

## ПРИЕМ «НАОБОРОТ», ИЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДОМЕННОГО ПИРОЛИЗА

**Р. И. Шаяхмедов**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

Проанализированы основные недостатки современных методов утилизации твердых бытовых отходов. С помощью приема инновационного консалтинга «наоборот» найден способ устранения этих недостатков. Обоснована возможность использования широко известного доменного процесса для переработки твердых бытовых отходов в строительные материалы. Найдена апробированная технология, наиболее соответствующая условиям поставленной задачи. Определен объем необходимой доработки найденной технологии для успешного внедрения в современных условиях.

**Ключевые слова:** утилизация твердых бытовых отходов, прием инновационного консалтинга «наоборот», доменная микрорепеч, топливный газ, электростанция, жидкий шлак, шлакоситалл, литые шлакоситалльные изделия.

## THE RECIPE FOR "VICE VERSA", OR THE USE OF SOLID WASTE AS RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS BY PYROLYSIS IN BLAST FURNACE

**R. I. Shajahmedov**

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering*

Analyzed the main shortcomings of modern methods of disposing of solid waste. Using the innovative reception consulting "vice versa" found a way to address these shortcomings. Justified by the possibility of using a well-known domain process for processing of solid domestic wastes in building materials. Found a tested technology the most relevant conditions. Defines the scope of necessary refinement for the successful implementation of the technology found in modern conditions

**Keywords:** solid waste disposal, recipe for innovation consulting "vice versa", a small blast furnace, fuel gas, power plant, liquid slag, shlakositall, cast shlakositall products.

Современные способы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) основаны на:

- разделении гетерогенной смеси (ТБО) на горючие и негорючие компоненты;
- сжигание горючих компонент.

**На первом направлении** основная сложность состоит в отделении основного негорючего компонента – воды (влажность ТБО составляет 50–60 %). Поскольку вода находится в ТБО в связанном виде (пищевые отходы), отделить ее можно только вместе с ними. Например, на всех кухнях жилых квартир и предприятий общественного питания установить в мойках волчок, дробящий

пищевые отходы и отправляющий их вместе с потоком воды в канализацию. Вместе с водой уйдет и значительное количество органики, загрязняя азотом и фосфором сточные воды.

**На втором направлении** сложность состоит в том, что отделение минеральных негорючих компонент затруднено. Они не имеют, в отличие от металлов, магнитных свойств и поэтому, минуя магнитные и диамагнитные сепараторы, попадают в топку, затрудняя сжигание. При этом образуется большое количество пиротоксинов и золы. То есть одни отходы заменяются другими, более опасными (рис. 1).



Рис. 1. Мусоросжигательный завод в Подмоскowie

Чтобы устранить данные недостатки, воспользуемся приемом инновационного консалтинга под названием «наоборот» [1]. Для этого утилизацию необходимо организовать на прямо противоположных принципах:

- вместо сжигания (окисления ТБО) проводить восстановление;
- вместо разделения гетерогенной смеси обогащать ее восстановителем.

Что может являться восстановителем для самой крупной фракции – воды? В XIX столетии в Великобритании были сотни газовых заводов – и ни одной газовой скважины [2]. Газ получали путем обработки каменного угля водяным паром, в результате чего образовывался горючий газ, используемый в основном для уличного освещения. То есть ТБО необходимо сначала обогатить каменным углем. Например, добавить угольную крошку.

Но вода у нас в ТБО связанная, а не в виде пара. Как превратить ее в пар? А что, если на раскаленный металл, как на жаровню, сверху подавать уголь и ТБО? Вода, содержащаяся в ТБО, вскипит и прореагирует с углем, выделив горючий газ. А что будет с органикой? Она состоит из высокомолекулярных соединений и не испарится, подобно воде. Ее можно разложить, но для этого температуру металла (жаровни) необходимо будет повысить примерно до 400 °С.

А что будет с минералами, содержащимся в ТБО (например, стеклом)? При температуре 400 °С они будут накапливаться в виде осадка, мешающего проведению реакции восстановления. Что же нужно сделать, чтобы этого не происходило? Повысить температуру до температуры плавления минеральных компонент, то есть превращения их в жидкий шлак (1600–1800 °С). То есть металлическая «жаровня» у нас исчезла, уступив место расплавленному камню.

Часть металлических окислов при этом в присутствии угля превратится в расплавленный металл и впитает в себя расплавленные металлические фрагменты, оставшиеся после магнитного и диамагнитного сепараторов.

Интересная у нас получилась установка:

- в самом низу – жидкий металл;
- над ним – слой жидкого шлака;
- сверху загружается смесь угля и ТБО.

Уголь восстанавливает:

- воду до горючего газа;
- минеральные компоненты до жидкого шлака;
- окислы металла до жидкого металла.

В условиях высокой температуры (жидкий шлак) сложная органика разлагается до про-

стейших органических соединений, обогащающих горючий газ.

Ничего не напоминает? Да это же доменный процесс, открытый несколько тысячелетий тому назад! Только служит он теперь получению не жидкого металла из руды, а горючего газа и жидкого камня (шлака) из ТБО.

Неужели в славном прошлом, когда создавались сотни новых технологий, никто не додумался до этого? Додумался. На базе широко известного доменного процесса специалистами «Укрнтех» (г. Донецк) была создана подобная технология [3]. Ее базовые принципы эффективно устраняли недостатки классических методов пиролиза:

- проблема поддержания высокой температуры (1658–1700 °С) в зоне плавления шлаковых компонентов успешно решалась применением стабилизирующего электронагрева;

- загрязнение пиролизного газа на выходе из реактора токсичными углеводородами, соединениями тяжелых металлов, диоксиноподобными веществами исключалось за счет высокотемпературной (1700–1800 °С) обработки газа в восстановительной атмосфере с выпуском конечных продуктов из реактора без контакта и исходными компонентами.

Схема процесса представлена на рис. 2. ТБО в поддоне (1) подается автопогрузчиком (2) в скиповый подъемник (3), который подает ТБО в бункер с питателем (4) доменной микроречи (ДМП).

В ДМП (5) ТБО, попадая в расплавленный шлак, возгоняются, при этом полученные технологические газы (6) частично подаются вместе со сжатым воздухом (7) на сжигание, а частично – в терморектор (8). Там они взаимодействуют с известью и углем, подаваемым через загрузочное устройство (9). Эти реагенты обеспечивают восстановительную атмосферу и препятствуют образованию диоксинов, а также стабилизируют состав выходящего из установки топливного газа (10).

Жидкий шлак (11) периодически выпускается из печи и идет на производство строительных изделий. ДМП снабжается электродами (12) для стабилизации тепловых режимов при колебании состава сырья.

Итак, технология была не только создана, но и апробирована на практике. Почему она не получила распространения? Основная причина – дешевизна топливно-энергетических ресурсов и строительных материалов, которые в то время получали традиционными способами.

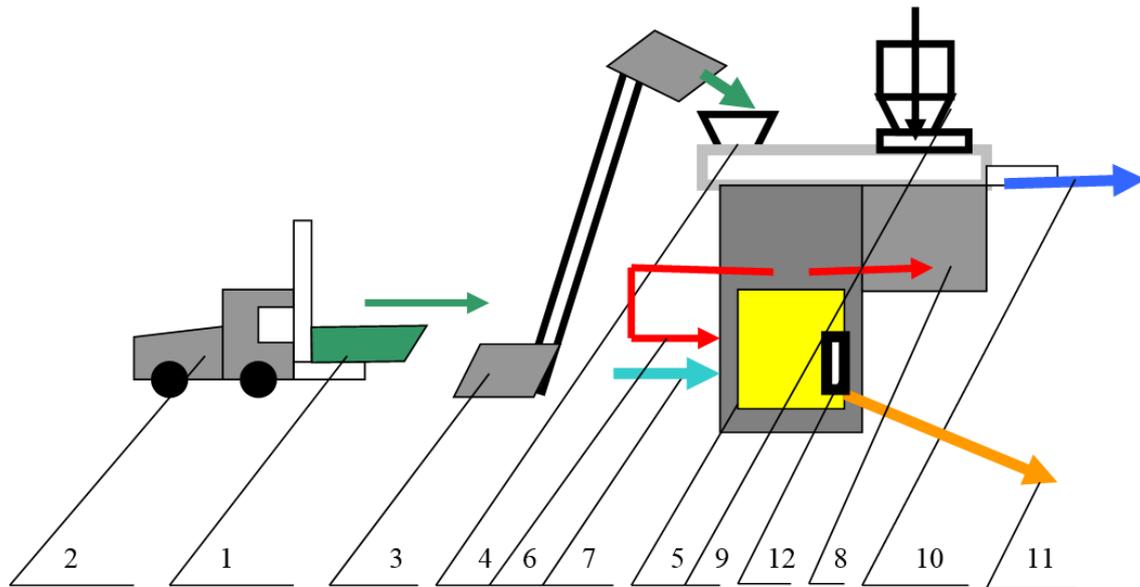


Рис. 2. Схема процесса высокотемпературного пиролиза

Использовать полученные продукты предполагалось следующим образом:

- горючий газ направлялся на электростанцию (которая не испытывала недостатка в дешевом природном газе), при этом часть вырабатываемой электроэнергии использовалась для поддержания необходимой температуры расплавленного металла и шлака в ДМП;
- жидкий камень (шлак) гранулировался и использовался в качестве минерального наполнителя при строительстве дорог.

Чтобы избежать для найденной технологии повторения печальной судьбы предшественницы, необходимо из жидкого шлака сделать

продукт с высокой рыночной стоимостью. Например, его после соответствующей обработки можно будет использовать для производства строительных материалов – изделий из шлакоситалла [4].

Для этого предлагается ДМП дополнить стекловаренной печью (СВП) и установкой по производству литых шлакоситалльных изделий (ЛШСИ). В СВП (см. рис. 3) пиролизный шлак (ПШ) будет доводиться до кондиции шлакового стекла. Учитывая состав ТБО (стеклобой) и обогатителей (уголь, известь), объем добавок в ПШ при варке пеностекла будет небольшим.



Рис. 3. Печь для варки шлакостекла

Изделия из шлакоситаллов известны давно [5]. Они обладают:

- высокой прочностью (см. табл. 1);
- большой абразивной и химической стойкостью;
- высокой водостойкостью;
- широкой цветовой гаммой.

Однако их недостатком, как и у всех стеклоподобных изделий, является потребность в отжиге для снятия термических напряжений. И чем толще изделие (см. рис. 4) и сложнее его форма, тем эта потребность выше. Поэтому в настоящее время получают преимущественно листовую шлакоситалл методом непрерывного проката [4]. Листовая форма определила и основную номенклатуру – облицовочные плиты. При этом уникальные механические свойства шлакоситаллов редко используются в несущих конструкциях.

Таблица 1

Физико-механические свойства шлакоситалла

| Показатели  | Серый                     | Белый                      |
|---|---------------------------|----------------------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>  | 2600–2750                 | 2600–2700                  |
| Предел прочности при сжатии, МПа  | 500–600                   | 450–550                    |
| Предел прочности при изгибе, МПа  | 80–120                    | 65–100                     |
| Модуль упругости, МПа   | (0,9–1,1) 10 <sup>5</sup> | (0,76–0,9) 10 <sup>5</sup> |
| Микротвердость, МПа   | 6500–7500                 | 6000–8000                  |
| Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>                               | 2,8–4,0                   | 3,0–3,5                    |
| Потери массы при истирании, кг/м <sup>2</sup>                               | 0,15–0,3                  | 0,3–0,6                    |
| Кислотостойкость в минеральной кислоте, % (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | 99,15–99,98               | 99,1–99,9                  |
| Щелочестойкость в 35%-ном NaOH, %   | 73–82                     | 80–85                      |
| Водопоглощение, %   | 0                         | 0                          |



Рис. 4. Вылив ситалла из изложницы при производстве литого изделия

Налицо противоречие:

- для того чтобы реализовать свои механические свойства, шлакоситалл должен быть толстым;
- для того чтобы при получении этого материала в нем возникало меньше термических напряжений, он должен быть тонким.

Решим его с помощью приема инновационного консалтинга, именуемого «прием тонких пленок». Для этого получаемое стекло направим в установку ЛШСИ, где из этой массы будут производиться строительные изделия при помощи метода послойного литья и кристаллизации (см. рис. 5).

При этом методе на опалубку (1) арочной формы послойно наносятся порции шлакового стекла (ШС) (2), которое, стекая вниз, будет

застывать в тонкой пленке (3) без термоусадочных раковин и термических напряжений.

При этом размер порции должен быть таким, чтобы при достижении жидким ШС подножия опалубки оно все застывало, превращаясь в массу кристаллов, соединенную аморфным стеклом, – шлакоситалл. Застывание и кристаллизация в тонком слое позволят обойтись без последующего отжига.

Опалубку можно изготавливать из металлической сетки, листов металла. На инвентарную опалубку может предварительно наноситься слой огнеупорной глины. ШС будет разливаться с помощью изложницы (4), перемещаемой мостовым литейным краном (5) над арочной опалубкой (1). При этом кран (см. рис. 6) может заправлять изложницу ШС непосредственно из СВП.

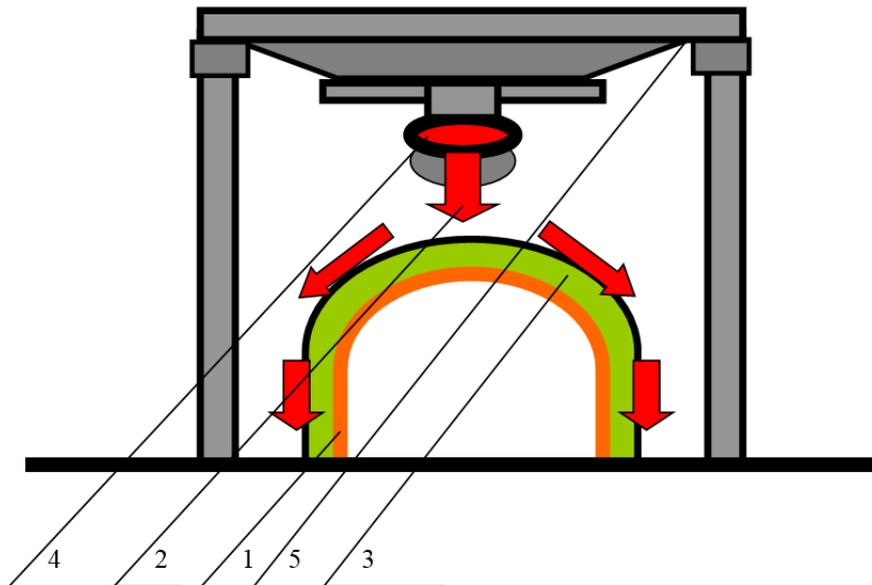


Рис. 5. Схема производства изделий из шлакоситалла



Рис. 6. Литейный кран заправляет изложницу

Для мгновенной кристаллизации каждого слоя в момент достижения ШС подножия опалубки каждый очередной слой будет обдуваться воздухом, содержащим порошок кристаллизатора. Катализатором могут служить сульфиды, фториды, окислы металлов и комбинации этих соединений [5]. Учитывая большое теплосодержание жидкого ШС, обдув может проводиться с использованием не только порошка кристаллизатора, но и молотого ШС или металлического порошка. Второй вариант интересен тем, что на выходе получится разновидность металлокерамики.

После нанесения последнего слоя получим арочное перекрытие из шлакоситалла, то есть изделие сложного профиля. В отличие от балки, которая испытывает нормальное механическое напряжение, арка испытывает касательное механическое напряжение, из-за чего возникает горизонтальная опорная реакция (распор). Под вертикальной нагрузкой арка работает в большей степени на сжатие и в меньшей степени на изгиб. То есть мы получили несущий конструктивный элемент, наиболее полно использующий свойства шлакоситалла (см. табл. 1).

Комплексы ДМП-ЛШСИ будут создаваться при существующих котельных и ТЭС, работающих на природном газе. То есть у последних появится реальная альтернатива топливообеспечения.

При этом новый вид топлива не будет иметь недостатков, свойственных каменному углю, а предприятия, его использующие, будут иметь конкурентные преимущества перед ТЭС и котельными, работающими на природном газе:

- вместо двух видов продукции (тепло, электроэнергия) будет производиться четыре (тепло, электроэнергия, обезвреживание отходов, производство строительных изделий);
- в часы минимальной нагрузки (ночь) большую часть производимой энергии можно направить на внутренне потребление, то есть комплекс ДМП-ЛШСИ может работать на сырье худшего качества (строительный и промышленный мусор с большей зольностью).

Комплекс ДМП-ЛШСИ всеяден. В частности, в качестве исходного сырья помимо ТБО он может использовать растительную биомассу (РБ), создаваемую растениями в процессе фотосинтеза. В РФ имеются следующие источники РБ:

- леса и торфяные болота (занимают в РФ 700 млн га) – 7 млрд т ежегодно;
- сельскохозяйственные растения (занимают в РФ 100 млн га) – 2 млрд т ежегодно;

- отходы промышленности (все города РФ и поселки городского типа) – 7 млрд т ежегодно. (Ср.: твердые бытовые отходы всех городов РФ – 36 млн т ежегодно.)

Затраты по заготовке (добыче и транспортировке) этого вида топлива могут быть отнесены на другие виды деятельности:

- лесная РБ – побочный продукт при заготовке деловой древесины;
- РБ из продукции сельского хозяйства – побочный продукт процесса заготовки и переработки сельскохозяйственного сырья;
- РБ из отходов промышленности – побочный продукт процесса удаления, обезвреживания, захоронения и утилизации отходов.

Широкое внедрение комплексов ДМП-ЛШСИ может происходить двумя путями:

- обязательное оборудование электростанций и котельных этими комплексами как условие их приватизации (принцип обремененной собственности);
- создание комплексов «Газотурбинная установка – ДМП – ЛШСИ».

Второй вариант интересен тем, что:

- выхлопные газы газотурбинной установки, работающей на природном газе, могут использоваться в ДМП и СВП вместо воздуха (температура 450 °С и 18 % кислорода);
- ТГ ДМП используются в качестве топлива в СВП.

#### Список литературы

1. Шаяхмедов Р. И. Алгоритм очищения // Техника – молодежи. 2003. № 7. С. 21–22.
2. Получение синтез-газа. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5832448/page/2/>
3. Шаяхмедов Р. И., Токунов С. В. Создание конкурентной среды на внутреннем рынке ПГ РФ без разделения ОАО «Газпром» // Разведка и освоение НГКМ. Научные труды АНИПИгаза. 2004. № 6. С. 260–263.
4. Ситаллы и шлакоситаллы. Литые каменные изделия. URL: <http://tehlib.com/stroitel-ny-e-materialy/sitally-i-shlakositally-e-kamenny>
5. Шлакоситалл. Научно-техническая технология производства строительных материалов нового поколения на основе использования шлаков-отходов доменного и металлургического производств. URL: <http://ukrglass.ru/page1/shlakositall>

© Р. И. Шаяхмедов

#### Ссылка для цитирования:

Шаяхмедов Р. И. Прием «наоборот», или Использование твердых бытовых отходов в качестве сырья для производства строительных материалов методом доменного пиролиза // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. № 3 (21). С. 25–30.

УДК 621.873.2

## ПРОЧНОСТЬ БАШЕННОГО КРАНА КБМ-401П ПРИ ВЕТРОВом ВОЗДЕЙСТВИИ

**А. В. Синельщиков, А. И. Джалмухамбетов**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

Башенные краны широко используются при строительстве, но при этом наиболее часто подвергаются авариям. Одной из внешних опасностей, действующих на башенный кран, является ветровое воздействие. В статье проведен расчет на прочность башенного крана КБМ-401П при его эксплуатации в III ветровом районе, при скорости ветра рабочего состояния, превышающей паспортное значение. В качестве метода аппроксимации несущих конструкций башенного крана использовался метод конечных элементов. Приведены параметры напряженного деформированного состояния крана. По результатам расчета на прочность башенный кран КБМ-401П удовлетворяет критерию прочности.

**Ключевые слова:** башенный кран КБМ-401П, прочность, метод конечных элементов, расчетная модель.