

Научная статья

УДК 631.171

doi: 10.28983/asj.y2022i2pp122-127

**Методология прогнозной оценки экологической безопасности
применения агрохимикатов туковсевающими приспособлениями
картофелепосадочных комбинированных агрегатов**

**Андрей Борисович Калинин, Игорь Зиновьевич Теплинский, Роман Владимирович Шкрабак,
Ольга Николаевна Теплинская, Иван Сергеевич Немцев**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург-Пушкин, Россия
e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Аннотация. В комплексе природоохранных агроприемов при возделывании картофеля важное место отводится внутривидовому локальному способу внесения удобрений. Технологические системы для применения такого способа функционируют в составе картофелепосадочных комбинированных агрегатов. Использование автоматизированных технологических систем для осуществления внутривидового локального способа внесения удобрений позволит в режиме реального времени дозированно размещать очаги агрохимикатов в тех слоях почвенного горизонта, где будет развиваться корневая система растений. Это существенно снизит потери и повысит коэффициент использования удобрений, обеспечивая при этом приемлемый уровень экологической безопасности их применения и улучшения условий труда человека-оператора. Поэтому учитывая случайный характер условий функционирования картофелепосадочных агрегатов, разработка автоматизированного устройства активного контроля глубины размещения очагов удобрений в заданных горизонтах корнеобитаемого слоя, в алгоритме которого используются методы прогнозной оценки состояния объекта, является весьма актуальной задачей.

Ключевые слова: средства химизации; комбинированный агрегат; технологическая система; экологическая безопасность; оперативный контроль качества.

Для цитирования: Калинин А. Б., Теплинский И. З., Шкрабак Р. В., Теплинская О. Н., Немцев И. С. Методология прогнозной оценки экологической безопасности применения агрохимикатов туковсевающими приспособлениями картофелепосадочных комбинированных агрегатов // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 122–127. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp122-127>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Methodology for the predictive assessment of the environmental safety of the use
of agrochemicals by fertilizer seeding devices of combined potato planters**

Andrey B. Kalinin, Igor Z. Teplinsky, Roman V. Shkrabak, Olga N. Teplinskaya, Ivan S. Nemtsev

St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg-Pushkin, Russia

e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Abstract. In the complex of environmental agricultural practices during of potatoes production an important place is given to the intrasoil local method of fertilizing. Technological systems for the application of this method operate as part of potato planting combined units. The use of automated technological systems for the implementation of an intrasoil local method of applying fertilizers will allow real-time dosed placement of foci of agrochemicals in those layers of the soil horizon that available for root system of plant. This will significantly reduce losses and increase the utilization rate of fertilizers while ensuring an acceptable level of environmental safety of their use and improving the working conditions of a operator. Therefore, given the random nature of the operating conditions of potato planting units, the development of an automated device for active control of the depth of placement of fertilizer foci in given horizons of the root layer the algorithm of which uses methods of predictive assessment of the state of the object is a very urgent task.

Keywords: chemicals; combined unit; technological system; environmental safety; operational quality control.

For citation: Kalinin A. B., Teplinskiy I. Z., Shkrabak R. V., Teplinskaya O. N., Nemtsev I.S. Processing of onions of the Strigunovsky mestniy variety by extraction. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(2):122–127. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp122-127>.





Введение. Одним из важнейших ресурсов в управлении производственно-качественным процессом при интенсивном возделывании картофеля является широкое применение средств химизации. В сельскохозяйственной производственной среде их относят к предметам труда – носителями опасных и вредных химических факторов [1], применение которых с помощью технологических систем, выполняющих агрохимические работы, требуют разработки методов и способов техногенного характера по предупреждению рисков возникновения опасностей, связанных с загрязнением окружающей среды. Снизить риски проявления негативных воздействий этих техногенных факторов на почву, другие природные объекты, получаемую продукцию и здоровье обслуживающего персонала возможно путем применения природоохранных приемов выполнения агрохимических работ, технического совершенствования конструкции технологических машин и оборудования, а также использования при эксплуатации техники цифровых систем для оперативного мониторинга качества и аварийной диагностики хода технологического процесса, позволяющих оператору машинно-тракторного агрегата (МТА) прогнозировать возможные нарушения установленных регламентов функционирования и своевременно обеспечивать корректировку настроек на его восстановление [2, 3].

В комплексе природоохранных агроприемов при возделывании картофеля важное место отводится внутрипочвенному локальному способу внесения удобрений. Осуществление его с помощью автоматизированных технологических систем позволит в режиме реального времени дозированно размещать очаги удобрений в тех слоях почвенного горизонта, где будет развиваться корневая система растений [4]. Это существенно снизит потери и повысит коэффициент использования агрохимикатов, обеспечивая при этом приемлемый уровень экологической безопасности их применения и улучшение условий труда человека-оператора МТА.

В интенсивных ресурсосберегающих технологиях производства картофеля технологические системы для внутрипочвенного локального внесения удобрений функционируют в составе картофелепосадочных комбинированных агрегатов, применение которых позволяет снизить количество проходов по полю мобильной сельскохозяйственной техники, минимизируя антропогенные воздействия на почву в виде ее переуплотнения, что является еще одним приемом природоохранной агротехники, обеспечивающим формирование почвенного состояния для свободного развития корневой системы растений [5]. Все это будет способствовать созданию экологически безопасной ресурсосберегающей технологии производства картофеля.

Анализ применяемых у нас в стране отечественных и зарубежных технологических систем для внесения удобрений, функционирующих в составе картофелепосадочных комбинированных агрегатов показал, что они используются в виде монтируемого на раме машины дополнительного приспособления, которое обеспечивает подачу удобрений в почву, размещая их очаги на некотором расстоянии от рядков картофеля или под клубнями на расстоянии 2...4 см от них. Конструктивно наиболее распространенные в настоящее время приспособления имеют самостоятельный бункер для вносимого материала, катушечные и дисковые дозирующие аппараты, распределительно-транспортирующее устройство гравитационного типа и заделывающие рабочие органы в виде анкерных или дисковых туковых сошников. В приспособлении используется, как правило, привод дозирующих рабочих органов от картофелепосадочной машины.

Проведенные полевые исследования работы таких технологических систем показали, что они не обеспечивают требуемого качества распределения в почве вносимых материалов [6]. Это существенно снижает экологическую безопасность применения таких технологических систем. Оснащение их автоматизированными устройствами активного контроля, интегрированными в пространственно-временные навигационные системы, позволяют в режиме реального времени обеспечить управление качеством распределения в почве удобрений по глубине заделки и вдоль рядков и тем самым улучшить безопасность функционирования исследуемых технологических систем. Методы и средства создания систем активного контроля качества работы дозирующих устройств, обеспечивающих безопасность применения вносимых материалов приведены в работах [7, 8].

Цель настоящего исследования – повышение экологической безопасности функционирования туковысевающего приспособления за счет оснащения его автоматизированным устройством активного контроля глубины размещения очагов удобрений в заданных горизонтах корнеобитаемого слоя, в алгоритме работы которого используются методы прогнозной оценки состояния объекта.

Методика исследований. В настоящей работе приведены результаты исследований качества функционирования туковысевающего приспособления, функционирующего в составе картофелепосадочно-



го комбинированного агрегата, которое в цепи человек-машина-сельскохозяйственная производственная среда будем рассматривать как технологическую систему, выполняющую работы по внутрипочвенному локальному внесению удобрений. В этой системе осуществляется совместное функционирование машинно-тракторного агрегата, человека-оператора и предметов производства в виде почвы и агрохимикатов, выполняющих в определенных условиях производственной среды, сформированных природными процессами и антропогенной длительностью человека, протекание заданного технологического процесса применения удобрений в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями регламента.

Отличительная особенность функционирования такой системы заключается в постоянной изменчивости параметров сельскохозяйственной производственной среды, имеющих как правило случайный в вероятностно-статистическом смысле характер. Однако, возможности адаптации существующих в настоящее время технологических машин и оборудования для применения средств химизации к колебаниям этих параметров весьма ограничены. Это снижает экологическую безопасность их применения, поэтому возникающие технологические отказы приходится компенсировать оператору машинно-тракторного агрегата приложением дополнительных физических и психологических затрат энергии, что приводит к снижению защитных функций его организма и повышенному риску профессионально обусловленной заболеваемости.

Создание средств автоматизации, обеспечивающих в режиме реального времени мониторинг и прогнозирование качества выполнения агрохимических работ, позволит существенно снизить риски возникновения технологических отказов [9].

Для оценки, прогнозирования и обеспечения экологической безопасности функционирования рассматриваемой технологической системы необходимо с использованием методов статистического анализа исследуемых процессов выбрать параметры контроля и показатели качества, характеризующие ее применение по назначению. С этой целью, используя рекомендации, предложенные в работе [10], разработана модель технологического процесса работы приспособления, функционирующего в составе комбинированной картофелепосадочной машины как объекта активного контроля глубины размещения очагов агрохимикатов в корнеобитаемом слое, блок-схема которой приведена на рис. 1. В этой модели выделены следующие звенья: КМ – рама картофелепосадочной машины с колесами и механизмом привода, ДУ – бункер для удобрений с дозирующим устройством, РУ – распределительно-транспортное устройство, ЗУ – заделывающее устройство, П – почва. С помощью этих звеньев обеспечивается непрерывное изменение состояния потока гранулированных минеральных удобрений, поступающего из бункера при его дозировании, распределении по ширине захвата и размещении очагов вносимого материала в заданный горизонт корнеобитаемого слоя.

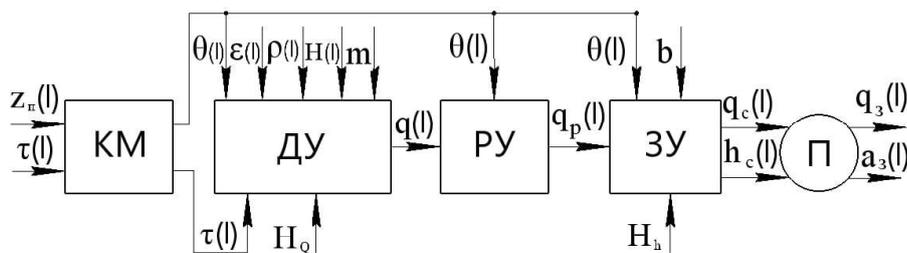


Рис. 1. Модель технологического процесса работы исследуемого приспособления для внесения удобрений, как объекта контроля качества

Исследуемый технологический процесс будем рассматривать как стохастический многомерный объект, на входе которого действуют случайные и детерминированные воздействия, являющиеся компонентами векторных функций условий функционирования $\bar{F}\{z_n(l), r(l)\}$, хода технологического процесса $\bar{D}\{\theta_\tau(l), \theta(l), \rho(l), H(l), \varepsilon(l), m, b\}$ и управления $\bar{U}\{V(l), n(l), H_o, H_h\}$.

На звено КМ действуют составляющие входной векторной функции F в виде неровности поверхности поля $z_n(l)$ и сопротивления движению $r(l)$, составляющие вектора \bar{D} в виде угловых колебаний трактора в продольно-вертикальной плоскости $\theta_\tau(l)$, а также составляющая вектора \bar{U} – скорость перемещения машины $V(l)$. Выходными параметрами звена КМ будут случайный процесс $\theta(l)$, представляющий собой угловые колебания рамы картофелепосадочной машины в продольно-вертикальной плоскости, оказывающие существенное влияние на ход рабочего процесса звеньев ДУ, РУ, ЗУ модели, а также частота вращения $n(l)$ ее приводного вала, через который с помощью системы передач вращение передается на вал приспособления.



Случайный процесс $n(l)$ является входным воздействием на звено ДУ. Ход рабочего процесса для этого звена определяется колебаниями $\theta(l)$ и возмущением $\varepsilon(l)$ характеризующим скольжение или буксование опорных колес картофелепосадочной машины в зависимости от применяемого в ней синхронного или асинхронного типа привода рабочих органов, случайными процессами в виде объемной массы вносимого материала $\rho(l)$ и изменения его уровня в бункере $H(l)$, а также детерминированным параметром m , характеризующим количество высеваящих аппаратов в дозирующем устройстве. Вектор U включает настройку H_0 звена ДУ на заданную дозу расхода агрохимикатов. Выходом звена ДУ является многоканальный поток удобрений $q(l)$ со случайными параметрами, который распределяется во входные воронки материалопроводов звена РУ и транспортируется им в виде идентичных по параметрам случайных потоков, представляющих расход материала $q_p(l)$, поступающего в соответствующие туковые сошники звена ЗУ, расстановка которых по ширине захвата машины определяется размером принятого в конкретной технологии возделывания картофеля междурядья b . Выходными параметрами работы туковых сошников будут случайные процессы глубины хода $h_c(l)$ и расхода материала $q_c(l)$, поступающего в почву – звено П.

На равномерность глубины хода туковых сошников $h_c(l)$ помимо настроечного параметра H_h сильное влияние оказывает входной процесс в виде колебаний $\theta(l)$ рамы звена КМ в продольно-вертикальной плоскости. Он формируется случайными процессами $z_{II}(l)$ и $r(l)$ компонентами вектора условий функционирования F , которые воспринимаются рамой картофелепосадочной машины через ее опорные колеса. Кроме этого при взаимодействии тукового сошника с почвой равномерность процесса $h_c(l)$ снижается из-за динамических явлений, происходящих в подсошниковой полости [9]. Все это с учетом изменения скорости движения машины $V(l)$ приводит к случайному распределению в почве компонентов выходного вектора модели $\bar{Y}\{a_3(l), q_3(l)\}$, как по глубине заделки $a_3(l)$, так и вдоль рядков $q_3(l)$. Для оценки выходных параметров модели в агротехнических требованиях установлены жесткие регламенты. Так для оценки равномерности глубины заделки удобрений в почву $a_3(l)$ наложены ограничения на отклонение ее среднего значения m_3 от заданного $a_{3н}$ в пределах симметричного двухстороннего допуска $\Delta = 2$ см [10]:

$$a_{3н} - \Delta \leq m_3 \leq a_{3н} + \Delta. \quad (1)$$

Контроль глубины заделки удобрений проводится ретроспективно при вскрытии рядков удобрений с помощью непосредственных замеров расстояния от поверхности поля над ними до расположения в почве очага агрохимикатов. Так как процесс $a_3(l)$ случайный, то его оценка проводится на определенном отрезке пути l . Для статистической достоверности получаемых при контроле вероятностных оценок m_3 процесса $a_3(l)$ установлено, что количество замеров N с шагом $\Delta l = 0,15-0,20$ м следует принять равным не менее 100, при этом минимальная длина участка контроля, вычисляемая по выражению $L = \Delta l N$ составит 15–20 м.

Результаты исследований. Отмеченная особенность получения оценок процесса $a_3(l)$ не позволяет использовать этот параметр для мониторинга глубины заделки удобрений как информационный в устройствах оперативного контроля качества, т.к. его невозможно измерить в режиме реального времени. Поэтому для оперативного контроля глубины заделки удобрений будем искать косвенный параметр, легко поддающийся измерению. Для этого рассмотрим выходной процесс звена ЗУ в виде глубины хода тукового сошника $h_c(l)$, имеющий с $a_3(l)$ высокую степень взаимной корреляции. Проведенный анализ реализаций процессов $a_3(l)$ и $h_c(l)$ исследуемой модели, полученных в результате полевых исследований, показал, что их можно отнести к категории случайных процессов нестационарных по математическому ожиданию, структура которых включает аддитивную комбинацию полезного сигнала в виде их средней функции и помехи, представляющей собой высокочастотную составляющую. Учитывая отмеченное, получим:

$$\begin{cases} a_3(l) = m_3(l) + a_3(l); \\ h_c(l) = m_c(l) + h_c(l), \end{cases} \quad (2)$$

где $m_3(l)$ и $m_c(l)$ – средняя функция процессов $a_3(l)$ и $h_c(l)$; $a_3(l)$ и $h_c(l)$ – высокочастотная центрированная составляющие этих процессов.

Исследованиями установлено, что изменения компонентов вектора условий функционирования и главным образом процесса $z_{II}(l)$, сказывается в основном на средних значениях процессов $a_3(l)$ и $h_c(l)$ и не влияют на характер случайных колебаний около среднего значения. Учитывая также высокую степень взаимной корреляции величин $m_3(l)$ и $m_c(l)$, достигающую значений 0,85, информа-

ционным параметром для использования в устройстве оперативного контроля и прогнозирования качества примем составляющую процесса $h_c(l)$, характеризующую среднюю линию глубины хода тукового сошника по длине рядка $m_c(l)$. Так как регламент, ограничивающий колебания глубины хода туковых сошников $h_c(l)$ в агротребованиях не указан, то воспользуемся нормативами, предписанными для процесса $a_3(l)$. Исходя из этого оценивать работу туковых сошников при непрерывном контроле процесса $h_c(l)$ будем на основании выполнения следующих ограничений:

$$H_h - \Delta \leq m_c(l) \leq H_h + \Delta. \quad (3)$$

Это неравенство определяет некоторую область, выход за пределы которой текущим значениям $m_{c1}, m_{c2}, \dots, m_{cN}$ параметра контроля нежелателен. При этом критерием для оценки качества работы туковых сошников будем считать вероятность P_Δ нахождения процесса $m_c(l)$ в поле заданного допуска Δ , а вероятность ε_Δ превышения этого допуска – критерием экологической безопасности, причем $\varepsilon_\Delta = 1 - P_\Delta$.

Таким образом, при организации процедуры оценки и прогноза качества работы туковых сошников алгоритм контроля должен включать формирование текущих значений показателя $m_c(l)$ нестационарно по математическому ожиданию случайного процесса $h_c(l)$. Для этого использовался один из методов сглаживания – метод скользящего среднего. С этой целью, используя результаты экспериментальных исследований, рассчитывается стартовый объем выборки ординат процесса $h_c(l)$, равный числу измерений N с шагом Δl на участке контроля L . В результате полевых экспериментальных исследований установлена длина участка контроля $L = 20$ м при $\Delta l = 0,2$ м и $N = 100$. При этом значении L наблюдается стабилизация дисперсии случайного процесса, характеризующего контролируемый параметр.

Алгоритм работает в двух режимах: настройки и прогнозирующего контроля. В режиме настройки на участке контроля L накапливается стартовый объем выборки и вычисляется среднее значение m_{c1} , которое уточняется по выражению (3) на соответствие установочному. В случае несоответствия проводится корректировка настройки H_h глубины хода туковых сошников. При выполнении условия (3) устройство начинает работать в режиме прогнозирования. Для этого стартовый объем выборки обновляется по принципу вытеснения из массива данных первого значения, сдвига его на место второго, добавления на место последнего вновь поступившего наблюдения и расчета среднего m_{c2} и т.д. При этом для определения среднего m_{ci} объем выборки N на интервалах контроля L остается одинаковым. При формировании случайного процесса $m_c(l)$ наравне с текущей используется информация о контролируемом процессе в прошлом. Это позволяет прогнозировать вероятность выхода или не выхода процесса $m_c(l)$ за пределы допуска.

Предложенный алгоритм оперативного контроля реализован в устройстве, представленном на рис. 2. Оно включает в себя бесконтактный датчик 13 положения рамы картофелепосадочного агрегата по высоте, датчик хода 15 штока гидроцилиндра 14, с помощью которого настраивается глубина хода тукового сошника 1, электроуправляемый гидрораспределитель 16, бортовой контроллер 17, приемник спутникового GPS/ГЛОНАСС сигнала, который используется в качестве отметчика пути для регистрации текущих значений измеряемого параметра.

Работа устройства оперативного контроля осуществляется следующим образом. Настройка глубины хода тукового сошника устанавливается в зависимости от принятой глубины посадки клубней кар-

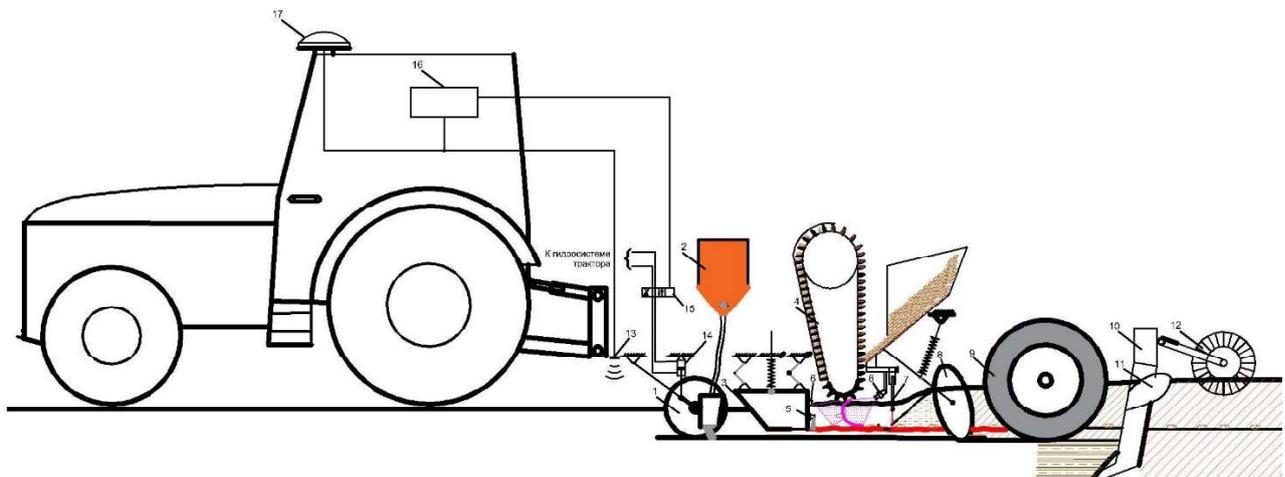


Рис. 2. Автоматизированное устройство оперативного контроля глубины размещения очагов удобрений в картофелепосадочном комбинированном агрегате





тофеля с помощью гидроцилиндра. Вычисление текущих значений глубины хода тукового сошника производится на основании результатов измерений расстояния от поверхности поля до рамы орудия бесконтактным датчиком положения и длины штока гидроцилиндра установленным в нем датчиком. При движении агрегата по полю происходит накопление данных о глубине хода тукового сошника и обработка их в соответствии с предложенной методологии. При снижении показателя P_{Δ} ниже принятого значения, равного 0,7, оператором производится поднастройка контролируемого процесса с места водителя путем подачи соответствующей команды на электроуправляемый гидрораспределитель.

Заключение. Предложенная методология оценки глубины заделки удобрений туковысевающим приспособлением использовалась в автоматизированном устройстве активного контроля, применение которого позволило размещать очаги агрохимикатов в заданных горизонтах корнеобитаемого слоя. Экспериментальные исследования показали, что предложенное устройство позволяет обеспечить безопасность внесения агрохимикатов за счет повышения качества работы туковысевающего приспособления, при котором вероятность сохранения допуска заделки туков по глубине корнеобитаемого слоя превышает принятое предельное значение, равное 0,7. Размещение очагов удобрений под почвенной прослойкой на безопасном расстоянии для корневой системы картофеля обеспечило их более полное использование за счет укладки во влажный горизонт и последующий интенсивный переход в почвенный раствор. Полное усвоение удобрений картофелем не только обеспечивает получение плановой урожайности, но и исключает риски загрязнения окружающей среды агрохимикатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Ю.Н., Пантюхин П.А., Шкрабак Р.В., Брагинец Ю.Н., Шкрабак В.С. Теория и практика охраны труда в АПК / под ред. В.С. Шкрабака. СПб., 2015. 744 с.
2. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб., 2016. 364 с.
3. Смелик В. А., Первухина О. Н., Теплинский О. И. Выбор и обоснование метода оперативной оценки глубины заделки в почву удобрений и пестицидов в автоматизированной системе управления качеством и экологической безопасностью технологических процессов применения средств химизации // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава СПб., 2015. С. 587–590.
4. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии: учебник / под ред. А.И. Завражнова. СПб., 2013. 496 с.
5. Методы и средства снижения технологических рисков при функционировании оборудования для применения средств химизации комбинированных картофелепосадочных машин / А. Б. Калинин [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 76–81. DOI 10.28983/asj.y2022i8pp76-81.
6. Теплинская О.Н. Оценка влияния антропогенных химических факторов на агроэкосистему при функционировании туковысевающих приспособлений комбинированных машин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 351–354.
7. Совершенствование методов мониторинга качества работы дозирующих систем машин химизации / А. Б. Калинин [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 94–98. DOI 10.28983/asj.y2022i6pp94-98.
8. Смелик В. А., Цыганова Н. А., Теплинский И. З. Внесение минеральных удобрений в точном земледелии // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 3. С. 38–40.
9. Федоренко В.Ф., Ежевский А.А., Соловьев С.А., Черноиванов В.И. Повышение эффективности использования машинно-тракторного парка в современных условиях. М., 2015. 333 с.
10. Постников Н.М., Беляев Е.А., Кан М.И. Картофелепосадочные машины. М., 1981. 229 с.

REFERENCES

1. Baranov Yu.N., Pantyukhin P.A., Shkrabak R.V., Braginets Yu.N., Shkrabak V.S. Theory and practice of labor protection in the agro-industrial complex / ed. V.S. Shkrabak. SPb., 2015. 744 p.
2. Yakushev V.V. Precision agriculture: theory and practice. SPb., 2016. 364 p.
3. Smelik V. A., Pervukhina O. N., Teplinskiy O. I. Choice and justification of the method of operational assessment of the depth of incorporation of fertilizers and pesticides into the soil in an automated system for managing the quality and environmental safety of technological processes for the use of chemicals. *Agro-industrial complex in the conditions of reform: materials of scientific-practical. conf. St. Petersburg*, 2015: 587–590.
4. Modern problems of science and production in agricultural engineering: textbook / ed. A.I. Zavrazhnov. SPb., 2013. 496 p.
5. Methods and means of reducing technological risks during the operation of equipment for the use of chemicalization means for combined potato planters / A. B. Kalinin et al. *The agrarian scientific journal*. 2022; 8: 76–81. DOI 10.28983/asj.y2022i8pp76-81.
6. Teplinskaya O.N. Evaluation of the influence of anthropogenic chemical factors on the agro-ecosystem during the functioning of fertilizer-seeding devices of combined machines. *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2016; 43: 351–354.
7. Improvement of methods for monitoring the quality of work of dosing systems of chemicalization machines / A. B. Kalinin [et al.] *The agrarian scientific journal*. 2022; 6: 94–98. DOI 10.28983/asj.y2022i6pp94-98.
8. Smelik V. A., Tsyganova N. A., Teplinskiy I. Z. Application of mineral fertilizers in precision farming. *Agricultural machines and technologies*. 2012; 3: 38–40.
9. Fedorenko V.F., Ezhevsky A.A., Soloviev S.A., Chernoiivanov V.I. Improving the efficiency of using the machine and tractor fleet in modern conditions. Moscow, 2015. 333 p.
10. Postnikov N.M., Belyaev E.A., Kan M.I. Potato planters. Moscow, 1981. 229 p.

Статья поступила в редакцию 8.10.2022; одобрена после рецензирования 7.11.2022; принята к публикации 12.11.2022.
The article was submitted 8.10.2022; approved after reviewing 7.11.2022; accepted for publication 12.11.2022.