

Разработка технологии контроля работы распределителей твердых минеральных удобрений и качества их распределения

Алексей Викторович Сибирев¹, Александр Геннадьевич Аксенов¹, Николай Сергеевич Панферов¹,
Алексей Юрьевич Овчинников¹, Владимир Сергеевич Тетерин¹, Вадим Евгеньевич Большев^{1,2}

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

²Донской государственный технический университет, Россия

e-mail: v.s.teterin@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема настройки и калибровки распределителей твердых минеральных удобрений центробежного типа. Выполнен обзор и анализ наиболее распространенных методов, предлагаемых отечественными и зарубежными производителями техники данного сегмента. Выявлены преимущества и недостатки существующих методов контроля качества распределения твердых минеральных удобрений по площади поля. Учтен положительный опыт передовых разработок и заложен в основу предлагаемого метода оценки. Разработанный метод лег в основу программного комплекса по определению равномерности распределения удобрений по полю и заключается в использовании EVA – маты размером 50 × 50 см, с ячейками в виде правильного шестиугольника с гранью 8 мм и глубиной ячейки 10 мм, что позволяет задерживаться большинству попадающих в область мата гранул твердых минеральных удобрений. Разработан и представлен подробный алгоритм работы приложения, написанного для мобильных устройств с возможностью установки приложений и оснащенных камерой. Предлагаемое решение снижает трудовые и временные затраты за счет исключения нескольких операций из стандартных методик и позволяет провести процедуру одному человеку с современным мобильным устройством, оснащенным камерой.

Ключевые слова: распределитель твердых минеральных удобрений; равномерность распределения; калибровка; внесение удобрений; программный комплекс; приложение.

Для цитирования: Сибирев А. В., Аксенов А. Г., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., Тетерин В. С., Большев В. Е. Разработка технологии контроля работы распределителей твердых минеральных удобрений и качества их распределения // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 106–111. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp106-111>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Development of technology for control of the operation of solid mineral fertilizers and the quality of their distribution

Alexey V. Sibirev¹, Aleksandr G. Aksenov¹, Nikolay S. Panferov¹, Alexey Yu. Ovchinnikov¹, Vladimir S. Teterin¹, Vadim E. Bolshev^{1,2}

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

²Don State Technical University, Russia

e-mail: v.s.teterin@mail.ru

Abstract. The article reviews the problem of setting up and calibrating centrifugal solid mineral fertilizer distributors. A review and analysis of the most common methods offered by domestic and foreign manufacturers of equipment in this segment has been carried out. The advantages and disadvantages of existing methods for quality control of the distribution of solid mineral fertilizers over the field area are revealed. The positive experience of advanced developments is taken into account and is the basis of the proposed assessment method. The developed method formed the basis of a software package for determining the uniformity of fertilizer distribution over the field and consists in using EVA - mats 50 by 50 cm in size, with cells in the form of a regular hexagon with a facet of 8 mm and a cell depth of 10 mm, which allows most of those falling into the area to linger mat of granules of solid mineral fertilizers. A detailed algorithm for the operation of an application written for mobile devices with the ability to install applications and equipped with a camera has been developed and presented. The proposed solution reduces labor and time costs by eliminating several operations from standard techniques and allows one person to perform the procedure with a modern mobile device equipped with a camera.

Keywords: distributor of solid mineral fertilizers; distribution uniformity; calibration; fertilization; software package; application.

For citation: Sibirev A. V., Aksenov A. G., Panferov N. S., Ovchinnikov A. Yu., Teterin V. S., Bolshev V. E. Development of technology for control of the operation of solid mineral fertilizers and the quality of their distribution // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(12):106–111. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp106-111>.

Введение. Интенсивное сельскохозяйственное производство тяжело представить без использования минеральных удобрений, большая часть которых вносится поверхностно распределителями твердых минеральных удобрений с центробежными рабочими органами. Результат деятельности хозяйства в области растениеводства всецело зависит от своевременности, а также точности внесения удобрений. Так как конечным звеном в системе агрохимического обеспечения сельского хозяйства является машина для внесения удобрений, в большинстве случаев центробежный распределитель, то для получения наиболее оптимального эффекта все распределители требуют калибровки и настройки перед использованием. В настоящее время появилась тенденция от заводов-производителей, которые осуществляют калибровку распределителей





твердых минеральных удобрений на различных типах и видах удобрений, после чего загружают данные с надстройками об использовании тех или иных удобрений в базу данных и бортовой компьютер (блок управления) распределителя [1–4].

Однако свойства удобрений зависят от различных факторов, начиная от исходного сырья и заканчивая условиями хранения, транспортирования, технологиями их изготовления и условиями применения. На твердые минеральные удобрения сильное влияние оказывают погодные условия, а именно температура и влажность. Таким образом, невозможно откалибровать распределители, независимо от степени оснащенности их средствами автоматизации, на все типы и виды удобрений, поэтому возникает потребность в универсальных средствах для проведения настроек на всех типах центробежных распределителей [5–7]. Также данные средства могут быть использованы на начальных этапах – при разработке новых распределителей твердых минеральных удобрений или рабочих органов – при проведении исследований по равномерности внесения ТМУ [8].

Актуальной становится разработка современного метода оценки работы распределителей твердых минеральных удобрений как в полевых условиях, так и при разработке и испытаниях новых рабочих органов.

Методика исследований. В настоящее время существует несколько методов калибровки распределителей ТМУ. Один из наиболее распространенных на сегодняшний день – это использование лотков и мерных колб. Данный способ схож с ГОСТ 28714-2007 [9, 10] и заключается в расстановке жестких лотков (коробов) с бортами и секциями определенного размера на фиксированном расстоянии друг от друга (разные производители предлагают разные рекомендации), после чего распределитель ТМУ совершает проход, удобрения с каждого лотка ссыпаются в мерную колбу и результаты сравниваются между собой или с табличными значениями и выставляются настройки, рекомендуемые производителем (рис. 1). К недостаткам данного метода можно отнести высокую трудоёмкость процесса калибровки, кроме того, необходимо иметь большое количество дополнительного оборудования (лотки, колбы, таблицы), которые в условиях сельскохозяйственных предприятий могут затеряться или прийти в негодность. Данный метод рекомендуется использовать с большинством распределителей твердых минеральных удобрений.



Рис. 1. Пример калибровки распределителей твердых минеральных удобрений:
а – расстановка лотков; б – ссыпание в мерные колбы; в – сравнение результатов

Kverneland рекомендует своим потребителям перед использованием распределителя твердых минеральных удобрений с различными видами твердых удобрений проверять их плотность – посредством специальной мерной емкости объемом один литр – насыпая ее до края – утрамбовывая удобрения в ней и взвешивая, тем самым получая насыпную плотность удобрений (рис. 2, а).

После чего произвольно отбирается проба определенного объема (массы) применяемых удобрений и помещается в специальный контейнер с набором калиброванных отверстий: менее 2 мм, 2...3,2 мм, 3,3...4,75 мм и более 4,75 мм. После интенсивного встряхивания на протяжении 20 с происходит разделение помещенных удобрений на фракции (рис. 2, б). Оператор вводит полученные данные (насыпная плотность и фракционный состав в процентном соотношении удобрений) в специализированную программу, которая выдают рекомендуемые настройки распределителя ТМУ [11, 12].

Однако данная настройка приближительна и считается исходной при определении оценки характеристик распределения в автоматическом режиме на распределителях, оснащенных системами интеллектуального управления. Если распределитель не оснащен интеллектуальной системой управления, то рекомендуется следовать предлагаемой методике.

Для проведения испытаний необходимо: 7 поддонов с решетками, 7 измерительных трубок, 1 воронка. В поддоны вставляют решетки и расставляют их на равном расстоянии друг от друга на одной линии, как показано на рисунке (рис. 2, в). Расстояние выбирается исходя из требуемой ширины захвата распределителя твердых минеральных удобрений, при этом первый поддон устанавливают между колесами трактора при прямом проезде, а седьмой поддон при обратном проезде (перекрытие). На рисунке представлен пример для ширины захвата 18 м (рис. 2, в). Далее тракторист совершает проходы (прямой и обратный), причем включая и выключая в работу распределителя, на расстояниях до поддонов больших или равных выставленной ширине захвата. Скорость ветра при этом не должна превышать 3 м/с. После чего удобрения из каждого поддона, через воронку высыплются в измерительные трубки – каждый поддон соответствует трубке от первой до седьмой (рис. 2, г). Уровень удобрений в трубках не должен отличаться более чем на $\pm 15\%$ от средней величины. В итоге настройки можно получить три ситуации, относительно столбов удобрений в трубках: параболическая

характеристика (вогнутая вниз). Ширина распределения очень узкая (рис. 2, д); близкая к прямой характеристика – оптимальная настройка распределителя. (рис. 2, е); обратная параболической характеристика (выпуклая вверх), говорит о том, что ширина внесения удобрений слишком большая. Очень большое перекрытие участка при прямом и обратном проходах, при этом за трактором распределяется недостаточное количество минеральных удобрений (рис. 2, ж) [12, 13].

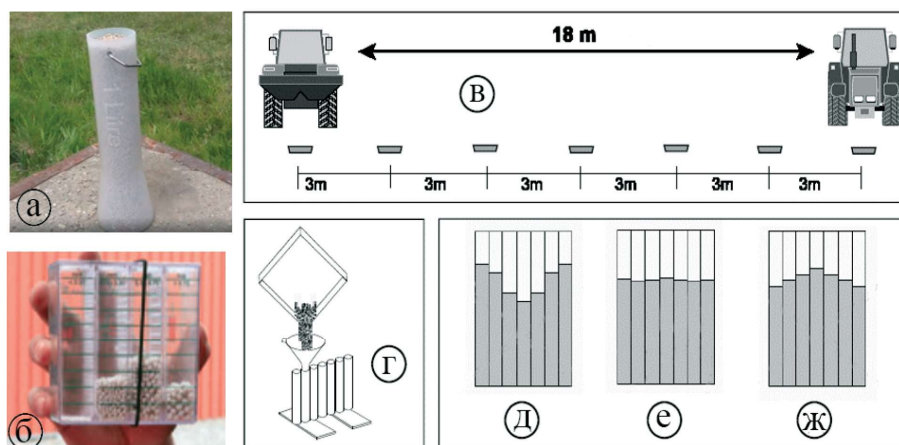


Рис. 2. Методика калибровки распределителей Kverneland:

а – определение плотности; б – определение фракционного состава; в – расстояния между лотками и настраиваемая ширина захвата (пример для 18 м); г – сыпание полученных образцов в измерительные трубки (1 колба – 1 лоток); д, е, ж – возможные результаты проведения калибровки

После измерения проводится регулировка и повторная калибровка распределителя.

Наиболее современным методом можно считать технологию, предлагаемую компанией Amazone – EasyCheck, представляющую собой цифровой мобильный контрольный стенд для оптимизации поперечного распределения удобрений [14, 15]. Система состоит из 16 легких резиновых ковриков для сбора гранул удобрений и приложения EasyCheck для мобильных устройств с камерой.

Суть данной технологии схожа с вышеописанной с отличием в том, что вместо лотков используются резиновые коврики: оператор раскладывает резиновые коврики с ворсинками, призванными задерживать гранулы минеральных удобрений, на определенном расстоянии (3,5 м) друг от друга (рис. 3, а), после чего производится 3 прохода распределителя (рис. 3, б).

Далее оператор включает на мобильном устройстве с камерой программу EasyCheck, выбирает в нем коврик, который будет фотографировать, в соответствии со схемой расположения, помещает коврик с застрявшими в нем гранулами твердых минеральных удобрений в определенную зону на экране мобильного устройства и после чего приложение автоматически сравнивает, сколько удобрений было собрано на отдельных ковриках для сбора, и вычисляет соотношение материала, найденного в каждом отдельном ряду (рис. 3, в). В тех случаях, когда результат распределения удобрений не соответствует норме, приложение автоматически предлагает коррекцию для регулировки соответствующего распределителя удобрений.

Исходя из информации, представленной выше, у всех перечисленных методов есть преимущества и недостатки. Наиболее совершенными можно считать два последних метода, так как они учитывают наибольшее количество факторов, а, следовательно, позволят провести наиболее точную настройку распределителя твердых минеральных удобрений.

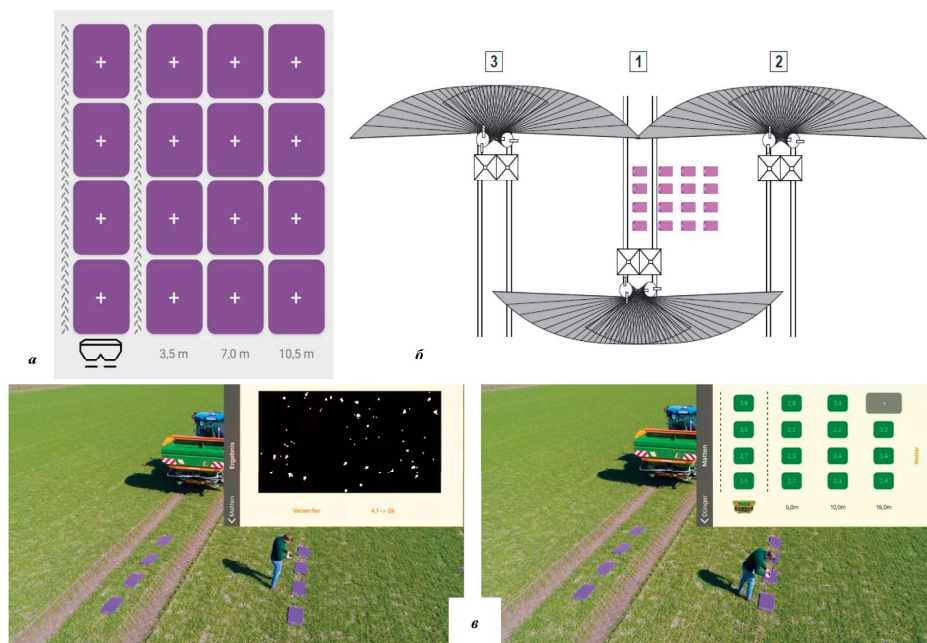


Рис. 3. Этапы работы с системой Easy Check:

а – схема расположения ковриков; б – схема проходов распределителя твердых минеральных удобрений; в – использование системы Easy Check от фирмы Amazone





Таким образом при создании современного метода оценки равномерности внесения удобрений и калибровки распределителей твердых минеральных удобрений необходимо опираться на существующий опыт скомпилировав в конечной разработке преимущества от всех существующих методов.

В рамках исследований в данной области было создано программное обеспечение, которое посредством камеры мобильного устройства (планшет, смартфон) позволяло осуществлять сбор и анализ информации о гранулах удобрений, попавших на исследуемый участок. Разработанное программное обеспечение реализовано на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenCV и адаптировано для использования на мобильных устройствах (смартфон, планшет с ОС Android, Linux или Windows) [16]. В качестве исследуемой области использовались EVA маты квадратной формы со стороной 0,5 м площадью 0,25 м² и ячеистой структурой (рис. 4, а) в качестве удобрений – нитроаммофоска (60:60:60). Ячейки мата имеют форму правильного шестиугольника с длиной грани 8 мм и глубиной 10 мм полезной площадью 166,28 мм², что позволяет большинству исследуемых попавших на мат гранул задерживаться в ячейках.

Результаты исследований. Работа программы осуществляется следующим образом. После запуска выбирается количество EVA-матов, которые необходимо исследовать значение может варьировать от 7 до 16 шт., при этом чем больше количество матов, тем точнее результат. Вводится проверяемая норма внесения твердых минеральных удобрений. Далее совершаются прямой и обратный проходы распределителя, причем крайние лотки пропускаются между колес трактора. После чего производится фотографирование мата, помещая его в специальные рамки. Далее программа определяет заданную область (рис. 4, а). После захвата рабочей зоны наступает этап обработки изображения, встроенными математическими операторами. Загруженное изображение из цветного формата переводится в оттенки серого, после чего используется морфологическая операция «открытия». Для этого нужны два источника данных: один – входное изображение, второй – структурирующий компонент.

Морфологические операторы принимают входное изображение и структурирующий компонент в качестве входных данных, и затем эти элементы объединяются с использованием операторов набора. Объекты во входном изображении обрабатываются в зависимости от атрибутов формы изображения, которые закодированы в компоненте структурирования.

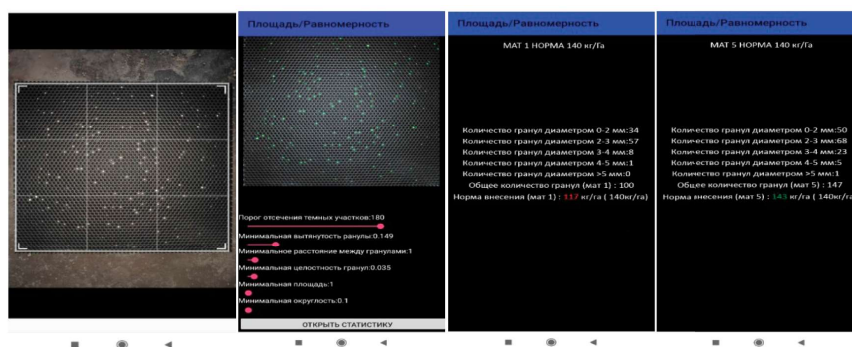


Рис. 4. Пример работы мобильного приложения для определения равномерности внесения твердых минеральных удобрений (скриншот с мобильного устройства):

а – определение рабочей области; б – определение и выделение найденных объектов; в – пример вывода данных с первого мата при отклонении от нормы; г – пример вывода данных с пятого мата при норме

Влияние оператора «открытия» заключается в защите области переднего плана, которая имеет сходство с компонентом структурирования или которая может полностью содержать компонент структурирования при удалении каждой отдельной области пикселей переднего плана. Операция открытия используется для удаления внутреннего шума на изображении.

После выполнения морфологической операции «открытие» изображения подвергается бинаризации с верхним порогом, для разбиения на объекты и фон.

Далее найденные объекты выделяются зеленым контуром, и осуществляется их подсчет (рис. 4, б). Затем бинаризованное изображение подвергается дальнейшему математическому и статистическому анализу для подсчета количества сегментированных объектов, определения их размеров и отнесению к соответствующей фракции минерального удобрения. После чего осуществляется определения фактической нормы внесения удобрений или массы удобрений на мате (в зависимости от выбранного варианта) после чего процедура повторяется для всех оставшихся матов. Значения заданной и фактической нормы внесения сравниваются между собой. Результатом работы программного комплекса являются рекомендации по настройке распределителя твердых минеральных удобрений в случае, если наблюдается расхождение вычисленных значений более чем на 10% от выставленной нормы или расхождения по массе удобрений на матах также на 10 % (рис. 4 в, г). Заключение программный комплекс выдает на основании характера кривой с координатами по оси х – расстояние от первого, до *n*-го мата, по оси у – значения нормы внесения или массы удобрений на матах. Блок-схема работы программы представлена на рис. 5.

Заключение. Разработанная программа и приложение на ее основе, может применяться для анализа равномерности распределения твердых минеральных удобрений и направлена на обеспечение повышения качественных показателей распределителей твердых минеральных удобрений по поверхности поля. Программа предназначена для формирования статистических данных, в состав которых входит определение количественного состава гранул удобрения и их размер. В рамках программы реализован пользовательский интерфейс с возможностью настройки параметров программы, а результаты ее работы записываются в текстовый файл. Данная программа может быть использована при разработке и испытаниях как новых распределителей твердых минеральных удобрений и их рабочих органов, так и для корректировки работы уже существующих машин.

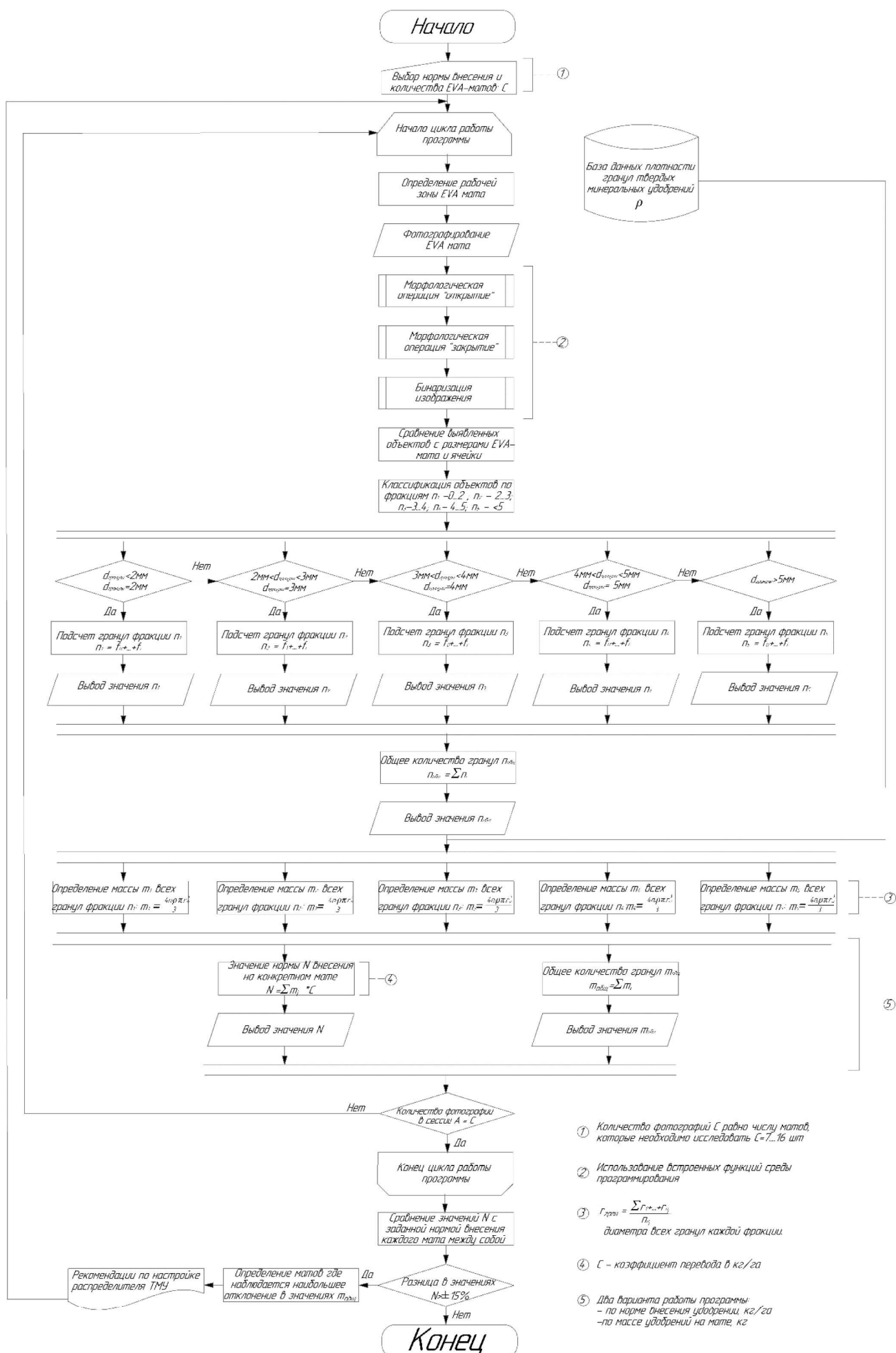


Рис. 5. Алгоритм работы программного комплекса

Преимуществами предлагаемого метода является минимизация вспомогательного оборудования в виде емкостей, коробов измерительных приборов, вместо которых используется мобильное устройство с камерой и возможностью установки программного обеспечения и мягкие EVA-маты. Трудовые и временные затраты предлагаемого метода снижаются в несколько раз за счет исключения побочных операций по пересыпанию, взвешиванию, записи и сравнению полученных результатов, всю процедуру может выполнить сам оператор машинно-тракторного агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // С.-х. машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 4-9.
2. Синхронизация работы разбрасывателя твердых минеральных удобрений и вспомогательных машин и механизмов / М. А. Гайбарян [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 4(286). – С. 15-19. DOI 10.33267/2072-9642-2021-4-15-19.
3. Тетерина О.А., Костенко Н.А. Совершенствование машин для внесения минеральных удобрений // Юность и знания – гарантия успеха – 2017: сб. науч. тр. 4-й Междунар. молодежной науч. конф. В 2 т. 2017. С. 202-205.
4. К вопросу разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений / С. В. Митрофанов [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. 2020. № 1(2). С. 141–150.
5. Maslov G.G., Trubilin E.I., Truflyak E.V. Parameters optimization for multifunctional aggregates in plant growing mechanization // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. – Т. 7. № 3. С. 1919–1926.
6. Андреев К.П. Направление совершенствования машин для поверхностного внесения минеральных удобрений // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Рязань, 2017. С. 17–21.
7. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / К.П. Андреев [и др.] // Вестник Рязанского гос. агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. 2017. № 1. С. 54-59.
8. Разработка лабораторного стенда для исследования рабочих органов распределителей удобрений центробежного типа / Н. С. Панферов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2020. № 7(277). С. 26-29. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-26-29.
9. ГОСТ 28714-2007 Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. М., 2008. 69 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 2011.
11. Kverneland Spreading Charts. URL: <https://www.kvernelandspreadingcharts.com/kverneland/advice/2/> (дата обращения: 10.06.2022).
12. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / Н. С. Панферов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 12(294). С. 18-24. DOI 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.
13. Настройки разбрасывателей. Двухдисковые разбрасыватели минеральных удобрений. URL: <https://sng.kverneland.com/Razbrasyvateli/Dvuhdiskovye-razbrasyvateli-mineral-nyh-udobrenij/Nastrojki-razbrasyvatelej> (дата обращения: 10.06.2022).
14. AMAZONE EasyCheck – Цифровой мобильный контрольный стенд для оптимизации поперечного распределения удобрений. URL: <https://amazone.ru/ru-ru/продукция-и-цифровые-решения/сельскохозяйственная-техника/техника-для-внесения-удобрений/amazone-easycheck-цифровой-мобильный-контрольный-стенд-для-оптимизации-поперечного-распределения-удобрений-1065428> (дата обращения: 10.06.2022).
15. EasyCheck. URL: <https://amazone.net/en/service-support/for-farmers-contractors-and-councils/fertiliser-service/easycheck-47354> (дата обращения: 10.06.2022).
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610948 Российская Федерация. Программа по определению равномерного распределения минеральных удобрений и их гранулометрического состава: № 2020666794: заявл. 16.12.2020 : опубл. 20.01.2021 / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. М. Костенко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

REFERENCES

1. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Ways of fertilization in the system of precision farming. Agricultural machines and technologies. 2018; 12; 4: 4-9.
2. Synchronization of the operation of a spreader of solid mineral fertilizers and auxiliary machines and mechanisms / M. A. Gaybaryan et al. *Technique and equipment for the village*. 2021; 4 (286): 15-19. DOI 10.33267/2072-9642-2021-4-15-19.
3. Teterina O.A., Kostenko N.A. Improving machines for applying mineral fertilizers. *Youth and knowledge - a guarantee of success* – 2017. 2017: 202–205.
4. On the issue of developing task maps for differentiated fertilization / S. V. Mitrofanov et al. *Technical support of agriculture*. 2020; 1(2): 141–150.
5. Maslov G.G., Trubilin E.I., Truflyak E.V. Parameters optimization for multifunctional aggregates in plant growing mechanization. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016; 7; 3: 1919-1926.
6. Andreev K.P. Direction of improvement of machines for surface application of mineral fertilizers. *Principles and technologies of ecologization of production in agriculture, forestry and fisheries*. Ryazan, 2017: 17-21.
7. Improvement of centrifugal spreaders for surface application of mineral fertilizers / K.P. Andreev et al. *Bulletin of the Ryazan state. agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2017; 1: 54–59.
8. Development of a laboratory stand for the study of the working bodies of centrifugal type fertilizer distributors / N. S. Panferov et al. *Technique and equipment for the village*. 2020; 7(277): 26–29.
9. GOST 28714-2007 Machines for applying solid mineral fertilizers. Test methods. Moscow, 2008. 69 p.
10. Dospekhov B.A. Methods of field experience. Moscow, 2011.
11. Kverneland Spreading Charts. URL: <https://www.kvernelandspreadingcharts.com/kverneland/advice/2/> (accessed 10.06.2022).
12. Trends in the development of machines with centrifugal working bodies for the surface application of solid mineral fertilizers / N. S. Panferov et al. *Technique and equipment for the village*. 2021; 12(294): 18–24.
13. Spreader settings. Two-disk spreaders of mineral fertilizers. URL: <https://sng.kverneland.com/Razbrasyvateli/Dvuhdiskovye-razbrasyvateli-mineral-nyh-udobrenij/Nastrojki-razbrasyvatelej> (Date of access: 06/10/2022).
14. AMAZONE EasyCheck - Digital mobile test bench for optimizing the transverse distribution of fertilizers. URL: <https://amazone.com/en-us/products-and-digital-solutions/agricultural-machinery/fertilization-machinery/amazone-easycheck-digital-mobile-control-stand-for-optimization-transverse-distribution-of-fertilizers-1065428> (date of access: 06/10/2022).
15. Easy check. URL: <https://amazone.net/en/service-support/for-farmers-contractors-and-councils/fertiliser-service/easycheck-47354> (accessed 10/06/2022).
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2021610948 Russian Federation. Program for determining the uniform distribution of mineral fertilizers and their particle size distribution: No. 2020666794: Appl. 12/16/2020 : publ. 20.01.2021 / V. S. Teterin, M. Yu. Kostenko, N. M. Kostenko et al.; Applicant Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (FGBNU FNATS VIM).

Статья поступила в редакцию 14.07.2022; одобрена после рецензирования 15.08.2022; принята к публикации 25.08.2022.
The article was submitted 14.07.2022; approved after reviewing 15.08.2022; accepted for publication 25.08.2022.

