

УДК 631.171:62-503.57

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-121-128

А.В. Сибирёв¹,
Н.С. Панфёров¹,
А.Ю. Овчинников¹,
В.С. Тетерин¹, ✉
М.А. Мосяков¹,
С.В. Митрофанов²

¹Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ, Москва,
Россия

²Национальный исследовательский
университет «Высшая школа
экономики», Москва, Россия

✉ v.s.teterin@mail.ru

Поступила в редакцию:
16.02.2023

Одобрена после рецензирования:
01.06.2023

Принята к публикации:
21.06.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-121-128

Alexey V. Sibirev¹,
Nikolay S. Panfyorov¹,
Alexey Yu. Ovchinnikov¹,
Vladimir S. Teterin¹, ✉
Maxim A. Mosyakov¹,
Sergey V. Mitrofanov²

¹Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

²National Research University «Higher
School of Economics», Moscow, Russia

✉ v.s.teterin@mail.ru

Received by the editorial office:
16.02.2023

Accepted in revised:
01.06.2023

Accepted for publication:
21.06.2023

Разработка системы автоматизированного контроля и управления тукосмесительной установки

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Применение комплексных многокомпонентных удобрений в некоторых случаях не оправданно экономически и зачастую может приводить к деградации почв. В таких случаях для обеспечения потребности растения в необходимых питательных элементах целесообразно применение тукосмесей с заданным количеством компонентов. Таким образом, для соблюдения точных пропорций компонентов создаваемой тукосмеси актуальной становится задача создания системы автоматизации, включающей в себя не только машину для тукоsmешивания с высоким коэффициентом неравномерности получаемой смеси, но и программный комплекс по определению компонентного состава тукосмеси в зависимости от условий хозяйства, а также автоматизированную систему весового контроля и управления дозирующими заслонками, работающими совместно.

Методы. Рассмотрены технологии производства тукосмесей, определены основные типы смешивания, используемые при их создании. Для реализации проекта по автоматизации процессов тукоsmешивания на разработанной технологической установке пользовались методами аналитического, сравнительного, информационно-логического анализа исходной информации.

Результаты. Получена система автоматизированного управления технологическим процессом тукоsmешивания на разработанной тукоsmесительной установке, позволяющая с помощью совместной работы всех входящих в нее компонентов рассчитывать необходимый состав и рецептуру тукосмеси, получать тукосмеси высокого качества за счет точного дозирования компонентов и их биологической модификации.

Ключевые слова: минеральные удобрения, точное земледелие, тукосмеси, тукоsmесительная установка, система автоматизации, микроконтроллерное оборудование, система дозирования

Для цитирования: Сибирёв А.В., Панфёров Н.С., Овчинников А.Ю., Тетерин В.С., Мосяков М.А., Митрофанов С.В. Разработка системы автоматизированного контроля и управления тукоsmесительной установки. *Аграрная наука*. 2023; 372(7): 121–128. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-121-128>

© Сибирёв А.В., Панфёров Н.С., Овчинников А.Ю., Тетерин В.С., Мосяков М.А., Митрофанов С.В.

Development of an automated control and management system for a fertilizer mixing plant

ABSTRACT

Relevance. The use of complex multicomponent fertilizers in some cases is unjustified economically and can often lead to soil degradation. In such cases, in order to ensure the plant's need for the necessary nutrients, it is advisable to use fertilizer mixtures with a given number of components. Thus, in order to comply with the exact proportions of the components of the created fertilizer mixture, the task of creating an automation system becomes urgent, which includes not only a machine for mixing with a high coefficient of unevenness of the resulting fertilizer mixture, but also a software package for determining the component composition of the fertilizer mixture depending on the conditions of the economy, as well as an automated system of weight control and control of metering dampers working together.

Methods. The technologies of production of flour mixtures are considered, the main types of mixing used in their creation are determined. To implement the project on automating the processes of flour mixing at the developed technological installation, the methods of analytical, comparative, information and logical analysis of the initial information were used.

Results. A system of automated control of the technological process of fertilizer mixture was obtained at the developed fertilizer mixture plant, which allows using the joint work of all components in it to calculate the necessary composition and formulation of the fertilizer mixture, to obtain high-quality fertilizer mixtures due to accurate dosing of components and their biological modification.

Key words: mineral fertilizers, precision agriculture, fertilizer mixture, fertilizer mixture plant, automation system, microcontroller equipment, dosing system

For citation: Sibirev A.V., Panfyorov N.S., Ovchinnikov A.Yu., Teterin V.S., Mosyakov M.A., Mitrofanov S.V. Development of an automated control and management system for a mixing plant. *Agrarian science*. 2023; 372(7): 121–128 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-121-128>

© Sibirev A.V., Panfyorov N.S., Ovchinnikov A.Yu., Teterin V.S., Mosyakov M.A., Mitrofanov S.V.

Введение / Introduction

Цифровизация и автоматизация уже прочно вошла в повседневную жизнь человека. Посредством телефона или компьютера можно управлять не только температурой и освещением в домах, но целыми предприятиями, в том числе сельскохозяйственными. Агроном может спрогнозировать урожайность и посчитать необходимое количество удобрений или пестицидов, опираясь на информацию, полученную с систем сбора и анализа данных, установленных на сельскохозяйственной технике, беспилотных летательных аппаратах и других источниках [1–3]. В свою очередь, при определении необходимой нормы внесения элементов питания агроном также должен сделать выбор, в каком виде он будет вносить их, будь то в составе сложных многокомпонентных удобрений или в виде тукосмесей.

Важно также учитывать, что производство удобрений и тукосмесей зачастую происходит на специализированных заводах, объемы которых способны обеспечить удобрениями целые регионы или даже страны. Однако иногда у сельхозтоваропроизводителя возникает потребность во внесении небольшого объема минеральных удобрений определенного состава, в связи с чем для решения подобной задачи он может обратиться к ближайшему поставщику удобрений с целью приобретения и последующего внесения комплексных минеральных удобрений с наиболее подходящим составом [4–6]. В данном случае у сельхозтоваропроизводителя могут возникнуть следующие сложности: чтобы заинтересовать поставщика или производителя комплексных минеральных удобрений, необходимо заказать большой их объем. Кроме того, использование комплексных минеральных удобрений не всегда целесообразно и способно приводить к засолению почвы в связи с избытком определенного питательного элемента в ней или в отсутствии потребности возделываемой культуры в данном элементе [7–10]. В связи с чем наиболее перспективным в подобной ситуации видится вариант использования тукосмесей. Они показывают высокую эффективность при внесении за счет точного соблюдения пропорции элементов питания, используя их, уменьшаются экологическая нагрузка на почву и ее засоление. Смеси получают, как правило, методом механического смешивания однокомпонентных гранулированных минеральных удобрений. Кроме того, с целью повышения биологической эффективности в процессе производства данная продукция подвергается различным методам биологической модификации [11–16].

Благодаря сбалансированности состава тукосмесей и присутствию в них биологически активных хелатных

комплексов они имеют ростостимулирующий эффект, при этом проявляют повышенную биологическую эффективность (коэффициент полезного использования 90–95% против традиционных 25–60% для минеральных (моноудобрений). Всё это позволяет снизить норму внесения минеральных удобрений, которая составляет порядка 400–600 кг/га, в то время как для тукосмесей — 100–200 кг/га, тем самым позволяя избежать деградации и засоления почв. Кроме того, составные части смеси легче хранить: они более устойчивы к слеживанию и менее гигроскопичны [17–21].

Цель исследования — разработать автоматизированную систему контроля и управления технологическими процессами, происходящими в тукосмесительной машине, а также программное обеспечение для соблюдения рецептуры создаваемой тукосмеси.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Для реализации проекта по автоматизации процессов тукосмешивания на разработанной технологической установке пользовались методами аналитического, сравнительного, информационно-логического анализа исходной информации. Предметом исследования являлось современное микроконтроллерное оборудование.

Для реализации части программного комплекса, отвечающего за расчет доз и состав тукосмесей, воспользовались ранее разработанной математической моделью, основанной на методе покомпонентного спуска с оптимизацией длины шага (метод Гаусса — Зейделя) [22].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основе проведенного анализа существующих технологий и способов производства тукосмесей разработана конструкция тукосмесительной машины для сухого смешивания компонентов с возможностью их биологического обогащения жидкими или сухими модификаторами (рис. 1).

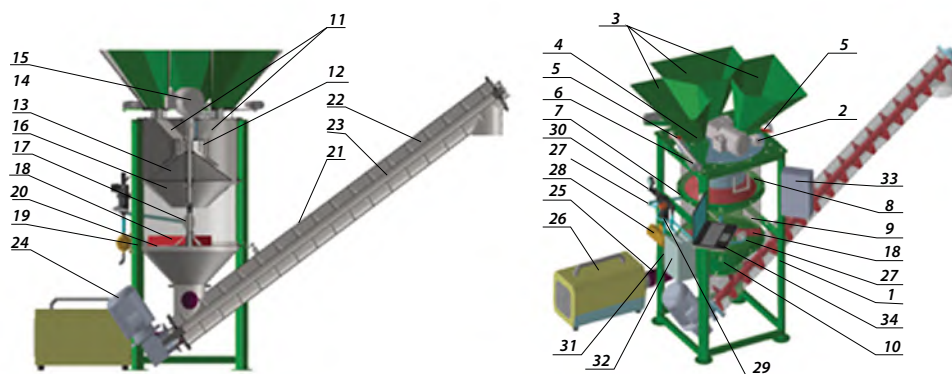


Рис. 1. Конструкция тукосмесительной установки с возможностью биологической модификации твердых минеральных удобрений: 1 — рама, 2 — тензодатчики, 3 — бункер, 4 — выгрузные окна, 5 — заслонка дозирующая, 6 — актуатор, 7 — корпус смесительного устройства, 8 — камера смешивания, 9 — камера биологической модификации, 10 — выгрузная камера, 11 — загрузные патрубки, 12 — делительная камера, 13 — конус (ротатор), 14 — вал, 15 — электропривод, 16 — собирающая воронка, 17 — туманообразующие форсунки, 18 — лопастный смеситель, 19 — дно камеры биологической модификации, 20 — выгрузное отверстие, 21 — шнековый транспортер, 22 — корпус шнека, 23 — шнек, 24 — привод, 25 — гофрированный воздуховод, 26 — тепловая пушка, 27 — шланги, 28 — насос, 29 — фильтр, 30 — регулятор давления, 31 — шланги, 32 — емкость для биопрепаратов, 33 — распределительный щит, 34 — узел управления (ПК)

Fig. 1. Design of a fertilizer mixture plant with the capability of biological modification of solid mineral fertilizers: 1 — frame, 2 — load cells, 3 — hopper, 4 — discharge windows, 5 — metering flap, 6 — actuator, 7 — mixing device housing, 8 — mixing chamber, 9 — biological modification chamber, 10 — discharge chamber, 11 — loading nozzles, 12 — dividing chamber, 13 — cone (rotor), 14 — shaft, 15 — electric drive, 16 — collecting funnel, 17 — mist-forming nozzles, 18 — paddle mixer, 19 — bottom of the biological modification chamber, 20 — discharge hole, 21 — screw conveyor, 22 — screw body, 23 — screw, 24 — drive, 25 — corrugated air duct, 26 — heat gun, 27 — hoses, 28 — pump, 29 — filter, 30 — pressure regulator, 31 — hoses, 32 — container for biological products, 33 — switchboard, 34 — control unit (PC)

Данная конструкция была предложена исходя из соображений комбинирования нескольких методов смешения, в результате чего получаются смеси с наиболее оптимальным коэффициентом неравномерности, при этом разработанная тукосмесительная установка обладает низким энергопотреблением, имеет компактные размеры и оптимальную производительность, а также является легкой в обслуживании. Установка основана на гравитационном, центробежном, лопастном и шнековом (опционально) типах смешивания. Компоненты из бункеров (от 3 до 6 шт.) через выгрузные камеры с заслонками попадают в делительную камеру, а после — в камеру смешивания на поверхность вращающегося с частотой 60 об/мин конуса (ротора), что обеспечивает увеличение потока компонентов тукосмесей с поверхностью вращающегося конуса и, как следствие, центробежное смещение по спирали, при этом происходит минимальное разрушение компонентов тукосмеси. Далее под действием инерции (центробежной силы) и гравитации удобрения дополнительно смешиваются исыпаются в собирающую воронку (обратный конус), попадают в камеру биологической модификации, проходя через облако распыленных модификаторов, падают на дно камеры и с помощью лопастного смесителя через выгрузное отверстиесыпаются в выгрузную камеру, к которой подключена тепловая пушка с потоком горячего воздуха. Далее тукосмесь выгружается в тару либо машину или попадает в шнек, где дополнительно перемешивается, подсушивается и выгружается. Однако, помимо надежной работоспособной конструкции, необходим не менее надежный интеллектуальный узел контроля и управления механизмами дозирования и смешивания.

С целью управления технологическими процессами, происходящими на тукосмесительной установке, была предложена и разработана автоматизированная система управления технологическими процессами тукосмешивания и биологической модификации минеральных удобрений с программным обеспечением.

В основу разрабатываемой автоматизированной системы управления технологическими процессами было заложено современное микроконтроллерное оборудование, а именно отладочные платы следующих производителей и марок: Arduino Due на базе Cortex-M3, программируемый контроллер на базе ATmega 328, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) HX711.

Преимуществами выбранного микроконтроллерного оборудования являются высокая документированность, большое количество периферийных устройств ввода (вывода), простота в эксплуатации, широкий набор настроек и встроенных функций [23].

В качестве исполнительных механизмов были использованы следующие компоненты: тензометрический датчик Mavin NA2, линейный актуатор ЛАЗ-24-28-250-200ДХ с датчиком Холла, реле SRD, источник питания YIHUA 3005D-II.

Тензометрические датчики Mavin NA2 — это датчики, преобразующие величину деформации конструкции в электрический сигнал. Тензодатчик представляет собой металлическую конструкцию, внутри которой размещены резисторы с электрической схемой. Датчик имеет следующие характеристики: точность измерений — 0,02% R.O., материал корпуса — алюминий, номинальная нагрузка — 500 кг, класс защиты — IP66/IP67. Сам тензодатчик связан с корпусом тукосмесительной установки механическим способом. Как только изменяется вес на дозаторе (в бункере), корпус датчика

деформируется и усилие передается на встроенные тензорезисторы. Они, в свою очередь, создают электрический сигнал и передают его через АЦП на микроконтроллеры и далее на систему дозирования. Именно для преобразования электрического сигнала в цифровой и последующей его передачи на плату Arduino используется связка тензодатчиков Mavin NA2 и АЦП-микросхема HX711.

В качестве механизма воздействия на систему управления дозирующими заслонками выбирались линейные актуаторы ЛАЗ-24-28-250-200ДХ с датчиком Холла. Данные актуаторы представляют собой электродвигатель, редуктор и винт, интегрированные в единый исполнительный механизм компактного размера, оснащенный датчиками эффекта Холла. Актуаторы предназначены для линейного перемещения тяги заслонки с целью дозирования необходимого количества компонента минеральных удобрений и регулирования потока из соотношения требуемых пропорций компонентов тукосмеси. Выбранные линейные актуаторы имеют следующие основные характеристики: входное напряжение — 24 В постоянного тока, максимальная нагрузка на толкание (втягивание) — 250 Н, максимальная статическая нагрузка — 2500 Н, максимальная скорость без нагрузки — 27,6 мм/с, скорость при полной нагрузке — 23,5 мм/с, ход штока — 200 мм, максимальный ток — 1,6 А при 24 В постоянного тока, степень защиты IP — IP54, предустановленные концевые выключатели, рабочая температура окружающей среды — от -25 °С до +65 °С, обратная связь по сигналу позиционирования с датчиком эффекта Холла, сигнал позиционирования.

В качестве механизма изменения направления работы актуаторов в совокупности с микроконтроллерным оборудованием использовались реле SRD-05VDC-SL-C, имеющие следующие характеристики: ток питания обмотки — постоянный, классификация реле по начальному состоянию — моностабильное, поляризация — нейтральная, количество обмоток — 1, номинальное рабочее напряжение — 5 В, контактный набор — 1 переключатель, максимальный коммутируемый ток — 10 А, максимальное коммутируемое переменное напряжение — 125 В.

Для питания всей системы при разработке и лабораторных экспериментах был использован лабораторный источник питания YIHUA 3005D-II, имеющий следующие характеристики: выходное напряжение — 0–30 В; выходной ток — 0–3, 0–5 А; защита от короткого замыкания — есть; количество каналов — 2 независимых регулируемых и 1 фиксированный; питание — 100 В, 120 В, 220 В, 240 В; режимы работы — стабилизация тока, стабилизация напряжения; температурный диапазон — от -20 °С до +80 °С.

Средой разработки и реализации программного обеспечения для управления параллельным режимом работы контроллеров Arduino, а также для создания графического интерфейса взаимодействия с пользователем был выбран кросс-платформенный инструмент разработки прикладного программного обеспечения QT. Среда QT была выбрана не случайно, так как имеет ряд преимуществ: быстрая многоуровневая разработка, кросс-платформенность, наличие слотов и сигналов, удобное межпроцессорное взаимодействие, переносимость на уровне исходного кода (Microsoft Windows, Linux, Android, IOS), хорошая документация. Для создания программного обеспечения управления контроллерами семейства Arduino была использована

на интегрированная среда разработки Arduino IDE.

Все компоненты исполнительного механизма системы контроля и управления технологическими процессами тукосмешивания и биологической модификации удобрений совместимы и в полной мере могут быть использованы для данных целей.

Так как используемое микроконтроллерное оборудование имеет одноплатную архитектуру и не имеет операционной системы, то работа микроконтроллеров подразумевает запрограммированную последовательность операций, то есть в определенный момент времени выполняется только одна команда, а по ее завершении микроконтроллер переходит к выполнению следующей. Всё происходит в строгой последовательности и зависит от исходной программы. Одна команда в один момент времени до момента окончания выполнения программы.

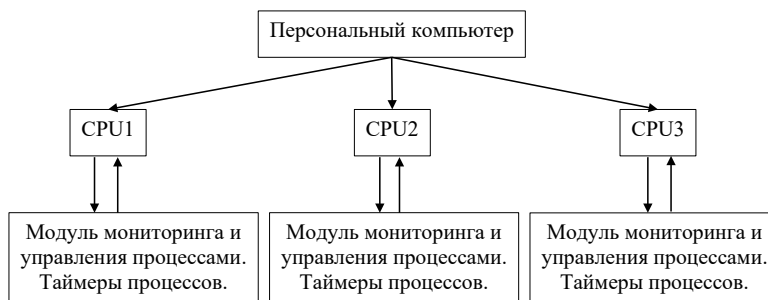
Важно отметить, что для функционирования данной тукосмесительной установки в полной мере необходимо, чтобы процессы по дозированию компонентов из бункеров начинались одновременно, то есть шли параллельно друг другу вне зависимости от количества того или иного компонента, поэтому в проекте автоматизированной системы управления технологическими процессами тукосмешивания и биологической модификации минеральных удобрений было принято решение использовать три микроконтроллера и разделить операции, выполняемые ими с помощью персонального компьютера, а также использовать таймеры для выполнения необходимых операций.

Используемые микроконтроллеры объединялись в систему с помощью специально выделенного протокола. Комбинирование микроконтрольного оборудования и персонального компьютера используется по следующей схеме:

- персональный компьютер является головным устройством, управляется микроконтроллерами с помощью системы параллельных потоков;
- микроконтроллеры в совокупности с тензорезистивными датчиками, реле управления и линейными актуаторами образуют автоматическую систему контроля веса компонентов модификации минеральных удобрений и управления заслонками бункеров установки биологической модификации минеральных удобрений. Схема работы автоматической системы представлена на рисунке 2. На схеме — предлагаемая автоматизированная система управления, использующая вариант параллельной работы микроконтроллеров, выполняющих одинаковую задачу по контролю веса компонентов тукосмеси и управлению заслонками бункеров тукосмесительной установки. Сплошная стрелка означает взаимодействие компонентов и модулей автоматической системы управления заслонками бункеров тукосмесительной установки в рамках процессов модификации минеральных

Рис. 2. Схема работы системы автоматического управления заслонками бункеров тукосмесительной установки

Fig. 2. Diagram of the operation of the automatic control system of the silo flaps of the fertilizer mixture plant



удобрений, штриховая стрелка указывает на использование данных модуля.

Разработанная система автоматического управления представлена на рисунке 3. Стоит заметить, что здесь представлена система для одного бункера, а в рамках создания тукосмесительной установки используются три бункера.

В рамках автоматизированной системы управления заслонками бункеров тукосмесительной установки было разработано программное обеспечение с использованием баз данных, которое устанавливается на персональный компьютер и позволяет управлять рассмотренными компонентами системы. Программный комплекс работает на базе ранее созданных математических моделей, основанных на методе поскоординатного спуска с оптимизацией длины шага (метод Гаусса — Зейделя). Разработанный программный комплекс используется для расчета доз компонентов тукосмесей в зависимости от данных о вариабельности агрохимических показателей и планируемых к возделыванию культур. При запуске программы открывается стартовое диалоговое окно (рис. 4).

После выбора всех необходимых характеристик оператор нажимает на кнопку «Создать смесь». В результате программа выдает компонентный и пропорциональный состав тукосмеси. В свою очередь, при выборе ком-

Рис. 3. Система автоматического управления заслонками бункеров тукосмесительной установки: 1 — персональный компьютер, 2 — линейный актуатор, 3 — реле, 4 — контроллер Arduino Due, 5 — источник (блок) питания, 6 — тензометрический датчик, 7 — гири для калибровки тензометрического датчика, 8 — АЦП

Fig. 3. The system of automatic control of silo flaps of the fertilizer mixture plant: 1 — personal computer, 2 — linear actuator, 3 — relay, 4 — Arduino Due controller, 5 — power supply (unit), 6 — strain gauge, 7 — weights for calibration of strain gauge, 8 — ADC

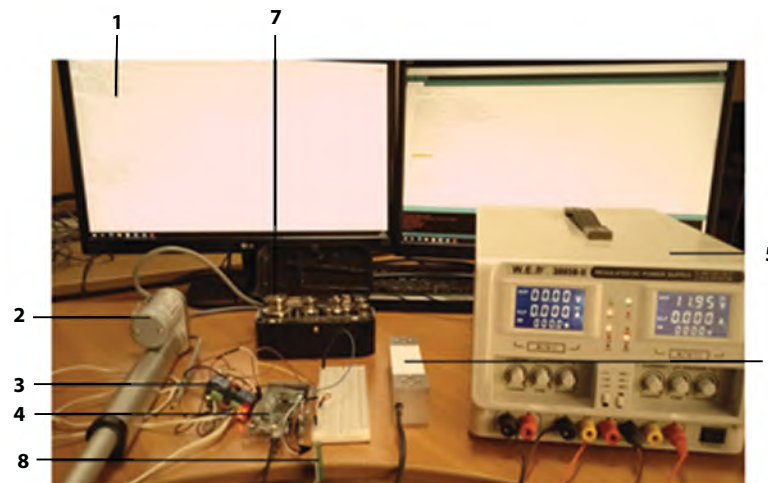
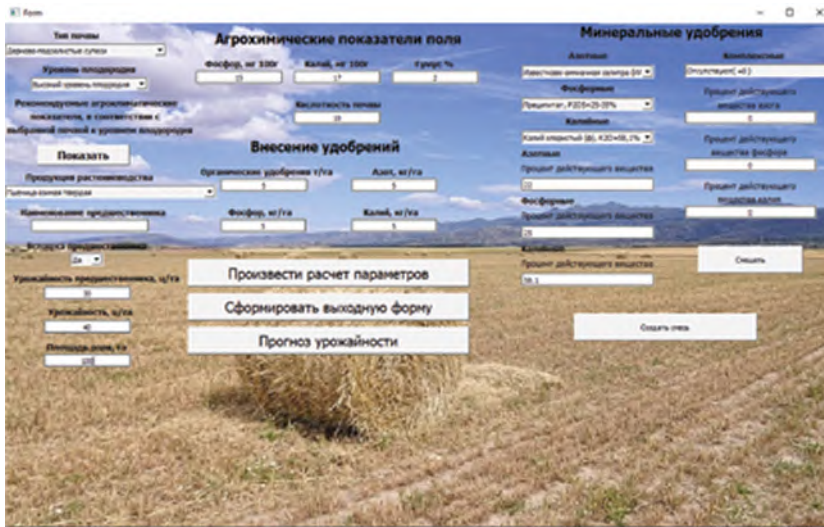


Рис. 4. Программный комплекс по расчету доз и состава тукосмесей и управления автоматизированной дозирующей системой тукосмесительной установки

Fig. 4. Software package for calculating the doses and composition of fertilizer mixture and control of the automated dosing system of the fertilizer mixture plant



понентов тукосмеси учитывается возможность их смешивания друг с другом (рис. 5).

В строках и столбцах таблицы перечислены отдельные удобрения разных типов, а на пересечении строк и столбцов обозначается возможность смешивания данной пары удобрений. Существует три варианта в контексте возможности смешивания пары: пару нельзя смешивать — 0, пару можно смешивать с ограничениями — 1, пару можно смешивать — 2.

смешиваемости всех выбранных удобрений между собой попарно. После осуществления проверки компоненты тукосмеси загружаются в бункеры, затем оператор нажимает кнопку «Смешать», производя тем самым запуск алгоритма программного обеспечения для автоматизированной системы управления заслонками бункеров тукосмесительной установки, блок-схема которого представлена на рисунке 6.

После запуска алгоритма происходит опрос про-

Рис. 5. Схема возможности смешивания удобрений: М — можно смешивать, Н — нельзя смешивать, У — условно можно смешивать (недолго перед внесением)

Fig. 5. Scheme of the possibility of mixing fertilizers: M — can be mixed, H — can not be mixed, Y — conditionally can be mixed (shortly before application)

Удобрения		Азотные						Фосфорные						Калийные						Комплексные		
		Аммиачная селитра	Мочевина (карбамид)	Сульфат аммония	Известково-аммиачная	Натриевая селитра	Кальцевая селитра	Суперфосфат простой	Суперфосфат гранулир.	Суперфосфат двойной	Преципитат	Фосфоритная мука	Шлак фосфорный(мартеновский)	Хлористый калий	Сульфат калия	Калийная соль	Сильвинит	Каинит	Аммофос	Нитрофоска	Диаммофос	
Азотные	Аммиачная селитра	М	Н	У	М	М	М	Н	У	У	У	У	Н	У	У	У	У	У	У	М	У	
	Мочевина (карбамид)	Н	М	У	Н	У	У	Н	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	
	Сульфат аммония	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	М	У	
	Известково-аммиачная селитра	М	Н	У	М	М	М	Н	У	У	У	У	Н	У	У	У	У	У	У	М	У	
	Натриевая селитра	М	У	У	М	М	М	У	У	У	У		У	У	М	У	У	У	У	М	У	
	Кальцевая селитра	М	У	У	М	М	М	У	У	У	У	У	У	У	М	У	У	У	У	М	У	
Фосфорные	Суперфосфат простой	Н	Н	М	Н	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	Н	М	
	Суперфосфат гранулир.	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	У	М	
	Суперфосфат двойной	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	У	М	
	Преципитат	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	У	М	
	Фосфоритная мука	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	М	У	М	У	У	У	М	У	М	
	Шлак фосфорный (мартеновский)	Н	У	Н	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	М	М	У	М	У	У	У	Н	Н	Н	
Калийные	Хлористый калий	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У		М	М	М	М	М	У	У	У	
	Сульфат калия	У	У	М	У	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	У	У	
	Калийная соль	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	М	М	М	М	М	М	У	У	У	
	Сильвинит	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	М	М	М	М	М	М	У	У	У	
	Каинит	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	М	М	М	М	М	У	У	У	
Комплексные	Аммофос	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	М	М	
	Нитрофоска	М	У	М	М	М	М	Н	У	У	У	У	Н	У	У	У	У	У	М	М	М	
	Диаммофос	У	У	М	У	У	У	М	М	М	М	М	Н	У	М	У	У	У	М	М	М	

граммного комплекса по расчету доз и состава тукосмеси, определяются ее состав и необходимый объем производства. Следующим шагом система инициализирует работу компонентов автоматизации и определяет количество задействованных бункеров и, соответственно, COM-портов для работы установки согласно исходному заданию. После инициализации и обмена информацией система отправляет данные на управляющий порт и формирует таймеры работы микроконтроллеров Arduino. Затем в процессе работы осуществляются контроль и коррекция подачи необходимой массы каждого из компонентов $M_{\text{тр.б.}}$, а также скорости высыпания из бункера $V_{\text{тр.б.}}$, исходя из требуемых пропорций тукосмеси. Для этого на каждый COM-порт каждую секунду отправляется сигнал об открытии заслонки на требуемое сечение и производится опрос тензометрических датчиков с целью контроля массы высыпавшихся и оставшихся в бункере удобрений. Как только значение скорости высыпавшихся из бункеров удобрений приближается к $V_{\text{тр.б.}}$ и массы $M_{\text{тр.б.}}$, происходит корректировка положения дозирующих заслонок, при $V_{\text{тр.б.}} > V_{\text{текущ.}}$ и $M_{\text{тр.б.}} > M_{\text{текущ.}}$ происходит дальнейшее открытие заслонок. Если же значения одного из параметров $M_{\text{тр.б.}}$ или $V_{\text{тр.б.}}$ равны или превышают текущие значения данных параметров, то система отправляет сигнал на остановку или закрытие заслонок.

С целью определения качества смешивания тукосмесительной установки под управлением разработанного программного комплекса был поставлен лабораторный эксперимент по созданию тукосмеси с заранее установленными параметрами. Для проведения эксперимента были выбраны и предварительно окрашены (для лучшего распознавания) следующие удобрения: аммонийный суперфосфат (белый), сульфат аммония (синий) и сульфат калия (красный).

Далее, используя операторский интерфейс, выбиралось соотношение компонентов тукосмеси, которое в эксперименте составляло 1:1:1, 1:2:1, 1:1:2 и 2:1:1, после чего производился запуск программы смешивания. В результате этого система дозирования открывала дозирующие заслонки на заданную величину. Полученная тукосмесь через выгрузную камеру поступала в специально подготов-

Рис. 6. Блок-схема разработанного программного обеспечения для управления системой автоматизации

Fig. 6. Block diagram of the developed software for controlling the automation system

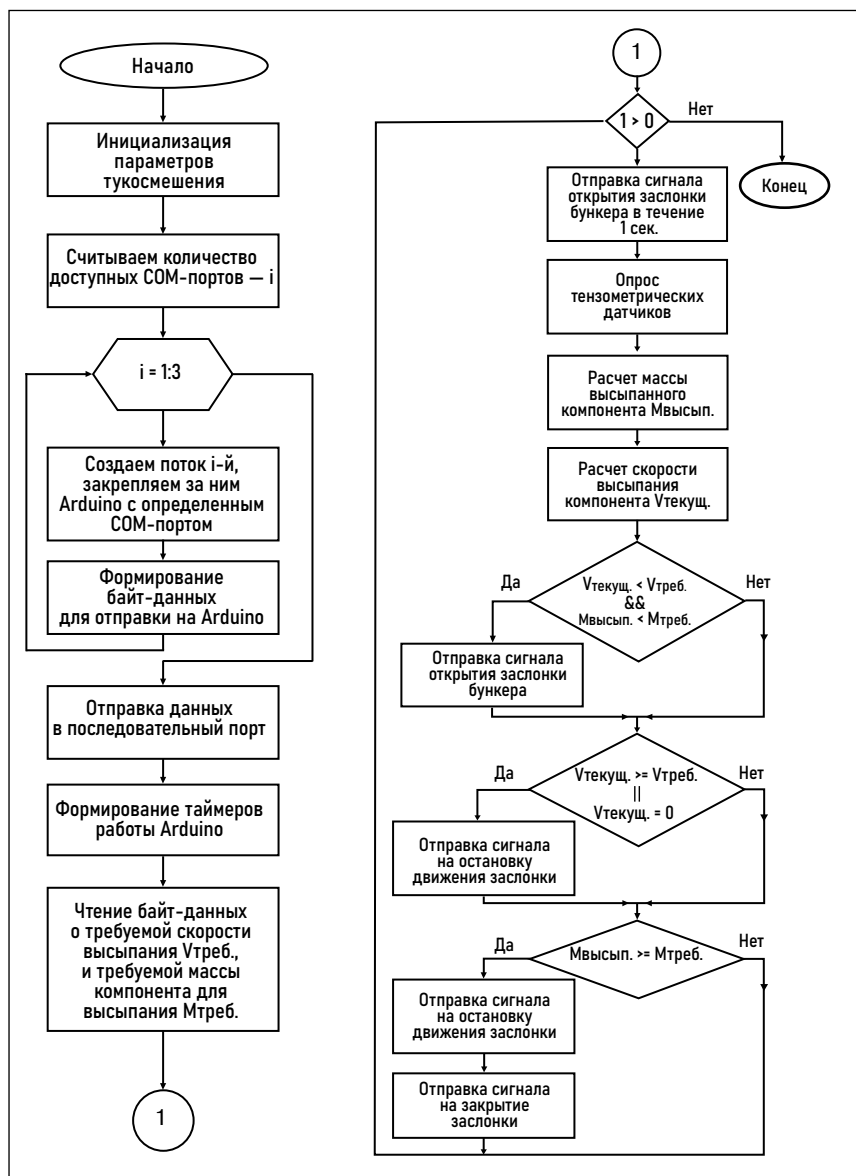
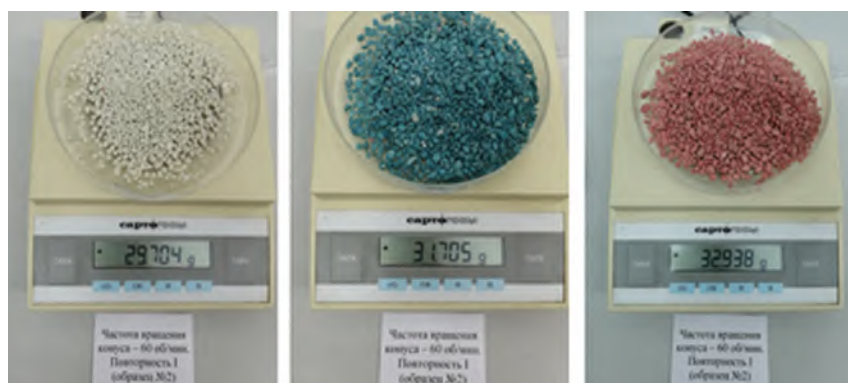


Рис. 7. Взвешивание отсортированных компонентов тукосмеси. Фото автора

Fig. 7. Weighing of sorted components of the fertilizer mixture. Photo of the author



ленную емкость, из которой на разных уровнях отбиралось по пять проб объемом 100 мл, затем производилась сортировка компонентов и взвешивание на весах САРТОГОСМ ВЛТ 150-П, тем самым определялась доля каждого компонента в пробе.

В результате для каждой из повторности опыта был рассчитан коэффициент неравномерности смеси, кото-

рый варьировался от 5,27 до 7,64. Полученные результаты показывают, что использование тукосмесительной установки с разработанным программным комплексом по расчету доз, составу тукосмесей и управлению автоматизированной дозирующей системой позволяет производить тукосмеси с заданным соотношением элементов питания с высокой точностью.

Выводы / Conclusion

В ходе исследований были определены основные компоненты системы автоматического управления тукосмесительной установки. На основе выбранных компонентов были разработаны конструкция дозирующей системы и программный комплекс для ее управления,

который позволяет создавать тукосмеси на основе потребностей хозяйства, а также с учетом возможности смешивания имеющихся компонентов, осуществляя проверку по заданному критерию, тем самым предотвращая возникновение ошибок со стороны оператора тукосмесительной установки.

Предложенная система автоматизации технологического процесса разработанной тукосмесительной установки позволяет получать тукосмеси с заданным соотношением входящих в нее компонентов за счет точного весового дозирования и автоматизированного управления заслонками, что подтверждается достаточно низким коэффициентом неравномерности, варьирующимся от 5,27 до 7,64.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоренко В.Ф. и др. Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия. *Техника и оборудование для села*. 2017; (9): 2–6. <https://elibrary.ru/zhjxel>
2. Бельх С.А., Личман Г.И., Марченко А.Н. Метод составления карт-заданий для дифференцированного внесения органо-минеральных удобрений. *Международная агроинженерия*. 2016; (4): 15–20. <https://elibrary.ru/zuezxh>
3. Личман Г.И., Смирнов И.Г., Личман А.А., Беленков А.И. Цифровое земледелие (Digital Farming) — преемник точного (Precision Farming). *Фермер. Поволжье*. 2017; (11): 40–45. <https://elibrary.ru/tetmup>
4. Тетерин В.С., Гапеева Н.Н., Митрофанов С.В., Панферов Н.С., Гайбарян М.А. Способ производства комплексных органоминеральных удобрений и технологическая линия для его осуществления. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019; (4): 114–119. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2019.50.20.020>
5. Shemyakin A.V., Borychev S.N., Uspenskiy I.A., Andreev K.P., Terentyev V.V. Improvement of the technological process of surface application of mineral fertilizers. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00192. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700192>
6. Личман Г.И., Личман А.А. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017; (5): 16–21. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-5-16-21>
7. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Митрофанов С.В., Благов Д.А., Пехнов С.А., Сухорук Д.Г. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений. *Техника и оборудование для села*. 2021; (12): 18–24. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-12-18-24>
8. Li Z.X., Chi F.Q., Zhang J.M., Kuang E.J., Su Q.R. Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Hu Molecular Structure in Black Soil. *Spectroscopy and spectral analysis*. 2018; 38(12): 3875–3882. [http://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2018\)12-3875-08](http://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2018)12-3875-08)
9. Romanenkov V., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Jahn G., Krasilnikov P. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia. *Geoderma Regional*. 2019; 17: e00221. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00221>
10. Zhang X. et al. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. *Science of The Total Environment*. 2015; 536: 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.043>
11. Туркин В.Н., Козягин А.С. Оптимизация применения минеральных и биологизированных удобрений с использованием тукосмесительных машин нового поколения. *Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Материалы 68-й Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева*. 2017; 2: 350–354. <https://elibrary.ru/zgdrwl>
12. Хошимов А.А., Сейтназаров А.Р., Тожиев Р.Р., Турдалиев У.М., Номозов Ш.Ю. Активация кызылкупской фосфоритной муки в присутствии азотно-фосфорного серосодержащего удобрения — супрефоса-NS. *Universum: технические науки*. 2021; (5): 35–39. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.86.5.11732>
13. Гайбарян М.А., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н. Оптимизация структурного построения технологического процесса тукосмешения и биомодификации твердых минеральных. *Техника и оборудование для села*. 2021; (10): 17–22. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-10-17-22>
14. Сковородников П.В., Черепанова М.В. Особенности процесса гранулирования органоминеральных удобрений методом. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019; 330(9): 51–59. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2255>

REFERENCES

1. Fedorenko V.F. et al. Estimation of soil cover non-uniformity in field conditions for coordinate farming technologies. *Machinery and equipment for rural area*. 2017; (9): 2–6 (In Russian). <https://elibrary.ru/zhjxel>
2. Belih S.A., Leachman G.I., Marchenko A.N. Method of card job introduction to differential organic and mineral fertilizers. *International Agroengineering*. 2016; (4): 15–20 (In Russian). <https://elibrary.ru/zuezxh>
3. Lichman G.I., Smirnov I.G., Lichman A.A., Belenkov A.I. Digital farming is the successor of Precision Farming. *Fermer. Povolzh'e*. 2017; (11): 40–45 (In Russian). <https://elibrary.ru/tetmup>
4. Tetherin V.S., Gapeeva N.N., Mitrofanov S.V., Panforyov N.S., Gaybaryan M.A. Method and process line for producing complex organicmineral fertilizers. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2019; (4): 114–119 (In Russian). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2019.50.20.020>
5. Shemyakin A.V., Borychev S.N., Uspenskiy I.A., Andreev K.P., Terentyev V.V. Improvement of the technological process of surface application of mineral fertilizers. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00192. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700192>
6. Lichman G.I., Lichman A.A. Assessment of influence of fertilization quality on crop yield. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017; (5): 16–21 (In Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-5-16-21>
7. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V., Blagov D.A., Pekhnov S.A., Sukhorukov D.G. Trends in the Development of Machines Fitted with Centrifugal Working Bodies for Surface Application of Solid Mineral Fertilizers. *Machinery and equipment for rural area*. 2021; (12): 18–24 (In Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-12-18-24>
8. Li Z.X., Chi F.Q., Zhang J.M., Kuang E.J., Su Q.R. Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Hu Molecular Structure in Black Soil. *Spectroscopy and spectral analysis*. 2018; 38(12): 3875–3882. [http://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2018\)12-3875-08](http://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2018)12-3875-08)
9. Romanenkov V., Belichenko M., Petrova A., Raskatova T., Jahn G., Krasilnikov P. Soil organic carbon dynamics in long-term experiments with mineral and organic fertilizers in Russia. *Geoderma Regional*. 2019; 17: e00221. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00221>
10. Zhang X. et al. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. *Science of The Total Environment*. 2015; 536: 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.043>
11. Turkin V.N., Komyagin A.S. Optimization of the use of mineral and biologized fertilizers using a new generation of fertilizer mixing machines. *Principles and technologies of greening production in agriculture, forestry and fisheries. Proceedings of the 68th International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Ecology in Russia*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2017; 2: 350–354 (In Russian). <https://elibrary.ru/zgdrwl>
12. Khoshimov A., Seytnazarov A., Tozhiev R. Turdaliyev U., Nomozov S. Activation of Kyzylkum phosphorite flour in the presence of nitrogen-phosphorus-sulfur-containing fertilizer — Suprefos-NS. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2021; (5): 35–39 (In Russian). <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.86.5.11732>
13. Gaibaryan M.A., Sidorkin V.I., Gapeeva N.N. Optimization of the Structural Design of the Process of Fertilizer Mixing and Biomodification of Solid Mineral Fertilizers. *Machinery and equipment for rural area*. 2021; (10): 17–22 (In Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-10-17-22>
14. Skovorodnikov P.V., Cherepanova M.V. Peculiarities of organomineral fertilizer granulation by the pelletizing method. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019; 330(9): 51–59 (In Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2255>

15. Мунин Д.А., Черепанова М.В., Пойлов В.З., Подтынова А.С. Способ получения агломерированного флотационного хлористого калия. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2019; (4): 87–97. <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2019.4.08>

16. Жантасов К.Т., Зият А.Ж., Жуматаева С.Б., Сарыпбекова Н.К., Жантасов М.К. Инновационная технология получения тукоосмеси из отходов различных производств, природного вермикулита и фосфогипса. *Научное наследие*. 2021; (78): 17–24. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-17-24>

17. Сафиоллин Ф.Н., Каримов А.З. Оптимизация минерального питания гибридов ярового рапса Сальса и Хантер для получения запланированных урожаев на темно-серых лесных почвах Республики Татарстан. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2015; 10(1): 120–122. <https://elibrary.ru/twnjvk>

18. Кузмичева Ю.В., Тychinskaya И.Л., Петрова С.Н., Парахин Н.В. Эффективность интродукции АЦК-утилизующих ризобактерий в агроценозы сои в условиях Орловской области. *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(3): 377–383. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.377rus>

19. Жантасов К.Т. и др. Исследование получения тукоосмеси на основе отходов доломитизированного фосфатного сырья, золы ТЭЦ и угледобычи. *Успехи современного естествознания*. 2022; (2): 60–65. <https://doi.org/10.17513/use.37779>

20. Хисматуллин М.М., Сафиоллин Ф.Н., Сошнева С.В., Сайфутдинов А.Д. Биоэнергетические показатели применения минеральных удобрений в виде тукоосмесей на люцерновых агроценозах в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан. *Актуальные проблемы и достижения в сельскохозяйственных науках. Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции*. Самара. 2016; 3: 6–8. <https://elibrary.ru/vygrohl>

21. Белоусов И.Е., Кремзин Н.М. Эффективность применения полиэлементных тукоосмесей в рисоводстве. *Достижения науки и техники АПК*. 2016; 30(8): 40, 41. <https://elibrary.ru/wjztnl>

22. Митрофанов С.В., Новиков Н.Н., Никитин В.С., Благов Д.А., Панферов Н.С., Бельх С.А. Математические модели по рациональному расчету доз минеральных удобрений. *Наука в Центральной России*. 2019; (2): 71–77. <https://elibrary.ru/zzamqx>

23. Панферов Н.С., Пестряков Е.В., Митрофанов С.В., Тетерин В.С., Сухоруков Д.Г., Благов Д.А. Микроконтроллерное оборудование в сельскохозяйственном производстве. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (3): 211–216. <https://elibrary.ru/xtwtyp>

15. Munin D.A., Cherepanova M.V., Poilov V.Z., Podtynova A.S. Producing method agglomerated flotation potassium chloride. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology*. 2019; (4): 87–97 (In Russian). <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2019.4.08>

16. Zhantassov K., Ziyat A., Zhumatayeva S., Sarypbekova N., Zhantassov M. Innovative technology for the production of flour mixtures from waste from various industries, natural vermiculite and phosphogypsum. *The Scientific Heritage*. 2021; (78): 17–24 (In Russian). <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-17-24>

17. Safiollin F., Karimov A. Optimization of mineral supply for Salsa and Hunter hybrids of spring rape for planned productivity on dark gray forest soil of the Republic of Tatarstan. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2015; 10(1): 120–122 (In Russian). <https://elibrary.ru/twnjvk>

18. Kuzmicheva Yu.V., Tychinskaya I.L., Petrova S.N., Parakhin N.V. Efficiency of introduction of acc-utilizing rhizobacteria in soybean agroecosystems in the Orel region. *Agricultural Biology*. 2015; 50(3): 377–383 (In Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.3.377rus>

19. Zhantassov K.T. et al. Study of obtaining a fertilizer mixture on the basis of waste of dolomitized phosphate raw materials, ash of TPP and coal mining. *Advances in current natural sciences*. 2022; (2): 60–65 (In Russian). <https://doi.org/10.17513/use.37779>

20. Hismatullin M.M., Safiollin F.N., Sochneva S.V., Saifutdinov A.D. Bioenergy indicators of mineral fertilizer in the form of fertilizer mixtures alfalfa agroecosystems the soil and climate conditions of Republic Tatarstan. *Actual problems and achievements in agricultural sciences. Collection of scientific papers on the results of the International scientific and practical conference*. Samara. 2016; 3: 6–8 (In Russian). <https://elibrary.ru/vygrohl>

21. Belousov I.E., Karamzin N.M. Efficiency of polyelement fertilizer mixtures in rice growing. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016; 30(8): 40, 41 (In Russian). <https://elibrary.ru/wjztnl>

22. Mitrofanov S.V., Novikov N.N., Nikitin V.S., Blagov D.A., Panferov N.S., Belykh S.A. Mathematical models on rational calculation of dose of mineral fertilizers. *Science in the Central Russia*. 2019; (2): 71–77 (In Russian). <https://elibrary.ru/zzamqx>

23. Panforyov N.S., Pestryakov E.V., Mitrofanov S.V., Teterin V.S., Sukhorukov D.G., Blagov D.A. The use of microcontroller-based equipment in agricultural production. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (3): 211–216 (In Russian). <https://elibrary.ru/xtwtyp>

ОБ АВТОРАХ:

Алексей Викторович Сибирёв,
доктор технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
sibirev2011@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

Николай Сергеевич Панфёров,
кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
nikolaj-panforyov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Алексей Юрьевич Овчинников,
кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
aleksovchinn@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2188-1527>

Владимир Сергеевич Тетерин,
кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Максим Александрович Мосьяков,
кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
Maks.Mosyakov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

Сергей Владимирович Митрофанов,
кандидат сельскохозяйственных наук,
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
Покровский бульвар, 11, Москва, 109028, Россия
79537421084@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0657-7148>

ABOUT THE AUTHORS:

Alexey Viktorovich Sibirev,
Doctor of technical sciences,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
sibirev2011@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

Nikolay Sergeevich Panferov,
candidate of technical sciences,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
nikolaj-panforyov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Alexey Yuryevich Ovchinnikov,
candidate of technical sciences,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
aleksovchinn@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2188-1527>

Vladimir Sergeevich Teterin,
candidate of technical sciences,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Maxim Alexandrovich Mosyakov,
candidate of technical sciences,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
Maks.Mosyakov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

Sergey Vladimirovich Mitrofanov,
candidate of agricultural sciences,
National Research University «Higher School of Economics»,
11 Pokrovsky Boulevard, Moscow, 109028, Russia
79537421084@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0657-7148>