Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 111–115
Agrarian Scientific Journal. 2022;(10):111–115

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья
УДК 631.171:62-503.57
doi: 10.28983/asj.y2022i10pp111-115

Разработка системы контроля и оптимизации технологического процесса производства гуминовых препаратов

Владимир Сергеевич Тетерин, Николай Сергеевич Панферов, Алексей Юрьевич Овчинников
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия
e-mail: v.s.teterin@mail.ru
e-mail: alexeyutyrev@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к контролю технологических процессов при производстве гуминовых препаратов. Рассмотрена технология дифференцированного введения щелочи при их производстве. Представлена искусственная нейронная сеть, направленная на контроль технологического процесса экстрагирования гуминовых веществ и как следствие на повышение качества конечного продукта. Разработанная нейронная сеть является частью многоуровневого алгоритма работы системы автоматизации технологической линии. Внедрение предлагаемой искусственной нейронной сети в технологический процесс позволит повысить эффективность экстрагирования гуматов до 20 %.

Ключевые слова: гуматы; гуминовые препараты; технология производства гуматов; искусственная нейронная сеть; дифференцированное введение щелочи.

Для цитирования: Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю. Разработка системы контроля и оптимизации технологического процесса производства гуминовых препаратов // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 111–115. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp111-115.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Development of a system of control and optimization of the technological process of production of humic preparations

Vladimir S. Teterin, Nikolay S. Panferov, Alexey Yu. Ovchinnikov
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
e-mail: v.s.teterin@mail.ru

Abstract. The article discusses modern approaches to the control of technological processes in the production of humic preparations. The technology of differentiated introduction of alkali in their production is considered. An artificial neural network is presented, aimed at controlling the technological process of extracting humic substances and, as a result, improving the quality of the final product. The developed neural network is part of a multi-level algorithm of the automation system of the technological line. The introduction of the proposed artificial neural network into the technological process will increase the efficiency of extraction of humates by up to 20%.

Keywords: humates; humic preparations; humate production technology; artificial neural network; differentiated administration of alkali.

For citation: Teterin V. S., Panferov N. S., Ovchinnikov A. Yu. Development of a system of control and optimization of the technological process of production of humic preparations // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(10): 111–115. (In Russ.) http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp111-115.

Введение. Извлечение гуминовых веществ из различного органического сырья (торф, сапропель, бурый уголь) для производства на их основе различных препаратов, удобрений и т.д., осуществляется различными способами. В настоящее время можно выделить три основных метода их извлечения: физический, химический и комбинированный [1].

Стоит отметить тот факт, что большинство существующих технологий по получению водорастворимых гуматов основывается на методе «выщелачивания» [2, 3]. При этом качество получаемого продукта будет зависеть от множества факторов и оцениваться по следующим параметрам: доля балластного остатка в готовом продукте, содержание гуминовых и фульвокислот, уровень кислотности (pH). По наличию балластного остатка гуматы разделяют на балластные (гуминовые удобрения) и безбалластные (гуминовые препараты или стимуляторы роста).

Балластные гуматы могут применяться в достаточно высоких дизировках которые сравнимы с общепринятыми дозами органических удобрений. Однако такие показатели, как уровень pH и содержание гуминовых и фульвокислот может варьироваться в достаточно широком диапазоне и быть скорректирован степенью их разведения в баковых смесях или нормой внесения.

Безбалластные гуматы находят широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, так в сельском хозяйстве они применятся в качестве стимуляторов роста растений, кормовых добавок для животных, кроме того они получают широкое распространение в таких сферах как косметология, медицина и т.д. [4–8]. В связи с этим при их производстве необходимо строго контролировать технологический процесс и следить за качественными характеристиками продукта. Однако применяемое при их получении сырье (торф, сапропель, бурый уголь и т.д.) может значительно отличаться по своим характеристикам в зависимости от партии поставки, месторождения и т.д., что значительно затрудняет контроль качества.

© Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., 2022

В свою очередь развитие современных компьютерных технологий позволяет упростить данные процессы, так все более широкое распространение в химической промышленности получают технологии на основе искусственного интеллекта. Данный процесс промышленного развития связан в первую очередь с тем, что осуществляемая во всем мире промышленная революция «Индустрия 4.0» требует от технологов, инженеров-химиков, знания широкого объема информации и умения работать с большим объемом данных, которые генерируется технологическими установками. Так установленные на промышленных линиях датчики измеряют тысячи переменных в секунду, а корректно проведенный анализ и использование этих данных является критическим компонентом для функционирования промышленного процесса [9].

В этих рамках так называемые искусственные нейронные сети (ИНС) имеют множество преимуществ и применений. Они являются универсальными нелинейными аппроксиматорами, которые решают задачи на основе различных данных. Подобно нервной системе, искусственные нейронные сети организованы в виде нескольких простых отдельных элементов – узлов или нейронов, – которые соединяются между собой, образуя сети, способные хранить и передавать информацию извне. Еще одной актуальной способностью ИНС является их пластичность, которая в процессе обучения позволяет изменять структуру взаимосвязей ее элементов ИНС широко используются в моделировании или регрессии (линейной и нелинейной) для одной или нескольких независимых переменных [10].

Искусственные нейронные сети успешно применяются в химической промышленности для корреляции диапазонов аналитических методов и свойств продукта; в моделировании процессов – для прогнозирования характеристик продукта, условий эксплуатации и особенно в управлении процессами и диагностике неисправностей [11,12]. Основными причинами растущей популярности нейросетевого подхода являются его более низкая вычислительная стоимость по сравнению с другими методами и способность решать сложные нелинейные задачи [13]. В связи с этим представляется актуальной задачей внедрение системы контроля на основе искусственного интеллекта в технологический процесс производства гуминовых препаратов.

Методика исследований. В ранее проведенных исследованиях были глубоко изучены и проанализированы имеющиеся в периодической и патентной литературе материалы по технологиям и оборудованию для получения гуминовых удобрений и препаратов, рассмотрены конструкции оборудования, представленного на выставках, конференциях, совещаниях [14, 15]. В ходе исследований использовались методы аналитического, сравнительного, информационно-логического анализа исходной информации, а также методы компьютерного моделирования.

Кроме того, наряду с теоретической оценкой данного процесса большое значение, при разработке технологии производства гнуминовых удобрений и технологического оборудования для ее осуществления, придавалось замечаниям и предложениям, полученным из мест эксплуатации технологического оборудования, которые касались практической стороны работы, надежности, удобству и качеству выполнения тех или иных операций.

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований был разработан способ производства органоминеральных, комплексных удобрений и технологическая линия для его осуществления [13, 15]. Разработанная инновационная технология извлечения гуматов включает в себя следующие технологические операции: подготовительные операции; предварительная подготовка сырья; экстрагирование гуминовых веществ; очистка полученного продукта; введение микроэлементов; розлив готового продукта.

Процесс экстрагирования гуминовых кислот является одной из наиболее важных технологических операций, влияющих на качество конечного продукта, в частности на такие показатели как уровень pH, содержание гуминовых и фульвокислот.

Для выполнения данной операции очищенная от песка и других примесей суспензия торфа, биогумуса или сапропеля подается в реактор, представляющий собой цилиндрическую емкость. Дно реактора выполнено в виде конуса для сбора балластной части. Вместимость реактора будет зависеть от необходимой производительности технологического комплекса по производству удобрений.

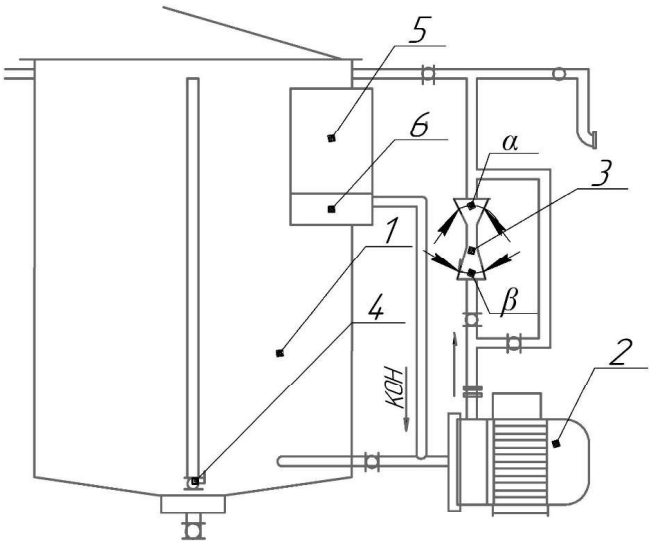

Рис. 1. Схема расположения контура экстрагирований гуминовых веществ на технологической линии: 1 – реактор; 2 – дисмембратор; 3 – кавитационная насадка;4 – датчик pH; α – угол сужения конфузора; β – угол расширения диффузора

При заполнении реактора водно-торфяной суспензией включается дисмембратор, соединенный с реактором замкнутым контуром, и начинается процесс циркуляции суспензии по циклу «реактор-дисмембратор-реактор».

В случае производства гуматов из бурого угля, необходимо сначала осуществить заполнения реактора на 2/3 от его рабочего объема водой температурой 70–80 °С. После достижения необходимого объема осуществляется подача измельченного бурого угля из накопительного бункера при помощи шнекового транспортера, одновременно с этим включается дисмембратор, работая по замкнутому циклу реактор-дисмембратор-реактор. После достижения в реакторе необходимого соотношения вода/бурый уголь (1:10; 1:9; 1:8; 1:7) подача измельченного угля и нагретой воды прекращается путем отключения шнекового транспортера и проточного водонагревателя.

©Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., 2022

Одной из основных технологических операций при извлечении гуматов является доизмельчение водно-торфяной или водно-угольной суспензии с целью ускорения физико-химических процессов выделения гуминовых кислот. Для этой цели в настоящее время применяются различные виды измельчителей: диспергаторы, дисмембраторы, кавитаторы, шаровые мельницы и другие. Анализируя технические устройства для диспергации суспензий и эмульсий, было принято решение в качестве основного рабочего органа использовать дисмембратор собственной разработки совместно с кавитационной головкой. Предложенный дисмембратор относится к насосным, кавитационным, пульсационно-роторным устройствам и используется в составе технологического оборудования при производстве гуминовых удобрений для: получения стабильно-устойчивых, высокодисперсных эмульсий и суспензий; интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ; изменения физико-химических параметров жидкости, суспензий, эмульсий; деструкции молекулярных соединений жидких, мало- и средневязких эмульсий и суспензий, многокомпонентных и трудносмешиваемых частиц; для глубокой экстракции гуминовых кислот путем их вытяжки из суспензий торфа в препаративной форме [16].

С целью повышения качественных показателей получаемых гуматов было предложено дифференцированное внесение щелочи в водно-торфяную или водно-угольную суспензию. Для этого емкость реактора оборудована датчиком уровня pH, насосом-дозатором и емкостью для щелочного раствора.

Дифференцированное введение жидкого раствора щелочи (KOH) осуществляется при помощи насоса дозатора до момента прекращения интенсивного образования солей гуминовых и фульвовых кислот. Система предполагает дозированное внесение щелочного раствора KOH и замеры pH получившегося раствора с интервалом времени, равным полному обороту производимого объема водно-торфяной суспензии. Далее происходит автоматическое сравнение предыдущего и вновь измеренного значения pH раствора, если уровень pH изменился, цикл повторяется. Дифференцированное введение щелочи заканчивается тогда, когда соблюдается условие: $pH_n = pH_{n+1}$, что свидетельствует об окончании активного образования солей гуминовых и фульвокислот.

Для осуществления контроля технологического процесса предложена искусственная нейронная сеть (рис. 2).

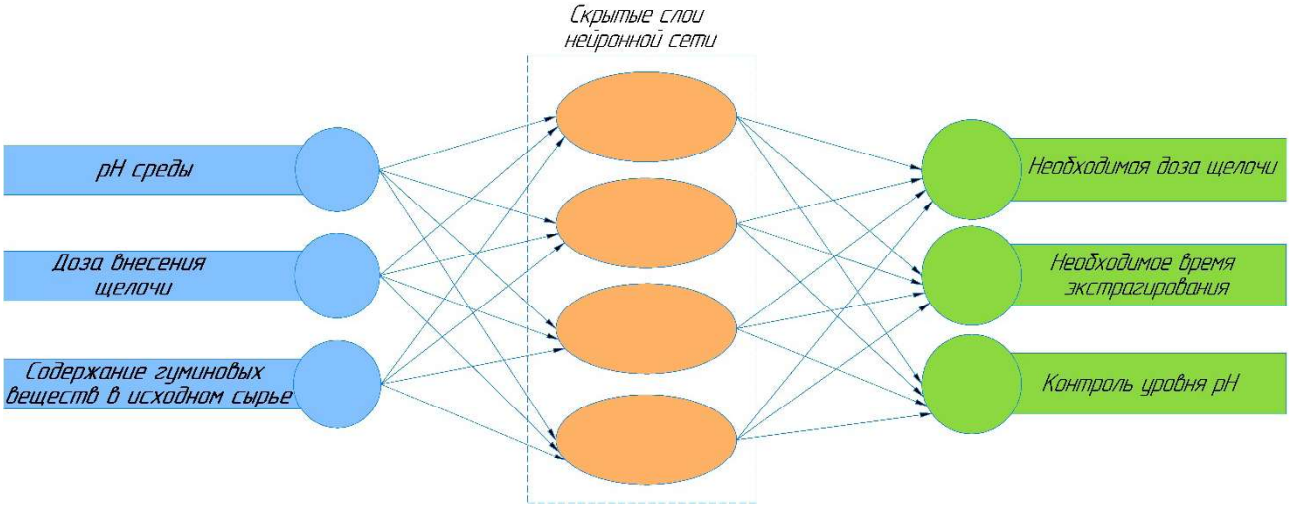

Рис. 2. Нейронная сеть для контроля экстрагирования гуматов

В общих чертах, использование нейронной сети состоит из следующих шагов: 1 – создание архитектуры сети; 2 – предоставление экспериментальных данных; 3 – настройка параметров сети – также известных как их веса – до тех пор, пока они не изучат явление (шаг, называемый обучением); и 4 – использование обученной сети с новыми входными данными для прогнозирования соответствующих выходных данных.

Обучение нейронной сети будет произведено на следующих вводных данных: уровень pH среды, временные отрезки, дозы вносимой щелочи, содержания гуминовых и фульвокислот в исходном сырье.

Для разработки нейронной сети была использована следующая математическая модель нейрона:

$$x_{(k)}^{(i+1)} = f\left(\sum_{j=1}^{N} W_j^{(k)} x_j^{(i)}\right), \qquad (1)$$

где f – функция активации; $w_j^{(k)}$ – произведения синапсов; $x_j^{(i)}$ – входные значения.

Выход k-го нейрона слоя $i + 1$ рассчитывается как взвешенная сумма всех его входов со слоя i.

Предложенная нейронная сеть является частью многоуровневого алгоритма работы системы автоматизации технологической линии учитывающий максимально возможное число узлов, подлежащих автоматизации (рис. 3).

Разработанный алгоритм учитывает виды сырья, возможность ввода необходимых параметров, временных периодов. Система автоматизации, построенная на данном алгоритме, предусматривает минимальное участие оператора, который выполняет роль контролера, анализирующего процессы и при необходимости экстренно, останавливает или корректирует процесс производства гуминовых удобрений или препаратов с учетом сложившейся в реальном времени ситуации.

© Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., 2022

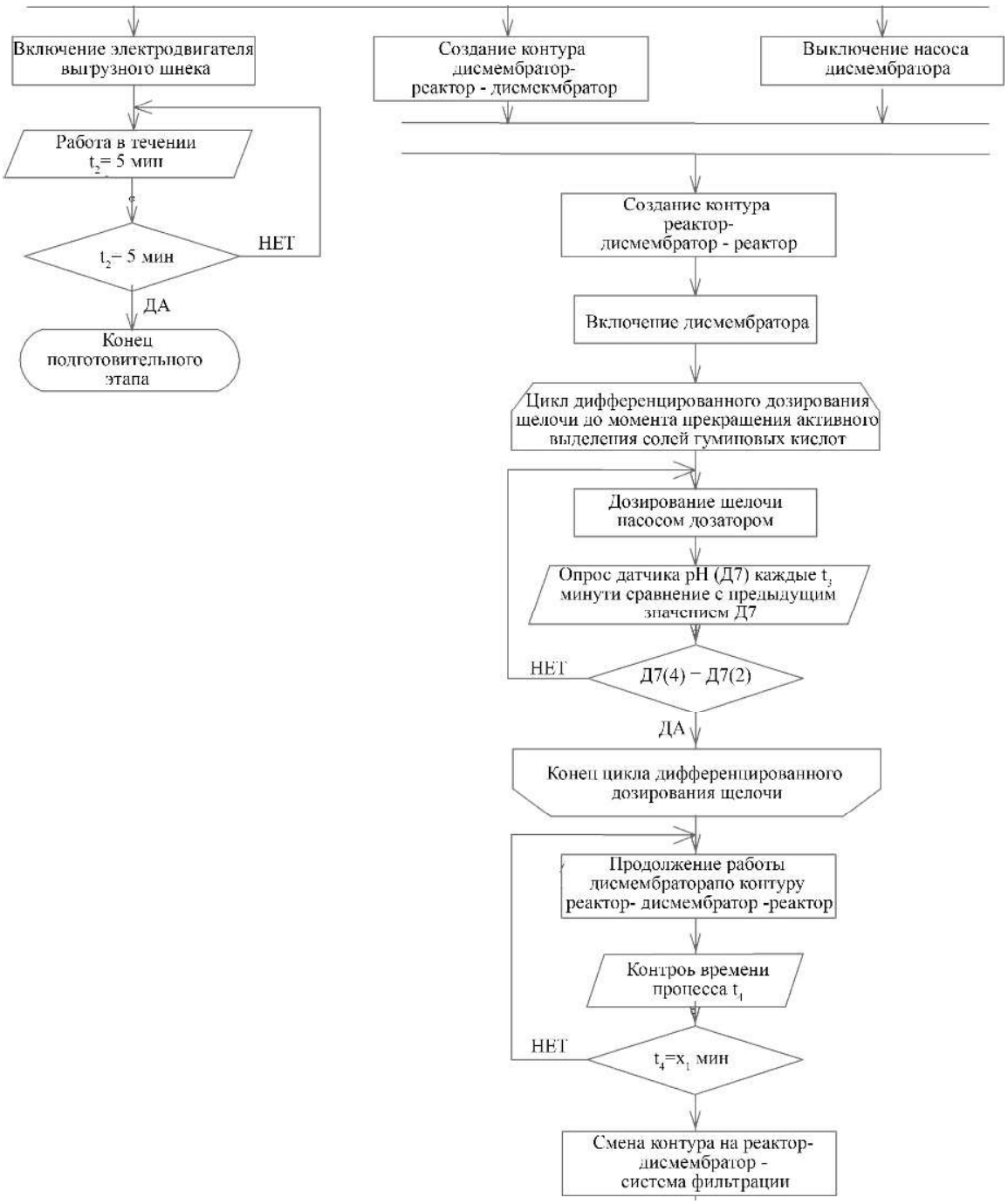

Рис. 3. Фрагмент алгоритма системы автоматизации

Заключение. Применение системы дифференцированного введения щелочи в технологическом процессе производства органоминеральных удобрений позволит повысить эффективность использования системы дозирования на 15–20 % в сравнении со стандартными методами внесения щелочи.

Кроме того, внедрение искусственной нейронной сети позволит повысить качество производимого продукта, за счет автоматического контроля технологического процесса экстрагирования гуминовых веществ, тем самым исключит человеческий фактор, связанный с возможным нарушением технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисюк Е. А., Кузнецова И. А., Митрофанов Р. А. Технологии получения гуминовых веществ // Вестник НГИЭИ. 2014. № 2 (33). С. 66–80.

2. Kholodov V. A., Yaroslavtseva N. V., Konstantinov A. I., Perminova I. V. Preparative Yield and Properties of Humic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 10. P. 1101–1109

3. Роганов В.Р., Касимова Л.В., Тельянова А.В., Елисеева И.В. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых препаратов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С.1411–1411.

4. Humic substance-based antivirals: antiretroviral activity, mechanisms of action, and impact on mucosal immunity / Y. V. Zhernov, E. V. Karamov, I. V. Perminova et al. // Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology, Supplement. 2017. Vol. 72. No. S103. P. 164–165.

5. Абакин С. С., Грекова А. А., Мальцев А. Н. Использование гуминовых кислот для снижения повреждения внутренних органов молодняка овец микотоксинами // Овцы, козы, шерстяное дело. 2012. № 2. С. 67.

©Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., 2022

6. Исследование сохранности прессованного сена при внесении гуматов в качестве консервирующей добавки / М. Ю. Костенко [и др.] // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства : Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2015. С. 242-244.

7. Патент № 2759897 C2 Российская Федерация, МПК A61K 31/506, A61K 35/10, A61P 17/14. Композиция для волос, содержащая миноксидил и гуминовые кислоты : № 2020109370 : заявл. 03.03.2020 : опубл. 18.11.2021 / А. А. Волков, Ю. А. Волкова, Ю. А. Борискина.

8. Дурнев С. О., Жернов Ю. В. Роль гуминовых веществ в гигиенической гипотезе аутоиммунных и аллергических заболеваний // Аллергология и иммунология. 2018. Т. 19. № 3. С. 149.

9. Venkatasubramanian V. The promise of artificial intelligence in chemical engineering: Is it here, finally?// AIChE J. 2019; 65(2): 466–478.

10. Himmelblau DM. Accounts of experiences in the aPplication of artificial neural networks in chemical engineering // Ind Eng Chem Res. 2008; 47(16): 5782–5796.

11. Cavalcanti FM, Schmal M, Giudici R, Brito Alves RM. A catalyst selection method for hydrogen production through Water-Gas Shift Reaction using artificial neural networks // J Environ Manage. 2019 May; 237:585–594

12. Guo L, Kang J. A hybrid process monitoring and fault diagnosis approach for chemical plants // Int J Chem Eng. 2015.

13. Способ производства комплексных органоминеральных удобрений и технологическая линия для его осуществления / В. С. Тетерин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 4(44). С. 114-119. DOI 10.36508/RSATU.2019.50.20.020.

14. Тетерин В. С., Гапеева Н. Н., Гайбарян М. А. Инновационная технология производства органоминеральных удобрений из различных видов органического // Техническое обеспечение сельского хозяйства. 2019. № 1(1). С. 104–109.

15. Патент № 2727193 C1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ производства органоминеральных, комплексных удобрений и технологическая линия для его осуществления: № 2019133360: заявл. 21.10.2019 : опубл. 21.07.2020 / В. С. Тетерин, Н. С. Панфенов, М. А. Гайбарян [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

16. Разработка гидродинамического ударно-вибрационного дисмембратора мокрого сверхтонкого помола / М. А. Гайбарян [и др.] // Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3. С. 74–81.

REFERENCES

1. Denisyuk E. A., Kuznetsova I. A., Mitrofanov R. A. Technologies for the production of humic substances. *Vestnik NGIEI.* 2014; 2 (33): 66–80.

2. Kholodov V. A., Yaroslavtseva N. V., Konstantinov A. I., Perminova I. V. Preparative Yield and Properties of Humic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions. *Eurasian Soil Science.* 2015; 48; 10: 1101–1109.

3. Roganov V.R., Kasimova L.V., Telyanova A.V., Eliseeva I.V. Investigation of methods for extracting humic preparations from lowland peat./ *Modern problems of science and education.* 2014; 6: 1411–1411.

4. Humic substance-based antivirals: antiretroviral activity, mechanisms of action, and impact on mucosal immunity / Y. V. Zhernov, E. V. Karamov, I. V. Perminova et al. *Allergy: Euro-pean Journal of Allergy and Clinical Immunology, Supplement.* 2017; 72; S103: 164–165.

5. Abakin S. S., Grekova A. A., A. Maltsev A. N. The use of humic acids to reduce damage to the internal organs of young sheep by mycotoxins. *Sheep, goats, wool business*. 2012; 2: 67.

6. Study of the preservation of pressed hay when humates are introduced as a preservative additive / M. Yu. Kostenko et al. *Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the State Program for the Development of Agriculture*: Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. Moscow: All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization, 2015: 242–244.

7. Patent No. 2759897 C2 Russian Federation, IPC A61K 31/506, A61K 35/10, A61P 17/14. Hair composition containing minoxidil and humic acids : No. 2020109370 : Appl. 03/03/2020 : publ. 11/18/2021 / A. A. Volkov, Yu. A. Volkova, Yu. A. Boriskina.

8. Durnev S. O., Zhernov Yu. V. The role of humic substances in the hygienic hypothesis of autoimmune and allergic diseases. *Allergology and Immunology*. 2018; 19; 3: 149.

9. Venkatasubramanian V. The promise of artificial intelligence in chemical engineering: Is it here, finally? *AIChE J.* 2019; 65(2): 466–478.

10. Himmelblau DM. Accounts of experiences in the aPplication of artificial neural networks in chemical engineering. *Ind Eng Chem Res.* 2008; 47(16): 5782–5796.

11. Cavalcanti FM, Schmal M, Giudici R, Brito Alves RM. A catalyst selection method for hydrogen production through Water-Gas Shift Reaction using artificial neural networks. *J Environ Manage*. May 2019; 237:585–594

12. Guo L, Kang J. A hybrid process monitoring and fault diagnosis approach for chemical plants. *Int J Chem Eng.* 2015.

13. Method for the production of complex organomineral fertilizers and a technological line for its implementation / V. S. Teterin et al. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological Universit named after. P.A. Kostychev*. 2019; 4(44): 114-119. DOI 10.36508/RSATU.2019.50.20.020.

14. Teterin V. S., Gapeeva N. N., Gaibaryan M. A. Innovative technology for the production of organomineral fertilizers from various types of organic. *Technical support of agriculture*. 2019; 1(1): 104–109.

15. Patent No. 2727193 C1 Russian Federation, IPC C05F 11/02. Method for the production of organomineral, complex fertilizers and a technological line for its implementation: No. 2019133360: Appl. 10/21/2019 : publ. July 21, 2020 / V. S. Teterin, N. S. Panfenov, M. A. Gaibaryan [et al.]; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (FGBNU FNATS VIM).

16. Development of a hydrodynamic shock-vibration dismembrator of wet ultra-fine grinding / M. A. Gaibaryan et al. *International Scientific Agricultural Journal.* 2019; 3: 74–81.

Статья поступила в редакцию 03.03.2022; одобрена после рецензирования 17.04.2022; принята к публикации 28.04.2022.
The article was submitted 03.03.2022; approved after reviewing 17.04.2022; accepted for publication 28.04.2022.

© Тетерин В. С., Панферов Н. С., Овчинников А. Ю., 2022