



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2020, ТОМ 16, НОМЕР 4, 197–207

УДК 628.475.7 + 62-932.4+62-963+62-97/-98

ОБОСНОВАНИЕ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА АВТОТРАКТОРНЫХ ШИН

Ю. А. Новичков, А. В. Кравченко

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: y.a.novichkov@donnasa.ru*

Получена 02 ноября 2020; принята 27 ноября 2020.

Аннотация. В работе рассматривается вопрос повышения эффективности технологической линии переработки жидких продуктов пиролиза автотракторных шин с целью получения качественных вторичных продуктов в виде печного топлива. Проведен анализ состава технологического оборудования, необходимого для функционирования перспективной технологической линии. В соответствии с требованиями соблюдения технологии переработки автотракторных шин, а также для обеспечения надежности и механизации производства определены технические параметры смесительного аппарата. Разработан модуль расчета показателей материального баланса технологической линии, получены зависимости объемов потребностей жидких продуктов от производительности и типа пиролизного реактора. Установлено, что для создания промышленной и экологической безопасности при эксплуатации технологического комплекса предложенную технологическую схему необходимо дополнить промежуточной емкостью для хранения смолы-сырца.

Ключевые слова: автотракторные шины, переработка, пиролиз, печное топливо, мешалка, смесительный аппарат, расчетный модуль.

ОБҐРУНТУВАННЯ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ПІРОЛІЗУ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН

Ю. О. Новічков, А. В. Кравченко

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: y.a.novichkov@donnasa.ru*

Отримана 02 ноября 2020; прийнята 27 ноября 2020.

Анотация. У роботі розглянуто питання підвищення ефективності технологічної лінії переробки рідких продуктів піролізу автотракторних шин з метою отримання якісних вторинних продуктів у вигляді пічного палива. Проведено аналіз складу технологічного обладнання, необхідного для функціонування перспективної технологічної лінії. Відповідно до вимог дотримання технології переробки автотракторних шин, а також для забезпечення надійності та механізації виробництва визначені технічні параметри змішувального апарата. Розроблено модуль розрахунку показників матеріального балансу технологічної лінії, отримані залежності об'ємів потреб рідких продуктів від продуктивності і типу піролізного реактора. Встановлено, що для створення промислової та екологічної безпеки при експлуатації технологічного комплексу запропоновану технологічну схему необхідно доповнити проміжною ємністю для зберігання смоли-сырцю.

Ключові слова: автотракторні шини, переробка, піроліз, пічне паливо, мішалка, змішувальний апарат, розрахунковий модуль.

JUSTIFICATION OF HARDWARE FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF PROCESSING LIQUID PYROLYSIS PRODUCTS OF AUTOMOTIVE TIRES

Yurii Novichkov, Artem Kravchenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: y.a.novichkov@donnasa.ru

Received 02 November 2020; accepted 27 November 2020.

Abstract. The paper considers the issue of improving the efficiency of the technological line for processing liquid pyrolysis products of motor-vehicle and tractor tires in order to obtain high-quality secondary products in the form of furnace fuel. The analysis of the composition of the technological equipment necessary for the operation of a promising technological line is carried out. In accordance with the requirements of compliance with the technology of processing motor-vehicle and tractor tires, as well as to ensure the reliability and mechanization of production, the technical parameters of the mixing apparatus are determined. A module for calculating the material balance indicators of the production line has been developed, and the dependences of the volume of liquid product requirements on the performance and type of pyrolysis reactor have been obtained. It is established that in order to create industrial and environmental safety during the operation of the technological complex, the proposed technological scheme must be supplemented with an intermediate storage tank for raw-resin.

Keywords: automotive tires, processing, pyrolysis, furnace fuel, mixer, mixing apparatus, calculation module.

Формулировка проблемы

Переработка вышедших из эксплуатации авто-тракторных шин является неотъемлемой частью экологической и ресурсосберегающей политики многих государств. В частности в Российской Федерации изношенные и отбракованные шины, покрышки, камеры и другие резинотехнические изделия признаны отходами IV-й категории опасности, подлежат сбору и дальнейшей утилизации (Приказ МПР России от 30 июля 2003 г. № 663 «О внесении дополнений в федеральный классификационный каталог отходов»). В мировой практике существует ряд способов обращения с данным видом отходов, среди которых весомую позицию занимает низкотемпературный пиролиз [1–4]. Технология получения вторичных продуктов пиролиза шин, как жидких, так и твердых, требует продолжения научных изысканий с целью достижения высокого качества вторичного сырья и поиска наиболее выгодных путей его применения.

Анализ современных исследований и публикаций

Одним из перспективных вариантов переработки шинной резины является использование низкотемпературного пиролиза для производства печного топлива – аналога стандартных марок (ТУ 38.101656-87, ГОСТ 10585-99), применяемых в котельных. До недавнего времени широко внедрялась технологическая линия, которая включала дополнительную обработку получаемого жидкого продукта. Схема такой «традиционной» линии с пиролизным реактором периодического действия (РПД) «шахтного» типа представлен на рисунке 1. Однако, как показала практика, на выходе из конденсатора жидких продуктов получалась пиролизная жидкость (смола пиролиза), которая фактически являлась полупродуктом и не соответствовала заявленным требованиям ввиду своего низкого качества.

Исправить ситуацию с некондиционными жидкими продуктами пиролиза шин удалось

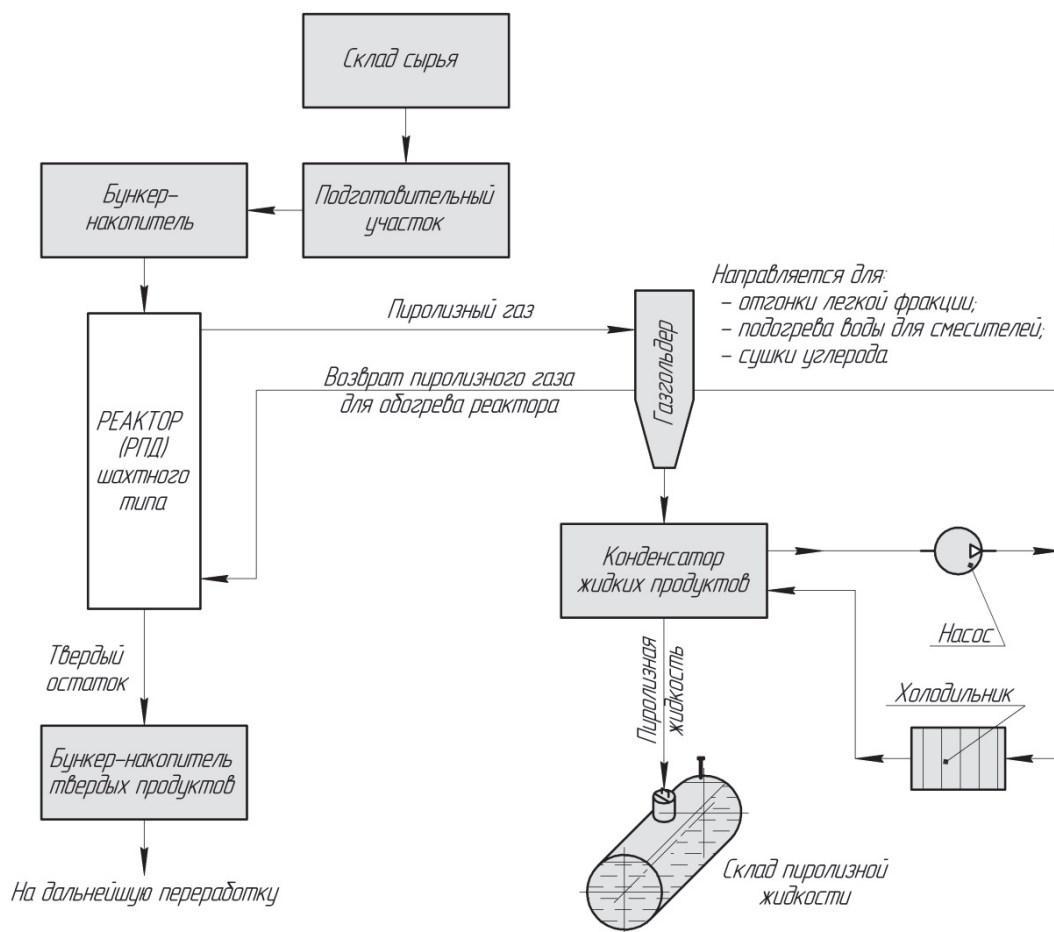


Рисунок 1. Схема традиционной технологической линии для получения жидких продуктов пиролиза.

группе исследователей, возглавляемых Т. В. Петренко [5–7], которыми был предложен действенный способ получения печного топлива из продуктов утилизации резиновых шин и отработанных масел. Химический способ очистки продуктов пиролиза лег в основу технологического комплекса по утилизации автотракторных шин, а также разработанных рецептов различных марок печного топлива [8].

Цель

Обоснование аппаратного обеспечения перспективной линии переработки жидких продуктов пиролиза автотракторных шин.

Основной материал

Схема перспективной технологической линии для получения качественных жидких продуктов

пиролиза и печного топлива представлена на рисунке 2.

Отличительной особенностью данной перспективной технологической линии является наличие дополнительного технологического оборудования, позволяющего химическим способом довести получаемую пиролизную жидкость (смолу) до уровня качественного товарного продукта. С целью повышения эффективности производства предложено использование пиролизного реактора непрерывного действия (РНД) с разработанным загрузочным устройством, конструкция которых защищена патентами на изобретение [9–10]. Для полноценного внедрения промышленного образца вышеуказанного технологического комплекса необходима проработка аппаратной части линии по производству/переработке жидких продуктов пиролиза автотракторных шин. Детальный анализ состава перспективной технологической линии для получения

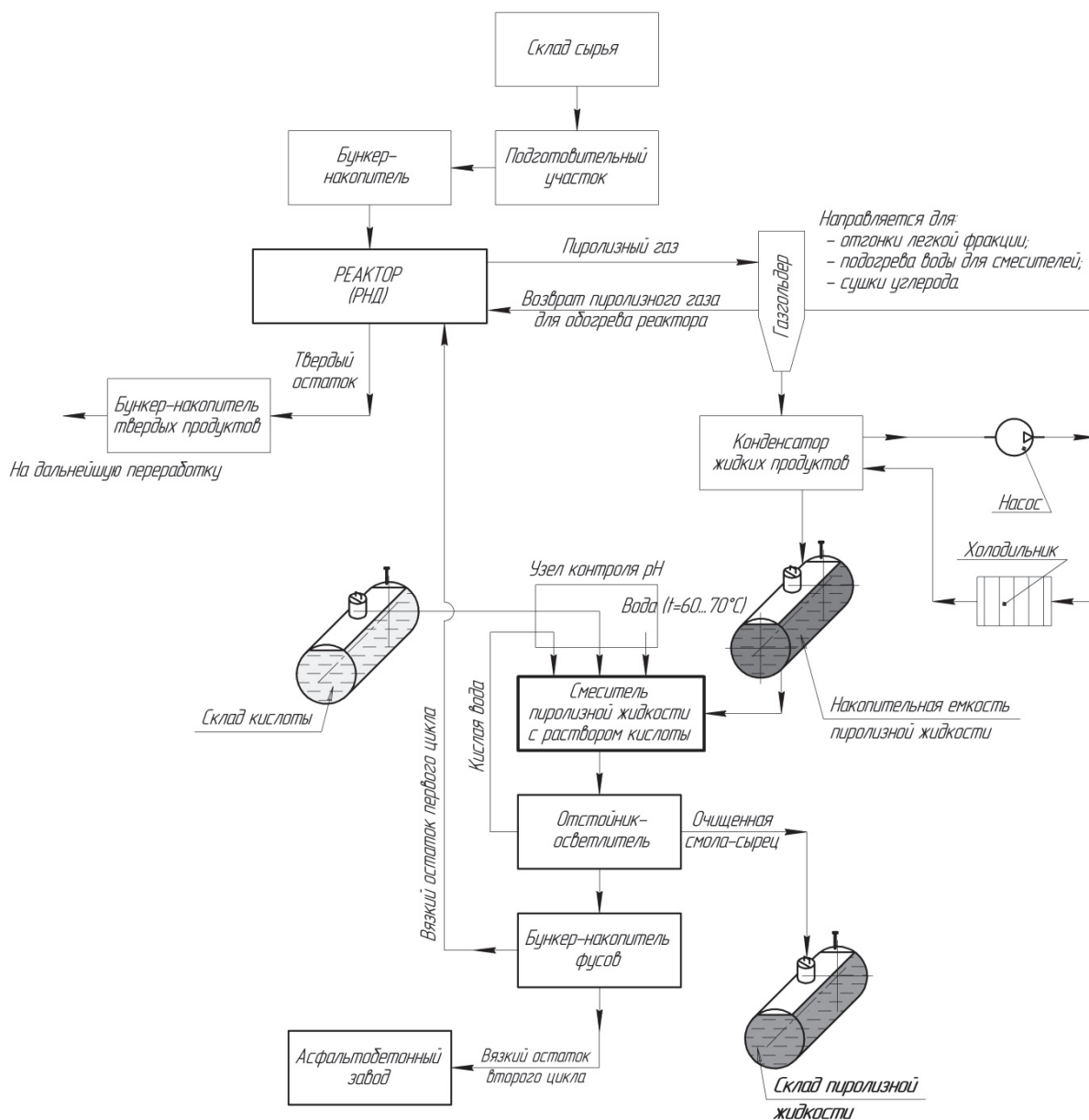


Рисунок 2. Перспективная технологическая линия для получения качественных жидких продуктов пиролиза.

качественных жидких продуктов пиролиза (рисунок 2) показал, что критически важную роль играет обоснование выбора конструкции и параметров основного элемента внедрения способа очистки пиролизной смолы-сырца смесителем пиролизной жидкости (смолы) с раствором кислоты. Данные литературных источников свидетельствуют о том, что универсальный критерий, позволяющий совершить выбор соответствующего смесителя, отсутствует. В решении этого вопроса необходимо руководствоваться опытом, накопленным при наблюдении за рабо-

той промышленных установок инновационных аппаратов. Отметим, что важную роль при выборе смесителя играют физические параметры перемешиваемой жидкости и, прежде всего, вязкость.

Обзор работ Лайонса и Паркера относительно рекомендаций по выбору мешалок [11] обусловил, что для процесса проведения химических реакций в растворах рекомендуется использовать три типа мешалок – турбинные, пропеллерные и лопастные. Принимая во внимание тот факт, что для ускорения и эффективности

процесса протекания реакции пиролизной жидкости с раствором кислоты рекомендовано нагревать смесь до температуры порядка 50...60 °C [8], учесть его в конструкции смесителя, который, помимо прочих технических аспектов, должен иметь змеевик. В работе Ф. Стренка [12] имеются рекомендации относительно расположения змеевика и отражающих перегородок, которые исключают возникновение в быстроходных мешалках воронки от завихрения смешиваемой жидкости.

Холанд и Чапман [13] приводят график (рисунок 3) областей применения отдельных типов мешалок для жидкостей с различными вязкостями. Следуя рекомендациям данного графика и величине динамического коэффициента вязкости пиролизной жидкости ($\mu = 2,53$ сП), в нашем случае подходит пропеллерная и турбинная мешалка с плоскими лопатками.

Несколько иной график (рисунок 4) для выбора одного из трех перечисленных типов мешалок приводит Бейтс [14]. Этот график следует понимать таким образом, что соответствующая кривая ограничивает верхний диапазон работы мешалки данного типа. Изучив предложенный график, установлено, что в данном слу-

чае нам также подходит пропеллерный тип смесителя.

Таким образом, на основании системного анализа рекомендаций относительно выбора типа смесителя для использования в составе технологической линии переработки жидких продуктов пиролиза автотракторных шин окончательно выбран пропеллерный тип смесителя со змеевиком.

Технические характеристики смесительного аппарата с пропеллерной мешалкой определены из расчета производительности перерабатывающего комплекса $Q = 1$ т/сутки по сырью. Если его использовать для работы в составе технологического комплекса с реактором непрерывного действия (РНД) с «простой» загрузкой [15], то требуемый объем смешиваемой жидкости увеличится с $V_{ж} = 0,88$ м³ до $V_{ж} = 8,53$ м³ в сутки. При выбранном объеме смесителя $V = 1,2$ м³ и времени приготовления раствора $T \approx 13$ мин, а также аналогичных геометрических, мощностных и скоростных характеристиках мешалки, отличие аппарата будет только в усложнении режима работы – с ПВ 15 % (легкий) до ПВ 25 % (средний), что нужно учесть при выборе электродвигателя и редуктора. Итоги изысканий по данному вопросу расчетов сведем в таблицу 1.

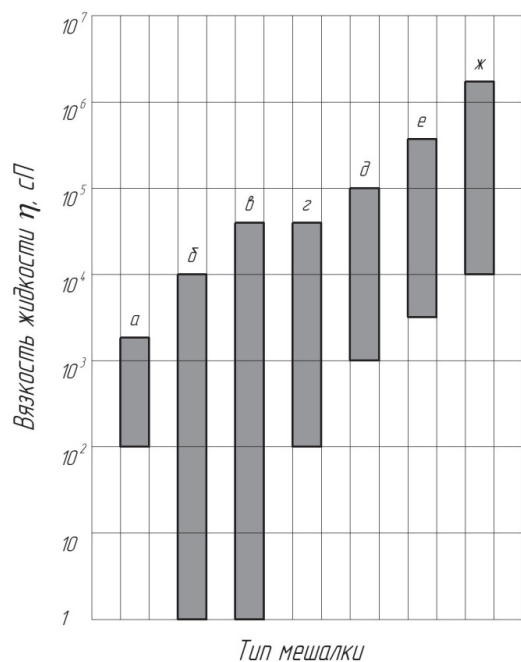


Рисунок 3. Диапазон применения различных типов мешалок [13]: а – якорная; б – пропеллерная; в – турбинная с плоскими лопатками; г – лопастная; д – рамная; е – шнековая; ж – ленточная.

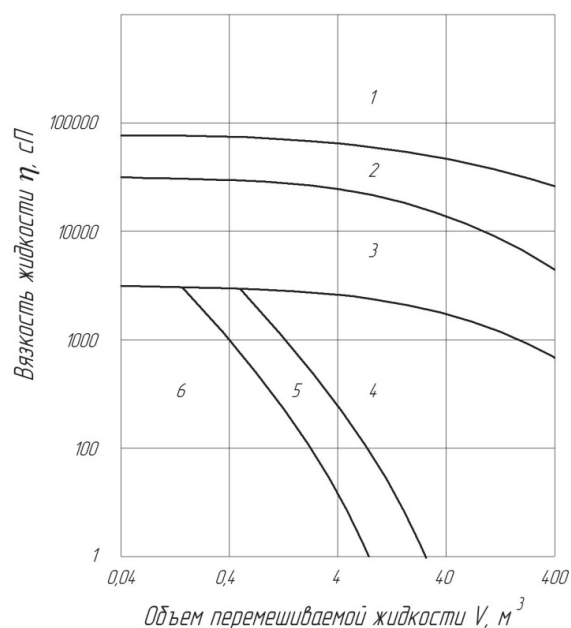


Рисунок 4. График, иллюстрирующий выбор пропеллерных, турбинных и лопастных мешалок [14]: 1 – лопастная модифицированная; 2 – лопастная; 3 – турбинная; 4 – пропеллерная, 420 об/мин; 5 – пропеллерная, 150 об/мин; 6 – пропеллерная, 750 об/мин.

Таблица 1. Основные технические параметры смесительного аппарата с пропеллерной мешалкой

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.	Показатель
1	Тип перемешивающего устройства	Трехлопастное пропеллерное		
2	Диаметр окружности, описываемой крайней точкой лопасти, м	D_l	м	0,3
3	Шаг лопасти винта	h	м	0,66
4	Угол подъема винтовой линии пропеллерной мешалки	θ	°	35
5	Площадь поверхности, ометаемой винтом	F_{OM}	м ²	0,06
6	Плотность перемешиваемой жидкости	ρ	кг/м ³	984
7	Осевая скорость перемешиваемой жидкости	ω_0	м/с	0,05
8	Кратность перемешивания жидкости	k	мин ⁻¹	3,8
9	Действительная высота подъема жидкости в течение одного оборота	H_θ	м	0,5
10	Частота вращения пропеллерной мешалки	n	об/мин	125,45
11	Объем перемешиваемой жидкости	V	м ³	0,88
12	Требуемый объем смесителя	$V_{см}$	м ³	1,2
13	Время приготовления раствора	T	мин	13
14	Расположение привода	Верхнее		
15	Режим работы привода	Средний (ПВ 25%)		
16	Электродвигатель:			
	мощность	$N_{дв}$	кВт	0,75
	частота вращения	$n_{дв}$	об/мин	718
	тип / исполнение	ASA100LW-8 / взрывозащищенный		
17	Передаточное число редуктора	u		5,73
18	Материал мешалки и частей, контактирующих с перемешиваемой жидкостью и ее компонентами	Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т (AISI304) или химически стойкая нержавеющая сталь AISI316L		

Схема разработанного смесительного аппарата представлена на рисунке 5.

В программе «Microsoft Excel» разработан модуль для расчета показателей материального баланса работы технологического комплекса по переработке изношенных автотракторных шин, позволяющий в автоматическом режиме определять все необходимые характеристики рециклинга в зависимости от ряда вариативных факторов. Анализ результатов расчетов выполнен для трех вариантов производительности:

- 1) $Q = 1$ т/сутки по сырью – исходя из удобства интерполирования данных на различные показатели производительности, как предложено в [8];
- 2) $Q = 5$ т/сутки по сырью – исходя из соображений использования распространенной «традиционной» пиролизной установки, ис-

пользующей реактор периодического действия (РПД) шахтного типа [15];

- 3) $Q = 9,72$ т/сутки по сырью – исходя из расчетных показателей производительности перспективного реактора непрерывного действия (РНД) с «простой» загрузкой [15].

Результаты анализа объема производимой смеси пиролизной жидкости (смолы) с раствором кислоты для трех вышеуказанных вариантов технологических линий представлены на рисунке 6.

На рисунке 7 отображена зависимость объемов потребностей жидких продуктов от производительности технологических линий в первые сутки работы.

Определены полиномиальные зависимости объемов потребностей жидких продуктов от производительности технологических линий с

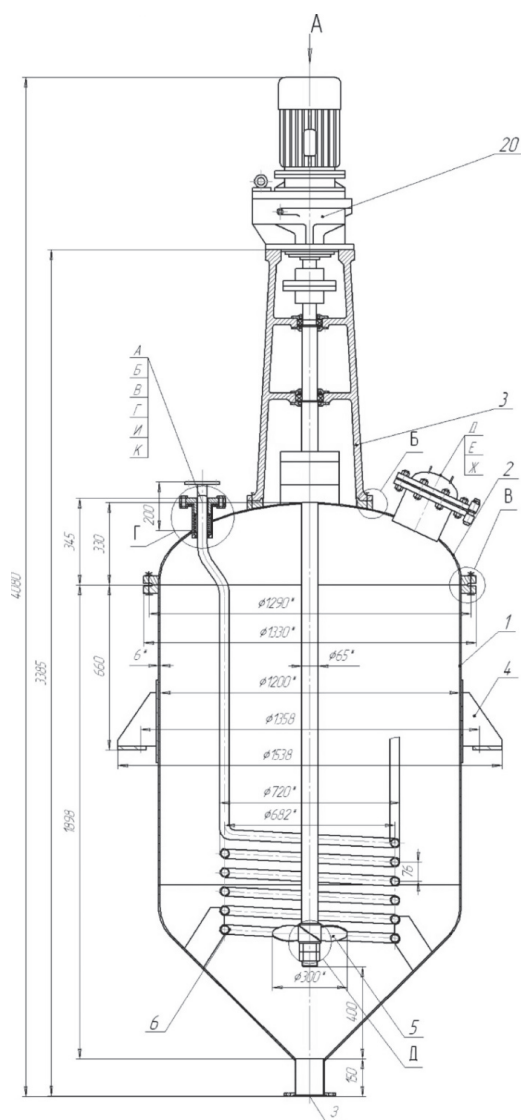


Рисунок 5. Смесительный аппарат с пропеллерной мешалкой.

величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 1$:

– для объемов смолы-сырца:

$$y = 0,165 \cdot x^2 + 1,345 \cdot x - 1,05;$$

– для объемов 5 % раствора серной кислоты (H_2SO_4):

$$y = 0,15 \cdot x^2 + 1,22 \cdot x - 0,95;$$

– для объемов технической воды (H_2O): ;

– для объемов концентрированной серной кислоты (H_2SO_4):

$$y = 0,145 \cdot x^2 + 1,205 \cdot x - 0,94.$$

Ввиду того, что в работе технологической линии предусматривается возврат кислых вод из

отстойника-осветлителя в смеситель (рисунок 2), потребность технологической линии в технической воде и концентрированной кислоте снижается при выходе на установившийся режим работы. Эту зависимость можно проследить на диаграммах, представленных на рисунке 8 и рисунке 9.

Выводы

Детальный анализ предложенной перспективной технологической линии по переработке жидких продуктов пиролиза автотракторных шин показал:

1. Ключевую роль при производстве товарного вторичного продукта в виде пиролизной жидкости играет химический способ очистки жидкого полупродукта – смолы сырца. Для осуществления очистки пиролизной жидкости (смолы) необходимо качественное приготовление реакционной смеси, состоящей из раствора кислоты и смолы-сырца. Данный процесс наиболее эффективно осуществляется смесительным аппаратом с пропеллерной мешалкой. Установлено, что предложенная технологическая схема нуждается в дооснащении дополнительной промежуточной емкостью, устанавливаемой между конденсатором жидких продуктов и смесительным аппаратом.
2. В работе впервые предпринята попытка перехода от технологической схемы к аппаратному обеспечению промышленного образца перспективной технологической линии переработки жидких продуктов пиролиза автотракторных шин, обоснованы конструктивные и технические характеристики смесительного аппарата. В программе «MicrosoftExcel» разработан модуль для расчета показателей материального баланса работы технологического комплекса по переработке изношенных автотракторных шин, позволяющий в автоматическом режиме определять все необходимые характеристики рециклинга в зависимости от ряда вариативных факторов.
3. Установлены зависимости объемов потребностей жидких продуктов от производительности технологических линий с целью обеспечения эффективной эксплуатации перерабатывающего комплекса.

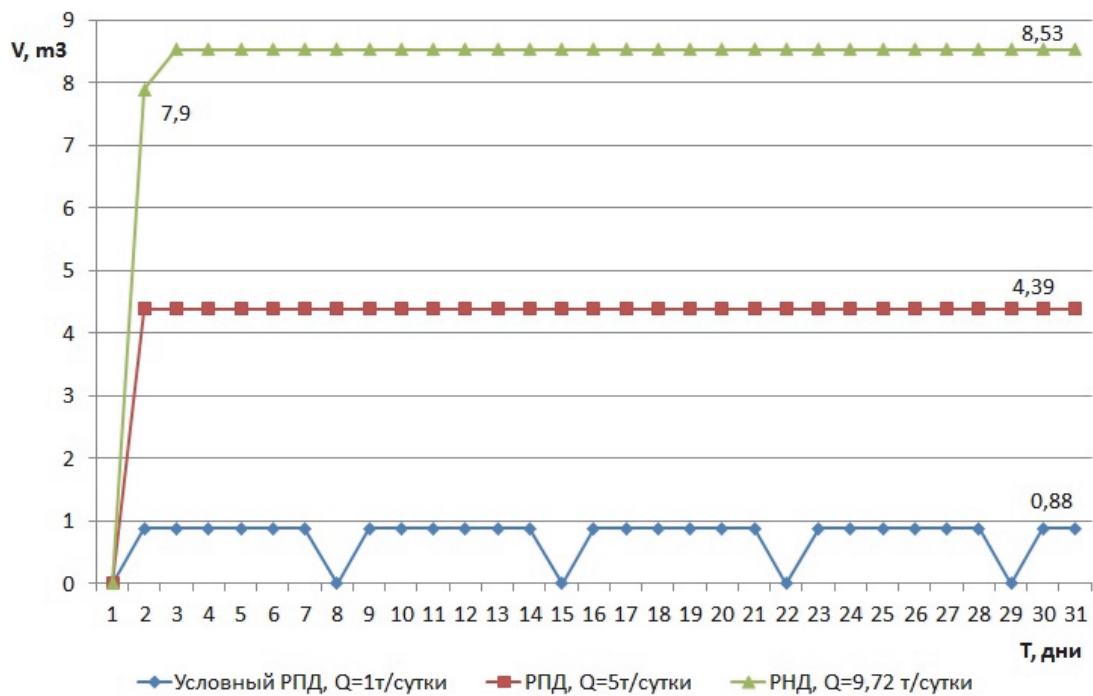


Рисунок 6. Объем производимой смеси пиролизной жидкости (пиролизной смолы) с раствором кислоты для трех вариантов технологических линий.

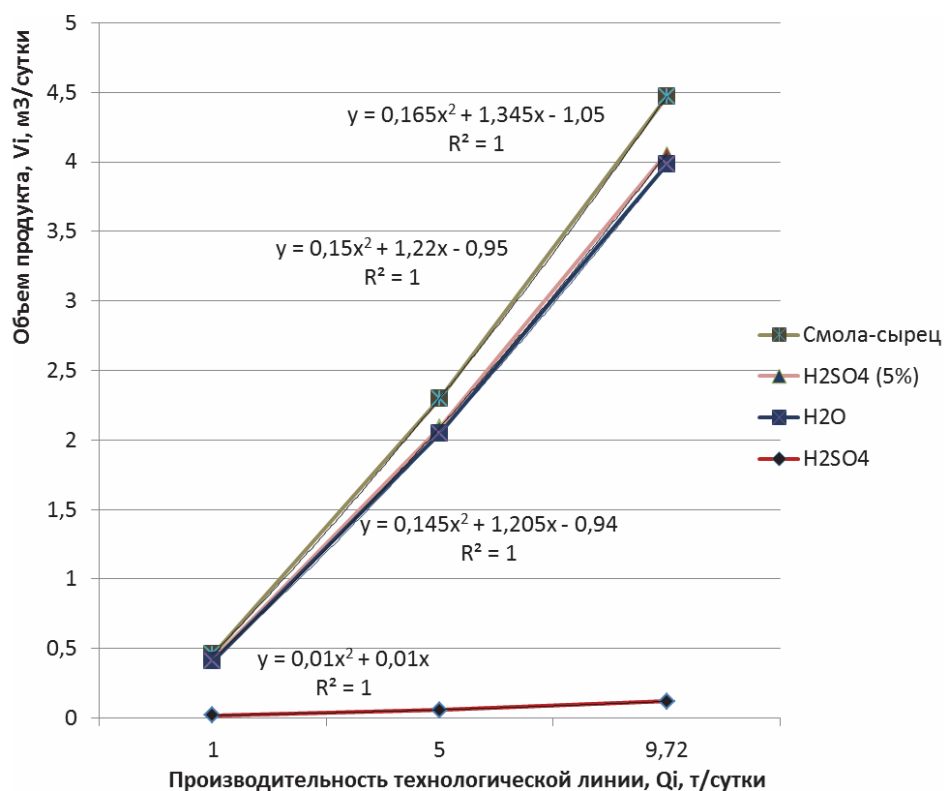


Рисунок 7. Зависимости объемов потребностей жидких продуктов от производительности технологических линий в первые сутки работы.

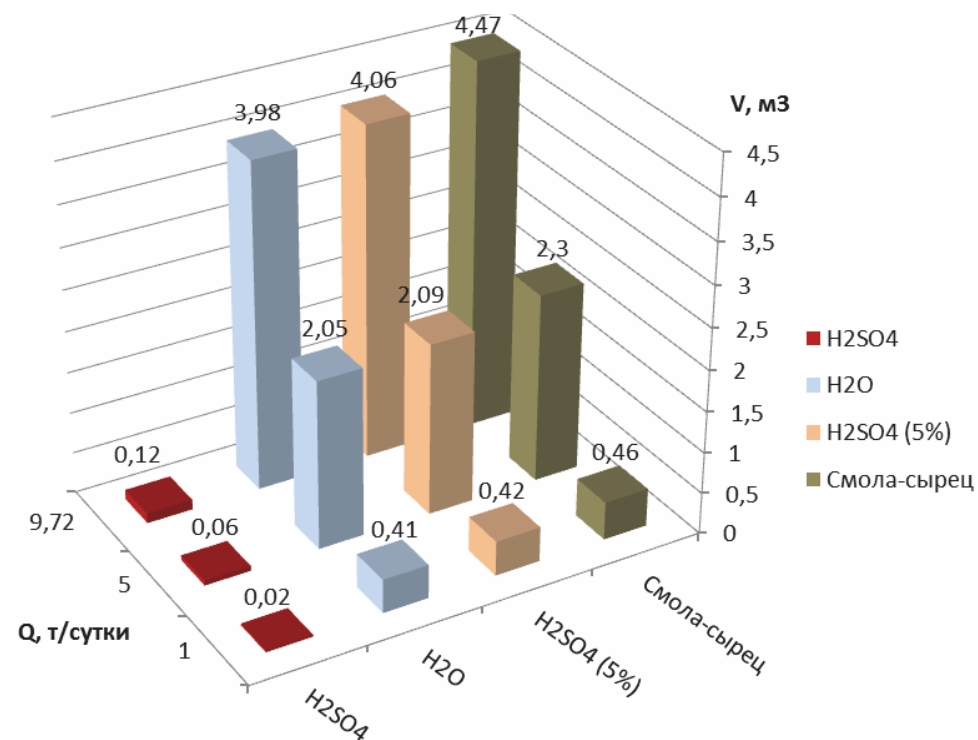


Рисунок 8. Параметры потребностей технологических линий по переработке жидких продуктов пиролиза в первые сутки работы.

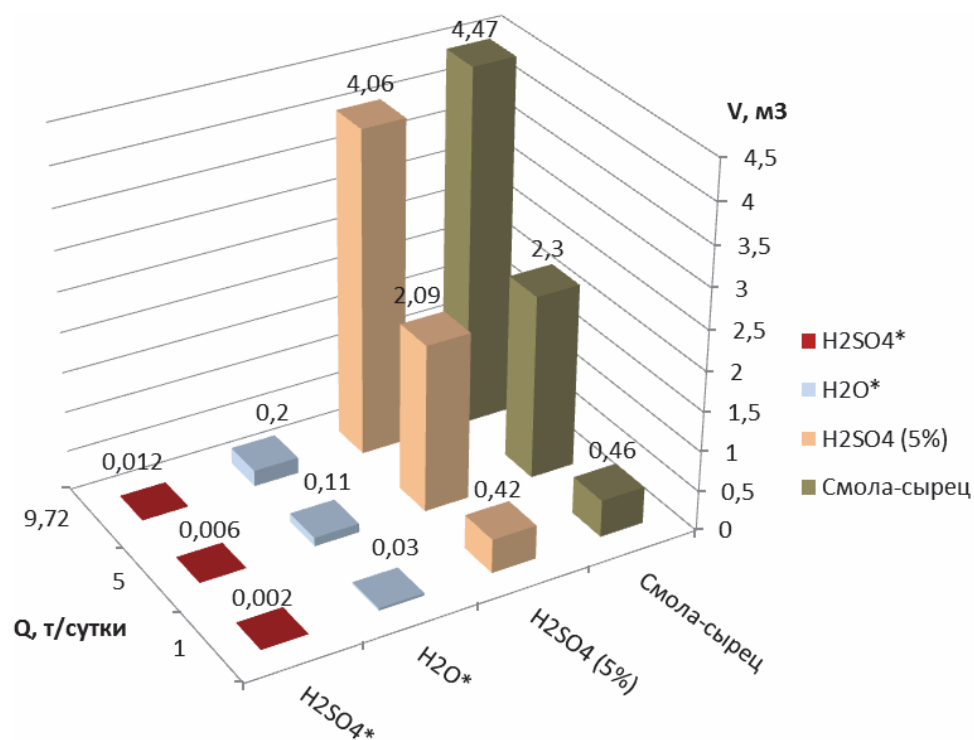


Рисунок 9. Параметры потребностей технологических линий по переработке жидких продуктов пиролиза после выхода на установившийся режим работы.

Литература

1. Osayi, Julius I. Biocrude Production through Pyrolysis of Used Tyres [Электронный ресурс] / Julius I. Osayi, Sunny Iyuke, and Samuel E. Ogbeide // *Journal of Catalysts*. 2014. Volume 2014. – 9 p. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1155/2014/386371>.
2. Waste tyre pyrolysis – A review [Электронный ресурс] / Juan Daniel Martínez, Neus Puy, Ramón Murillo [et. al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Volume 23. Issue C. P. 179–213. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>.
3. Утилизация отработанных автомобильных шин [Текст] / Т. В. Петренко, Ю. А. Новичков, Е. И. Позднякова, В. В. Хазипова. – Донецк : «Цифровая типография», 2007. – 110 с.
4. Susa, D. Sulphur distribution in the products of waste tire pyrolysis [Электронный ресурс] / D. Susa, J. Haydary // *Chemical Papers*. 2013. Volume 67(12). P. 1521–1526. – Режим доступа : DOI: 10.2478/s11696-012-0294-4.
5. Петренко, Т. В. Разработка технологии получения жидкого топлива из продуктов пиролиза отработанных автопокрышек [Текст] / Т. В. Петренко, Ю. А. Новичков, В. В. Хазипова // Стратегия качества в промышленности и образовании : материалы III Международной конференции в 2-х томах. Т. 1 (1–8 июня 2007, г. Варна, Болгария). – Днепропетровск–Варна, 2007. С. 428–431.
6. Перспективы использования продуктов пиролиза отработанных автомобильных шин [Текст] / Т. В. Петренко, Ю. А. Новичков, Е. И. Позднякова [и др.] // Сборник докладов 5-го Международного конгресса по управлению отходами и природоохранным технологиям ВейстТэк–2007 (29 мая–1 июня 2007, г. Москва). – Москва, 2007. С. 153–155.
7. Разработка технологии получения печного топлива из продуктов утилизации резиновых шин и отработанных масел [Текст] / Т. В. Петренко, Ю. А. Новичков, В. В. Хазипова [и др.] // Межрегиональные проблемы экологической безопасности : сб. тезисов международного симпозиума. (19–21 сентября 2007). – Киев–Одесса, Украина – Москва – Санкт-Петербург, Россия : Чорномор'є, 2007. С. 54.
8. Новичков, Ю. А. Повышение экологической безопасности рециклинга автотракторных шин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.19 / Новичков Юрий Александрович. – Макеевка, 2018. – 172 с.
9. Пат. 10993 Україна, F23G5/00, C10B53/00, C10J3/00. Установка для піролізу зношених великогабаритних гумових шин [Текст] / Живченко В. С., Семикопенко Г. Г., Новичков Ю. О., Петренко Т. В.; заявник Живченко В. С., Семикопенко Г. Г., Новичков Ю. О., Петренко Т. В.; власники патенту Живченко В. С., Семикопенко Г. Г. – № U2005

Reference

1. Osayi, Julius I.; Iyuke, Sunny; Ogbeide, Samuel E. Biocrude Production through Pyrolysis of Used Tyres [Electronic resource]. In: *Journal of Catalysts*. 2014. Volume 2014. 9 p. Access mode : <https://doi.org/10.1155/2014/386371>. (in English)
2. Martínez, Juan Daniel; Puy, Neus; Murillo, Ramón [et. al.]. Waste tyre pyrolysis – A review [Electronic resource]. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Volume 23. Issue C. P. 179–213. Access mode : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>. (in English)
3. Petrenko, T. V.; Novichkov, Yu. A.; Pozdnyakova, Ye. I.; Khazipova, V. V. Recycling of used car tires [Text]. Donetsk : «Digital Printing House», 2007. 110 p. (in Russian)
4. Susa, D.; Haydary, J. Sulphur distribution in the products of waste tire pyrolysis [Electronic resource]. In: *Chemical Papers*. 2013. Volume 67(12). P. 1521–1526. Access mode : DOI: 10.2478/s11696-012-0294-4. (in English)
5. Petrenko, T. V.; Novichkov, Yu. A.; Khazipova, V. V. Development of a technology for obtaining liquid fuel from pyrolysis products of spent car tires [Text]. In: *Quality strategy in industry and education: materials of the III International conference* in 2 volumes. Vol. 1. Dnepropetrovsk–Varna, 2007. P. 428–431. (in Russian)
6. Petrenko, T. V.; Novichkov, Yu. A.; Pozdnyakova, Ye. I. [et. al.]. Prospects for the use of pyrolysis products of used car tires [Text]. In: *Proceedings 5th International Congress on Waste Management and Environmental Technologies WeistTech-2007*. Moscow, 2007. P. 153–155. (in Russian)
7. Petrenko, T. V.; Novichkov, Yu. A.; Khazipova, V. V. [et al.]. Development of a technology for obtaining heating oil from the products of recycling rubber tires and waste oils [Text]. In: *Interregional problems of environmental safety: collection of abstracts of the international symposium*. Kiev – Odessa, Ukraine – Moscow – St. Petersburg, Russia : Black Sea, 2007. P. 54. (in Russian)
8. Novichkov, Yu. A. Improving the environmental safety of recycling of automotive tires [Text] : Ph. D. (Eng.) thesis : 05.23.19. Makeevka, 2018. 172 p. (in Russian)
9. Patent 10993 Ukraine, F23G5/00, C10B53/00, C10J3/00. Installation for pirolizu znoshenikh large-sized gum tires [Text] / Zhivchenko V. S.; Semikopenko G. G.; Novichkov Yu. O.; Petrenko T. V.; applicant Zhivchenko V. S.; Semikopenko G. G.; Novichkov Yu. O.; Petrenko T. V.; patent holder Zhivchenko V. S.; Semikopenko G. G. – № U2005 03322 ; declaration 11.04.2005; published 15.12.2005, Bul. № 12/2005. 4 p. : ill. (in Ukrainian)
10. Patent 15093 Ukraine, МПК C10J3/00. Attachment for entangling to the reactor for transport vehicles [Text] / Zhivchenko V. S.; Novichkov Yu. O.; applicant Zhivchenko V. S.; Novichkov Yu. O. ;

- 03322 ; заявл. 11.04.2005 ; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12/2005. – 4 с. : ил.
10. Патент 15093 Україна, МПК C10J3/00. Пристрій для завантаження в реактор зношених покришок автотранспорту [Текст] / Живченко В. С., Новічков Ю. О. ; заявник Живченко В. С., Новічков Ю. О. ; власник патенту Живченко В. С. – № U2005 11803; заявл. 12.12.2005 ; опубл. 15.06.2006, Бюл. № 6/2006. – 3 с. : ил.
 11. Lyons, E. J. Chemical Engineering Progress [Текст] / E. J. Lyons, N. H. Parker. – New York : American Institute of Chemical Engineers, 1954. – 629 p.
 12. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк ; пер. с польск. под ред. И. А. Щупляка. – Л. : «Химия», 1975. – 384 с.
 13. Holland, F. A. Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks [Текст] / F. A. Holland, F. S. Chapman. – New York : Reinhold Publ. Corp., 1966. – 326 p.
 14. Uhl, V.W. Mixing Theory and Practice. Vol. 1 [Текст] / V. W. Uhl, J. B. Gray. – New York : Academic Press., 1966. – 345 p.
 15. Новичков, Ю. А. Повышение эффективности технологического оборудования для переработки изношенных автотракторных шин способом низкотемпературного пиролиза [Электронный ресурс] / Ю. А. Новичков // Современное промышленное и гражданское строительство. 2020. Т. 16, № 3. С. 127–134. – Режим доступа : http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2020-3/03_novichkov.pdf.
 - patent holder Zhivchenko V. S. – № U2005 11803 ; declaration 12.12.2005 ; published 15.06.2006, Bul. № 6/2006. 3 p. : ill. (in Ukrainian)
 11. Lyons, E. J.; Parker, N. H. Chemical Engineering Progress [Text]. New York : American Institute of Chemical Engineers, 1954. 629 p. (in English)
 12. Strenk, F. Mixing and apparatus with mixers [Text]. Translation from Polish edited by I. A. Shchuplyak. Leningrad : «Chemistry», 1975. 384 p.
 13. Holland, F. A.; Chapman, F. S. Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks [Text]. New York : Reinhold Publ. Corp., 1966. – 326 p. (in English)
 14. Uhl, V.W. Mixing Theory and Practice. Vol. 1 [Text] / V. W. Uhl, J. B. Gray. New York : Academic Press., 1966. 345 p. (in English)
 15. Novichkov, Yu. A. Increase of efficiency of technological equipment for processing of threadbare motor-vehicle and tractor tires method of low temperature pyrolysis [Electronic resource]. In: *Modern industrial and civil construction*. 2020. T. 16, № 3. P. 127–134. Access mode : http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2020-3/03_novichkov.pdf. (in Russian)

Новичков Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экологическая безопасность рециклинга автотракторных шин, оборудование для переработки промышленных отходов, детали машин.

Кравченко Артем Владимирович – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оборудование для переработки промышленных отходов, рециклинг автотракторных шин для производства жидкого печного топлива.

Новічков Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: екологічна безпека рециклінгу автотракторних шин, обладнання для переробки промислових відходів, деталі машин.

Кравченко Артем Володимирович – магістрант кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: обладнання для переробки промислових відходів, рециклінг автотракторних шин для виробництва рідкого пічного палива.

Novichkov Yuri – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Ground Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ecological safety of motor-vehicle and tractor tires recycling, equipment for processing of industrial wastes, machine elements.

Kravchenko Artem – Master's student, Ground Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: equipment for processing industrial waste, recycling of automotive tires for the production of liquid furnace fuel.