



Обоснование технологической схемы технического средства для внесения в почву жидких минеральных удобрений

✉ Назаров Н.Н., Иванников А.Б., Некрасова И.В.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

В статье представлены результаты обоснования технологической схемы технического средства для внесения в почву жидких минеральных удобрений (ЖМУ) при возделывании сельскохозяйственных культур. Установлено, что формирование структуры данного технического средства основано на построении его функционально-структурной модели, базирующейся на определении состава функций и функциональной модели будущего изделия, поиске вариантов технических решений по функциям, построении структурной модели разрабатываемого технического средства, а на завершающем этапе – на оценке и выборе вариантов рабочих органов (технических решений) и перспективных технологических схем будущего технического средства. Благодаря выявлению причинно-следственных связей между конкретными технологическими операциями, которые должны выполняться техническим средством, а также технологическими и техническими решениями, определен состав его функций, включающий транспортирование запаса ЖМУ, обеспечение заданной нормы внесения, распределение ЖМУ по рабочим органам и в полосе внесения. Обоснована структурная схема технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ на уровне моделей графов типа «дерево» с отображением контуров и конкретных взаимосвязей между элементами структуры. Перспективный вариант технологической схемы воспроизводится по комплексным показателям с использованием численных значений коэффициентов весомости (значимости) показателей качества выполнения технологических процессов. Данный вариант включает установленный на раме бак для ЖМУ, фильтрующие устройства, запорно-дозировочную аппаратуру (насос, регулятор давления, манометр), распределительную штангу, соединенные гидрокommunikациями с устройством для создания газожидкостной смеси ЖМУ и многопоточным делителем жидкости, что в значительной степени предотвращает закупорку отверстий распылителей.

Ключевые слова: жидкие минеральные удобрения, внесение, техническое средство, функционально-структурная модель, состав функций, технологическая схема

Justification of a technological scheme of technical means for application of liquid mineral fertilizers into the soil

✉ Nazarov N.N., Ivannikov A.B., Nekrasova I.V.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

The article presents the results of justification of a technological scheme of technical means for the application of liquid mineral fertilizers (LMF) into the soil during the cultivation of agricultural crops. It was found that the formation of the structure of this technical means is based on the construction of its functional-structural model which is based on the definition of the composition of functions and functional model of the future product, the search for variants of technical solutions for functions, the construction of the structural model of the developed technical means, and at the final stage on

the evaluation and selection of the variants of working bodies (technical solutions) and promising technological schemes of the future technical means. Due to the identification of cause-and-effect relations between specific technological operations to be performed by the technical means, as well as technological and technical solutions, the composition of its functions has been determined, including transportation of the LMF stock, ensuring the specified application rate, distribution of the LMF on the working bodies and in the application strip. The structural scheme of the technical means for in-soil application of the LMF at the level of graph models of the "tree" type with representation of contours and specific interrelationships between the elements of the structure is substantiated. The prospective variant of the technological scheme is reproduced by complex indicators using numerical values of weight coefficients (significance) of quality indicators of technological processes performance. This variant includes a frame-mounted LMF tank, filtering devices, shut-off and metering equipment (pump, pressure regulator, pressure gauge), distributing rod, connected by hydro-communications with the device for creation of the LMF gas-liquid mixture and a multiflow liquid divider, which largely prevents clogging of atomizer openings.

Keywords: liquid mineral fertilizers, application, technical means, functional and structural model, composition of functions, technological scheme

Для цитирования: Назаров Н.Н., Иванников А.Б., Некрасова И.В. Обоснование технологической схемы технического средства для внесения в почву жидких минеральных удобрений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 11. С. 132–141. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-11-14>

For citation: Nazarov N.N., Ivannikov A.B., Nekrasova I.V. Justification of a technological scheme of technical means for application of liquid mineral fertilizers into the soil. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 11, pp. 132–141. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-11-14>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках финансируемой научно-исследовательской работы № 0533-2021-0012.

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the funded research work No. 0533-2021-0012.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основополагающих факторов формирования высоких урожаев зерновых культур является внесение жидких форм минеральных удобрений (жидкие комплексные удобрения (ЖКУ), раствор карбамидно-аммиачной смеси (КАС)) в прикорневую зону вегетирующих растений [1–5]. К настоящему времени наработано значительное количество технологических и технических решений, обеспечивающих введение жидких минеральных удобрений в зону их потребления корневой системой возделываемых культур [6–15]. Вместе с тем, несмотря на достаточную проработанность данного направления, остается ряд нерешенных проблем, связанных с дозированием малых объемов жидких форм препаратов, их транспортировкой к месту внесения, забиванием отверстий (на-

конечников) распылителей землей, быстрым износом подающих рабочую жидкость магистралей, что создает значительные трудности. По этой причине вопросы устойчивости технологического процесса внесения в почву жидких форм минеральных удобрений, связанные с формированием технологической схемы технического средства, используемого для этих целей, составляют важную и требующую решения задачу.

Цель работы – обосновать структуру технического средства для внесения в почву жидких форм минеральных удобрений, обеспечивающую устойчивость его функционирования при наличии внутренних и внешних воздействий.

Задача – разработать методические подходы к обоснованию технологической схемы технического средства для внесения в почву жидких форм минеральных удобрений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве методической основы для формирования технологической схемы технического средства для внесения в почву жидких минеральных удобрений (ЖМУ) принят граф эффектов рассматриваемой технической системы, созданный с использованием комбинаторного метода^{1,2} (см. рис. 1).

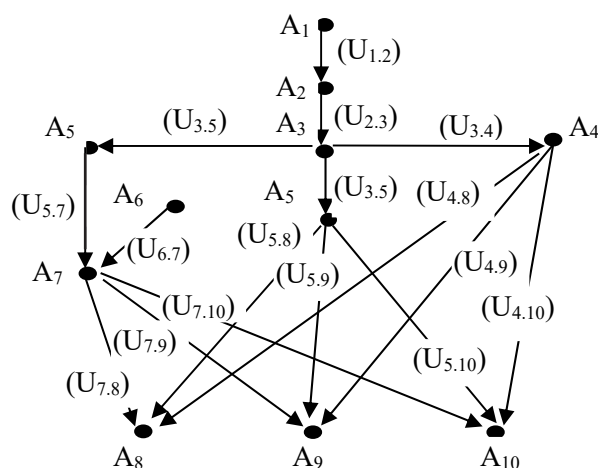


Рис. 1. Граф эффектов технической системы для внесения в почву ЖМУ:

A₁ – нахождение ЖМУ в емкости для хранения и транспортировки; A₂ – дозатор (насос-дозатор); A₃ – пускорегулирующая аппаратура; A₄ – распылители; A₅ – подача ЖМУ в многопоточный делитель жидкости; A₆ – источник сжатого воздуха; A₇ – устройство для формирования газожидкостной смеси ЖМУ; A₈ – распределение ЖМУ в полосу посева семян; A₉ – распределение ЖМУ в междополосную зону; A₁₀ – распределение ЖМУ на подстиляющую поверхность; U_{1...n} – взаимосвязь между двумя явлениями (процессами)

Fig. 1. Effect graph of the technical system for the application of the LMF to the soil:

A₁ – LMF in storage and transportation tank; A₂ – metering unit (pump-dosing unit); A₃ – start-control devices; A₄ – atomizers; A₅ – feeding of LMF into multi-stream liquid divider; A₆ – compressed air source; A₇ – device for formation of the LMF gas-liquid mixture; A₈ – LMF distribution in the seed sowing strip; A₉ – LMF distribution to the interband zone; A₁₀ – LMF distribution to the underlying surface; U_{1...n} – interrelation between two phenomena (processes)

Формирование структуры технического средства для внесения в почву ЖМУ основано на построении его функционально-структурной модели (ФСМ) (см. рис. 2). Данная ФСМ должна базироваться на определении состава функций будущего изделия и его функциональной модели (ФМ), поиске вариантов технических решений по функциям и построении структурной модели разрабатываемого технического средства, а на завершающем этапе – на оценке и выборе вариантов рабочих органов (технических решений) и перспективных технологических схем будущего технического средства³⁻⁶.

При определении состава функций будущего технического средства были рассмотрены причинно-следственные связи между конкретными технологическими операциями, технологическими и техническими решениями, которые должны выполняться как техническим средством в целом (на уровне единого комплекса), так и его составными частями. Базовой составляющей при этом является постановка двух основных вопросов – почему и как? Они послужили основой для определения и предшествующих, и последующих функций.

На основании полученной таким образом информации произведено графическое определение функциональной модели технического средства с помощью наглядного отображения функций и их соподчиненности.

При поиске вариантов технических решений по функциям и построении структурной модели разрабатываемого технического средства применен метод морфологического анализа систем, обеспечивающий нахождение перспективного технического решения на основе морфологических карт. При этом использованы критерии и ограничения функционирования технологического процесса, которые будут представлены ниже.

¹Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем. М.: Речной транспорт, 1990. 112 с.

²Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. М.: Речной транспорт, 1990. 148 с.

³Моисеева Н.К., Карпунин М.Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. М.: Высшая школа, 1988. 192 с.

⁴Моисеева Н.К. Выбор технических решений при создании новых изделий. М.: Машиностроение, 1980. 181 с.

⁵Голибардов Е.И., Кудрявцев А.В., Синенко М.И. Техника функционально-стоимостного анализа. Киев: Техника, 1989. 238 с.

⁶Основы функционально-стоимостного анализа: учеб. пособие / под ред. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчик. М.: Энергия, 1980. 175 с.



Рис. 2. Методический подход к формированию ФСМ технического средства для внесения в почву ЖМУ
Fig. 2. Methodological approach to formation of the FSM of technical means for application of LMF into the soil

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с обозначенными выше методическими подходами определен состав функций (диаграмма) будущего технического средства, представлено не только их количество, но и, в определенной степени, исполнительный механизм, реализуемый через составные части технического средства (см. рис. 3).

В целом диаграмма функций технического средства для внесения в почву жидких минеральных удобрений выглядит следующим образом: транспортирование запаса ЖМУ → обеспечение заданной нормы внесения ЖМУ → распределение ЖМУ по рабочим органам → распределение ЖМУ в полосе внесения.

Определенный таким образом состав функций принят за основу при формирова-

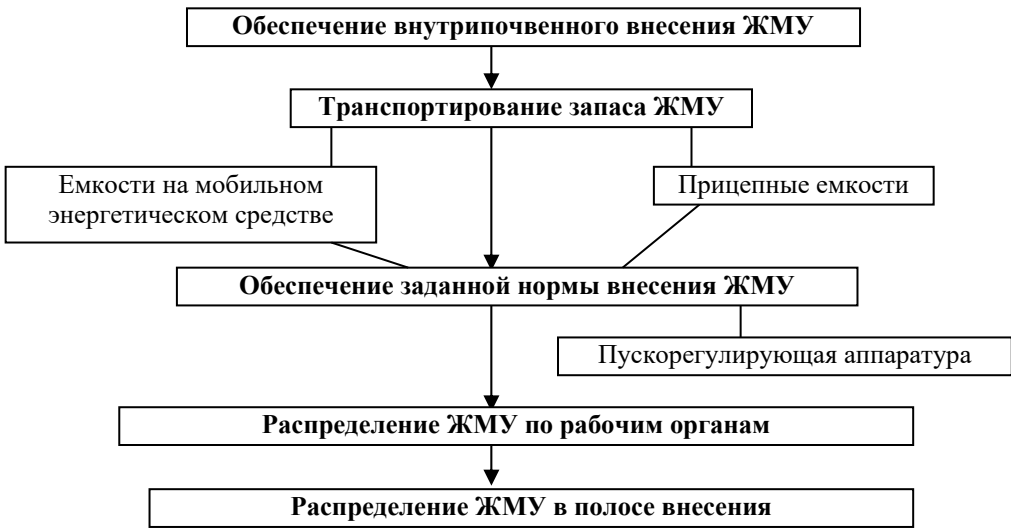


Рис. 3. Состав функций технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ
Fig. 3. Composition of the functions of the technical means for in-soil application of the LMF

нии ФМ проектируемого технического средства. Данная модель оформляется на уровне графического представления с отображением основных функций, реализуемых в техническом средстве, и их соподчиненности (см. рис. 4).

Дальнейшее обоснование технологической схемы технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ связано с его структурным описанием, представляемым в графической форме и несущим информацию об устоявшихся статических связях. Данная модель относится к графам типа «дерево», не имеет в своем отображении контуров и конкретных взаимосвязей между элементами структуры (см. рис. 5).

Формирование ФСМ технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ основано на определении соподчиненности его функций в следующем порядке: главные, основные, вспомогательные. Основные функции (транспортирование запаса ЖМУ, дозирование и распределение ЖМУ по ра-

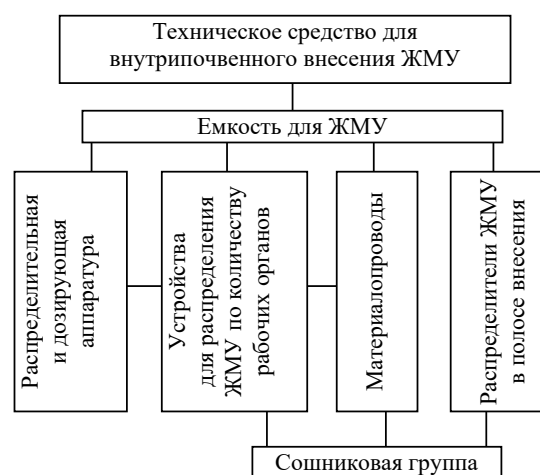


Рис. 5. Структурная схема технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ

Fig. 5. Structural diagram of a technical tool for in-soil application of the LMF

бочим органам, подача ЖМУ в подсошниковую зону, распределение ЖМУ по ширине обрабатываемой площади) реализуются в технологическом процессе технического средства и подчинены главной функции (внутрипочвенное внесение ЖМУ), обязательны

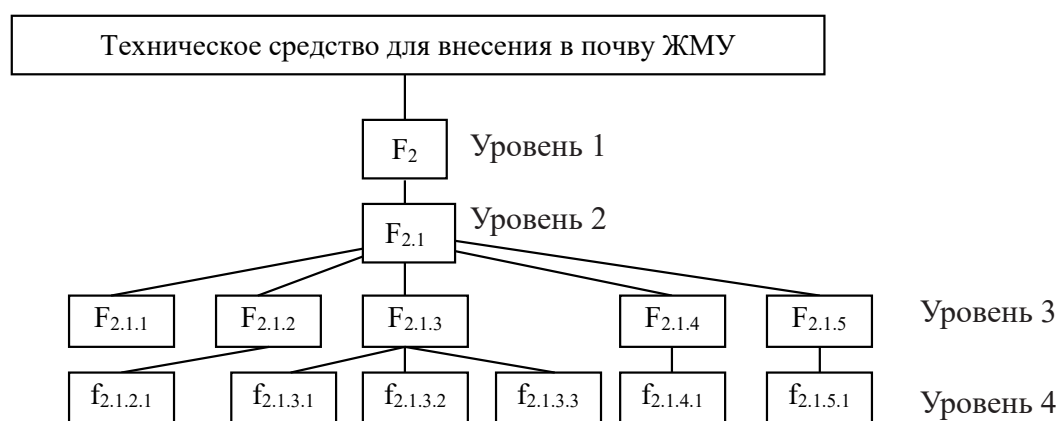


Рис. 4. ФМ технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ:

F_2 – обеспечение внутрипочвенного внесения ЖМУ; $F_{2.1}$ – транспортирование запаса ЖМУ; $F_{2.1.1}$ – закрепление емкости на раме; $F_{2.1.2}$ – дозирование ЖМУ; $F_{2.1.3}$ – распределение ЖМУ по рабочим органам; $F_{2.1.4}$ – подача ЖМУ в подсошниковую зону; $F_{2.1.5}$ – распределение ЖМУ по ширине обрабатываемой площади; $f_{2.1.2.1}$ – установка распределительно-нагнетательной аппаратуры; $f_{2.1.3.1}$ – установка многопоточного делителя жидкости; $f_{2.1.3.2}$ – установка устройства для создания газожидкостной смеси ЖМУ; $f_{2.1.3.3}$ – установка распределительной штанги; $f_{2.1.4.1}$ – установка материалопроводов; $f_{2.1.5.1}$ – установка распределителей ЖМУ

Fig. 4. FM of the technical means for in-soil application of LMF:

F_2 – provision of in-soil application of LMF; $F_{2.1}$ – transportation of the LMF stock; $F_{2.1.1}$ – fixing of the tank on the frame; $F_{2.1.2}$ – dosing of LMF; $F_{2.1.3}$ – distribution of LMF to the working bodies; $F_{2.1.4}$ – feeding of LMF to the subsoil zone; $F_{2.1.5}$ – distribution of LMF over the width of the treated area; $f_{2.1.2.1}$ – installation of the distribution and injection equipment; $f_{2.1.3.1}$ – installation of a multiflow liquid splitter; $f_{2.1.3.2}$ – installation of a device for creation of gas-liquid mixture of LMF; $f_{2.1.3.3}$ – installation of a distributing rod; $f_{2.1.4.1}$ – installation of material lines; $f_{2.1.5.1}$ – installation of LMF distributors

для реализации и связаны с размещением оборудования проектируемого технического средства на своей конструктивной основе. После определения главной и основных функций построена система вспомогательных функций, связанных с установкой распределительно-нагнетательной аппаратуры, формированием альтернативных вариантов распределения ЖМУ по рабочим органам (использованием многопоточного делителя жидкости, устройства для создания газожидкостной смеси ЖМУ и использованием распределительной штанги), которые необходимы для реализации основных функций технического средства (см. рис. 6).

Перспективный вариант технологической схемы технического средства для внесения в почву ЖМУ определен с учетом решения экспертной группы, созданной для этой

цели⁷. Членами экспертной группы, состоящей из 8 человек, по 5-балльной шкале с использованием комплексных показателей, принятых для оценки качества функционирования рассматриваемого процесса, на основе численных значений коэффициентов весомости (значимости) этих показателей была определена их приоритетность. В качестве комплексных показателей приняты: *A* – качество выполнения технологического процесса (ТП); *B* – производительность ТП; *C* – устойчивость функционирования ТП; *D* – затраты на монтаж оборудования; *E* – стоимость комплектов; *F* – сложность изготовления (затраты труда на изготовление); *G* – удобство в обслуживании (затраты труда на обслуживание); *H* – масса рабочих органов⁸.

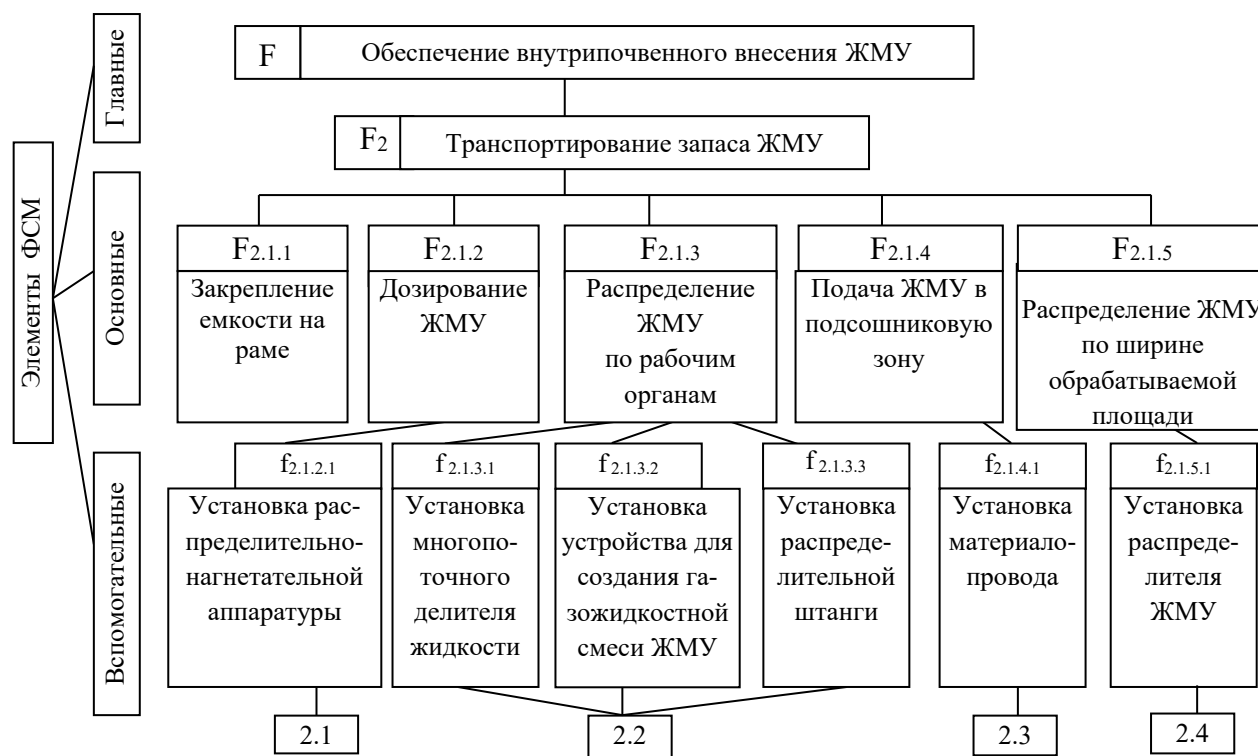


Рис. 6. ФСМ технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ:

2.1 – дозирование ЖМУ; 2.2 – распределение ЖМУ по рабочим органам; 2.3 – транспортирование ЖМУ к рабочим органам; 2.4 – распределение ЖМУ в полосу внесения

Fig. 6. FSM of the technical means for in-soil application of LMF:

2.1 – dosing of LMF; 2.2 – distribution of LMF across the working bodies; 2.3 – transportation of LMF to the working bodies; 2.4 – distribution of LMF in the application strip

⁷Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.

⁸Назаров Н.Н. Технологическая схема технического средства для внесения в почву суспензии бактериальных препаратов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010. Т. 40. № 2 (206). С. 76–83.

Ранжирование показателей качества по результатам их балльной оценки экспертами
Results of quality indicators ranking according to the results of their scoring by the experts

Оценка	Показатель качества							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Балл	4,6	4,1	4,6	2,2	2,2	2,5	3,6	2,5
Занимаемое место	1	3	2	7	8	5	4	6

На первом этапе произведено ранжирование принятых к рассмотрению технологических процессов (см. сноску 8). Полученные данные обработаны с использованием методов математической статистики (см. таблицу).

На основании полученных результатов на втором этапе произведен выбор перспективной технологической схемы технического средства для внесения в почву ЖМУ по обозначенным выше показателям качества. Оценку проводила та же группа экспертов.

Установлено, что потенциально перспективной технологической схемой технического средства для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений является схема, включающая установленный на раме бак для ЖМУ, фильтрующие устройства,

запорно-дозировочную аппаратуру (насос, регулятор давления, манометр), распределительную штангу, соединенные гидрокоммуникациями (см. сноску 8). Кроме того, представленная технологическая схема имеет отличительную особенность, выражающуюся в наличии двух элементов – устройства для создания газожидкостной смеси ЖМУ и многопоточного делителя жидкости (см. рис. 7).

Оба устройства крепятся на раме технического средства и формируют газожидкостную смесь или распределяют ЖМУ по количеству заделывающих рабочих органов вне зоны непосредственного поступления жидких форм удобрений в почву, что в значительной степени предотвращает закупорку отверстий распылителей.

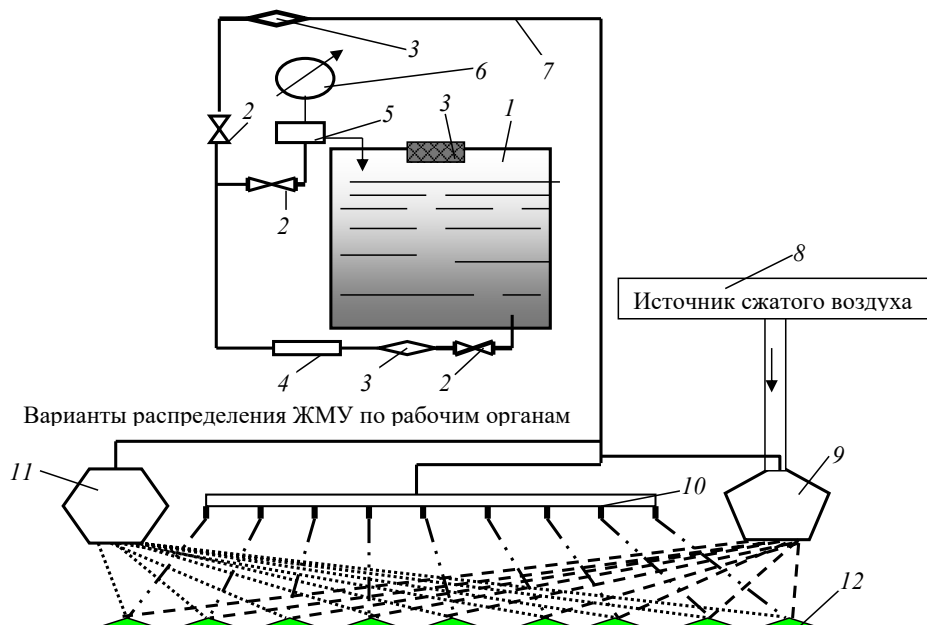


Рис. 7. Технологическая схема технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ:

1 – бак для ЖМУ; 2 – запорная арматура; 3 – фильтрующие устройства; 4 – насос; 5 – регулятор давления; 6 – манометр; 7 – гидрокоммуникации; 8 – источник сжатого воздуха; 9 – устройство для создания газожидкостной смеси ЖМУ; 10 – распределительная штанга; 11 – многопоточный делитель жидкости; 12 – рабочие органы

Fig. 7. Technological scheme of the technical means for in-soil application of LMF:

1 – tank for LMF; 2 – stop valve; 3 – filtering devices; 4 – pump; 5 – pressure regulator; 6 – pressure gauge; 7 – hydraulic lines; 8 – compressed air source; 9 – device for creating gas-liquid mixture of LMF; 10 – distributing rod; 11 – multi-flow liquid divider; 12 – working bodies

ВЫВОДЫ

1. Обоснован перспективный вариант технологической схемы технического средства для внутрипочвенного внесения ЖМУ, включающий установленный на раме бак для ЖМУ, фильтрующие устройства, запорно-дозировочную аппаратуру (насос, регулятор давления, манометр), распределительную штангу, соединенные гидрокommunikациями с устройством для создания газожидкостной смеси ЖМУ, многопоточным делителем жидкости, что в значительной степени предотвращает закупорку отверстий распылителей.

2. Разработаны методические подходы обоснования технологической схемы технического средства для внутрипочвенного внесения жидких форм минеральных удобрений, реализуемые через формирование состава функций, определение функциональной модели технического средства, поиск вариантов технических решений по функциям и построение структурной модели технического средства, а на завершающем этапе – через оценку и выбор вариантов рабочих органов (технических решений) и перспективных технологических схем будущего технического средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милюткин В.А., Длужевский Н.Г., Длужевский О.Н. Техничко-технологическое обоснование эффективности жидких минеральных удобрений на базе КАС-32, целесообразность и возможность расширения их использования // Агрофорум. 2020. № 2. С. 47–51.
2. Милюткин В.А., Петров А.М., Кухарев О.Н., Длужевский Н.Г. Техничко-технологическое применение жидких азотных и азотосеросодержащих удобрений на базе КАС-32 в посевах зерновых и зернобобовых культур // Нива Поволжья. 2019. № 4 (53). С. 79–85.
3. Милюткин В.А., Сысоев В.Н., Шахов В.А., Длужевский Н.Г. Техничко-технологическое обеспечение эффективного внесения на пропашных культурах жидких азотных и азотосеросодержащих удобрений на базе КАС-32 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 149–152.
4. Ханиева И.М., Амишников Б.Х., Шонтуков Т.З. Особенности внесения удобрений в почву // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 31 (53). С. 93–100.
5. Милюткин В.А., Иванов В.А., Попов А.В. Перспективные инновационные техника и технологии для внесения жидких азотных минеральных удобрений КАС // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 38–47.
6. Бачурин Р.Н., Беляев В.Н., Пирожков Д.Н. Энергооценка машинно-тракторного агрегата при внесении жидких минеральных удобрений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 11 (181). С. 144–149.
7. Петровец В.Р., Дудко Н.И., Мужелев М.С. Обоснование основных параметров оборудования ОВЖ-2000 для внесения жидких минеральных удобрений // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 155–160.
8. Милюткин В.А., Буксман В.Э. Инновационные технические решения для внесения жидких и твердых минеральных удобрений одновременно с посевом // Техника и оборудование для села. 2018. № 10. С. 16–21.
9. Прокопчук Р.Е., Беляев В.И. Энергооценка машинно-тракторных агрегатов для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 3 (55). С. 71–75.
10. Беляев В.И., Прокопчук Р.Е. Дистанционный мониторинг работы агрегата для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 8 (214). С. 115–119.
11. Гайбарян М.А., Тетерин В.С., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н. Модернизация технического средства для внутрипочвенного внесения органоминеральных удобрений // Технический сервис машин. 2020. № 3 (139). С. 12–20.
12. Назаров Н.Н., Некрасова И.В. Распределение жидких минеральных удобрений по количеству рабочих органов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (223). С. 106–113.
13. Милюткин В.А., Овчинников А.С. Высокоэффективный комплекс для обработки почвы с одновременным внесением жидких удобрений агрегатом-интегратором FDC // Известия

- Нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 3 (67). С. 423–432.
14. Рычков В.А., Хрипин В.А., Пиенникова Г.В. Новые средства механизации для транспортировки и хранения жидких минеральных удобрений // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. 2017. № 11. С. 209–214.
15. Милюткин В.А. От однооперационных сельхозмашин – до многофункциональных технологических комплексов с обработкой почвы, посевом и внесением удобрений // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 156–163.
- ## REFERENCES
1. Milyutkin V.A., Dluzhevskiy N.G., Dluzhevskiy O.N. Technical and technological substantiation of the efficiency of liquid mineral fertilizers on the basis of KAS-32, expediency and possibility of expanding their use. *Agroforum* = *Agroforum*, 2020, no. 2, pp. 47–51. (In Russian).
2. Milyutkin V.A., Petrov A.M., Kukharev O.N., Dluzhevskiy N.G. Technical and technological application of liquid nitrogen and nitrogen-containing fertilizers on the basis of CAS-32 in seeding cereal and grain legume crops. *Niva Povolzh'ya* = *Volga Region Farmland*, 2019, no. 4 (53), pp. 79–85. (In Russian).
3. Milyutkin V.A., Sysoev V.N., Shakhov V.A., Dluzhevskiy N.G. Technical and technological provision of effective application of liquid nitrogen and nitrogen-containing fertilizers for root crops based on CAS 32. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2019, no. 5 (79), pp. 149–152. (In Russian).
4. Khanieva I.M., Amshokov B.Kh., Shontukov T.Z. Features of fertilization in the soil. *Problemy razvitiya APK regiona* = *Problems of development of the agro-industrial complex of the region*, 2023, no. 31 (53), pp. 93–100. (In Russian).
5. Milyutkin V.A., Ivanov V.A., Popov A.V. Advanced engineering and technology for application of liquid nitrogen chemical fertilizer carbomide-ammonia mixture based. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 2022, no. 1, pp. 38–47. (In Russian).
6. Bachurin R.N., Belyaev V.N., Pirozhkov D.N. Energy estimation of machine tractor unit at the application of liquid mineral fertilizers. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2019, no. 11 (181), pp. 144–149. (In Russian).
7. Petrovets V.R., Dudko N.I., Muzhelev M.S. Basing of the main parameters of equipment OVZH-2000 for the application of liquid mineral fertilizers. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2015, no. 4, pp. 155–160. (In Russian).
8. Milyutkin V.A., Buksman V.E. Innovative technical solutions for applying liquid and solid mineral fertilizers simultaneously with sowing. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = *Machinery and Equipment for Rural Area*, 2018, no. 10, pp. 16–21. (In Russian).
9. Prokopchuk R.E., Belyaev V.I. Energy estimation of machine-tractor units for internal application of liquid mineral fertilizers. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*, 2021, no. 3 (55), pp. 71–75. (In Russian).
10. Belyaev V.I., Prokopchuk R.E. Remote monitoring of the operation of a unit for subsoil application of liquid mineral fertilizers in the Altai Territory. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2022, no. 8 (214), pp. 115–119. (In Russian).
11. Gaybaryan M.A., Teterin V.S., Sidorkin V.I., Gapeeva N.N. Modification of the unit for sub-surface injection of organomineral fertilizers. *Tekhnicheskij servis mashin* = *Machinery Technical Service*, 2020, no. 3 (139), pp. 12–20. (In Russian).
12. Nazarov N.N., Nekrasova I.V. Distribution of liquid mineral fertilizers by the number of working bodies. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2023, no. 5 (223), pp. 106–113. (In Russian).
13. Milyutkin V.A., Ovchinnikov A.S. Highly efficient complex for tillage and sowing with simultaneous application of liquid fertilizers by the FDC integration unit. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa* = *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2022, no. 3 (67), pp. 423–432. (In Russian).

14. Rychkov V.A., Khripin V.A., Pshennikova G.V. New mechanical equipment for transportation and storage of liquid mineral fertilizers. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obespecheniya sel'skogo khozyaistva = Problems of mechanization of agrochemical support of agriculture*, 2017, no. 11, pp. 209–214. (In Russian).
15. Milyutkin V.A. From single-operation agricultural machines to multifunctional technological complexes with tillage, sowing and fertilization. *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya = Design, use and reliability of agricultural machinery*, 2022, no. 1 (21), pp. 156–163. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Назаров Н.Н.**, доктор технических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

Иванников А.Б., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Некрасова И.В., старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolay N. Nazarov**, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

Alexey B. Ivannikov, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

Irina V. Nekrasova, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.05.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 31.07.2024
Дата публикации / Published 13.12.2024