

## ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

---

DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.06

УДК 351.777.61

**И.М. Бернадинер, П.И. Пысина**

Национальный исследовательский университет  
«Московский энергетический институт», Москва, Россия

### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Разработан комплекс по обезвреживанию медицинских отходов. Рассмотрен процесс высокотемпературного обезвреживания медицинских отходов с использованием вращающейся печи. Выполнен анализ ситуации, связанной с образованием и обезвреживанием медицинских отходов. Рассчитаны тепловой и материальный балансы основных элементов комплекса: рабочей камеры вращающейся печи, камеры дожигания, воздухоподогревателя. Подобрано оборудование для очистки продуктов сгорания от вредных примесей.

**Ключевые слова:** медицинские отходы, COVID-19, СанПиН 2.1.3684–21, отходы классов Б и В, сбор отходов, технологическая схема, вращающаяся печь.

Отходы являются источниками загрязнения окружающей среды в глобальном масштабе. Они образуются как неизбежный результат потребительского отношения и непозволительно низкого коэффициента использования ресурсов.

К сожалению, в нашей стране около 90 % отходов подвергаются захоронению на полигонах [1], даже несмотря на то, что это связано с транспортными расходами и отчуждением больших территорий.

И если от большинства отходов еще можно относительно безопасно избавиться, то некоторые их виды, например медицинские отходы, подлежат обязательной переработке. В них кроется опасность для человека, обусловленная прежде всего постоянным наличием в их составе возбудителей различных инфекционных заболеваний, а также токсичных веществ [1]. Длительность выживания патогенных микроорганизмов в таких отходах достаточно велика.

При этом следует учитывать, что количество «производимых» медицинскими учреждениями отходов имеет тенденцию к интенсивному росту.

За период с марта 2020 г. на фоне вспышки нового вируса COVID-19 объем медицинских отходов значительно вырос. Однако коронавирус не уникальная ситуация, это очередная возникающая опасность. Каждый год наблюдается рост числа вирусных вспышек. В последнее время в мире развивались различные эпидемии и пандемии – птичий грипп, свиной грипп, вирус Зика, лихорадка Эбола и др.

К концу 2021 г. мы убедились, с какой скоростью локализованное эндемическое заболевание может превратиться в глобальную пандемию. Теперь важно понимать, каковы реальные риски и что можно сделать для их предотвращения.

Любые вещи и предметы, с которыми контактировал человек, находящийся на карантине, теперь приравниваются к особо опасным медицинским отходам. Такие отходы нужно сжигать либо стерилизовать паром или подвергать химической дезинфекции перед вывозом на свалки.

Новый вирус контактен и устойчив к выживанию. Способен сохраняться на разнообразных по виду поверхностях (особенно на металлических и стеклянных) и оставаться там в активной фазе от 72 ч и более.

В связи с этим появляется повод для использования большого количества мобильных станций по сжиганию медицинских отходов, ограничения его несанкционированной утилизации, а также для разработки регламента по его сбору и уничтожению.

Представляются возможными следующие рекомендации. Для того чтобы исключить любой контакт с опасными для жизни отходами, необходимо собирать отходы в двойные мешки и тщательно их завязывать. В помощь работникам можно наклеить этикетку с обозначением «опасно». Также необходимо требовать не приближаться к таким отходам людям пожилого возраста и работникам коммунальных служб. Работники полигонов должны носить в обязательном порядке маски и плотные перчатки. Далее эти отходы необходимо незамедлительно отвозить на специальные предприятия для утилизации.

Также не стоит упускать из виду, что биологически загрязненные отходы и инфекционные материалы становятся серьезной проблемой для всех лечебных учреждений стационарного и амбулаторного профиля. Используемые средства индивидуальной защиты накапливаются, а их утилизация требует особого подхода.

Все лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) вне зависимости от их профиля и коечной мощности в результате своей деятельности образуют различные по фракционному составу и степени опасности отходы, поэтому в каждом из них должна быть организована система сбора, вре-

менного хранения, обработки и транспортирования отходов с учетом возникшей в мире проблемы [1].

Так что же такое медицинские отходы и как с ними бороться? Медицинские отходы (МО) – это сложные субстраты неоднородного качества, которые представляют серьезную опасность с эпидемиологической точки зрения [2]. Это виды отходов, в том числе анатомические, патологоанатомические, биохимические, микробиологические и физиологические, отходы, образующиеся в процессе осуществления медицинской деятельности, деятельности по производству лекарственных средств, дезинфицирующих средств, лабораторных реагентов, расходных материалов и медицинских изделий, а также деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний и генно-инженерно-модифицированных организмов в медицинских целях [3].

Медицинские отходы – это особая категория. К ним по определению относятся все отходы, образующиеся в медицинских учреждениях и при фармацевтической деятельности (послеоперационные отходы, бинты, просроченные лекарства, одноразовые простыни, одноразовая посуда с недоеденной кашей от «ковидных» пациентов, использованные шприцы и последы после родов и т.п.). Кроме того, бумага из канцелярии, старые шины от машин скорой помощи – это тоже МО [4].

Обращение с МО не подлежит лицензированию в рамках закона № 89–ФЗ.

В России ежегодно образуется от 0,6 до 1 млн т медицинских отходов. На рис. 1 видно, что большая часть отходов – это текстиль, бумага и полимеры.

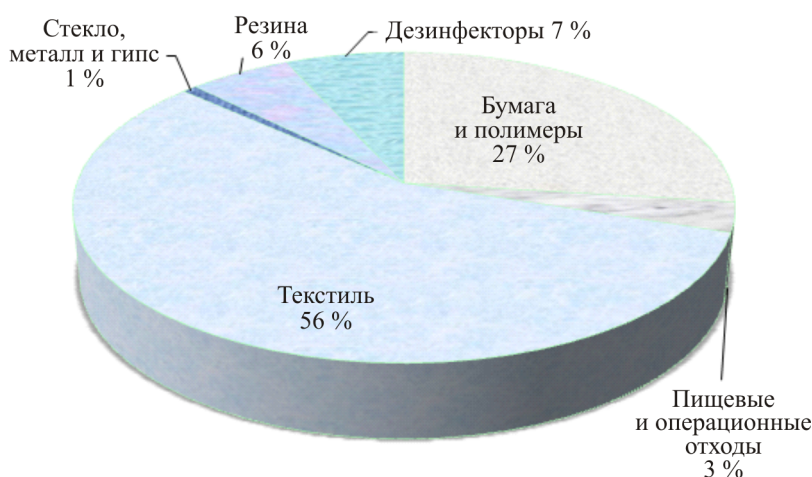


Рис. 1. Состав медицинских отходов

Существуют различные классификации медицинских отходов по степени опасности для экологии и живых существ.

Отходы собирают, хранят, перевозят и уничтожают согласно классу их опасности.

В Российской Федерации действует согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 3 «Об утверждении СанПиН 2.1.3684–21 “Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий”». В связи со сложившейся эпидемиологической обстановкой для лечения новой коронавирусной инфекции (COVID–19) Минздрав России разъясняет, что обращение с отходами, образующимися при осуществлении медицинских мероприятий, должно проводиться в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к обращению с медицинскими отходами (СанПиН 2.1.3684–21).

Этот документ разделил отходы на классы по уровню их опасности для человека и природы.

Приведенная ниже табл. 1 помогает сориентироваться в мире отходах, производимых медицинскими учреждениями.

В условиях пандемии проблема обращения с медицинскими отходами становится одной из приоритетных при обеспечении эпидемиологической безопасности населения, особенно в отношении отходов класса Б и В. По оценкам экспертов, объем всех МО составляет около 130 тыс. т/год в масштабах всей страны, около 50 тыс. т/год из них приходится на категории Б и В. Утилизация МО в основном (по некоторым оценкам на 80–85 %) финансируется из бюджетных источников: соответствующая строка есть в бюджетах больниц. Закупка отходов обычно осуществляется путем проведения аукционов в соответствии с законодательством о закупках практически во всех государственных медицинских организациях. Остальная часть финансируется за счет бюджетов частных медицинских организаций [4]. В табл. 2 приведены данные анализа, подготовленного Санитарно-экологической ассоциацией по обращению с отходами и вредными выбросами по результатам аукционов на МО категорий Б, В и Г на 2021 г. (сюда не включены затраты на покупку специализированного оборудования для утилизации МО, а также тары, упаковки и пр.).

Таблица 1

## Классификация медицинских отходов

| Класс опасности                             | Характеристика морфологического состава                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Класс А.<br>Безопасные отходы               | Отходы, не имеющие контакта с биологическими жидкостями пациентов, инфекционными больными. Канцелярские принадлежности, упаковка, мебель, инвентарь, потерявшие потребительские свойства. Пищевые отходы центральных пищеблоков, а также всех подразделений организации, осуществляющей медицинскую и/или фармацевтическую деятельность, кроме инфекционных, в том числе фтизиатрических                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Класс Б.<br>Опасные отходы                  | Инфицированные и потенциально инфицированные отходы. Материалы и инструменты, загрязненные кровью и/или другими биологическими жидкостями. Патологоанатомические отходы. Органические операционные отходы. Пищевые отходы из инфекционных отделений, материалы, контактировавшие с больными инфекционными болезнями, вызванными микроорганизмами 3–4-й групп патогенности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Класс В.<br>Чрезвычайно опасные отходы      | Материалы, контактировавшие с больными инфекционными болезнями, которые могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения и требуют проведения мероприятий по санитарной охране территории. Отходы из микробиологических, клинико-диагностических лабораторий, фармацевтических, иммунобиологических производств, работающих с микроорганизмами 1–2-й групп патогенности. Биологические отходы вивариев, живые вакцины, непригодные к использованию. Отходы лечебно-диагностических подразделений фтизиатрических стационаров (диспансеров), загрязненные мокротой пациентов, отходы микробиологических лабораторий, осуществляющих работы с возбудителями туберкулеза |
| Класс Г.<br>Токсикологически опасные отходы | Лекарственные, диагностические, дезинфицирующие средства, не подлежащие использованию. Ртутьсодержащие предметы, приборы и оборудование. Отходы сырья и продукции фармацевтических производств. Отходы от эксплуатации оборудования, транспорта, систем освещения и др.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Класс Д.<br>Радиоактивные отходы            | Все виды отходов в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает допустимые уровни, установленные нормами радиационной безопасности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Таблица 2

## Расходы на утилизацию медицинских отходов

| Федеральный округ       | Сумма по заключенным госконтрактам, млн руб. | Ориентировочный вес отходов категорий Б, В и Г по заключенным в 2021 г. госконтрактам, т | Число коек в медицинских организациях в 2019 г., тыс. шт. | Нормативное образование МО категории Б, т/год | Оценочное образование МО категории В в пандемию, т/год |
|-------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Центральный             | 391                                          | 7 060                                                                                    | 260                                                       | 14 300                                        | 8 580                                                  |
| Северо-Западный         | 337                                          | 3 727                                                                                    | 98                                                        | 5 390                                         | 3 234                                                  |
| Южный, в том числе Крым | 309                                          | 3 884                                                                                    | 130                                                       | 7 150                                         | 4 290                                                  |
| Северо-Кавказский       | 192                                          | 1 298                                                                                    | 64                                                        | 3 520                                         | 2 112                                                  |
| Поволжский              | 319                                          | 5 836                                                                                    | 208                                                       | 11 440                                        | 6 864                                                  |
| Уральский               | 154                                          | 1 622                                                                                    | 85                                                        | 4 675                                         | 2 805                                                  |
| Сибирский               | 383                                          | 5 570                                                                                    | 133                                                       | 7 315                                         | 4 389                                                  |
| Дальневосточный         | 113                                          | 2 029                                                                                    | 64                                                        | 3 520                                         | 2 112                                                  |
| Итого                   | 2 198                                        | 31 026                                                                                   | 1 042                                                     | 57 310                                        | 34 386                                                 |

Во втором и третьем столбцах представлена статистика по тем МО, которые прошли через систему госторгов и фактически были вывезены из больниц страны за период с 1 января по 31 декабря 2021 г. К этим отходам, очевидно, нужно добавить 20 тыс. т (на сумму примерно 500 млн руб.), вывезенных непосредственно транспортом Департамента здравоохранения г. Москвы из части больниц столицы: этот объем не проходил через аукционы, а вывозился в рамках особого государственного задания. Теперь сравним полученный общий объем МО (51,5 тыс. т за год) с итоговой цифрой в пятом столбце, а именно 57 тыс. т [4].

Почему такая разница? Попробуем в этом разобраться. Общепринятые оценки для МО категории Б на одну койку – 0,15 кг/сут, или 55 кг/год. Норматив для категории В существенно выше – около 1 кг/сут, но следует иметь в виду, что пациенты, при лечении которых образуются такие отходы, занимают не все койки, к тому же их количество сильно меняется в течение года. Оценочная величина образования МО категории В составляет от 10 % категории Б в обычный год и до 50–60 % при пандемии, т.е. около 30 тыс. т. Судя по данным автоматизированной информационной системы государственного заказа, видно, что МО категории Б в 2020 г. официально утилизированы на 60 %. Утверждать то же самое в отношении категории В нельзя в связи с тем, что на большой объем МО данных отходов больницам разрешено было заключать прямые договоры с утилизаторами, помимо торгов. Точную статистику по таким прямым договорам собрать достаточно сложно.

Можно предположить, что в 2021 г. через торги прошло лишь около половины этого объема. Еще около 15–20 тыс. т, как мы полагаем, образуется в коммерческих медицинских учреждениях. Этот объем тоже не проходит через торги, мы судим о нем по доле, которую занимает такой объем в работе компаний-утилизаторов. Кстати, это не так уж мало: от 20 до 30 % общего количества. Если все это сложить, получим оценочную цифру даже не в 57 тыс. т (как в нормативах), а, пожалуй, все 80 тыс. т – столько МО образовалось в так называемый ковидный 2021 г. в Российской Федерации. Однако с учетом информации в прессе (в том числе о незаконных сбросах МО категории В) можно утверждать, что больницы страны сдают на утилизацию далеко не весь объем МО категорий Б и В. При этом даже вывезенные утилизаторами МО проходят термическое или аппаратное обезвреживание далеко не на все 100 %. Экспертные оценки дают следующую картину: в соответствии с СанПиНом действительно уничтожается около 60–65 % МО всех категорий [4].

Порядок сбора медицинских отходов должен быть обязательно утвержден на каждом конкретном предприятии в документе, называемом схемой сбора [5]. Ниже представлен рисунок с ключевыми этапами сбора (рис. 2).



Рис. 2. Схема сбора

Сбор отходов осуществляется в соответствии с принятой классификацией (см. табл. 1). Для этого приобретаются и используются специальные средства (одноразовые пакеты соответствующих цветов, упаковки для сбора острых предметов, многоразовые емкости) [6].

Ниже приведен рисунок, на котором показано в какую тару складывают отходы классов А, Б, В, Г, Д (рис. 3).



Рис. 3. Средства сбора отходов классов А, Б, В, Г, Д

Мусор класса А не имеет токсической и инфекционной опасности и подлежит выбрасыванию в обычный мусорный бак. Безопасные медицинские отходы собираются в белые пакеты. Емкости для отходов дезинфици-

руются один раз в неделю. Выбрасывает этот тип мусора персонал больниц, его утилизация не контролируется, объемы мусора не фиксируются.

Для отходов класса Б предназначены желтые мешки. Из пакетов удаляется воздух, и собранный мусор следует на пункт сбора. Специально для игл одноразовых шприцев существуют шредеры для их переработки.

Отходы класса В собирают в красные пакеты. Инструкция ЛПУ предписывает герметизировать их после заполнения на три четверти. Вакцины собирают в твердые емкости без доступа воздуха. Далее отходы этого класса перемещаются в контейнеры, на одноразовую тару наносится маркировка «Чрезвычайно опасные отходы». Данные об отходах вносятся в журнал учета.

Мусор класса Г собирают в черные пакеты сотрудники, прошедшие инструктаж по безопасному обращению с ним. Затем пакеты с удаленным воздухом складывают в черные контейнеры с маркировкой. Вывозятся отходы этого типа людьми, прошедшими обучение работе с токсичными отходами.

Отходы класса Д фиксируются в технологический журнал учета медицинских отходов ЛПУ. Перед утилизацией приборы демонтируются специализированными организациями и выводятся из строя, а затем их компоненты проверяются на уровень излучения и временно хранятся в металлических бочках на специальных площадках. Бочки герметично запечатываются цементом.

Согласно СанПиН 2.1.3684–21 медицинские отходы подлежат обезвреживанию. Каждый класс отходов требует обращения в соответствии с уровнем своей опасности. Дезинфекцию проходят все классы отходов, кроме класса А и мусора, который будет утилизирован путем сжигания.

На сегодняшний день сокращение образования медицинских отходов невозможно, так как многоразовые инструменты, шприцы и многие другие предметы в медицинских учреждениях запрещены. Разрешено только использование одноразовых инструментов, которые после использования собираются в контейнеры и подлежат различным методам утилизации.

В настоящее время способы обращения с опасными отходами различаются, часто в зависимости от плотности населения, инфраструктуры и экономической стабильности региона [7–9]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Российскими санитарными правилами рекомендовано применять для отходов классов Б и В методы термического обезвреживания. Самым эффективным и распространенным является сжигание (инсинерация).

На рис. 4 приведен разработанный комплекс по утилизации медицинских отходов с применением вращающейся барабанной печи.

Основным аппаратом комплекса является вращающаяся барабанная печь. В мировой практике этот тип печей широко применяют для термического обезвреживания различных видов отходов. Агрегатная нагрузка



вращающейся барабанной печи составляет 3 т/ч. Общий объем отходящих газов, выходящий из вращающейся печи, при расходе топлива  $B = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  составил 31608,71  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

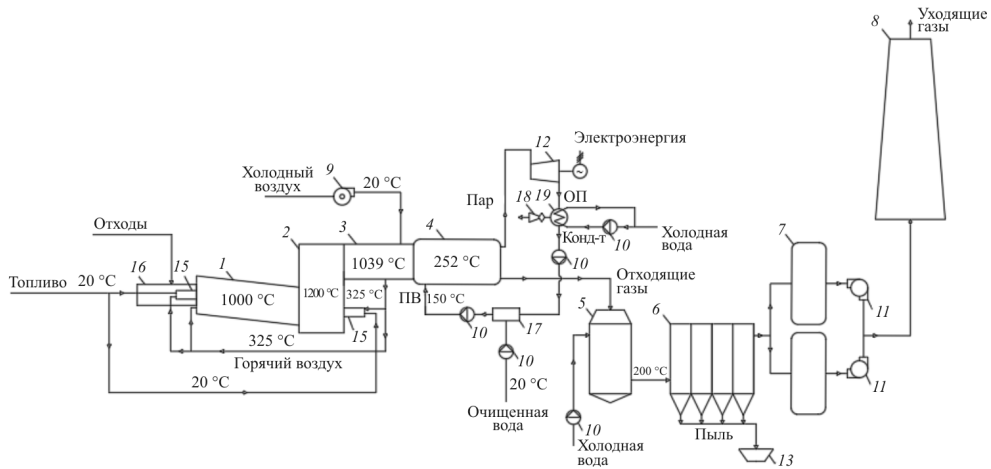


Рис. 4. Технологическая схема обезвреживания медицинских отходов: 1 – вращающаяся барабанная печь; 2 – камера дожигания; 3 – воздухоподогреватель; 4 – котел-утилизатор; 5 – испарительный скруббер; 6 – рукавный фильтр; 7 – угольный фильтр; 8 – дымовая труба; 9 – воздуходувка; 10 – насос; 11 – дымосос; 12 – паровая турбина; 13 – бункер; 14 – электрический генератор; 15 – горелочное устройство; 16 – загрузочный узел; 17 – деаэрактор; 18 – эжектор; 19 – конденсатор (ПВ – питательная вода; ОП – отработанный пар; Конд-т – конденсат)

В табл. 3 представлен тепловой баланс вращающейся печи при температуре поступающего горячего воздуха  $t_{\text{гв}} = 325 \text{ °С}$ .

Таблица 3

Содержание приходной и расходной части  
теплового баланса при  $t_{\text{гв}} = 325 \text{ °С}$

| Приход               |           |       | Расход                |           |       |
|----------------------|-----------|-------|-----------------------|-----------|-------|
| Статьи               | кВт       | %     | Статьи                | кВт       | %     |
| $Q_{\text{отх}}$     | 9 971,13  | 57,61 | $Q_{\text{отх\_ог}}$  | 11 721,82 | 67,73 |
| $Q_{\text{отх\_фт}}$ | 19,924    | 0,12  | $Q_{\text{топл\_ог}}$ | 2 845,92  | 16,44 |
| $Q_{\text{отх\_в}}$  | 1 430,97  | 8,27  | $Q_{\text{отх\_ос}}$  | 1 142,24  | 6,6   |
| $Q_{\text{топл}}$    | 5 160,61  | 29,82 | $Q_{\text{топл\_ос}}$ | 588,47    | 3,4   |
| $Q_{\text{топл\_в}}$ | 724,1     | 4,18  | $Q_{\text{ис}}$       | 990,74    | 5,72  |
| $Q_{\text{экз}}$     | 0,41      | 0     | $Q_{\text{зола}}$     | 18,13     | 0,1   |
| Итого                | 17 307,33 | 100   | Итого                 | 17 307,33 | 100   |

Объем отходящих газов, выходящий из рабочей камеры, при  $B = -0,001 \text{ м}^3/\text{с}$  составил 24 807,4  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

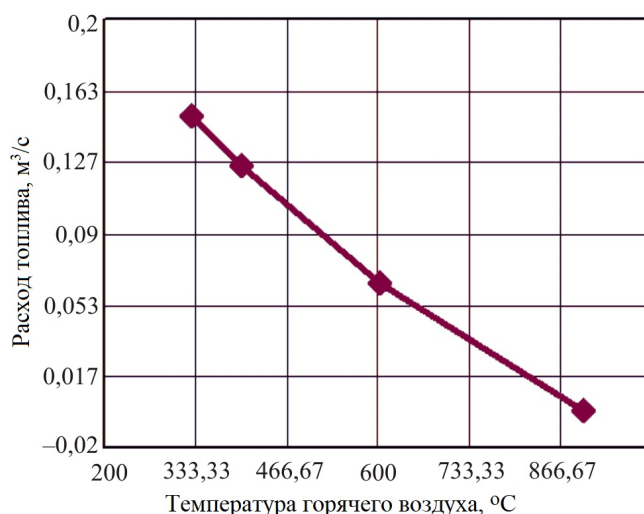


Рис. 5. Зависимость расхода топлива от температуры горячего воздуха

На рис. 5 показана зависимость количества топлива (природного газа) от температуры горячего воздуха, поступающего из воздухоподогревателя в рабочую камеру вращающейся печи.

Из графика видно, что с увеличением температуры воздуха, подаваемого во вращающуюся печь, количество топлива (природного газа) снижается и при температуре горячего воздуха 890 °C расход топлива (В) становится равным нулю, т.е. отсутствуют затраты дополнительного топлива.

При  $t_{гв} = 325$  °C в качестве каркаса (металлической обшивки) для воздухоподогревателя можно использовать простую углеродистую сталь, стоимость которой составит 155 490 руб. за тонну. При  $t_{гв} = 890$  °C в качестве каркаса для воздухоподогревателя подойдет хромоникелевая сталь марки X23N18, стоимость которой составит от 480 000 руб. за тонну.

Дальнейшие расчеты проведены при  $t_{гв} = 325$  °C, так как не стремимся к использованию дорогостоящих конструкционных материалов.

Обычно вращающаяся печь представляет собой стальной барабан, имеющий футеровку из огнеупорного кирпича или бетона, который вращается со скоростью 0,05–2 об/мин. Барабанные печи устанавливаются с небольшим наклоном в направлении движения отходов (рис. 6).

Температуру в печи поддерживают в пределах 900–1400 °C<sup>1</sup>. Для поддержания необходимой температуры в печь подается дополнительное топливо через горелочное устройство.

<sup>1</sup> Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС9–2015 // Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов), 2015. – 258 с.

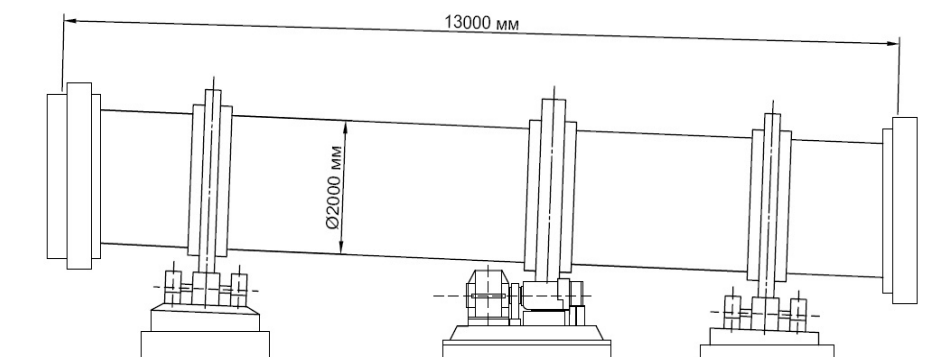


Рис. 6. Вращающаяся печь

При вращении печи отходы перемешиваются, подсушиваются, частично газифицируются и перемещаются в зону горения. Излучение от пламени в этой зоне раскаляет футеровку печи и способствует выгоранию органической части отходов<sup>2</sup>. Привезенные отходы, топливо и окислитель подаются со стороны загрузки, зола (шлак) выгружается с противоположного торца печи в твердом или расплавленном виде.

Нейтрализация хлористого водорода (HCl), образующегося при обезвреживании хлорорганических отходов, осуществляется непосредственно во вращающейся печи путем впрыска соответствующих щелочных или щелочноземельных реагентов.

Следует отметить, что в технологическом отношении барабанные печи с жидким шлакоудалением являются наиболее универсальными термическими реакторами для переработки крупнокусковых отходов переменного состава.

Рабочая камера (печь) оснащена автоматическим опрокидывателем контейнеров и системой загрузки отходов. Опциональный опрокидыватель бункера позволяет подавать отходы непосредственно в сам бункер, не требуя контакта с людьми, что снижает риски загрязнения и травм от острых предметов и других потенциальных опасностей. Подъем опрокидывателя происходит одновременно с открытием крышки бункера при помощи винтовых механизмов. После того как крышка закроется и рабочая камера печи разогреется до температуры 1000 °С, подается сигнал на открытие дверцы (шибера), которая поднимается при помощи установленного привода. Затем включается привод толкателя, и соответственно при помощи цепной передачи пластина толкателя перемещает отходы в инсинератор.

Технический результат, достигаемый таким узлом загрузки, заключается в повышении надежности работы, улучшении ремонтпригодности за

<sup>2</sup> Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС9–2015...

счет использования цепных передач, упрощении конструкции и снижении физической нагрузки оператора.

В разрабатываемом комплексе для полного сжигания применяется добавочное топливо (природный газ) с температурой 20 °С и подводится горячий воздух с температурой 325 °С из воздухоподогревателя во вращающуюся печь. После 1-й ступени сжигания медицинских отходов отходящие газы с температурой 1000 °С попадают в камеру дожигания, где благодаря дополнительному топливу и поступающему из воздухоподогревателя горячему воздуху с температурой 325 °С происходит разложение первичных диоксинов. На выходе из камеры дожигания образуется зольный остаток и отходящие газы с температурой 1200 °С. После процесса дожигания дымовые газы с температурой 1200 °С попадают в воздухоподогреватель, где за счет подачи холодного воздуха при помощи воздуходувки происходит снижение температуры продуктов сгорания примерно до 1050 °С.

Далее уходящие газы проходят через котел-утилизатор, где их температура снижается примерно до 250 °С. В котле-утилизаторе образуется пар под высоким давлением. Он поступает на лопатки паровой турбины, которая вырабатывает механическую энергию, а генератор преобразует ее в электрическую. Отработавший пар направляется в конденсатор, где происходит непрерывный процесс конденсации пара за счет отдачи теплоты парообразования охлаждающей воды, подаваемой циркуляционным насосом. Удельный объем насыщенного пара значительно больше объема воды, и поэтому при конденсации образуется вакуум. Чтобы поддержать создаваемое разрежение, необходимо непрерывно отсасывать воздух при помощи специального воздушного насоса (эжектора). Образующийся конденсат откачивается насосом, а затем поступает в деаэратор. На выходе образуется питательная вода с температурой 150 °С, которая проходит через циркуляционный насос и поступает в котел-утилизатор. Благодаря такой системе можно добиться необходимой энергоэффективности.

На следующем этапе загрязненные газы поступают в испарительный скруббер, где за счет впрыска холодной воды с температурой 20 °С температура снижается до 200 °С. Перед выпуском дымовых газов в атмосферу они проходят через тканевый и угольный фильтры [10]. На выходе очищенные продукты сгорания направляются через дымовую трубу в атмосферу.

Применение такой технологической схемы для высокотемпературного сжигания медицинских отходов позволяет добиться минимального количества выбросов вредных веществ.

#### Библиографический список

1. Якименко В. Утилизация медицинских отходов. Обзорная статья [Электронный ресурс] // ТБО. Обращение с отходами – URL: <https://www.solidwaste.ru/publ/view/391.html> (дата обращения: 18.02.2022).
2. Тельцова Л.З., Гайсин Л.В. Экологическая оценка влияния медицинских отходов на окружающую среду // Молодой ученый. – 2017. – № 18 (152). – С. 129–132.

3. Бирон Е.А. Классификация медицинских отходов // Твердые бытовые отходы. – 2006. – № 12. – С. 45–47.
4. Исмаилов Р.А., Соловьева В.Н. Как сделать рынок медицинских отходов управляемым // Твердые бытовые отходы. – 2022. – № 2(188). – С. 32–37.
5. Нуриева Э.М., Михайлова Л.А., Уточкин Ю.А. Совершенствование системы утилизации медицинских отходов // Научная сессия Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера: Навстречу 100-летию высшего медицинского образования на Урале, Пермь, 13–17 апреля 2015 г. / ПГМУ им. акад. Е.А. Вагнера Минздрава России. – Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2015. – С. 94–96.
6. Карасева Л.А., Пятикоп В.М. Реализация системы сбора и утилизации медицинских отходов как элемент системы профилактики внутрибольничных инфекций // Главврач. – 2014. – № 2. – С. 52–56.
7. Крупнова Т.Г., Машкова И.В., Кострюкова А.М. Селективный сбор отходов как способ реализации законодательных новелл в области обращения с опасными отходами // Наука ЮУрГУ: 67-я науч. конф., Челябинск, 14–17 апреля 2015 г. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 345–349.
8. Иванова Л.В., Власова Е.В. Проблема утилизации биологических отходов на территории Омской области // Экологические чтения – 2019: X Нац. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), посвящ. 25-летию Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина в статусе университета, Омск, 5 июня 2019 г. – Омск: Омск. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина, 2019. – С. 138–141.
9. Фомина Т.О., Ашихмина Т.В., Купrienko П.С. Обезвреживание отходов медицинских учреждений в региональной системе обращения с отходами // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Задачи, технологии и решения комплексной безопасности: сб. ст. по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 28–29 марта 2019 г. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2019. – С. 234–237.
10. Каталог промышленного оборудования «СПИЙС-МОТОР» [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://www.spacemotor.ru/> (дата обращения: 18.02.2022).

## References

1. Iakimenko V. Utilizatsiia meditsinskih otkhodov. Obzornaia stat'ia [Disposal of medical waste. Review article]. *TBO. Obrashchenie s otkhodami*, available at: <https://www.solidwaste.ru/publ/view/391.html> (accessed 18 February 2022).
2. Tel'tsova L.Z., Gaysin L.V. Jekologicheskaja ocenka vlijanija medicinskih otkhodov na okruzhajushhiju sredu [Ecological assessment of the impact of medical waste on the environment]. *Molodoi uchenyi*, 2017, no. 18 (152), pp. 129 – 132.
3. Biron E.A. Klassifikatsiia meditsinskih otkhodov [Classification of medical waste]. *Tverdye bytovyie otkhody*, 2006, no. 12, pp. 45–47.
4. Ismailov R.A., Solov'eva V.N. Kak sdelat' rynek meditsinskih otkhodov upravliaemym [How to make the medical waste market manageable]. *Tverdye bytovyie otkhody*, 2022, no. 2(188), pp. 32–37.
5. Nurieva E.M., Mikhailova L.A., Utochkin Iu.A. Sovershenstvovanie sistemy utilizatsii meditsinskih otkhodov [Improving the system of medical waste disposal]. *Nauchnaia sessiia Permskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta imeni akademika E.A. Vagnera*, Perm, Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, pp. 94–96.
6. Karaseva L.A., Piatikop V.M. Realizatsiia sistemy sbora i utilizatsii meditsinskih otkhodov kak element sistemy profilaktiki vnutribol'nicnykh infektsii [Implementation of the system of collection and disposal of medical waste as an element of the system of prevention of nosocomial infections]. *Glavvrach*, 2014, no. 2, pp. 52–56.
7. Krupnova T.G., Mashkova I.V., Kostriukova A.M. Selektivnyi sbor otkhodov kak sposob realizatsii zakonodatel'nykh novell v oblasti obrashcheniia s opasnymi otkhodami [Selective waste collection as a way to implement legislative innovations in the field of hazardous waste management]. *Nauka Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. 67 nauchnaia konferentsiia*. Cheliabinsk, Izdatel'skii tsentr Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2015, pp. 345–349.
8. Ivanova L.V., Vlasova E.V. Problema utilizatsii biologicheskikh otkhodov na territorii Omskoi oblasti [The problem of biological waste disposal in the Omsk region]. *Ekologicheskie chteniia – 2019. X Natsional'naia nauchno-prakticheskaja konferentsiia*. Omsk, Omskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. P.A. Stolypina, 2019, pp. 138–141.
9. Fominova T.O., Ashikhmina T.V., Kuprienko P.S. Obезvrezhivanie otkhodov meditsinskih uchrezhdenii v regional'noi sisteme obrashcheniia s otkhodami [Waste disposal of medical institutions in the regional waste man-

agement system]. *Kompleksnye problemy tekhnosfer-noi bezopasnosti. Zadachi, tekhnologii i resheniia kompleksnoi bezopasnosti*. Voronezh, Voronezhskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2019, pp. 234-237.

10. Katalog promyshlennogo oborudovaniia «SPEIS-MOTOR» [Catalog of industrial equipment "SPACE-MOTOR"], available at: <https://www.spacemotor.ru/c> (accessed 18 February 2022).

**I. Bernadiner, I. Pysina**

## **DEVELOPMENT OF A COMPLEX FOR HIGH-TEMPERATURE NEUTRALIZATION OF MEDICAL WASTE**

A complex for the disposal of medical waste has been developed. The process of high-temperature disposal of medical waste using a rotary kiln is considered. An analysis of the situation associated with the formation and disposal of medical waste has been carried out. The heat and material balances of the main elements of the complex are calculated: the working chamber of the rotary kiln, the afterburner, and the air heater. Equipment for purification of combustion products from harmful impurities was selected.

**Keywords:** medical waste, COVID-19, SanPiN 2.1.3684-21, class B and V waste, waste collection, process flow diagram, rotary kiln.

**Бернадинер Игорь Михайлович** (Москва, Россия) – доцент кафедры «Инновационные технологии наукоемких отраслей», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, 111250, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: bernadinerim@gmail.com).

**Пысина Полина Игоревна** (Москва, Россия) – студент кафедры «Инновационные технологии наукоемких отраслей», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, 111250, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: polina.pysina@mail.ru).

**Igor Bernadiner** (Moscow, Russian Federation) – Associate Professor of Department of Innovative technologies of high technology industries, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (14, Krasnokazarmennaya str., 111250, Moscow, e-mail: bernadinerim@gmail.com).

**Polina Pysina** (Moscow, Russian Federation) – Student of Department of Innovative technologies of high technology industries, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (14, Krasnokazarmennaya str., 111250, Moscow, e-mail: polina.pysina@mail.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Поступила: 14.03.2021

Одобрена: 18.04.2022

Принята к публикации: 30.08.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Бернадинер, И.М. Разработка комплекса для высокотемпературного обезвреживания медицинских отходов / И.М. Бернадинер, П.И. Пысина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 2. – С. 55–68. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.06

Please cite this article in English as: Bernadiner I., Pysina I. Development of a complex for high-temperature neutralization of medical waste. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 2, pp. 55-68. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.06