

## Анализ работы и совершенствование технологических линий по производству органических удобрений

**Константин Николаевич Сорокин,**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: 7623998@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Провели анализ работы технологических линий в регионах России. Аргументировали актуальность научных исследований по разработке и проектированию технологических линий с использованием модульного оборудования для производства гуминовых и комплексных удобрений. Выявили нерешенную с научной точки зрения техническую проблему – отсутствие промышленного производства специализированного оборудования для получения гуминовых удобрений, получаемых на основе глубокой переработки органического сырья. (*Цель исследования*) Определить оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий для проектирования промышленных технологических линий по переработке органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) на основе технического задания заказчика и результатов работы экспериментальных технологических линий. (*Материалы и методы*) Изучили эффективность работы технологических линий на основании их технических возможностей. Исследовали практические результаты проверки зависимости качества полученной продукции от параметров и режимов работы отдельных узлов и агрегатов. Использовали общеизвестные и разработанные на их базе частные методики. (*Результаты и обсуждение*) Выявили отдельные технические и технологические отклонения в работе оборудования: низкий уровень очистки органического сырья при работе вибросепаратора – 85-90 процентов, недостаточную мощность дисмембратора – 3,5 киловатта; дисперсность удобрений после реактора превышает 140 микрон; содержание баласта после фильтрации равно 5-8 процентов; уровень гуминовых солей низкий – от 5 до 10 граммов на литр; система дозирования микроэлементов не совершенна. Предложили продолжить поиск технических решений по производству без баластных гуматов с использованием модульного оборудования. Установили необходимость увеличить производительность технологических линий с 1 до 2,5 тонн в смену. (*Выводы*) Рекомендовали с учетом практического опыта по модернизации технологических линий оптимизировать состав модульного оборудования, приобретаемого на рынке машиностроительной продукции. Определили основные принципы модульного проектирования технологических линий, позволяющие с помощью интернет-портала повышать эффективность производства и получать продукт востребованного качества.

**Ключевые слова:** промышленное производство гуминовых удобрений, модульное оборудование, проектирование промышленной технологической линии, торф, комплексные органические удобрения.

■ **Для цитирования:** Сорокин К.Н. Анализ работы и совершенствование технологических линий по производству органических удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 67-76. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-67-76.

## Operation Analysis and Improvement of Technological Lines for the Organic Fertilizers Production

**Konstantin N. Sorokin,**

Ph.D.(Eng.), leading researcher,  
e-mail: 7623998@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The authors conducted an analysis of technological lines operation in the Russian regions. They reasoned the relevance of scientific research on the development and design of technological lines using modular equipment for the humic and complex fertilizers production. A technical problem unresolved from a scientific point of view was revealed – the lack of industrial production of specialized equipment for humic fertilizers obtained on the basis of deep processing of organic raw materials.

(*Research purpose*) To determine the optimal composition of modular equipment using digital technologies for the design of industrial processing lines for the organic raw materials processing (peat, sapropel, brown coal and biohumus) based on the technical specifications of the customer and the results of the experimental production lines. (*Materials and methods*) The authors studied the efficiency of the technological lines based on their technical capabilities. They studied the practical results of checking the dependence of the obtained products quality on the parameters and operating modes of individual units and assemblies. They used well-known private methods developed on their basis. (*Results and discussion*) The authors revealed some technical and technological deviations in the equipment operation: low level of organic raw materials purification when the vibratory separator was 85-90 percent, insufficient power of the disassembler – 3.5 kilowatts; fertilizers dispersion after the reactor exceeded 140 micrometers; the content of the ballast after filtration – 5-8 percent; the level of humic salts was low – from 5 to 10 grams per liter; trace element dosing system was not perfect. The authors suggested continuing the search for technical solutions for production without ballast humates using modular equipment. They identified the need to increase the productivity of technological lines from 1 to 2.5 tons per shift. (*Conclusions*) Based on practical experience in modernizing production lines, the authors suggested optimizing the composition of modular equipment purchased in the market for engineering products. They determined the basic principles of the modular design of technological lines that allowed using the Internet portal to increase production efficiency and obtain a product of demanded quality.

**Keywords:** industrial production of humic fertilizers, modular equipment, design of an industrial technological line, peat, complex organic fertilizers.

■ **For citation:** Sorokin K.N. Analiz raboty i sovershenstvovanie tekhnologicheskikh liniy po proizvodstvu organicheskikh udobreniy [Operation analysis and improvement of technological lines for the organic fertilizers production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 67-76 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-67-76.

**Ф**едеральным законом от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О Государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» поставлена задача обеспечения производителей сельскохозяйственной продукции торфом и продуктами его переработки.

По запасам торфа Россия занимает лидирующую позицию. На 162,7 млн га имеется 128,7 млрд т торфа, то есть примерно 50% всех мировых запасов.

При этом одной из нерешенных с научной точки зрения технических проблем остается отсутствие в России промышленного производства специализированного оборудования для получения гуминовых удобрений, получаемых на основе глубокой переработки органического сырья.

В 2013-2014 гг. во ВНИМС разработали и изготовили технологическую линию для производства комплексных удобрений на основе гуминовых. В России и Беларуси проходит широкомасштабное промышленное испытание 10 технологических линий.

Однако для решения проблемы востребованного производства органических удобрений из торфа, бурых углей и сапропеля для сельского хозяйства необходимо организовать промышленное серийное производство технологических линий, потребность которых только для нашей страны составляет более 330 ед.

Процесс проектирования технологических линий должен отвечать требованиям химико-технологической системы, так как при ее работе осуществляется ряд последовательных операций с использованием химических реагентов и микроэлементов, а также фи-

зико-химических реакций в ходе ультразвуковых и кавитационных процессов в оборудовании.

Производители гуминовых удобрений вынуждены приспособлять для этих целей различные виды технологического оборудования, позаимствованные из других отраслей промышленности.

Актуальность решения данной проблемы подчеркивает и анализ положения дел в животноводстве АПК России. Во всех категориях хозяйств выход навоза и помета составляет 294 млн т [1]. Однако объемы использования органических удобрений остаются крайне низкими и не достаточны даже для простого воспроизводства плодородия пахотных земель. В последнее время внесение удобрений стабилизировалось на уровне 53 млн т в год, или менее 1 т/га посевной площади, что составляет всего 10% от потребности. Насыщенность почв органическими удобрениями – примерно 6%, что негативно отражается на эффективности сельхозпроизводства.

В условиях развития органического сельского хозяйства, которое призвано поддерживать здоровье экосистем, почвы, растений, животных и человека, органические удобрения становятся все более востребованными.

В связи с этим актуальны научные исследования по разработке и проектированию технологических линий с использованием модульного оборудования для производства гуминовых и комплексных удобрений, с привлечением цифровых технологий.

Модульный принцип формирования технологических линий под решения задач создания мобильных, гибких производств по переработке органиче-

ского сырья в органические удобрения для сельского хозяйства и личных подсобных хозяйств становится актуальной научной задачей в государственных масштабах.

**Цель исследования** – определить оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий для проектирования промышленных технологических линий по переработке органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) на основе технического задания заказчика и результатов работы экспериментальных технологических линий.

**Материалы и методы.** Проведены исследования эффективности технологических линий по переработке органического сырья в удобрения, работающих в регионах России. Изучены практические результаты проверки зависимости качества полученной продукции от параметров и режимов отдельных узлов и агрегатов. Выявлены основные технические и технологические недостатки в работе оборудования и совместно с заказчиком приняты меры по замене оборудования или его модернизации. Определена тенденция развития проектных работ по новым технологическим линиям на основе модульного оборудования.

При выполнении экспериментальных исследований использованы общеизвестные и разработанные на их базе частные методики. Для измерения и контроля параметров работы технологических модулей применяли современные механические и электронные приборы.

**Результаты и обсуждение.** Сравнительный анализ компоновочных схем различных вариантов технологических линий по переработке органического сырья, поставленных в регионы России и за рубеж в 2014-2018 гг. для промышленного производства гуминовых удобрений, показал, что экспериментальный образец технологической линии 2014-2015 гг. конструктивно, технически и технологически изменился полностью (рис. 1).

На практике проверена научная гипотеза по возможности оптимизации технических и технологических характеристик модульного оборудования для технологических линий по промышленному производству гуминовых удобрений из органического сырья в соответствии с параметрами, заданными заказчиком.

Наиболее распространенные методы извлечения гуминовых веществ, находящихся в водонерастворимом состоянии в природных гумифицированных материалах, основаны на обработке последних щелочными реагентами с целью получения водорастворимых солей – гуматов. Щелочная водная экстракция лежит в основе различных способов производства водорастворимых гуматов [2-5]. Однако остаточная щелочь в конечном продукте отрицательно влияет на

растения, снижает биологическую ценность препарата и нарушает минеральный балласт. Стали востребованными новые технологии: на основе комплексного механохимического воздействия на органическое сырье для получения водорастворимых солей из органического сырья.



Рис. 1. Экспериментальная технологическая линия по переработке торфа, 2014-2015 гг.

Fig. 1. Experimental peat processing line, 2014-2015

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «Зовет», г. Рязань (патенты РФ № 2573358 и № 2566993, 2015 г.), выявило следующие недостатки:

- технические: отсутствие оборудования для комплексной гидромеханической очистки торфа от песка и кремниевых включений, то есть 8-10% от объема сырья попадает с суспензией торфа в реактор;

- технологические: время отстоя готового продукта после реактора перед подачей на фильтрацию достигает 72 ч; большой осадок – до 10%, что требует дополнительно производить две технологические операции – грубую и тонкую очистку готового продукта перед его подачей в накопительную емкость.

С целью устранения данных проблем предложено вместо вибросепаратора изготовить гидромеханический модуль для комплексной очистки суспензии торфа от песка и мелких фракций. Дополнительно можно технически решить вопросы подогрева воды до 60-70°C для активации суспензии торфа с установкой подогревателя мощностью 42 кВт.

Имеются конструктивные расчеты и результаты работы гидромеханического модуля [6]. С научной точки зрения важно, что в процессе подготовки суспензии в емкости гидромеханического модуля торфоподготовки каждая частица торфа подвергается комплексному, многофакторному разрушительному воздействию сил, имеющих разные величины и направления. Причем величины, направления этих сил, а также количество частиц, соударяющихся между собой, поверхностью емкости и рабочих органов, изменяется по мере прохождения процесса измельчения в сторону увеличения. Следовательно, в емкости узла возникает броуновское движение, вследствие чего каждая частица проходит через все этапы измельчения, начиная от образования трещин и заканчивая

получением частиц с размерами, необходимыми для подачи суспензии в дисмембратор (рис. 2).

Требования к максимальным размерам частиц в суспензии торфа устанавливают в зависимости от технической характеристики и параметров рабочих органов дисмембратора.

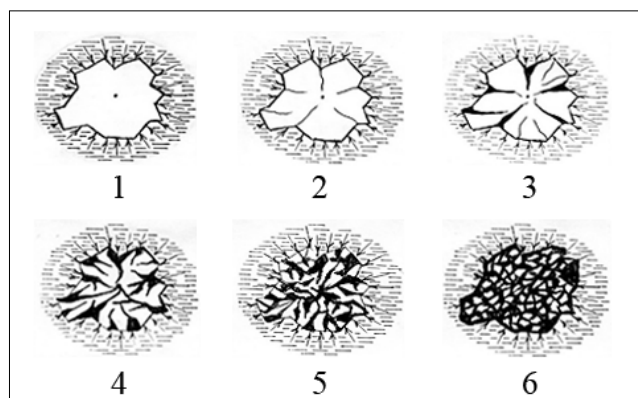


Рис. 2. Этапы предварительного разрушения частицы торфа: 1 – частица до начала обработки; 2 – появление трещин под воздействием процессов гидратации и кавитации; 3 – увеличение размеров трещин; 4 – разрушение твердых частиц на отдельные части; 5 – уменьшение размеров частиц торфа; 6 – доведение размеров частиц до необходимой величины перед подачей в дисмембратор

Fig. 2. The stages of peat particles preliminary destruction: 1 – particle before treatment; 2 – the appearance of cracks under the influence of hydration and cavitation; 3 – cracks size increase; 4 – destruction of solid particles into separate parts; 5 – peat particle size reduction; 6 – adjusting the particle size to the required size before it's delivery to the dismembrator

Эти размеры частиц не подлежат теоретическому расчету. Их определяют только экспериментальным путем. При обоснованных параметрах гидромеханического модуля проводят опыты с различной продолжительностью разрушения поверхностного слоя твердых частиц торфа до средних размеров 200-250 мкм, чтобы облегчить работу дисмембратора, и устанавливают время, необходимое для достижения нужной дисперсности суспензии. Если время обработки суспензии в емкости больше, чем необходимо для обеспечения заданной производительности всей технологической линии, то корректируют режимы работы узла подготовки торфа.

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «Сервис Агро», Республика Татарстан, показало:

- технически и технологически необходимо модернизировать систему дозирования микроэлементов при производстве комплексных удобрений на основе органики под объемы в 5-6 раз больше имеющейся производительности (2 т в смену), в соответствии со спросом на рынке органических удобрений;

- при проектировании новых технологических ли-

ний заказчиком предложено увеличить их производительность с 2 до 10 т концентрированных органических удобрений в одну рабочую смену. При научно-технической поддержке заказчик на основе модульного оборудования, приобретенного у машиностроительных предприятий, собрал новую технологическую линию, производительность которой отвечает промышленным объемам. Научные материалы по совместному опыту находятся в работе.

Совместно с учеными Рязанского института технического обеспечения сельского хозяйства – филиала ФНАЦ ВИМ модернизирована система дозирования микроэлементов под большие объемы [7, 8]. Процесс обогащения гуминовых препаратов необходимыми микроэлементами осуществляется методом дозирования с помощью программно-технического комплекса, установленного на технологической линии (рис. 3). Используются программы: *Modbus Universal Master OPC Server* и *MasterSCADA*. Программа *Modbus Universal Master OPC Server* осуществляет через прибор AC4 широтноимпульсную связь с приборами нижнего уровня и OPC-клиентами верхнего уровня, такими как *MasterSCADA*. Программа *MasterSCADA* осуществляет управление и контроль типовым технологическим объектом (насосом, задвижкой, реактором, фильтром и т.п.).

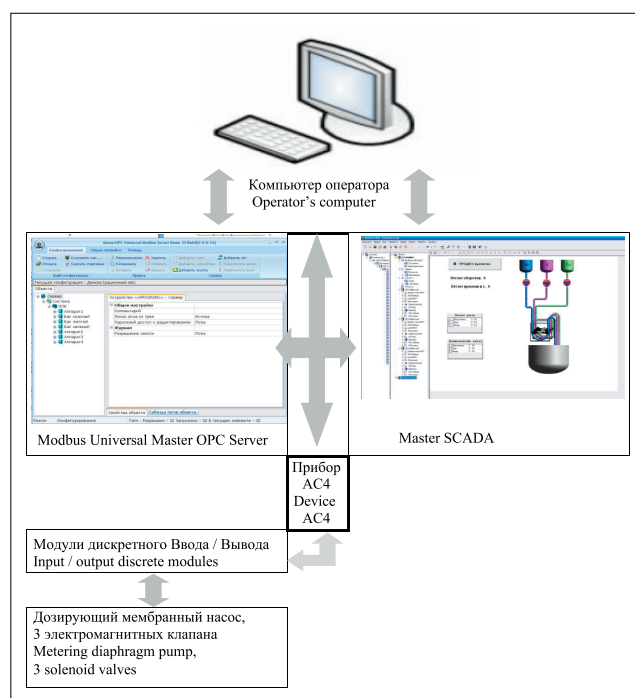


Рис. 3. Комплекс программно-технических устройств дозирования

Fig. 3. A set of software and hardware dispensing devices

Расчет доз микроэлементов основан на многолетних опытных данных научных учреждений, изучающих влияние микроэлементов почвы, внесенных микроудобрений, органических удобрений на урожай-

Почва Soil		Урожайность, ц/га Productivity, kg/ha	Содержание в почве, мг/кг Soil content, mg/kg			Внесено навоза, т Manure applied, t	Уровень внесения микроудобрений, кг д.в./га Micronutrient application rate, kg a.v. / ha		
Культура Culture			бор boron	медь copper	марганец manganese		марганец manganese	бор boron	медь copper
Дерново-подзолистая, суглинки Sod-podzolic, loam	ячмень barley	У	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
		15	0,35	1,50	40,0	0	0,110	0,006	0,016
		20	0,41	1,87	47,5	0	0,146	0,008	0,021
		25	0,45	2,25	55,0	0	0,183	0,010	0,026
		30	0,53	2,62	62,5	0	0,219	0,012	0,031
		35	0,60	3,00	70,0	0	0,256	0,014	0,036

ность основных сельскохозяйственных культур Центрального региона России (таблица).

Алгоритм расчета доз микроэлементов представлен в научных материалах [7, 8]. На его основе разработан программный комплекс расчета доз микроэлементов для основных сельхозкультур и почв Центрального региона РФ, который рекомендован заказчикам для модернизации ранее установленных систем дозирования.

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «НПЦ Биотехнологии», г. Оренбург, на переработке бурых углей показало:

- технологическая линия запущена в производство, замечаний по оборудованию и технологии нет;
- все запросы покупателей на удобрения закрываются, это 3-5 т концентрата в месяц. По мнению заказчика, в области плохо занимаются внедрением новых агротехнологий на основе органических удобрений.

Изучение технологической линии у заказчика ООО «НВП Агротехнологии» г. Оренбург на переработке бурых углей выявило:

- технически и технологически не решены вопросы предварительной подготовки бурого угля: его просеивание и измельчение до размерности от 50 до 100 мкм перед подачей в реактор для смешивания с водой и щелочью;
- рекомендовано использовать опыт ООО «Богградский ГОК», г. Черногорск Республики Хакасия, где технологическая линия усилена модульным оборудованием: вибрационной мельницей типа МВ-20 для размолота бурого угля перед подачей в реактор до размерности 20-50 мкм и механохимической активации угольного вещества, что позволило в 2 раза снизить балластные остатки перед фильтрацией гуматов;
- проведена замена дисмембратора мощностью 3,5 кВт на 5,5 кВт новой конструкции, разработанной автором совместно с учеными ВНИМС (патент РФ № 171086, 2017 г.);

- технически решена проблема производства гуминовых удобрений с дисперсностью 70-100 мкм и ниже, что соответствует технологическим требованиям сельскохозяйственных машин по внесению удобрений в растениеводстве.

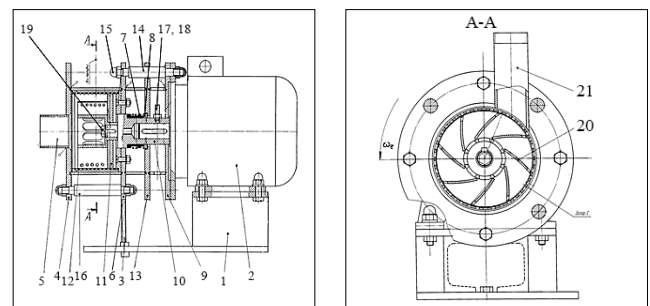


Рис. 4. Общая схема дисмембратора: 1 – площадка крепления; 2 – двигатель; 3 – опорная шпилька; 4 – корпус; 5 – всасывающий патрубок; 6, 9 – проставки; 7 – муфта торцевая; 8 – торцевое уплотнение, кольцо керамическое; 10 – вал-втулка; 11 – крыльчатка; 12 – статор; 13 – фланец; 14 – шпилька; 15 – колпачковая гайка; 16 – шпилька; 17 – винт; 18 – контргайка; 19 – болт; 20 – лопасть крыльчатки; 21 – выходной патрубок

Fig. 4. The general scheme of the dismembrator: 1 – mounting pad; 2 – engine; 3 – supporting pin; 4 – case; 5 – suction pipe; 6, 9 – spacers; 7 – end coupling; 8 – mechanical seal, ceramic ring; 10 – shaft sleeve; 11 – impeller; 12 – stator; 13 – a flange; 14 – pin; 15 – cap nut; 16 – pin; 17 – screw; 18 – lock-nut; 19 – a bolt; 20 – impeller blade; 21 – outlet pipe

В состав технологической линии по переработке бурого угля включен дисмембратор новой конструкции (рис. 4). Это дало возможность сократить на 30 мин время производственного цикла, увеличить производительность линии, повысить качество продукта, а именно, увеличить выход гуминовых и фульвокислот на 20% и более в зависимости от качества сырья, поступающего на переработку. Размерность частиц готового продукта не превышает 70-100 мкм, что позволяет эффективно использовать его в машинных

технологиях по внесению жидких удобрений.

Чтобы извлечь из угля больше гуминовых кислот, предложено при модернизации технологической линии на трубопроводе между дисмембратором и реактором установить гидромеханический кавитатор (разработка автора, *патент РФ № 161518, 2016 г.*).

В гидродинамических кавитаторах в основном реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие в жидкости вследствие развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов [9-11]. Кавитационное воздействие служит эффективным средством для получения водо-угольных суспензий.

Кавитация разрывает длинные молекулярные цепи, разрушая связи между отдельными частями молекул, влияет на изменение структурной вязкости, то есть на временный разрыв ван-дер-ваальсовых связей.

Например, кавитационная обработка воды изменяет ее физико-химические свойства, увеличивает *pH*, способствует активации. В результате вода временно становится активным растворителем труднорастворимых веществ даже без введения химических реагентов.

В данном исследовании генераторы кавитации (дисмембратор и гидромеханический кавитатор) работают на различных частотах. Жидкость проходит через них последовательно: сначала через генератор с большей частотой, то есть дисмембратор, а затем через генератор с меньшей частотой, то есть гидромеханический кавитатор. В генераторе с высокой частотой возбуждаются зародыши кавитации наименьшего размера, которые быстро увеличиваются. Эти кавитационные пузырьки служат зародышами кавитации в генераторе с низкой частотой и увеличиваются в размере еще больше. В результате возрастают импульсы кавитационного давления.

Кавитационное воздействие на жидкость позволяет получать высококачественные технологические, и биологически активные растворы экстрактов, эмульсии и суспензии [12-14, 15].

С целью многофакторного воздействия на твердые частицы в суспензии бурого угля и ее активной гомонезации перед подачей жидких гуминовых удобрений из реактора в центрифуги на фильтрацию предложено установить на трубопроводе между диспергатором и центрифугой бициркуляционный диффузионный измельчитель (*патент РФ № 177365, 2018 г.*). В итоге достигаются высокий уровень гомонезации взвешенных частиц бурого угля с дисперсностью от 0 мкм перед подачей на фильтрацию или в центрифуги и качественная очистка гуминовых препаратов от баласта.

Эффективность технологической линии по переработке бурых углей у заказчика ООО «Богградский ГОК», г. Черногорск Республики Хакасия, улучшена

благодаря следующим решениям:

- линия усилена модульным оборудованием – вибрационной мельницей типа МВ-20 для размолота бурого угля перед подачей в реактор до размерности 20-50 мкм и механохимической активации угольного вещества, что позволило проводить качественную фильтрацию гуматов размерностью до 70 мкм вместо 140 мкм;

- заменен дисмембратор мощностью 3 кВт на 5,5 кВт;

- в целях исключения балластного остатка после реактора жидкие гуминовые удобрения перекачиваются в дополнительно установленные емкости, где отстаиваются в течение 3 суток и без балласта подаются на фильтрацию;

- для расширения ассортимента продукции гуминовые удобрения после фильтрации подаются в две дополнительно установленные центрифуги – для сушки, выпаривания с использованием влагоотделителя и получения сухих гуматов с добавлением в них микроэлементов;

- дополнительно установлен гранулятор на фракции до 3 мм;

- заменена накопительная емкость для конечного продукта – с 1000 л на 3500 л.

Модернизация технологической линии на основе модульного оборудования позволила организовать производство новых продуктов – углещелочного и гуматнокалиевого реагентов, предназначенных для бурения нефтяных и газовых скважин на основе естественно окисленных, забалансовых углей марки 2Б Боровско-Соболевского месторождения (АО «Чулым-Уголь»).

Результаты исследования работы технологической линии по переработке торфа у заказчика ООО «Промимпекс», г. Екатеринбург, показали:

- на дисмембраторе регулярно через 3-4 мес. выходит из строя торцевое уплотнение, причина – недостаточно качественная очистка торфяной суспензии от песка и мелких включений в гидромеханическом модуле по подготовке торфяной суспензии перед подачей в реактор, что подтверждено наличием большого количества песка в конусе реактора;

- выявлена и устранена причина некачественной очистки торфяной суспензии от песка и перегрева электродвигателя основного насоса в гидромеханическом модуле, где не работала заблокированная крыльчатка на основном валу электродвигателя;

- рекомендовано установить дополнительно между дисмембратором и реактором бициркуляционный диффузионный измельчитель (*патент РФ № 177365, 2018 г.*);

- технически и технологически требуется изменить угол наклона вертикального сливного патрубка реактора из нижней части конуса, так как он переживает сливной шланг;

- в целях соблюдения требований техники без-

опасности необходимо исключить контакт основного блока управления с технологическими шлангами подачи воды и суспензии.

Технологическая линия у заказчика ООО «Биохимресурс», г. Владимир, не обеспечена помещением для работы при пониженных температурах, отсутствует возможность подогревать воду для технологических целей, идут пусконаладочные работы.

В ООО «Гуматы», г. Курган, исследование технологической линии по переработке торфа выявило:

- низкий уровень выхода гуминовых веществ – 2-10 г/л по технологической причине: не отрегулирована работа системы подготовки и очистки торфа перед подачей в реактор;

- требует замены дисмембратор, который пропускает твердые частицы торфа размером более 140 мкм и не обеспечивает качества диспергации подаваемой с гидромеханического модуля суспензии торфа, то есть 50-70 мкм;

- система дозирования микроэлементов по программе ЭВМ отрегулирована в соответствии с рекомендациями специалистов института [6];

- причины отмеченных недостатков работы оборудования на технологической линии – частая смена операторов и их низкая квалификация.

После изучения работы технологической линии по переработке торфа в ООО «АгроБио», г. Борисов Республики Беларусь, отмечено:

- гидромеханический очиститель торфа технологически не отрегулирован и пропускает в реактор до 5% кремниевых включений в суспензии торфа, выданы необходимые рекомендации [7];

- поступающие в реактор 5 кг песка на 100 кг торфа сократили срок эксплуатации сетки статора у дисмембратора, которая порвалась;

- качественная фильтрация суспензии торфа после реактора обеспечивается в результате ее отстоя в дополнительно установленных технологических емкостях в течение 72 ч перед подачей на станцию фильтрации.

В ОАПОУ «Боровичский агропромышленный техникум», г. Боровичи Новгородской области, технологическая линия по переработке торфа активно используется при производстве гуминовых удобрений для питомников лесного хозяйства и в учебных целях, технически исправна, запасы готовой продукции – 4 т.

В ООО НПФ «Сады Чечни», г. Грозный, технологическую линию модернизируют в целях использования гуминовых удобрений с дополнением микроэлементов для капельного полива в садах.

Анализ работы технологических линий совместно с заказчиками в разных регионах в течение 5 лет позволил выявить и систематизировать основные технические и технологические недоработки, внедрить ряд новых технических решений, защищенных па-

тентами и свидетельствами. Исследованы теоретические основы и необходимые условия развития машиностроения для модульного проектирования технологических комплексов [16].

В соответствии с научной гипотезой экспериментально проверена работоспособность модульного оборудования в составе работающих в регионах технологических линий по переработке в промышленных объемах органического сырья в гуминовые удобрения с характеристиками, заданными заказчиком.

Выявлено, что научно-технологические возможности промышленности в секторе машиностроения по выпуску оборудования для переработки органического сырья не согласуются с динамикой рынка, что и приводит к необходимости совершенствования процесса конструирования и разработки оборудования на принципах модульного построения технологических линий.

При проектировании новых технологических линий по переработке органического сырья, в соответствии с требованием заказчика и результатами модернизации работающих линий, определены основные модули, что позволило разработать конструктивную схему универсальной технологической линии на основе модульного оборудования (рис. 5).

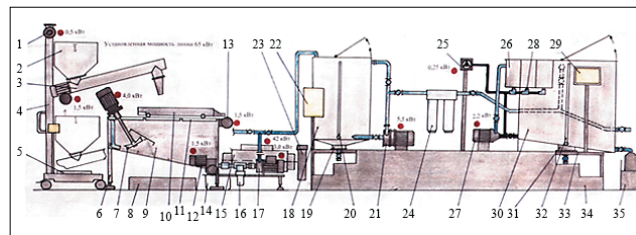


Рис. 5. Новая технологическая линия на основе модульного оборудования

1-5 – модуль весового дозирования транспортировки и подачи сырья;

6-17 – модуль узла гидромеханической торфоподготовки;

18-22 – модуль реактора;

23-24 – модуль фильтрации;

25-29 – модуль внесения и смешивания минеральных добавок;

30-32 – модуль программного дозирования;

33-35 – модуль накопительной емкости

Fig. 5. New production line based on modular equipment

1-5 – module of weight dosing of raw materials transportation and supply;

6-17 – module node hydromechanical peat preparation;

18-22 – reactor module;

23-24 – filtering module;

25-29 – module for making and mixing mineral additives;

30-32 – software dosing module;

33-35 – storage capacity module

Инновационная составляющая данной конструкции заключается в ее универсальности: отдельные модули можно заменять с учетом потребности заказ-

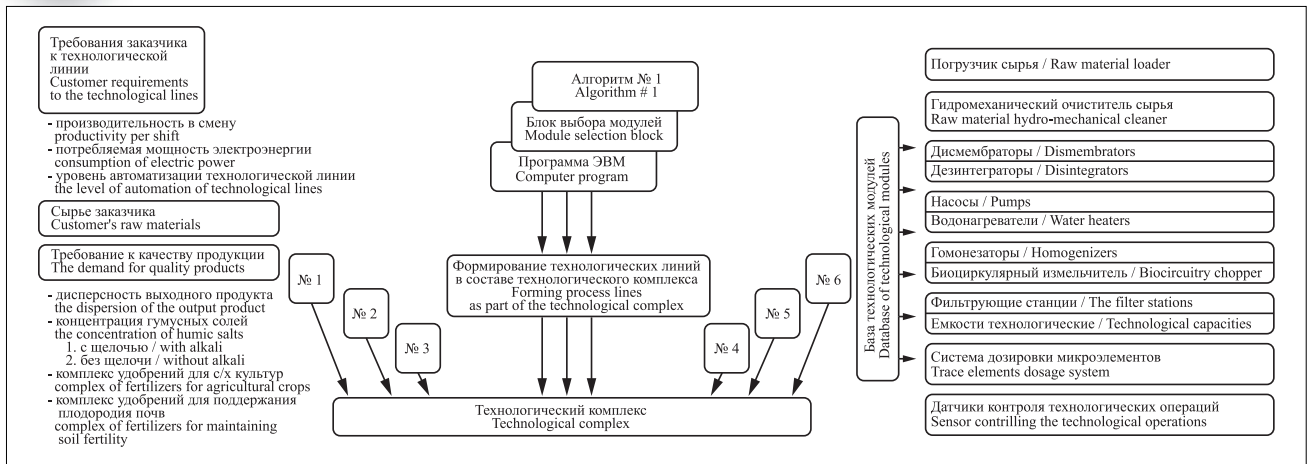


Рис. 6. Схема алгоритма по формированию технологических линий на основе модулей

(№ 1-6 – возможности в проектировании технологических линий с целью изготовления гуминовых препаратов под заказ)

Fig. 6. The algorithm scheme for the technological lines formation based on modules

(No. 1-6 – opportunities in the technological lines design for the purpose of manufacturing humic preparations on order)

чика, без потери качества конечного продукта. Определены основные технологические потоки по переработке органического сырья в жидкие и сухие гуминовые препараты.

Конструктивные и технологические возможности модульного оборудования позволяют в короткие сроки организовать производство технологических линий по промышленной переработке органического сырья (сапропеля, бурого угля, биогумуса).

Используя принцип реконфигурации компоновки технологических линий модульной конструкции, созданных автором совместно с учеными ВНИМС и ИТОСХ – филиала ФНАЦ ВИМ в 2013-2019 гг., а также анализ предлагаемых к реализации производителями подобных линий, которые подходят для меняющихся требований производства, можно сформулировать основные принципы концепции создания таких технологических линий и начать их производство.

Принципы модульного построения технологических линий:

- применение базовых модулей, в которых реализуются технологические операции, гарантирующие востребованное качество конечного продукта;
- технологическая линия (технологический комплекс) может использоваться для переработки различного органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) с необходимыми изменениями технологических операций в зависимости от вида сырья и конечной продукции;
- включение как основных, так и вспомогательных технологических модулей для переработки сырья с целью получения конечного продукта – гуминовых и комплексных удобрений с заданными характеристиками;
- управление модулями с помощью технологических программных материалов и цифровых технологий.

Модульный принцип формирования технологи-

ческих линий предусматривает:

- требование заказчика;
- наличие программных материалов по базе технологических модулей и управлению технологическими операциями;
- разработку алгоритма для программы ЭВМ по формированию технологических линий на основе модулей в составе технологического комплекса (рис. 6);
- разработку программы ЭВМ для технологической линии по производству комплексных удобрений на основе органического сырья.

Таким образом, модульное проектирование сокращает сроки разработки нового оборудования, когда есть возможность его приобретения на рынке у специализированной организации, позволяет быстрее формировать технологические линии под выпуск новой продукции.

Научная новизна данной работы заключается в создании информационно-программного обеспечения для специалистов по конструированию технологических комплексов для переработки органического сырья на основе многовариантных решений по формированию оптимального комплекса из имеющегося на рынке оборудования.

Практическая значимость состоит в обеспечении специалистов программным инструментарием на ЭВМ по эффективному формированию комплекса технологическим оборудованием из «магазина модулей», имеющегося на рынке машиностроительной продукции. Разработаны алгоритм программы ЭВМ и методические рекомендации. Методика проходит экспериментальную проверку.

### Выводы

1. В соответствии с научной гипотезой экспериментально на практике проверена работоспособность модульного оборудования в составе модернизированных и работающих в регионах технологических ли-





ний по переработке в промышленных объемах органического сырья в гуминовые удобрения, с заданными заказчиком характеристиками.

2. Технические и технологические недоработки в оборудовании устранены совместно с заказчиком благодаря использованию инновационных разработок автора и специалистов ВНИМС и ИТОСХ – филиала ФНАЦ ВИМ и приобретению модульного оборудования.

3. Производительность технологических линий повышена в 2-2,5 раза – с 1 до 2,5 т концентрированных удобрений в смену; качество очистки органического сырья перед подачей в реактор достигло 97-98%; дисперсность суспензии торфа и бурого угля в результате замены дисмембраторов мощностью 3,5 кВт на 5,5 кВт составляет в среднем 50-70 мкм при норме до 140 мкм; с помощью модульного оборудования решены вопросы безбалластного производства гуминовых удобрений; усовершенствована программа ЭВМ по дозированию микроэлементов.

4. Выявлены основные принципы модульного проектирования технологических линий по производству органических (гуминовых и комплексных) удобрений с заданными характеристиками.

5. Разработана методика выбора модулей с использованием интернет-портала при конструировании технологических линий по переработке органического сырья на основании алгоритма работы программы ЭВМ.

6. Определен оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий и разработана схема построения инновационного технологического процесса и создания технологической линии по переработке бурых углей на основе модульного оборудования в соответствии с техническим заданием заказчика и результатами работы экспериментальных образцов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века // *Химия и жизнь*. 2008. №1. С. 51-55.
2. Роганов В.Р., Касимова Л.В., Тельянова А.В., Елисева И.В. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых препаратов // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №6.
3. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions. *Environmental Technology*. 2017. Vol. 38. 1428-1434.
4. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative Yield and Properties of Hemic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. №10. 1101-1109.
5. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of hemic substances from organic soils. *Journal Braz. Chem. Soc*. 1998. Vol. 9. №1. 51-56.
6. Сорокин К.Н., Гайбарян М.А., Сорокин Н.Т., Гапеева Н.Н., Сидоркин В.И. Расчет параметров гидромеханического узла торфоподготовки технологической линии для производства гуминовых удобрений // *Техника и оборудование для села*. 2018. №9. С. 16-21.
7. Сорокин К.Н., Белых С.А., Никитин В.С., Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Благов Д.А. Цифровые технологии в производстве комплексных органоминеральных удобрений // *Вестник Башкирского ГАУ*. 2018. №3. С. 31-40.
8. Никитин В.С. Формирование алгоритма расчета доз комплексных удобрений на основе гуминовых под планируемую урожайность // *Техника и оборудование для села*. 2016. №5. С. 20-23.
9. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение-1. 2001. 260 с.
10. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука. 1998. 330 с.
11. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра. 1992. 176 с.
12. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. М.: Химия. 1990. 208 с.
13. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. Киев: Вища школа. 1984. 68 с.
14. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. Киев: ОКО. 2000. 898 с.
15. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств // *Теоретические основы химической технологии*. 2006. Т. 40. №6. С. 639-644.
16. Сорокин К.Н., Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Журавлева О.И., Ручьев И.Ю. Теоретические основы и необходимые условия развития машиностроения для модульного проектирования технологических комплексов // *Вестник Рязанского ГАУ*. 2019. №3. С. 89-98.

**REFERENCES**

1. Perminova I.V. Guminovye veshchestva – vyzov khimikam XXI veka [Humic substances – a challenge to chemists of the XXI century]. *Khimiya i zhizn'*. 2008. N1. 51-55 (In Russian).
2. Roganov V.R., Kasimova L.V., Tel'yanova A.V., Eliseeva I.V. Issledovanie sposobov izvlecheniya iz nizinnogo torfa guminovykh preparatov [Study of methods for extracting humic preparations from lowland peat]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. N6. (In Russian).
3. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions. *Environmental Technology*. 2017. Vol. 38. 1428-1434 (In English).
4. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative Yield and Properties of Hemic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. N10. 1101-1109 (In English).
5. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of hemic substances from organic soils. *Journal Braz. Chem. Soc.* 1998. Vol. 9. N1. 51-56 (In English).
6. Sorokin K.N., Gaybaryan M.A., Sorokin N.T., Gapeeva N.N., Sidorkin V.I. Raschet parametrov gidromekhanicheskogo uzla torfopodgotovki tekhnologicheskoy linii dlya proizvodstva guminovykh udobreniy [Calculation of the parameters of the hydromechanical unit of peat preparation of the technological line for the production of humic fertilizers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N9. 16-21 (In Russian).
7. Sorokin K.N., Belykh S.A., Nikitin V.S., Izmaylov A.Yu., Sorokin N.T., Blagov D.A. Tsifrovye tekhnologii v proizvodstve kompleksnykh organomineral'nykh udobreniy [Digital technologies in the production of complex organic fertilizers]. *Vestnik Bashkirskogo GAU*. 2018. N3. 31-40 (In Russian).
8. Nikitin V.S. Formirovanie algoritma rascheta doz kompleksnykh udobreniy na osnove guminovykh pod planiruemyu urozhaynost' [Formation of an algorithm for calculating doses of complex fertilizers based on humic for the planned yield]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N5. 20-23 (In Russian).
9. Promtov M.A. Pul'satsionnye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika [Rotary-type pulsation apparatus: theory and practice]. Moscow: Mashinostroenie-1. 2001. 260 (In Russian).
10. Balabyshko A.M., Zimin A.I., Ruzhitskiy V.P. Gidromekhanicheskoe dispergirovanie [Hydromechanical dispersion]. Moscow: Nauka. 1998. 330 (In Russian).
11. Balabyshko A.M., Yudaev V.F. Rotornye apparaty s modulyatsiyey potoka i ikh primenenie v promyshlennosti [Flow modulating rotary apparatus and their application in industry]. Moscow: Nedra. 1992. 176 (In Russian).
12. Kardashev G.A. Fizicheskie metody intensivifikatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii [Physical methods of intensification of chemical technology processes]. Moscow: Khimiya. 1990. 208 (In Russian).
13. Fedotkin I.M., Nemchin A.F. Ispol'zovanie kavitatsii v tekhnologicheskikh protsessakh [The use of cavitation in technological processes]. Kiev: Vishcha shkola. 1984. 68 (In Russian).
14. Fedotkin I.M., Gulyy I.S. Kavitatsiya, kavitatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, ikh ispol'zovanie v promyshlennosti [Cavitation, cavitation equipment and technology, their use in industry]. Ch. II. Kiev: OKO. 2000. 898 (In Russian).
15. Viten'ko T.N., Gumnitkiy Ya.M. Massoobmen pri rastvorenii tverdykh tel s ispol'zovaniem gidrodinamicheskikh kavitatsionnykh ustroystv [Mass transfer during dissolution of solids using hydrodynamic cavitation devices]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii*. 2006. Vol. 40. N6. 639-644 (In Russian).
16. Sorokin K.N., Izmaylov A.Yu., Sorokin N.T., Zhuravleva O.I., Ruch'ev I.Yu. Teoreticheskie osnovy i neobkhodimyye usloviya razvitiya mashinostroeniya dlya modul'nogo proektirovaniya tekhnologicheskikh kompleksov [Theoretical foundations and necessary conditions for the development of engineering for the modular design of technological complexes]. *Vestnik Ryazanskogo GAU*. 2019. N3. 89-98 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.03.2020  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 18.03.2020

Статья принята к публикации 22.05.2020  
The paper was accepted  
for publication on 22.05.2020