отсутствие на агрегате средства технологического ориентирования (следоуказателя), обеспечивающего эквидистантное движение агрегата к следу предыдущего прохода, исключает возможность внесения удобрений с нормативным качеством.

По результатам полевого контроля качества внесения азотных удобрений в Германии установлено, что отклонение от установленной рабочей ширины захвата центробежных машин в процессе их движения по полю без дополнительных средств обеспечения параллельного вождения составляет от минус 15 % до +24 %. Известно, что ошибка в выборе расстояния между смежными проходами агрегата всего на 1 м может увеличить неравномерность внесения удобрений на 20 %-25 % [18]. По другим исследованиям с увеличением ширины захвата агрегата, например на 10 %, неравномерность внесения увеличивается примерно на эту же величину (от 7 % до 8 %) независимо от вида удобрений [19]. При этом в [20] сделан вывод, что коэффициент вариации ширины захвата разбрасывателей при внесении минеральных удобрений не должен превышать 10 %. Исходя из этого без дополнительных средств обеспечения параллельного вождения агрегатов (маркеры, следоуказатели, сигнальщики и др.) практически невозможно равномерное внесение удобрений, что отмечено в [21].

На основе показателей распределения ГМУ на полную ширину разбрасывания согласно стандартизованной методике [9] определяется оптимальное перекрытие удобряемых полос с определением рабочей ширины захвата. В

настоящее время соблюдение найденного расстояния между следами разбрасывателя или точное движение относительно следа предыдущего прохода может быть обеспечено с помощью разных технико-технологических решений, отличающихся сочетаниями стоимости и трудоемкости:

- предварительной прокладки на поле маркерных линий;
- за счет привлечения вспомогательных рабочих-сигнальщиков;
- с применением систем параллельного вождения.

Но в любом случае для предварительного определения оптимальной рабочей ширины захвата ЦР требуется определение относительных показателей содержания ГМУ на учетных площадках по всей ширине разбрасывания.

Таким образом, факторами, вызывающими неравномерность распределения ГМУ в технологиях применения ЦР в производственных условиях является игнорирование стадии получения относительных показателей содержания ГМУ по ширине разбрасывания, позволяющих сделать обоснованный выбор и соблюдение при работе оптимального перекрытия удобряемых полос в смежных проходах.

2 Предпосылки к выбору метода оценки поперечного распределения гранулированных минеральных удобрений

Предпосылками к выбору метода оценки поперечного распределения ГМУ являются:

- типично закономерное распределение по ширине разбрасывания;
- необходимость значительного сокращения трудоемкости и продолжительности работ в поле;
- использование возможностей современных программных средств (в том числе непосредственно в поле) для оперативного определения параметров исходного распределения ЦР, расчета показателей для разных вариантов перекрытия удобряемых полос в смежных проходах и последующих корректировок нормы внесения ГМУ в зависимости от выбранных параметров перекрытия.

Согласно ГОСТ 28714 [9] за рабочую ширину внесения удобрения при работе агрегата с перекрытием принимают ширину, при которой обеспечивается равномерность, соответствующая требованиям к качеству технологического процесса. При этом перекрытие в смежных проходах ЦР возможно до половины общей ширины разбрасывания удобрения, но при соответствующем снижении производительности.

Наряду с совершенствованием конструкций и расширением способов настроек ЦР на равномерное по ширине разбрасывание ГМУ в последние годы ведущими фирмами в их рекламных буклетах делается акцент не столько на поиск размеров частичного перекрытия удобряемых полос в смежных проходах, сколько на обеспечение равномерного внесения за счет перекрытия в смежных проходах на половину ширины разбрасывания (фирмы Rauch, Amazone и др.). Это позволяет получать минимально возможную неравномерность без затрат времени на не всегда результативный поиск варианта оптимального перекрытия удобряемых полос.

Обоснованность выбора такого способа обеспечения качества поперечного распределения ГМУ, в зависимости от полученной эпюры распределения была подтверждена в результате наших исследований [8] с применением ЦР Vogballe M2 (W) [22]. При определении в пробном проходе границ общей ширины полосы разбрасывания (24 м) и установлении половинного 12-метрового расстояния между колеями в смежных проходах была обеспечена неравномерность 17 %. При увеличении рабочей ширины захвата до 18, 20 и 24 м (за счет меньшего перекрытия полос разбрасывания) поперечная неравномерность составила соответственно 31,2 %, 45,1 % и 68,6 %, т. е. значительно ухудшалась и выходила за пределы агротехнических требований.

Таким образом, для обеспечения гарантированной наилучшей неравномерности поперечного распределения ГМУ необходимо определить ширину полосы посева, а расстояние между осями смежных проходов выбирать вдвое меньшим, чем ширина полосы посева.

Однако, при развитии систем контроля распределения ГМУ и оперативного регулирования рабочих органов на требуемые параметры распределения (в том числе из кабины трактора), востребованность оценок качества по общей ширине разбрасывания при меньшем перекрытии остается актуальной. Это подтверждается необходимостью обеспечения наибольшей производительности ЦР без превышения заданной неравномерности. Поэтому проводятся поиски способов повышения равномерности распределения частиц в секторе посева аппарата, на основе применения устройств управления на базе микропроцессорной техники с рассмотрением центробежного дискового аппарата как объекта управления [23]. Но факторами, препятствующими эффективному применению на ЦР микропроцессорных систем, и априорному установлению параметров поперечного распределения ГМУ, является непредсказуемое различие их характеристик в условиях производственного применения (особенно гранулометрического состава и коэффициентов трения при движении по рабо-

чим лопаткам), разрушение гранул рабочими лопатками диска, сепарация гранул по ширине захвата ЦР с преимущественным оседанием пылевидных частиц в зоне прохода.

Тем не менее, научными организациями и ведущими фирмами-производителями в последнее время активно разрабатываются и совершенствуются устройства для автоматического регулирования технологического процесса ЦР непосредственно во время работы машины. Такие работы ведутся в следующих направлениях [24]:

- стабилизация прямолинейности движения агрегата;
- стабилизация частоты вращения распределительного рабочего органа;
- регулирование криволинейности лопаток в зависимости от скорости движения;
- регулирование высоты расположения дисков над поверхностью поля;
- регулирование процесса рассева по изменению рельефа поля;
- регулирование дозы высева;
- регулирование процесса рассева по нескольким параметрам (скорость движения, дозы, вида удобрений, подачи, состава удобрений и др.).

Но, как отмечено в процитированном источнике, эти устройства мало приспособлены к управлению технологическим процессом при изменении влажности удобрений и других физико-механических свойств материала, при нарушениях установленных параметров рабочих органов и др. Использование устройств для автоматического регулирования технологического процесса, управления и контроля хотя и повышают качество технологического процесса рассева удобрений по сравнению с обычными рабочими органами, но не охватывают всего объема управляемых параметров. Они не позволяют выполнять управление процессом рассева в случаях варьирования фрикционных характеристик частиц разбрасываемого материала и устойчивости к разрушению, а это может привести к тому, что при обеспечении заданной дозы на общей ширине рассева распределение удобрений по полю окажется неравномерным.

В связи с этим, в любом случае сохраняется потребность инструментального контроля параметров распределения. А достижение заданных показателей и результативность настроек могут быть проверены лишь по результатам пробных проходов ЦР, отбора проб ГМУ в пробоотборники и получения фактических параметров содержания ГМУ по ширине разбрасывания. Полученная таким образом информация является основой для осуществления регулирующих воздействий, а также при оценках в процессе испытаний ЦР. В связи с этим сокращение трудоемкости отбора проб ГМУ и определения параметров их распределения по ширине разбрасывания является актуальной задачей.

Ведущие зарубежные фирмы-производители ЦР разрабатывают, совершенствуют и реализуют вместе с разбрасывателями индивидуальные фирменные системы настроек на необходимые параметры разбрасывания. Отдельные фрагменты этих систем являются неотъемлемой частью поставляемых разбрасывателей, другие – предлагаются в виде дополнительных опций.

Во многих случаях это представляет собой программное обеспечение, при вводе в которое показателей гранулометрического состава применяемых удобрений и других параметров технологического процесса можно получить подсказку по регулировкам ЦР. При этом не исключается применение пробоотборников для контроля правильности регулировок.

Необходимо заметить, что ведущие фирмы-производители в своих системах настроек ЦР на равномерное распределение ГМУ идут по пути применения сокращенного числа пробоотборников.

Так фирма Amazone опционально поставляет набор из 16 ковриков и емкостей для проверки распределения удобрений в поле [25]. Емкости расставляются в поле в соответствии со схемой (рисунок 3), после чего количество удобрений, собранное на этих ковриках, измеряется в специальных проградуированных емкостях и сравнивается. После внесения результатов измерений в терминал система предлагает внести в настройки изменения. Кроме того, чтобы задать рекомендации, касающиеся настроек, Amazone предлагает анализ пробы удобрений.



Рисунок 3 – Установка пробоотборников Amazone при настройке разбрасывателя

Фирма Bogballe при оценках распределения ГМУ по ширине разбрасывания рекомендует выбирать расстояние между поддонами-пробоотборниками в зависимости от ширины разбрасывания. При изменении ширины в пределах 12-38 м рекомендуемое расстояние между поддонами изменяется в пределах 1,5-5,5 м (таблица 1).

Таблица 1 – Предлагаемое фирмами число поддонов-пробоотборников

Наименование фирмы	Число поддонов-пробоотборников, шт.
Amazone	16
Bogballe	7-8
Kverneland	7

Кроме этого, поставляются решета для гранулометрического анализа, а также контрольный прибор для проверки твердости удобрений. При этом можно ввести найденные значения на домашней странице фирмы или с помощью специального приложения на компьютере, чтобы получить рекомендации по внесению имеющихся удобрений.

У фирмы Kverneland настроечная таблица внесения удобрений строится на основе распределения состава удобрений по размеру гранул, для определе-

ния которого используются решета. Здесь также можно опционально приобрести набор с ковриками-пробоотборниками для контроля распределения гранул в поле [26]. Бесплатная компьютерная программа выдаст соответствующие указания, касающиеся настроек.

Фирма Kverneland для выполнения «теста дозы внесения удобрений» предлагает следующее оборудование: 7 поддонов, 7 решеток, 7 измерительных трубок, 1 воронка, а также руководство по эксплуатации.

В инструкции по эксплуатации фирмы Vogballe рекомендуются расстояние между поддонами в зависимости от ширины разбрасывания (таблица 2).

Таблица 2 – Рекомендуемое фирмой Vogballe расстояние между поддонами при отборе проб по ширине разбрасывания ГМУ [22]

Ширина разброса, м	Расстояние между поддонами, м
12	1,5
15-16	2,0
18	2,5
20-21	3,0
24	3,5
27-28	4,0
30	4,5
32-33	5,0
38	5,5

Таким образом, фирмы-производители в своих системах настроек ЦР на равномерное распределение ГМУ, наряду с развитием и применением различных систем настроек, контроля и управления процессами распределения гранул по ширине не исключают применения отбора проб удобрений по ширине разбрасывания. Но при этом ориентируются на применение ограниченного числа пробоотборников, рассредоточенных по ширине разбрасывания.

3 Программа и методика исследований

3.1 Цели и задачи исследования

Цель исследования – обосновать усовершенствованный ресурсотрудосберегающий метод оценки показателей поперечного распределения ГМУ ЦР.

Задачи исследования:

- установить причины недостаточного качества распределения ГМУ ЦР;
- провести оценки неравномерности распределения гранул при разном количестве применяемых пробоотборников для ЦР с разной шириной разбрасывания;
- обосновать оптимальное количество пробоотборников для оценок неравномерности распределения ГМУ по ширине разбрасывания.

3.2 Объект исследований

Объект исследований – метод получения относительных показателей содержания ГМУ на учетных площадках по ширине разбрасывания центробежными аппаратами.

3.2.1 Базовый способ определения неравномерности распределения:

Регламентированный ГОСТ 28714 [9] метод оценки распределения ГМУ по ширине захвата, предназначенный для испытаний разбрасывателей.

Согласно ГОСТ 28714 [9] за неравномерность распределения удобрений по общей и рабочей ширине их внесения принимают коэффициент вариации массы удобрений, попавшей в отдельные пробоотборники, установленные по рабочей ширине разбрасывания в сплошной ряд перпендикулярно к направлению движения машины. При этом пробоотборники при испытаниях ЦР составляют в три сплошных поперечных ряда, а при каждом скоростном режиме опыт проводят в трехкратной повторности.

По результатам отбора проб определяют содержание удобрений по ширине разбрасывания, среднюю массу удобрений в пробоотборниках, неравномерность их распределения и вычисляют рабочую ширину (по результатам нахождения оптимального перекрытия в смежных проходах), а также дозу

внесения удобрений.

3.2.2 Новый способ определения неравномерности распределения

По результатам анализа литературных источников, технических характеристик и технологических возможностей современных ЦР и изучения проблем обеспечения качества распределения ГМУ в производственных условиях была выдвинута гипотеза о возможности значительного сокращения трудоемкости оценки содержания удобрений по ширине разбрасывания, неравномерности по ширине разбрасывания и выбора оптимального перекрытия удобряемых полос в смежных проходах при использовании значительно меньшего числа пробоотборников, чем это требуется в базовом способе.

Сущность нового ресурсосберегающего способа оценки показателей качества работы ЦР минеральных удобрений заключается в применении уменьшенного в несколько раз числа пробоотборников, аппроксимации полученных значений кривой второй, третьей или четвертой степени с последующим определением характеристик разбрасывания и оптимального перекрытия удобряемых полос с помощью электронной программы.

3.3 Программа исследований

Программой исследований было предусмотрено:

- реализовать новый способ оценок на основе исходного распределения ГМУ и оценки результатов контрольного примера, представленного в ГОСТ 28714-2007 «Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний» [9] с шириной разбрасывания 13 м;

- выполнить полевые оценки неравномерности распределения ГМУ разбрасывателем Vogballe M2 (W) с получением численных значений (исходного распределения) содержания удобрений на контрольных площадках по ширине разбрасывания (на 36-40 м);

- исследовать сравнительные показатели распределений по вариантам с сокращенным числом пробоотборников и обосновать наиболее эффективный вариант.

3.4 Методика исследований

Проведение исследований базируется на анализе недостатков стандартизованного метода оценок параметров распределения ГМУ ЦР применительно к условиям производственного применения ЦР, оценках показателей распределения ГМУ в полевых условиях и изыскании варианта оценок показателей распределения с минимальной потребностью пробоотборников.

Исследования направлены на разработку ресурсосберегающего способа оценки показателей качества работы ЦР минеральных удобрений с применением уменьшенного в несколько раз числа пробоотборников, аппроксимации полученных значений кривой третьей степени с последующим определением характеристик разбрасывания и оптимального перекрытия удобряемых полос с помощью электронной программы.

Экспериментальные исследования выполнены с использованием стандартной методики [9]. Обработка результатов, полученных в ходе проведения экспериментов, проводилась методами математической статистики с применением программных средств [27].

Место проведения полевых оценок – валидационный полигон КубНИИТиМ, поле 8(1).

Агрегат для внесения ГМУ – МТЗ-82+Vogballe M2(W).

Культура – озимая пшеница в фазе кущения.

3.4.1 Номенклатура определяемых показателей:

- характеристика поля (площадь, почвенные условия);
- характеристика культуры (сорт, урожайность и др.);
- средняя по ширине разбрасывания масса удобрений в пробоотборниках;
- неравномерность продольного и поперечного распределения ГМУ.

3.4.2 Методы оценок показателей

В основу проведения экспериментальных исследований в полевых условиях нами была положена методика испытания машин для внесения твердых минеральных удобрений, известковых материалов и гипса.

Показатели условий полевых оценок определяют согласно ГОСТ 20915 [28], показатели распределения ГМУ по ширине разбрасывания и вдоль прохода – по ГОСТ 28714 [9].

При оценке равномерности поверхностного распределения минеральных удобрений по ширине захвата и по ходу движения для сбора удобрений использовали рекомендованные стандартом [9] поддоны-пробоотборники размером $0,5 \times 0,5 \times 0,1$ м (рисунок 4).



Рисунок 4 – Поддон-пробоотборник для отбора проб ГМУ

Пробоотборники расставляли на ровном участке по одному на каждом метре ширины в три ряда с расстоянием между рядами 100 м (рисунки 5-6).

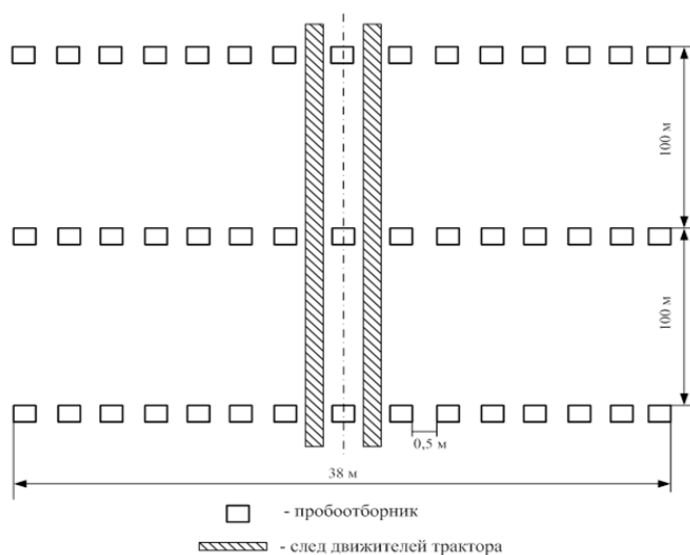


Рисунок 5 – Схема расстановки пробоотборников при определении неравномерности распределения удобрений в поперечном направлении

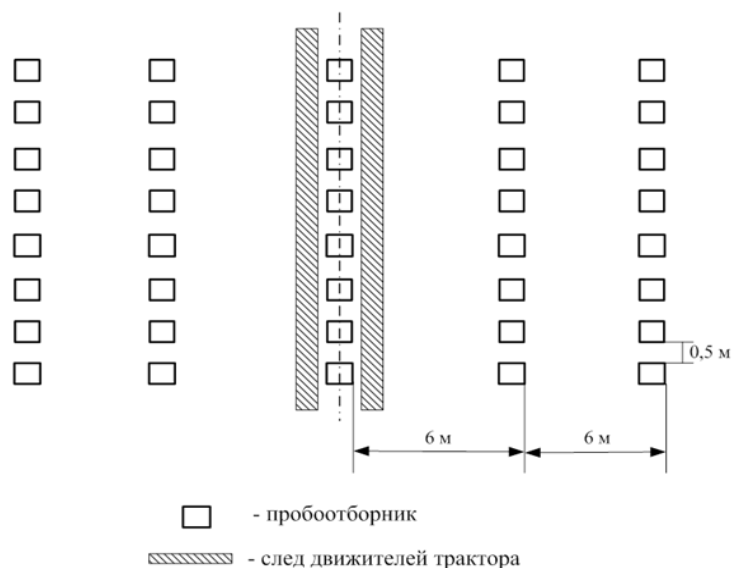


Рисунок 6 – Схема расстановки пробоотборников при определении неравномерности продольного распределения удобрений

По линии прохода колес трактора пробоотборники не ставили, но количество удобрений в отсутствующих пробоотборниках принимали как среднее арифметическое значение в соседних пробоотборниках.

Предварительно, на первом этапе для оценки пригодности нового метода отбора проб для учета поперечной неравномерности в качестве исходного распределения ГМУ по ширине разбрасывания были приняты данные контрольного примера, представленные в ГОСТ 28714 [9]. Общая ширина разбрасывания составляла 13 м при поступлении ГМУ в 26 установленных вплотную друг к другу пробоотборника.

В полевых условиях (на втором этапе исследований) получали распределение ГМУ на ширину 36 м при использовании разбрасывателя Vogballe M2(W) в агрегате с трактором МТЗ-82 с применением 36 пробоотборников, установленных по одному на каждом метре ширины разбрасывания в трехкратной повторности. Ширину разбрасывания определяли по расстоянию между крайними пробоотборниками, содержащими гранулы.

Взвешивание удобрений производили из каждого пронумерованного слева-направо по ходу разбрасывателя пробоотборника в отдельности с использованием весов SCL-300 с погрешностью взвешивания до $\pm 0,03$ г.

По полученным численным рядам исходных распределений находили их статистические характеристики. Затем формировали численные ряды значений распределений при учете удобрений через один, через два и т. д. пробоотборника. Для полученных сокращенных численных рядов также находили статистические характеристики и оценивали характер их изменений относительно характеристик исходных распределений.

Показатели продольной неравномерности определяли по результатам трехкратной повторности отбора проб распределения ГМУ, представленного в контрольном примере ГОСТ 28714 [9], разбрасывателем на ширину 13 м. При распределении ГМУ разбрасывателем Vogballe M2(W) на 36 м, показатели продольной неравномерности были определены по результатам 6-кратной повторности отбора проб по оси прохода разбрасывателя и по линиям, удаленным от оси на 6 и 12 м.

Полученные численные ряды обрабатывали методами математической статистики с получением среднего содержания удобрений в пробоотборниках и коэффициентов вариации их распределения вдоль прохода ЦР и по ширине разбрасывания.

4 Результаты определения характеристик исходного распределения по результатам отбора проб

Полевой опыт был проведен на поле 8(1) валидационного полигона КубНИИТиМ при небольшом ветре (2,5 м/с) под прямым углом к направлению движения разбрасывателя (рисунок 7).



Рисунок 7 – Схема поля, направление ветра и движения разбрасывателя

В полевом опыте разбрасыватель Vogballe M2(W) был сагрегатирован с трактором МТЗ-82 (рисунок 8).



Рисунок 8 – Заправка разбрасывателя аммиачной селитрой

4.1 Показатели продольной неравномерности

Показатели продольной неравномерности были определены согласно методике (раздел 3) по результатам значений трехкратной повторности отбора проб распределения ГМУ (с контрольного примера), а также разбрасывателем Vogballe M2(W) по результатам 6-кратной повторности отбора проб. Результаты статистической обработки показывают (таблица 3), что средняя масса удобрений в пробоотборниках при удалении от оси прохода имеет тенденцию к снижению, а коэффициент вариации в пределах 6 м от оси прохода остается примерно одинаковым (19,2 % и 20,3 %).

Таблица 3 – Показатели продольного распределения удобрений

Расположение линии отбора проб относительно оси прохода	Показатели распределения	
	средняя масса в пробоотборнике, г	коэффициент вариации, %
По оси	1,56	19,2
На удалении от оси 6 м	1,48	20,3
На удалении от оси 12 м	1,35	9,6

При удалении от оси на 12 м коэффициент вариации снижается в 2 раза. Повышение равномерности распределения удобрений при этом можно объяснить тем, что такой дальностью полета обладают крупные гранулы, тогда как в окрестностях прохода разбрасывателя, наряду с ними присутствуют пылевидные и мелкие фракции, подверженные большей пульсации при сходе с лопаток разбрасывающего диска.

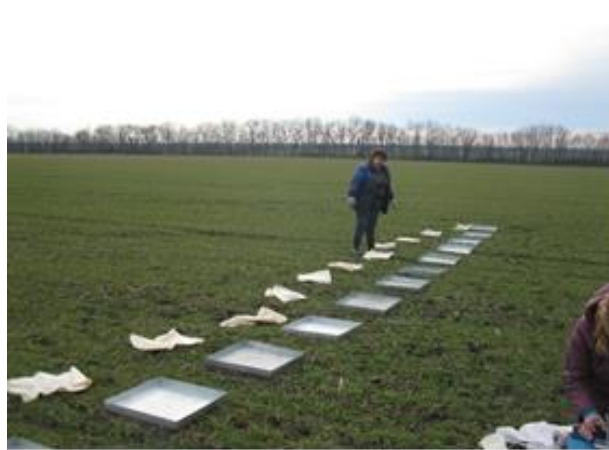
4.2 Показатели поперечного распределения

Для поиска упрощенного варианта отбора проб ГМУ по ширине разбрасывания, для последующего получения оценочных показателей в соответствии с программой работ (раздел 3), использовали данные контрольного примера, представленные в ГОСТ 28714 [9], и распределения, полученного экспериментальным путем при поверхностной подкормке озимой пшеницы 27 февраля 2020 г. разбрасывателем Vogballe M2(W) на ширину 36 м.

При экспериментальной оценке в процессе подкормки озимой пшеницы симметрично линии очередного прохода разбрасывателя Vogballe M2(W) на каждом метре ширины разбрасывания в три ряда были расставлены по 36 поддонов-пробоотборников (рисунок 9).



А



Б

Рисунок 9 – Расстановка поддонов-пробоотборников для оценки продольной (А) и поперечной (Б) неравномерности разбрасывания

После прохода разбрасывателя в прямом и обратном направлениях, удобрения из каждого поддона пересыпали в пронумерованные пластиковые стаканчики и взвешивали на весах SCL-300 с погрешностью $\pm 0,03$ г (рисунок 10).



Рисунок 10 – Взвешивание удобрений из поддонов-пробоотборников

По полученному ряду значений определяли средние значения за один проход разбрасывателя.

5 Обоснование оптимального числа пробоотборников для оценки качества распределения удобрений

5.1 Результаты исследований при ширине разбрасывания 13 м

По известным показателям массы удобрений в 26 пробоотборниках, установленных по всей ширине разбрасывания вплотную друг к другу и представленных в контрольном примере ГОСТ 28714, было получено уравнение аппроксимации в виде полинома (многочлена) третьей степени $y = -0,0003 \cdot x^3 - 0,0573 \cdot x^2 + 1,7559 \cdot x - 3,5012$ (рисунок 1). Аналогичные уравнения были получены по вариантам с учетом значений содержания ГМУ через один, через два и через три пробоотборника при их количестве соответственно 13, 9 и 7 штук (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты аппроксимации значений масс удобрений при разных вариантах расположения учетных пробоотборников

Вариант расположения пробоотборников	Уравнение аппроксимации
Сплошная расстановка	$y = -0.0003 \cdot x^3 - 0.0573 \cdot x^2 + 1,7559 \cdot x - 3.5012$
Через один	$y = -0.0014 \cdot x^3 - 0.0184 \cdot x^2 + 1.3769 \cdot x - 2.4559$
Через два	$y = -0.0008 \cdot x^3 - 0.0326 \cdot x^2 + 1.3474 \cdot x - 1.8307$
Через три	$y = -0.0012 \cdot x^3 - 0.0238 \cdot x^2 + 1.3906 \cdot x - 1.9146$

По значениям масс удобрений, известным из контрольного примера, в запланированных для учета пробоотборниках для каждого варианта их расположения были найдены средние значения масс по ширине разбрасывания и неравномерность распределения удобрений (таблица 5).

Таблица 5 – Характеристики содержания ГМУ в пробоотборниках по вариантам

Вариант размещения учетных пробоотборников	Число пробоотборников	Средняя масса удобрений в пробоотборниках, г	Коэффициент вариации, %
Сплошная расстановка	26	5,01	81,0
Через один	13	5,15	82,5
Через два	9	4,71	84,9
Через три	7	5,03	94,1

Из таблицы 5 видно, что средняя масса удобрений в пробоотборниках в рассмотренных вариантах варьирует в пределах от 4,71 до 5,15 г без закономерных изменений от сокращения их количества. Отклонения от массы в базовом варианте при сплошном расположении учетных пробоотборников (5,01 г) в большую сторону достигают 0,14 г или 2,8 %, в меньшую – 0,30 г или 6,4 %.

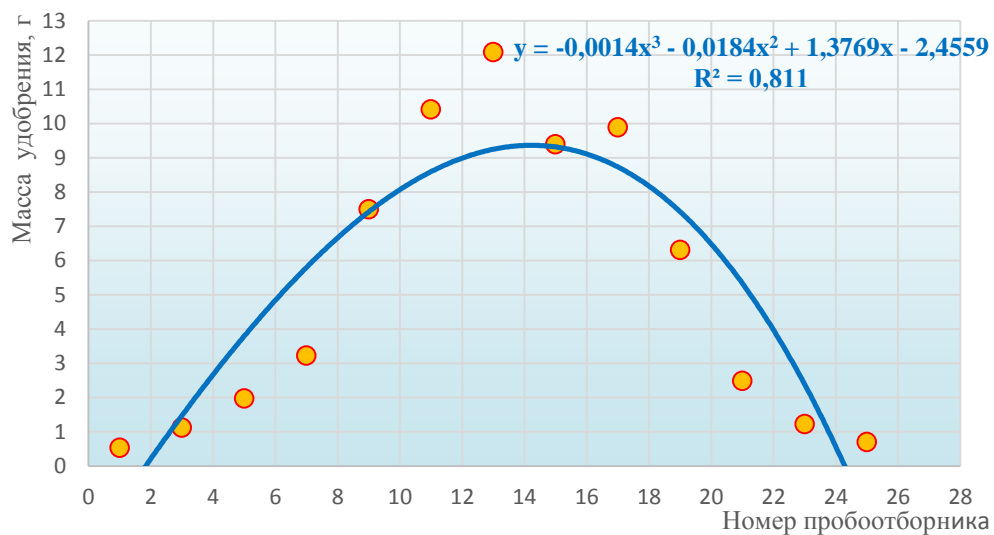
Полученные погрешности оценки средней массы удобрений в пробоотборниках и, следовательно, средней нормы удобрений по ширине разбрасывания вполне допустимы для настроек разбрасывателей на норму внесения ГМУ. Тем более что будет использоваться заранее выбранный вариант размещения учетных пробоотборников.

Коэффициент вариации поперечного распределения ГМУ с уменьшением числа пробоотборников от 26 до 7 сохраняется в сравнительно небольшом диапазоне от 81,0 % до 94,1 %. Полученные значения масс удобрений в симметрично расположенных по ширине разбрасывания пробоотборниках с помощью компьютерной программы аппроксимировали уравнениями полинома третьей степени.

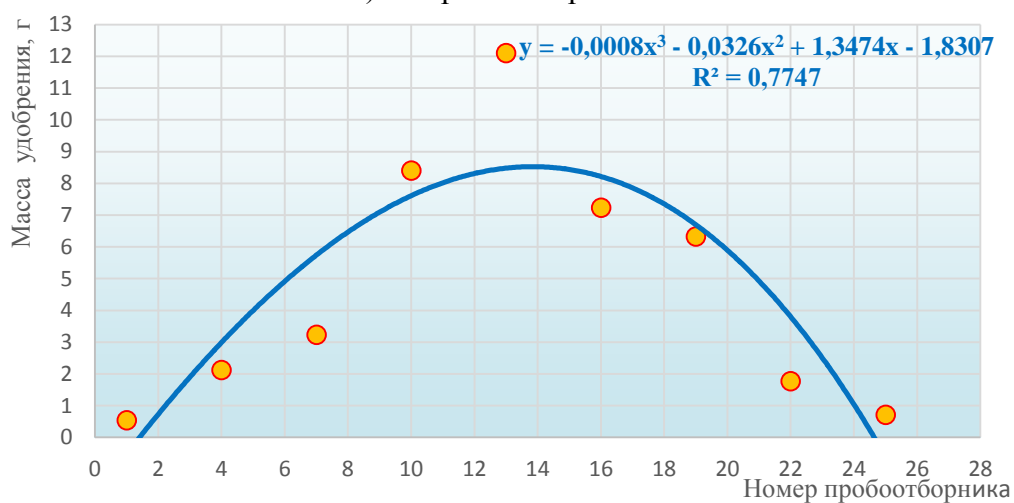
Из рисунка 11 видно, что применение разного числа пробоотборников не приводит к существенным изменениям формы кривой распределения ГМУ. А отличие численных значений полученных распределений находятся в допустимых для решения практических задач пределах.

Для практического применения предложенного способа выполняют ряд последовательных действий: По результатам пробного прохода определяют границы ширины разбрасывания. В полосе предстоящего прохода разбрасывателя равномерно по ширине расставляют 7-9 пробоотборников, принимая следующие за границами ширины полуметровые участки за нулевые точки.

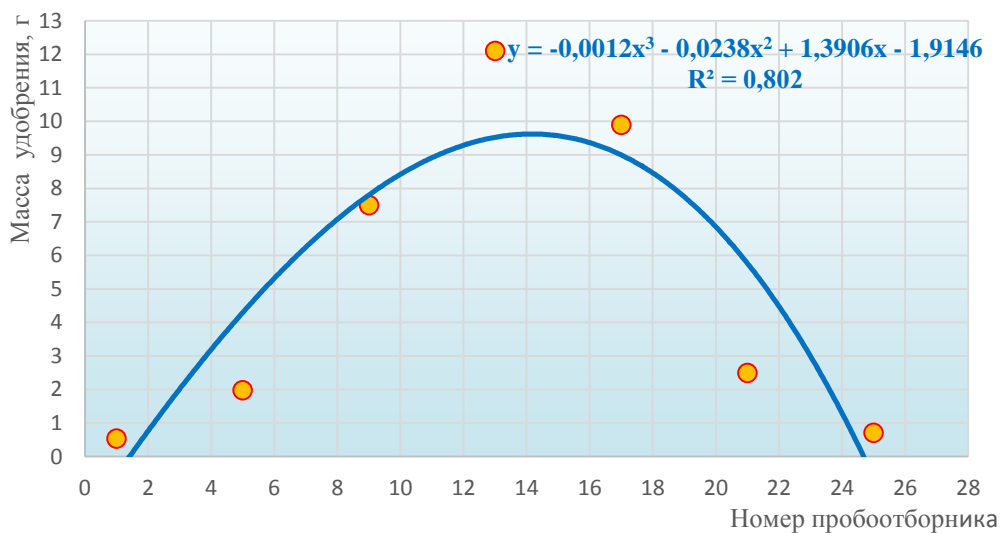
Результаты взвешивания удобрений из каждого пробоотборника фиксируют в сочетании с расстоянием от края удобренной полосы. Затем, по полученным значениям, находят уравнение кривой $y = f(x)$.



а) 13 пробоотборников



б) 9 пробоотборников



в) 7 пробоотборников

Рисунок 11 – Распределение ГМУ по ширине разбрасывания с разным числом учетных пробоотборников

Из выражения $y = f(x)$ для ряда значений x (через 0,5 м) определяют соответствующий численный ряд значения y , для которого вычисляют среднее значение y (т. е. среднее по ширине разбрасывания содержание ГМУ на учетных площадках) и коэффициент вариации.

Для визуального восприятия и контроля воспроизводят график распределения удобрений по ширине разбрасывания.

5.2 Результаты исследований при ширине разбрасывания 36 м

В результате отбора проб ГМУ пробоотборниками размерами 0,5×0,5 м по одному на каждом метре ширины разбрасывания был получен исходный ряд значений содержания удобрений. На основе полученного ряда значений имитировали расстановку пробоотборников через 1, 2, 3, 4 и 5 м путем учета значений показателей в пробоотборниках с соответствующими номерами (при условном расположении на границах общей ширины внесения двух пробоотборников без удобрений). Таким образом, было получено 6 вариантов рядов численных значений (с учетом исходного распределения), соответствующих содержанию удобрений на контрольных площадках, равномерно рассредоточенных по ширине разбрасывания (таблица 6).

Т а б л и ц а 6 – Варианты расположения учетных пробоотборников по ширине разбрасывания и показатели распределений ГМУ

Расположение учетных пробоотборников	Номера учетных пробоотборников слева-направо по ширине разбрасывания	Средняя масса удобрения, г	Коэффициент вариации, %
На каждом метре	1...2...3...4...5... ...38	1,06	51,5
Через 1 м	1...3...5...7...9... ...38	0,96	65,3
Через 2 м	1...4...7...10...13... ...38	0,87	73,3
Через 3 м	1...5...9...13...17... ...38	0,95	75,0
Через 4 м	1...6...11...16...21... ...38	0,88	73,1
Через 5 м	1...7...13...19...25...31...38	0,80	80,1

Из таблицы 6 видно, что при сокращении числа пробоотборников с 38 до 7, равномерно расположенных по ширине разбрасывания, средняя масса удобрений в них имеет тенденцию к значительному снижению с 1,06 до 0,8 г,

что составляет 24,5 %. При этом коэффициент вариации существенно увеличивается – от 51,5 % до 80,1 %.

Полученные ряды численных значений аппроксимировали уравнениями полиномов третьей степени, различающихся величиной коэффициентов при x и свободными членами (таблица 7, рисунки 12-17).

Т а б л и ц а 7 – Результаты аппроксимация значений масс удобрений при разных вариантах расположения учетных пробоотборников

Вариант расположения пробоотборников	Уравнение аппроксимации
Сплошная расстановка	$y = -4.9 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.14 \cdot x - 0,078$
Через 1 м	$y = -4.1 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2.0 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.14 \cdot x - 0,08$
Через 2 м	$y = -6.1 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.11 \cdot x - 0,085$
Через 3 м	$y = -3.2 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2.6 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.15 \cdot x - 0,085$
Через 4 м	$y = -1.9 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2.8 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.14 \cdot x - 0,098$
Через 5 м	$y = -1.9 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2.9 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0.14 \cdot x - 0,059$

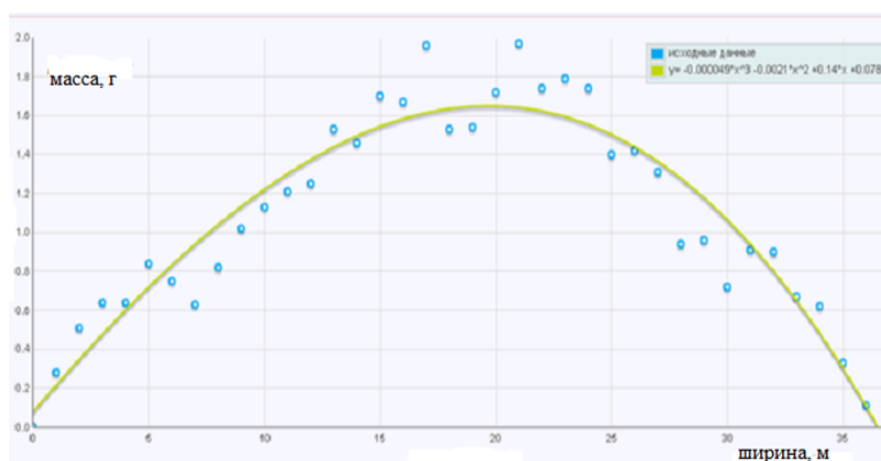


Рисунок 12 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками на каждом метре ширины разбрасывания (исходное распределение удобрений)

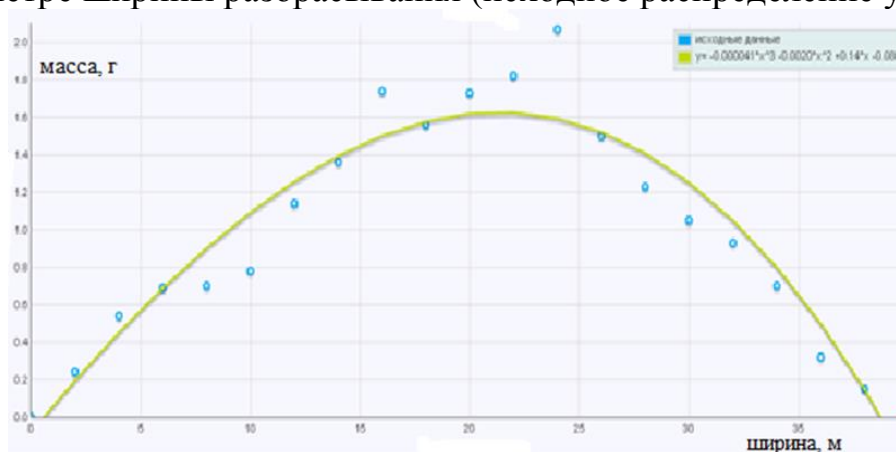


Рисунок 13 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками через 1 м

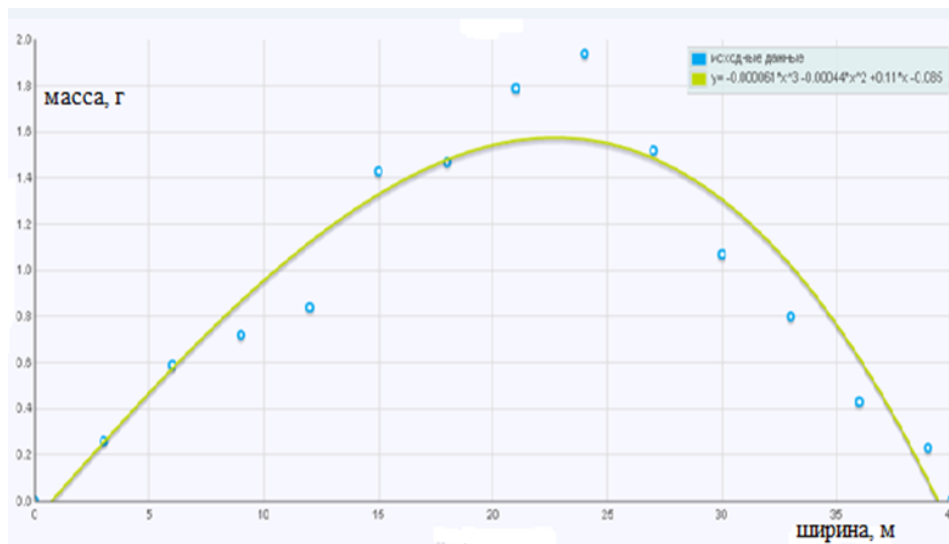


Рисунок 14 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками через 2 м

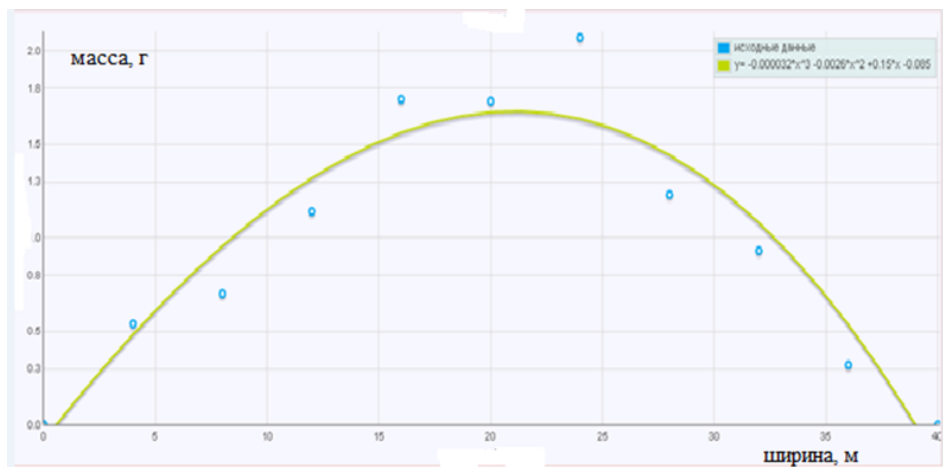


Рисунок 15 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками через 3 м

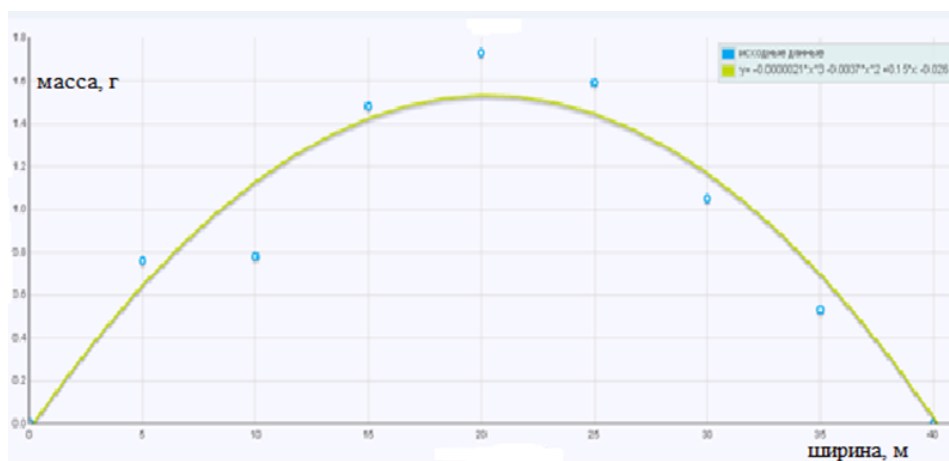


Рисунок 16 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками через 4 м

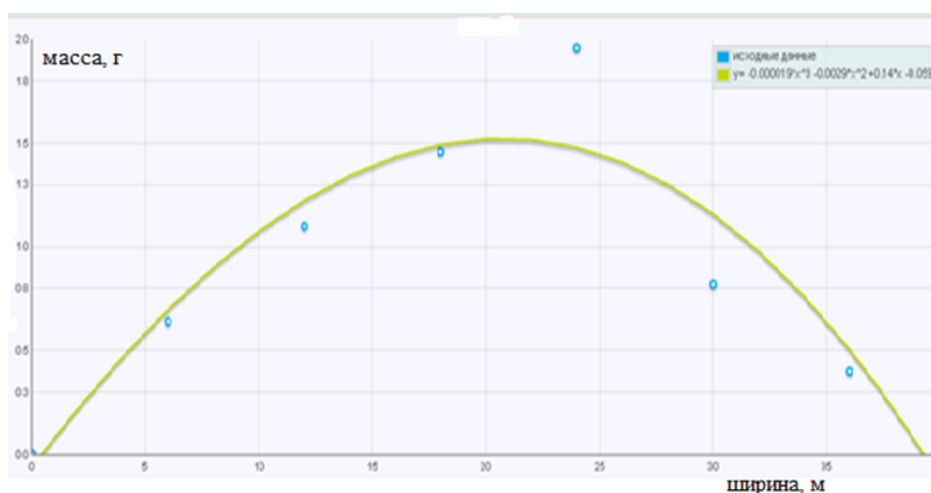


Рисунок 17 – Расположение учетных площадок с пробоотборниками через 5 м

Графическое расположение кривых показывает их идентичность с исходным распределением независимо от числа применяемых учетных площадок с пробоотборниками и близкий с ним характер симметричного распределения.

Вследствие характера типичного распределения удобрений ЦР с наибольшим их количеством по оси прохода и убыванием к боковым границам ширины разбрасывания для обеспечения требуемого качества внесения по площади поля применяют перекрытие удобряемых полос в смежных проходах. Наиболее радикально проблема качества распределения ГМУ по ширине решается при перекрытии на половину ширины разбрасывания. При этом значительно сокращается продолжительность настроек разбрасывателя перед работой. Но, наряду с повышением качества, в этом случае в два раза снижается производительность разбрасывателя.

Во многих случаях возможно компромиссное решение путем нахождения степени перекрытия, удовлетворяющей допустимым значениям требований качества. Однако в стандартизованном методе оценки [9] поиск параметров перекрытия является трудоемким из-за сплошной расстановки большого числа пробоотборников для получения значений исходного распределения, а также моделирования нескольких вариантов перекрытия с расчетом показателей для каждого варианта и выбора из них оптимального варианта.

В разрабатываемом методе получение исходного распределения с последующим получением уравнения аппроксимации предполагается с применением значительно меньшего числа пробоотборников – не более 10 с расположением через 4-5 м друг от друга. При этом получение информации о массе ГМУ в любом отсутствующем пробоотборнике возможно при подстановке в уравнение аппроксимации соответствующего значения расстояния от края, в пределах ширины разбрасывания.

Для определения степени отклонения значений массы удобрений в пробоотборниках и коэффициентов вариации, полученных по экспериментальным значениям и из уравнений аппроксимации, были приняты значения, соответствующие вариантам размещения учетных пробоотборников. Полученные показатели (таблица 8) свидетельствуют, что при увеличении интервалов между пробоотборниками (по мере сокращения числа пробоотборников) прослеживается тенденция снижения массы ГМУ с 1,06 до 0,80 г как по экспериментальным данным, так и по полученным из уравнений, а коэффициент вариации увеличивается с 51,5 % до 86,6 %.

Таблица 8 – Характеристики содержания ГМУ в пробоотборниках по вариантам

Вариант размещения учетных пробоотборников	Средняя масса удобрений в пробоотборнике, г:		Коэффициент вариации, %	
	по экспериментальным значениям	из уравнений	по экспериментальным значениям	из уравнений
Сплошная расстановка	1,06	0,90	51,5	57,6
Через один	0,96	0,94	65,3	63,9
Через два	0,87	0,78	73,3	78,5
Через три	0,95	0,88	75,0	68,1
Через четыре	0,88	0,86	73,1	71,1
Через пять	0,80	0,80	86,6	80,2

Значения коэффициентов вариации в сравнении с показателем исходного распределения и в том, и в другом варианте увеличиваются с 51,5 % и с 57,6 % до 86,6 % и до 80,2 %.

Ухудшение показателей распределения удобрений с уменьшением

числа пробоотборников вызвало необходимость поиска причин данной закономерности. В результате анализа значений исходного распределения с расстановкой пробоотборников на каждом метре (таблица 6) было установлено, что при повышенных расстояниях между пробоотборниками весомым фактором в различии показателей является единая (нулевая) точка отсчета по вариантам. В результате этого значения вместе с учетными пробоотборниками сильно варьируют относительно оси прохода разбрасывателя и, соответственно, отклоняются от соответствующих точек исходного распределения.

По результатам поиска был обоснован вариант с симметричным относительно оси прохода расположением 6 пробоотборников, расположенных в каждую сторону от оси на втором, шестом и десятом метре. В дополнение к этим точкам при аппроксимации учитывались нулевые точки по краям распределения (таблица 9), которые можно обозначать при отборе проб, исходя из измеренной ширины разбрасывания.

Таблица 9 – Содержание удобрений в учетных симметрично расположенных пробоотборниках

Наименование показателя	Средняя масса удобрений (г) в пробоотборниках:	
	согласно исходному распределению	из уравнения аппроксимации по симметричным площадкам с пробоотборниками
Расстояние от левого края ширины разбрасывания, м:		
0	0	-0,07
9	1,02	1,25
13	1,53	1,55
17	1,96	1,68
20	1,72	1,65
24	1,74	1,46
28	0,94	1,12
38	0	-0,15
Среднее арифметическое, г	1,11	1,06
Коэффициент вариации, %	70,2	70,6

При аппроксимации значений содержания удобрений по шести симметричным площадкам, с пробоотборниками в пределах ширины разбрасывания получено аппроксимирующее уравнение в виде полинома третьей степени:

$$y = -3,3 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,19 \cdot x - 0,06 \text{ (рисунок 18).}$$

Из таблицы видно, что средние значения массы удобрений в пробоотборниках и коэффициенты вариации получены практически одинаковыми. При этом получено среднее значение массы удобрений в пробоотборниках (1,11 г), что несколько больше, чем при 1,06 г в исходном распределении (см. таблицу 6). Но это отличие составляет 4,5 % и вполне допустимо при замене распределения, полученного с применением пробоотборников на каждом метре ширины разбрасывания. Тем более что для практических целей на основе полученного распределения будет выбираться оптимальный вариант из нескольких вариантов с разными перекрытиями в смежных проходах.

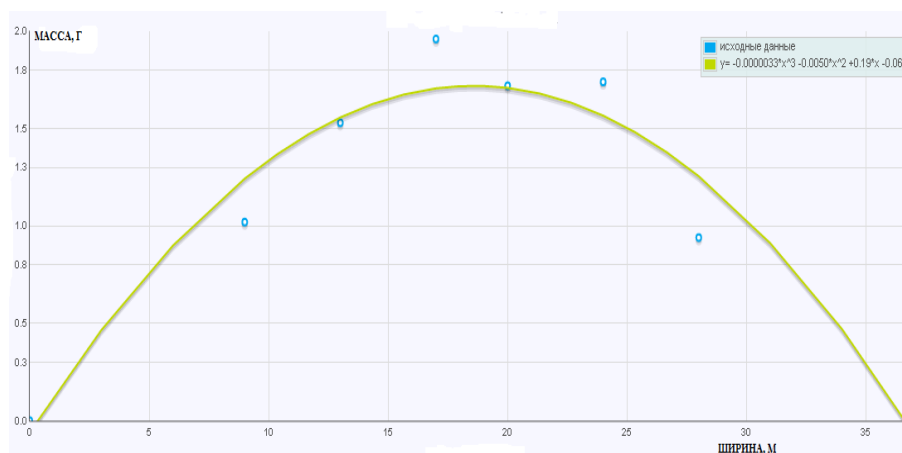


Рисунок 18 – Аппроксимация распределения ГМУ по 6 симметрично расположенным пробоотборникам и двум нулевым точкам

Таким образом, для оценки качества распределения и нормы внесения ГМУ современными разбрасывателями по общей ширине разбрасывания предлагаемым способом необходимо выполнение следующих действий:

- установление по результатам пробного прохода ЦР ширины разбрасывания;
- расстановка симметрично относительно оси прохода по 3 пробоотборника – на втором, шестом и десятом метре;
- взвешивание удобрений, поступивших в пробоотборники (с формированием ряда значений y) и фиксация результатов взвешивания в совокупности

с расстояниями от края полосы разбрасывания до соответствующих пробоотборников (значения x);

- аппроксимация значений и получение уравнения кривой $y = f(x)$;
- определение значений y из уравнения $y = f(x)$ по любому заданному количеству точек (например, через 0,5 м), равномерно распределенных в пределах ширины разбрасывания путем подстановки значений x ;
- определение по полученному ряду значений показателей неравномерности и среднего по ширине разбрасывания относительного содержания ГМУ;
- определение для заданной рабочей ширины разбрасывания значений y в зависимости от заданных значений для суммирования значений x по необходимым интервалам в перекрываемых полосах.

При перекрытиях полос разбрасывания удобрений в смежных проходах перед определением искомых значений в пределах рабочей ширины разбрасывания необходимо просуммировать значения в перекрываемых полосах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В применяемых технологиях возделывания сельскохозяйственных культур наиболее важным средством воздействия на продуктивность растений являются гранулированные минеральные удобрения (ГМУ). Но, наряду с внесением рекомендованных погектарных норм ГМУ, наибольшая отдача от них может быть получена при равномерном распределении по площади поля.

Повышение достоверности оценок и оперативное определение качества распределения удобрений при испытаниях разбрасывателей и при их производственной эксплуатации является актуальной задачей, как для экологизации земледелия, так и для повышения продуктивности растениеводства.

Из результатов исследований следуют следующие выводы:

1) Ключевым фактором, вызывающим неравномерное распределение ГМУ в технологиях применения центробежных разбрасывателей в производственных условиях, является игнорирование стадии получения относительных показателей содержания ГМУ на учетных площадках по ширине разбрасывания, позволяющих сделать обоснованный выбор и соблюдение при работе оптимального перекрытия удобряемых полос в смежных проходах.

2) Использование регламентированного в действующем стандарте ГОСТ 28714 [9] на методы испытаний ЦР метод определения неравномерности и величины перекрытия в смежных проходах в производстве затруднено по причине высокой трудоемкости и продолжительности применения большого числа пробоотборников по ширине разбрасывания.

3) В результате проведенных исследований установлено, что получение численных значений относительной массы удобрений на любом участке ширины разбрасывания возможно с применением 6 пробоотборников вне зависимости от ширины разбрасывания.

4) Предлагаемый способ оценки поперечного распределения ГМУ ЦР заключается в отборе и определении массы проб ГМУ в 6 точках, симметрично рассредоточенных относительно оси прохода, получение аппроксимирующей

кривой в координатах ширины разбрасывания и уравнения аппроксимации.

С помощью полученного уравнения возможно получение тех же показателей, что и по результатам сплошной расстановки пробоотборников. Отличие средних значений содержания ГМУ на учетных площадках, найденных с помощью уравнения и с применением сплошной расстановки пробоотборников, для малопроизводительных разбрасывателей с шириной разбрасывания 13 м не превышает 7,0 %, для широкозахватных разбрасывателей с шириной разбрасывания 36 м не превышает 5,7 %, что приемлемо для настроек разбрасывателей в производственных условиях, а также при их сравнительных оценках при испытаниях.

Данная тема соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, пункт «г»:

- переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрономическому хозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Овчинникова Н.Г. Влияние неравномерного распределения минеральных удобрений на урожай зерновых культур // автореферат диссертаций кандидата сельскохозяйственных наук. – М., 1969. – 22 с.
- 2 Кореньков Д.А. Минеральные удобрения при интенсивных технологиях. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 192 с.
- 3 Бобровник А.И. Повышение качества внесения удобрений мобильными агрегатами // Мелиорация. – 2014. – №1 (71). – С. 147–163.
- 4 Небытов В.Г. Пространственное варьирование агрохимических свойств и урожая зерновых культур в условиях неоднородности почвенного покрова стационарных полевых опытов // Аграрная Россия. – 2016. – № 10. – С. 13–19.
- 5 Каплан И.Г., Румянцев И.В. Оценка качества работы машин для сплошного внесения удобрений // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 7. – С. 3–6.
- 6 Иванов А.И., Иванова Ж.А., Конашенков А.А., Спиридонов В.С. Агроэкологические последствия неравномерного внесения удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 1. – С. 37–41.
- 7 Державин Л.М. Производственный контроль за реализацией проектов применения удобрений в хозяйствах // Сб. науч. тр. ВИМ. – Т. 141. – Ч. 1. – 2002. – С. 92–98.
- 8 Скорляков В.И., Петухов Д.А. Повышение равномерности распределения гранулированных минеральных удобрений // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 2. – С. 14–16.
- 9 ГОСТ 28714–2007 Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 46 с.
- 10 Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2005. – 270 с.

11 Иванов А.И., Конашенков А.А., Хомяков Ю.В., Фоменко Т.Г., Федькин И.А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей плодородия дерново-подзолистых почв // *Агрохимия*. – 2014. – № 2. – С. 39–49.

12 Скорляков В.И. Прикорневая подкормка: технологические особенности способов внесения гранулированных минеральных удобрений (ГМУ) // *АгроСнабФорум*. – 2012. – № 3. – С. 50–53.

13 Капустин Ю.А., Шакирова Э.А., Шихов Н.И. Причины снижения качества внесения минеральных удобрений // *Техника в сельском хозяйстве*. – 1987. – № 12. – С. 32–33.

14 Каплан И.Г. Критерий оценки качества распределения удобрений // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2010. – № 1. – С. 22–24.

15 Черников Б.П. Основные требования по совершенствованию конструкций машин для внесения удобрений // *Сб. науч. тр. ВИМ*. – Т. 131. – 2000.

16 Черников Б.П., Щемелинский Л.А. Повысить качество внесения минеральных удобрений // *Техника в сельском хозяйстве*. – 1983. – № 2. – С. 13–14.

17 Панев С.Б. Система автоматического управления неравномерностью внесения минеральных удобрений центробежным разбрасывателем на основе микропроцессорной техники // *Дисс. канд. техн. наук*. – 1999. – 176 с.

18 Вожик Ю.Г. Повысить эффективность техники для внесения минеральных удобрений // *Техника в сельском хозяйстве*. – 1984. – № 4. – С. 12–13.

19 Сендряков И.Ф., Главацкий Б. А. Повысить качество внесения минеральных удобрений // *Техника в сельском хозяйстве*. – 1985. – № 5. – С. 24–25.

20 Каплан И.Г. Обоснование допустимой неравномерности посева удобрений // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 1977. – № 1. – С. 37–38.

21 Черноволов В.А. Проблемы совершенствования машин для внесения минеральных удобрений // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 2000. – № 5. – С. 18–19.

- 22 Vogballe M2(W) M3(W) // Инструкция по эксплуатации. – 2002. – 46 с.
- 23 Закалин Е.Н. Анализ и синтез параметров управляемого технологического процесса центробежного дискового туковысевающего аппарата // Дисс. канд. техн. наук. – 2005. – 147 с.
- 24 Закалин Е.Н., Панев С.Б. Результаты анализа туковысевающих аппаратов с системами контроля и управления // Вестник Донского государственного технического университета. – 2009. – № 52 – С. 148–154.
- 25 Amazone ZA-M, ZA-M Special // Распределитель удобрений: Руководство по эксплуатации. – 142 с.
- 26 Разбрасыватели минеральных удобрений RS-XL/RS-EDW 1650/3200 Kverneland group. Руководство по эксплуатации. – 39 с.
- 27 GostMinUd // программа для осуществления вычислений с целью определения функциональных показателей машин для внесения твердых минеральных удобрений в соответствии с ГОСТ 28714–2007.
- 28 ГОСТ 20915–2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 28 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Характеристика условий исследований

Таблица А.1 – Условия проведения исследований

Наименование показателя	Значение показателя
Тип машины	Для поверхностного внесения удобрений и мелиорантов
Дата	27.02.2020
Вид работы	Внесение минеральных удобрений
Место испытаний	Валидационный полигон КубНИИТиМ, поле 8(1)
Культура, фаза развития	Озимая пшеница, кущение
Состав агрегата	МТЗ-82+Vogballe M2 (W)
Характеристика исходного материала	
Вид удобрения	Аммиачная селитра класса Б
Насыпная плотность удобрения, кг/м ³	1018
Влажность удобрения, %	0,3
Гранулометрический состав удобрения, %, размер фракций, мм:	
- 0-0,25	1,1
- 0,25-0,5	2,1
- 0,5-1,0	17,9
- 1,0-2,0	70,9
- 2,0-3,0	8,0
- 3,0-5,0	0
Характеристика участка	
Тип почвы	Чернозем обыкновенный малогумусный сверхмощный легкоглинистый
Рельеф	Ровный
Микрорельеф	Выровненный
Влажность почвы, %, в слое 0-10 см	29,2
Твердость почвы, МПа, в слое 0-10 см	0,12
Температура воздуха, °С	11,6
Относительная влажность воздуха, %	34,5
Скорость ветра, м/с	2,5
Направление ветра	Юго-восточный