

Фундаментальная и прикладная химия, химическая технология

УДК 631.12:66.912

Доцент Е.В. Складнев, ассистент М.Ю. Балабанова,
магистрант Игнатьева Н.Н.

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов химических производств
тел.(473)249-91-13

E-mail: kafedra-mahp@mail.ru, sklyadnev_ev@mail.ru, mariya_balabanova@mail.ru

Associate Professor E.V. Sklyadnev, assistant M.Y. Balabanova,
Undergraduate Ignatyeva N.N.

(Voronezh, Russia. state Universitying. technology.) Department of machines and apparatus
of chemical processes. phone (473) 249-91-13,

E-mail: kafedra-mahp@mail.ru, sklyadnev_ev@mail.ru, mariya_balabanova@mail.ru

Комплексная переработка целлюлозосодержащих отходов птицефабрик и сахарного производства

Complex processing of cellulose waste from poultry and sugar production

Реферат. Для решения проблемы утилизации огромных объемов целлюлозосодержащих отходов сахарного производства в виде жома свекловичного и отходов птицефабрик в виде птичьего помета предлагается использовать совместное применение двух термических методов переработки отходов – пиролиза и газификации. Возможность применения пиролиза применительно к рассматриваемым отходам подтверждена результатами экспериментальных исследований. На основании результатов лабораторных исследований свойств вторичных продуктов, получаемых в результате термической переработки исходного сырья, предлагается комплексная переработка с целью получения полезных продуктов, подлежащих реализации в виде товарной продукции, и организации собственного энергообеспечения процесса утилизации. Разработанная технологическая схема установки для комплексной переработки указанных отходов включает 3 участка, на которых последовательно осуществляются: пиролизное разложение исходного сырья с получением вторичных продуктов в виде твердых, жидких и газовых фракций, газификация твердых фракций с получением горючего газа и разделение жидких фракций путем ректификации с получением ценных продуктов. Основным оборудованием на первом участке являются пиролизный реактор и каскад конденсаторов, на втором участке – газификаторы слоевого и поточного типов, на третьем – одна или несколько ректификационных колонн с необходимой обвязкой. Собственное энергообеспечение установки организуется путем использования тепла, получаемого при сжигании синтез-газа, для отопления реактора и газификаторов, входящих в состав установки. Для разработанной схемы приведены расчеты теплового баланса установки, подтверждающие энергетическую эффективность предлагаемого процесса утилизации. Разработки проводились в рамках реализации проекта победителя Конкурса премий Молодежного правительства Воронежской области по поддержке молодежных программ в 2014-2015 гг.

Summary. To solve the problem of disposing of huge volumes of cellulose waste from sugar production in the form of beet pulp and waste of poultry farms in the form of poultry manure is proposed to use the joint use of two methods of thermal processing of waste - pyrolysis and gasification. The possibility of using pyrolysis applied to the waste are confirmed by experimental results. Based on the results of laboratory studies of the properties of by-products resulting from the thermal processing of the feedstock, it is proposed complex processing to produce useful products, to be implemented in the form of marketable products, and the organization's own process energy utilization. Developed flow diagram of an integrated processing said waste comprises 3 sections, which successively carried out: pyrolytic decomposition of the feedstock to obtain a secondary product in the form of solid, liquid and gas fractions, the gasification of solids to obtain combustible gas and separating the liquid fraction by distillation to obtain valuable products. The main equipment in the first region is the pyrolysis reactor cascade condensers; the second section - gasifiers layers and stream type; the third - one or more distillation columns with the necessary strapping. Proper power supply installation is organized by the use of the heat produced during combustion of the synthesis gas for heating and gasification reactor. For the developed scheme presents calculations of the heat balance of the installation, supporting the energy efficiency of the proposed disposal process. Developments carried out in the framework of the project the winner of the Youth Prize Competition Government of Voronezh region to support youth programs in the 2014-2015.

Ключевые слова: пиролиз, газификация, утилизация, переработка, целлюлозосодержащие отходы.

Keywords: pyrolysis, gasification, waste recycling, cellulose waste.

© Складнев Е.В., Балабанова М.Ю.,
Игнатьева Н.Н., 2015

Решение проблемы утилизации огромных объемов целлюлозосодержащих отходов сахарного производства (жома свекловичного) и птицефабрик (птичьего помета) требует применения методов, которые в короткие сроки позволили бы осуществить переработку с получением полезных вторичных продуктов. Одним из вариантов является совместное применение термических методов переработки отходов – пиролиза и газификации, позволяющих провести переработку с максимальным использованием образующихся в процессе утилизации вторичных продуктов [1].

Исследования процесса химико-термической переработки (пиролиза) указанных отходов в интервале температур 450...550 °С проводились на лабораторной установке, включающей горизонтальный реактор со шнековым питателем и ворошителем, оснащенный электронагревателем, и систему охлаждения пирогаза, состоящую из двух конденсаторов с водяным охлаждением. В результате экспериментов установлена возможность получения вторичных продуктов в виде жидкой, газовой и твердой фракций, а также проведены исследования составов и свойств полученных продуктов с выработкой рекомендаций по их последующему применению [2]. В частности, твердые фракции возможно использовать в качестве сырья для процесса газификации с целью получения горючего синтез-газа [3], а жидкие – подвергать разделению с целью получения полезных компонентов [4,5].

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования на лабораторной установке газификации с целью установления зависимостей выходов полезных продуктов от условий проведения процесса переработки углеродсодержащего сырья.

На основании проведенного аналитического обзора и результатов экспериментальных исследований разработана технологическая схема установки для комплексной переработки целлюлозосодержащих отходов (рисунок 1).

Установку можно условно разделить на три участка:

- участок химико-термической переработки (пиролиза) исходного сырья;
- участок газификации твердых фракций, полученных в результате переработки исходного сырья;
- участок разделения жидких фракций, полученных в результате переработки исходного сырья.

Согласно представленной схеме процесс утилизации отходов протекает следующим образом.

На участке химико-термической переработки исходное влажное целлюлозосодержащее сырье поступает в шнековый пресс-сепаратор ПС, где происходит отжим избыточной влаги из сырья. Из пресс-сепаратора органическое сырье поступает в бункер Б, откуда посредством дозирующего шнека загружается в бункер питателя реактора Р. В реакторе сырье подвергается ворошению с целью улучшения подвода теплоты. Температура внутри реактора поддерживается на уровне 400...550 °С.

Образующаяся в реакторе парогазовая смесь отбирается и направляется в фильтр-циклон ФЦ1, где происходит очистка от твердых примесей. Из фильтр-циклона парогазовая смесь поступает в двухступенчатую систему конденсации, в которой в первом по ходу движения парогазовой смеси конденсаторе КД1 конденсируются преимущественно углеводородные пары смеси с температурой кипения выше 120 °С. Из первого аппарата парогазовая смесь, освободившаяся от высококипящих жидких фракций, поступает во второй конденсатор КД2, в котором конденсируется оставшаяся паровая конденсируемая часть смеси, включая пары воды, так как температура газовой смеси на выходе из второго конденсатора не превышает 75 °С.

Неконденсируемая часть пирогаза – газовое топливо, выходит из второго конденсатора и направляется в осушитель, где в процессе адсорбции пирогаз полностью освобождается от влаги. Осушенный пирогаз поступает в комбинированную топку Т, где сжигается, образуя дымовые газы, которые выходят из топки и поступают в рубашку реактора Р. Из рубашки реактора дымовые газы, отдав свою избыточную теплоту стенке реактора, удаляются в атмосферу. При необходимости возможно организовать дополнительную доочистку дымовых газов от загрязняющих компонентов.

На участок газификации подаются предварительно накопленные в сборнике твердые остатки из реактора Р с последующим измельчением в барабанной шаровой мельнице БМ, после чего поступают на вибросито для фракционирования, целью которого является получение двух фракций твердого с размерами частиц более и менее 160 мкм.

После разделения фракция с размером частиц менее 160 мкм подается в емкость, а затем в смеситель ММ, в который из емкости поступает сточная вода, образующаяся на предприятии, отходы которого подлежат утилизации. При отсутствии сточных вод в емкость может подаваться техническая вода с добавлением небольшого количества ПАВ для стабилизации суспензии. После перемешивания суспензия с

помощью насоса подается в газификатор струйного типа Г1, где при температуре 1200 °С происходит образование синтез-газа.

Фракция с размером частиц более 160 мкм поступает в загрузочную емкость, откуда подается в слоевой газификатор Г2. В газификаторе при температуре около 1000 °С из полученного топлива происходит образование синтез-газа.

В качестве кислородсодержащего агента для подачи в газификаторы целесообразно использовать атмосферный воздух либо водяной пар, получение которого возможно реализовать на стадии охлаждения синтез-газа. Твердый

остаток после процесса газификации из аппаратов Г1 и Г2 поступает в сборники.

Полученный синтез-газ с температурой около 850 °С направляется в фильтр-циклон ФЦ2 для очистки от мелкодисперсных частиц.

Очищенный от частиц пыли синтез-газ подается в теплообменник первой ступени Т4, где происходит снижение температуры до 500 °С, а затем в теплообменник второй ступени Т5 для охлаждения до 200 °С. Нагретая охлаждающая жидкость из теплообменников поступает на охлаждение в воздушный холодильник Х, обдуваемый атмосферным воздухом.

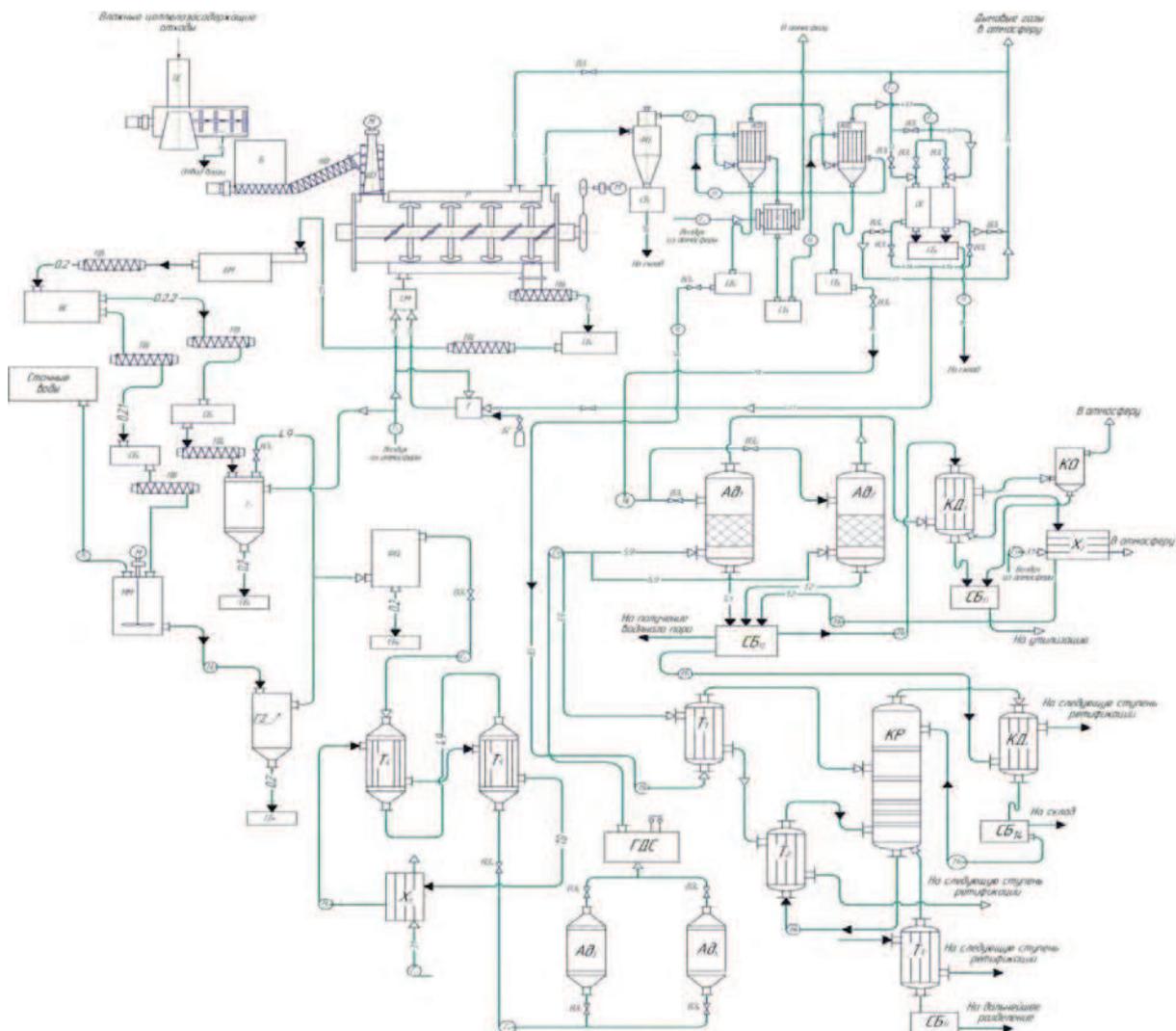


Рисунок 1. Технологическая схема установки для реализации процесса комплексной переработки целлюлозосодержащих отходов

Охлажденный синтез-газ поступает на осушку в адсорбер Ад3. Для возможности замены отработанного сорбента в линии предусмотрен резервный адсорбер Ад4. Очищенный газ направляется на газодизельную станцию для выработки электроэнергии.

На участок разделения жидких фракций подаются жидкости, образующиеся в конденсаторах

КД1 и КД2, предварительно накопленные в сборниках.

Из фракции пирогаза, сконденсированной при температуре менее 120 °С, возможно выделить техническую воду и органические примеси. Для этого из емкости жидкость насосом подается в адсорбер Ад1, в котором, проходя через слой загрузки, она очищается от

содержащихся органических примесей. После истощения сорбционной емкости загрузки в адсорбере подача жидкости переключается на адсорбер Ад2. В процессе работы первого адсорбера во второй подаются дымовые газы с газодизельной электростанции для осуществления регенерации сорбента путем испарения сорбированных органических компонентов. Аналогичный процесс протекает при истощении сорбционной емкости сорбента во втором адсорбере.

Дымовые газы с парами воды и органических компонентов из адсорберов Ад1 и Ад2 поступают в конденсатор КДЗ, из которого отводятся сконденсированные пары воды и органических компонентов в емкость и отбираются из нее на последующую утилизацию. Очищенные дымовые газы, пройдя через каплеотбойник КО, выбрасываются в атмосферу.

Пиролизная жидкость с температурой конденсации больше 120 °С (с первой ступени конденсации пирогаза) содержит ряд органических компонентов (большую часть из которых составляют фенолы – 30 % и нафталин – 5 %) и подвергается разделению на ректификационной колонне. Процесс разделения протекает следующим образом.

Исходная жидкость с первой ступени конденсации пирогаза из емкости насосом подается в теплообменник Т1 для подогрева и подачи на разделение в колонну КР. Циркуляция кубового

остатка в колонне осуществляется через выносной теплообменник Т2, отвод кубового остатка осуществляется в емкость. Конденсация паров фенолов осуществляется в конденсаторе КД4 с частичным возвратом на орошение в колонну и отводом части продукции на склад для последующей реализации потребителю. При необходимости возможно организовать последующее ступенчатое разделение жидкой фракции.

Рассматриваемая схема переработки отходов является полностью энергетически независимой от сторонних источников энергии при установившемся режиме работы установки. Пиролизный реактор и газификаторы работают на полном собственном энергообеспечении за исключением необходимости подачи природного газа (или запасов синтез-газа, выработанного ранее) на горелки аппаратов в пусковой период. Тепловой баланс установки для утилизации целлюлозосодержащих отходов представлен в таблице 1. Согласно результатам проведенных расчетов общий тепловой баланс установки является положительным.

Исследования и разработки проводились в рамках реализации проекта победителя Конкурса премий Молодежного правительства Воронежской области по поддержке молодежных программ в 2014-2015 гг.

Т а б л и ц а 1

Тепловой баланс установки для комплексной утилизации целлюлозосодержащих отходов

№ п/п	Наименование оборудования	Расход теплоты, МДж	
		-	+
I. Участок химико-термической переработки			
1	Реактор	5202,5	-
2	Конденсатор первой ступени	-	508,5
3	Конденсатор второй ступени	-	189,8
3	Холодильник воздушный	-	125,8
4	Топка	-	727,3
Итого +/-		- 3651,1	
II. Участок газификации твердых фракций			
5	Газификатор	253,9	-
6	Газификатор струйного типа	609,9	-
7	Теплообменник первой ступени охлаждения	-	1436,7
8	Теплообменник второй ступени охлаждения	-	1347,02
9	Холодильник	-	2783,7
10	ГДС	-	16968,3
Итого +/-		+21671,92	
III. Участок ректификации жидкой фракции			
11	Подогреватель исходной смеси	0,161	-
12	Охладитель кубового остатка	-	0,07
13	Кипятильник	0,75	-
14	Конденсатор-дефлегматор	-	0,843
15	Охладитель дистиллята	-	0,102
16	Конденсатор органических примесей	-	8287,2
17	Холодильник	-	14931,8
Итого +/-		+23219,104	

ЛИТЕРАТУРА

1 Бахонина Е.И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов. Сообщение 1. Термические методы утилизации обезвреживания углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал. 2015. Т. 22. № 1. С. 20.

2 Складнев Е.В., Балабанова М.Ю. Исследование процесса получения вторичных продуктов при термической переработке целлюлозосодержащих отходов // Материалы I Международной конференции «Актуальные проблемы науки XXI века». М.: Международная исследовательская организация «Cognitio», 2015. С. 141-142.

3 Балабанова М.Ю., Складнев Е.В., Панов С.Ю. Утилизация твердых углеводородсодержащих фракций после термической переработки целлюлозосодержащих отходов путем газификации // Материалы 5-й международной научно-технической конференции «Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства» (Омск, 25-30 апреля 2015 г.). Омск: Изд-во ИНТЕХ, 2015. С. 178.

4 Hyeon Su Heo, Sang Guk Kim Catalytic upgrading of oil fractions separated from food waste leachate // Bioresource Technology 102. 2011. P. 3952–3957.

5 Kim S.G. System for separation of oil and sludge from food waste leachate. Korea Patent 10-2010-0053719.

REFERENCES

1 Bakonina E.I. Modern processing technology and utilization of hydrocarbon waste. Report 1. Thermal methods of disposal of hydrocarbon waste disposal. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*. [Bashkir Chemistry journal], 2015, vol. 22, no. 1, pp. 20. (In Russ.).

2 Sklyadnev E.V., Balabanova M.Yu. Study the process of obtaining secondary products during thermal processing of cellulose waste. Aktual'nye problem nauki XXI veka [Proceedings of the I International conference "Actual problems of science of the XXI century"]. Moscow, Cognitio, 2015. pp 141-142. (In Russ.).

3 Balabanova M.Yu., Sklyadnev E.V., Panov S.Yu. Disposal of solid carbonaceous fractions after thermal processing cellulose-containing waste by gasification. Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva [Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Engineering and technology petrochemical and oil and gas production" (Omsk, April 25-30, 2015)]. Omsk, INTEKh, 2015. 178 pp. (In Russ.).

4 Hyeon Su Heo, Sang Guk Kim Catalytic upgrading of oil fractions separated from food waste leachate. Bioresource Technology 102, 2011, pp. 3952–3957.

5 Kim S.G. System for separation of oil and sludge from food waste leachate. Korea Patent 10-2010-0053719.