

УДК: 504.75

DOI: 10.53816/20753608_2022_2_39

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
НА ОБЪЕКТАХ ВОЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**TECHNOLOGICAL CONCEPT FOR THE CREATION OF A COMPLEX
FOR THE PROCESSING OF MUNICIPAL SOLID WASTE
AT MILITARY INFRASTRUCTURE FACILITIES**

По представлению чл.-корр. РАН В.Б. Коновалова

Р.Л. Кащеев

ВА МТО им. А.В. Хрулева

R.L. Kashcheev

В статье обосновывается актуальность развития и внедрения рациональных процессов в области обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) при эксплуатации объектов военной инфраструктуры. Отмечается, что насущной задачей является создание в системе жилищно-коммунального хозяйства Министерства обороны Российской Федерации комплекса по переработке ТКО с высокими технико-экономическими и экологическими характеристиками. В статье изложены основные положения технологической концепции по созданию данного комплекса. Раскрыты принципы его аппаратно-технологического исполнения. Согласно концепции, применение аппаратов с псевдооживленными (кипящими) слоями и циркуляционных схем в совокупности с выполнением принципа совмещения операций позволяет значительно увеличить мощность системы. При этом происходит снижение удельных выбросов в атмосферу за счет преимущества циркуляционных систем перед существующими производствами с открытой цепью.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, химико-технологические процессы, жилищно-коммунальное хозяйство, технологический комплекс.

The article substantiates the relevance of the development and implementation of rational processes in the field of municipal solid waste (MSW) management in the operation of military infrastructure facilities. It is noted that the urgent task is to create in the system of housing and communal services of the Ministry of Defense of the Russian Federation a complex for the processing of MSW with high technical, economic and environmental characteristics. The article outlines the main provisions of the technological concept for the creation of this complex. The principles of its hardware-technological execution are disclosed. According to the concept, the use of devices with fluidized (boiling) beds and circulation schemes, in conjunction with the implementation of the principle of combining operations, can significantly increase the capacity of the system. At the same time, there is a reduction in specific emissions into the atmosphere due to the advantage of circulation systems over existing open-chain industries.

Keywords: solid municipal waste, chemical and technological processes, housing and communal services, technological complex.

В России накапливается ежегодно 60 миллионов тонн отходов. Переработке подвергается не больше 10–15%. Остальное размещается на полигонах захоронения, число которых постоянно растет [1].

Необходимость решения экологических проблем была отражена Президентом РФ в Указе от 07.05.2017 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», во исполнение которого разработан и реализуется национальный проект «Экология», а также Правительством РФ, была утверждена «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» и «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» [12, 13].

В период становления новой системы обращения с отходами необходимо предложить всем участникам этого процесса понятные инструкции и алгоритмы по практическому внедрению новой концепции во всех федеральных органах исполнительной власти, в том числе и Минобороны России [2, 3].

В Вооруженных силах Российской Федерации крайне важна потребность внедрения и развития рациональных процессов в коммунально-эксплуатационном обеспечении, в которое непосредственно входит обращение с твердыми коммунальными отходами (ТКО) [4, 5].

Насущной задачей является разработка и внедрение в структуре жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) МО РФ комплекса по переработке ТКО с высокими технико-экономическими и экологическими показателями [6, 14].

Автором предлагается технологическая концепция по созданию такого комплекса.

Переработка твердых коммунальных отходов основана на проведении совокупности тепло- и массообменных процессов, включающих в себя протекание химических реакций. Химико-технологические процессы (ХТП) являются основными при переработке ТКО, и поэтому большинство подобных технологических комплексов по сути функционирования можно отнести к химико-технологическим системам (ХТС) [7]. Современное перерабатывающее ТКО предприятие в структуре жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Министерства обороны Российской Федерации можно подразделить на взаимосвязанные подсистемы, соподчинение между которыми увязывается иерархической структурой, состоящей из трех-четырех ступеней или уровней иерархии (рис. 1).

I ступень иерархии — типовые химико-технологические процессы (механические, гидродинамические, тепловые, диффузионные, химические) и локальные системы стабилизации.

II ступень иерархии — перерабатывающие технологические системы ЖКХ, соответствующие технологическим цехам или участкам, системы управления процессами технологического функционирования цехов или участков.

III ступень иерархии — сложные перерабатывающие технологические системы ЖКХ, отвечающие за производство целевых или промежуточных продуктов и соответствующие системы управления.

IV ступень иерархии — технологический комплекс ЖКХ в целом и информационная система организационного управления комплексом.

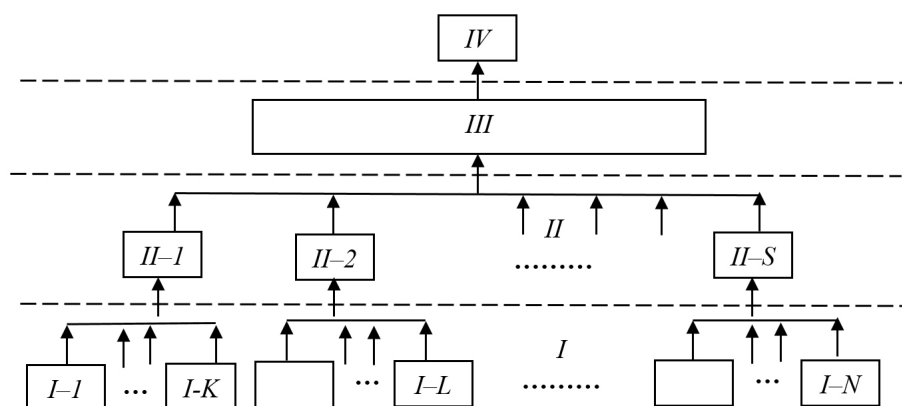


Рис. Иерархическая структура технологического комплекса по переработке ТКО

Отличительная особенность иерархического построения такого комплекса заключается в том, что он не имеет древовидной структуры, так как между подсистемами одного и того же уровня иерархии существуют взаимосвязи.

Целью функционирования элементов ХТС является определенное физико-химическое воздействие на технологические потоки, вызывающее повышение показателей качества (эффективности) функционирования.

Основные показатели эффективности функционирования элементов ХТС можно выразить в виде величин, характеризующих фактический выход химического продукта из элемента ХТС, которые для технологических процессов собственно химического превращения представляют собой степени химического превращения химических компонентов с учетом избирательности, а для технологических процессов межфазной массопередачи — степени межфазного перехода (степени разделения). Иногда для характеристики качества функционирования используют коэффициент полезного действия (КПД) элементов ХТС, которые показывают степень приближения технологического процесса к завершению или равновесию. Расчеты КПД требуют знания равновесных соотношений, так как эти величины определяются в основном кинетикой процесса: фактическое количество компонентов, вступивших в химическую реакцию, или количество поглощаемого компонента зависит от скорости химического превращения или от скорости массопередачи.

Показателями эффективности функционирования технологических цехов и участков комплекса являются также расходные нормы по сырью (перерабатываемым отходам), топливу, электроэнергии, греющему пару и охлаждающей воде в натуральных единицах (например, в тоннах сырья на тонну продукции переработки). Расходные коэффициенты будут в значительной степени характеризовать совершенство функционирования технологического комплекса. Чем ближе расходные коэффициенты к стехиометрическим, тем совершеннее организовано производство и тем лучше его экономические показатели [8].

Элементы ХТС функционируют в условиях внешних и внутренних возмущающих воздействий, которые стремятся противодействовать целенаправленному протеканию химико-технологических процессов. Внутренние возмущающие

воздействия обусловлены изменением технологических параметров элементов и параметров технологических режимов функционирования ХТС (старение катализаторов, изменение давления и температуры внутри элементов и т.д.). Внешние воздействия на элементы ХТС обусловлены изменением физических параметров материальных и энергетических потоков (количество и состав ТКО, изменение давления и температуры потоков и т.д.). Эти возмущающие воздействия носят как детерминированный, так и стохастический характер, а период их изменения колеблется в большом диапазоне значений (от часов до суток). Для обеспечения выполнения элементами ХТС заданных целей функционирования в условиях возмущающих воздействий нужно использовать локальные системы автоматического управления химико-технологическими процессами [9].

Данные системы предусматривают использование процедур оптимизации технологических процессов, стабилизации физических параметров потоков входных продуктов и параметров технологических режимов элемента.

Аппаратурно-технологическое исполнение комплекса по переработке ТКО требует выполнения ряда принципов, совокупность которых будет достаточным условием для успешной реализации циркуляционных систем, соответствующих существующему уровню развития химического, нефте-газохимического машиностроения и технике концентрирования.

К таким принципам следует отнести:

1. Принцип совмещения операций и минимизации числа единиц основного и вспомогательного оборудования;
2. Принцип ограничения конструктивных размеров аппаратов;
3. Принцип максимального использования сырья (отходов переработки);
4. Принцип уменьшения эксергетических потерь;
5. Принцип снижения удельных выбросов в атмосферу и соответственно предельно допустимых концентраций [6];
6. Принцип уменьшения контролируемых и управляющих параметров.

Раскроем далее эти принципы.

Принцип совмещения операций обеспечивает наиболее рациональное использование объемов реакционных зон аппаратов, позволяет сокра-

тить общее их число и соответственно повысить интенсивность работы оборудования в целом.

Характерным примером может служить совмещение в кипящем слое функции химического реактора (например, для окислительных процессов) и котла-утилизатора, если протекают экзотермические процессы. При этом в реактор с кипящим слоем сырьевая смесь может поступать с любой температурой без предварительного охлаждения. Заслуживает внимания также возможность использования потенциальной энергии сжатых газов для организации циркуляции смеси с помощью инжекторов, выполняющих одновременно функции смесителя.

Согласно принципу ограничения конструктивных размеров, необходимо стремиться к тому, чтобы габариты оборудования не превышали предельных размеров, определяющих транспортабельность аппарата комплекса в собранном виде от места изготовления на машиностроительном предприятии до места работы перерабатывающей системы.

Применение аппаратов с псевдооживленными (кипящими) слоями и циркуляционных схем в совокупности с выполнением принципа совмещения операций позволяет не только уменьшить размеры аппаратов до величины, обеспечивающей их транспортабельность, но и при этом значительно увеличить мощность системы [10].

При реализации принципа максимального использования сырья (отходов на переработку) основное внимание должно быть уделено способам увеличения выходов конечных продуктов переработки и анализу возможностей подачи компонентов сырья в соотношении, близком к стехиометрическому. При этом неизбежное снижение степени превращения за один проход через аппарат компенсируется некоторым увеличением кратности циркуляции, что для систем с замкнутым циклом вполне допустимо и реализуемо.

Принцип уменьшения эксергетических потерь и повышения эффективности использования энергоресурсов системы обеспечивает повышение качества и практической пригодности энергии, получаемой в результате химических реакций и заключенной в потоках энергоносителей (пар, горячие газовые смеси или воздух, поступающий в турбины, вода и др.).

Качество энергии материального потока или его эксергию оценивают максимальной

способностью к совершению работы в процессе, конечное состояние которого определяется условиями термодинамического равновесия с окружающей средой.

Для повышения эксергетического коэффициента полезного действия необходимо увеличивать температуру в зоне передела до максимально допустимого значения, зависящего от термостойкости конструкционных материалов. Повышению термодинамического совершенства циркуляционных систем способствует уменьшение содержания инертных газов в циркулирующей смеси, снижение кратности циркуляции, повышение температуры в зоне катализа. Степень использования низкопотенциального тепла и его эффективность повышается введением в систему утилизации дополнительного высокопотенциального тепла, получаемого от сжигания топлива [11].

Принцип снижения удельных выбросов должен обеспечивать преимущество циркуляционных систем перед существующими производствами с открытой цепью, с позиции защиты атмосферы от экологически опасных компонентов. Экологическая безопасность работы комплекса с точки зрения загрязнения атмосферы характеризуется двумя параметрами — удельными выбросами экологически опасных компонент и их концентрацией. Первый параметр носит более объективный характер, поэтому эффективность уменьшения загрязнения атмосферы должна определяться снижением удельных выбросов [15].

Принцип уменьшения контролируемых и управляющих параметров должен обеспечить возможность оперативного сбора и переработки информации о параметрах материальных и тепловых потоков в различных участках циркуляционной системы с целью осуществления достаточно гибкого управления работой при использовании минимального числа управляющих параметров. Предпосылки для организации надежной системы контроля и управления должны быть заложены в самой сущности циркуляционной схемы, ограниченное число аппаратов которой (благодаря соблюдению принципа совмещения операций и рециркуляции) имеет несложные взаимные обратные связи. Правильный выбор и успешная реализация системы контроля и управления возможна при наличии математического описания работы циркуляционных установок, что позволит стабилизировать основные

технологические параметры, значения которых будут отвечать оптимальным режимам эксплуатации комплекса по переработке ТКО.

В целом предлагаемая технологическая концепция, в основу которой легли рассмотренные принципы, позволит создать в структуре жилищно-коммунального хозяйства МО РФ высокоинтенсивные циркуляционные системы переработки ТКО с высокими технико-экономическими показателями.

Литература

1. Кашеев Р.Л., Казаков Н.П. Экологическая функция государства и механизмы ее реализации // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021. Вып. 6 (17). С. 61–71.
2. Постановление Правительства РФ от 16.05.2016 № 424 «Об утверждении порядка разработки, согласования, утверждения и корректировки инвестиционных и производственных программ в области обращения с твердыми коммунальными отходами, в том числе порядка определения плановых и фактических значений показателей эффективности объектов, используемых для обработки, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов».
3. Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
4. Bondarev A.V., Sarkisov S.V., Aleksandrov S.V., Pashkin S.B., Vakunenkov V.A. Prospects for using combined low-power fluidized bed installations for heat supply of departmental and municipal facilities // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — Krasnoyarsk. Science and Technology. 2021. Vol. 1047. P. 012189. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012189.
5. Кашеев Р.Л., Лопатин Н.В., Саркисов С.В., Эль-Салим С.З. Обзор и выбор методов аналитического контроля для оценивания экологического давления (опасности) твердых коммунальных отходов на окружающую среду // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021. № S4 (16). С. 30–40.
6. Коновалов В.Б., Лопатин Н.В., Эль-Салим С.З. и др. Контроль биоактивных веществ в точках сбора твердых коммунальных отходов // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021. № S4 (16). С. 18–29.
7. Блинов А.В., Корпусов А.Н., Борисов А.А. и др. Особенности оценки эффективности внедрения энерго-ресурсосберегающих мероприятий в системах жизнеобеспечения // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021. № 5 (17). С. 62–71.
8. Казаков Н.П., Бардулина А.Е. Экономические аспекты утилизации отходов в России // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2021. № 1 (13). С. 61–71.
9. Кашеев Р.Л., Макачук Г.В., Лазарева Т.П. О способах утилизации и переработки пластиковых отходов // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2020. № 11 (12). С. 515–523.
10. Прокофьев В.Е., Зенкевич М.Ю., Янович К.В. и др. Инновационные решения в области технологии утилизации твердых коммунальных отходов // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2019. № 4 (5). С. 477–486.
11. Коновалов В.Б., Бондарев А.В., Тучков В.К. и др. Перспективы утилизации твердых коммунальных отходов в многотопливных котлах псевдооживленного слоя // *Военный инженер*. 2020. № 2 (16). С. 3–12.
12. Коновалов В.Б., Курбанов А.Х., Зенкевич М.Ю. и др. Концептуальные аспекты развития системы обеспечения экологической безопасности Вооруженных сил Российской Федерации до 2030 года // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2020. № S8 (9). С. 8–19.
13. Саркисов С.В. *Экология: учебник*. — СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО. 2015. 360 с.
14. Зенкевич М.Ю., Новиков Р.С., Прокофьев В.Е., Янович К.В. и др. Исследование воздействия полигонов и свалок твердых коммунальных отходов на окружающую среду: монография. — СПб.: Изд-во ООО «Р-КОПИ». 2020. 163 с.
15. Топоров А.В., Коновалов В.Б. и др. Результаты апробации в Сирийской Арабской Республике средств непрерывного контроля качества окружающей природной среды // *Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук*. 2021. № 3 (118). С. 173–183.