

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047246**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.06.24**

(21) Номер заявки  
**202391973**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.01.14**

(51) Int. Cl. **C10G 1/10** (2006.01)  
**C10G 1/00** (2006.01)  
**C10G 1/02** (2006.01)  
**C10G 9/18** (2006.01)  
**B29B 17/04** (2006.01)

---

(54) **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ**

---

(31) **63/138,233**

(32) **2021.01.15**

(33) **US**

(43) **2023.09.07**

(86) **PCT/US2022/012544**

(87) **WO 2022/155484 2022.07.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛАММУС ТЕКНОЛОДЖИ ЭлЭлСи**  
**(US)**

(56) **WO-A1-2018000050**  
**US-A1-20150080624**  
**US-B1-6534689**  
**US-A-5731483**  
**WO-A1-2011077419**

(72) Изобретатель:  
**Чакраборти Судипто, Фернальд**  
**Дэниел Т., Гаймон Дэвид Ли,**  
**Хербанек Рон, Джибб Ричард Джон,**  
**Камз Джонни Дойл, Линдси Бодди**  
**Линн (US)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

---

(57) Способ и системы для преобразования пластиковых отходов включают в себя подачу пластиковых отходов в плавильный резервуар и нагревание их в плавильном резервуаре для образования расплавленного пластика. Расплавленный пластик извлекается из плавильного резервуара и подается в реактор пиролиза. В реакторе пиролиза расплавленный пластик нагревается до температуры пиролиза, в результате чего образуются пиролизный нефтепродукт и жидкий пек. Пиролизное масло затем разделяется на пиролизную газовую фракцию, легкую пиролизную масляную фракцию, среднюю пиролизную масляную фракцию и тяжелую пиролизную масляную фракцию.

---

**B1**

**047246**

**047246**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Варианты осуществления настоящего изобретения в целом относятся к преобразованию пластиковых отходов в нефтехимические продукты, топливо, а также другие полезные промежуточные и конечные продукты.

### **Уровень техники**

Необходимость восстановления и переработки пластиковых отходов вызывается быстро растущим беспокойством в отношении окружающей среды. Однако технология пиролиза пластмасс находится на ранней стадии развития в промышленности.

### **Сущность изобретения**

Варианты осуществления в настоящем документе относятся к термохимическим процессам и системам, используемым для преобразования пластиковых отходов в нефтехимические продукты, топливо и другие промежуточные или конечные продукты.

В одном аспекте варианты осуществления в настоящем документе относятся к способу преобразования пластиковых отходов. Способ включает в себя подачу пластиковых отходов в плавильный резервуар и нагревание их в плавильном резервуаре для образования расплавленного пластика. Расплавленный пластик извлекается из плавильного резервуара и подается в реактор пиролиза. В реакторе пиролиза расплавленный пластик нагревается до температуры пиролиза, в результате чего образуются пиролизное масло и жидкий пек. Пиролизное масло затем разделяется на пиролизную газовую фракцию, легкую пиролизную масляную фракцию, среднюю пиролизную масляную фракцию и тяжелую пиролизную масляную фракцию.

В другом аспекте варианты осуществления в настоящем документе направлены на систему для пиролиза пластиковых отходов. Система включает в себя плавильный резервуар, имеющий впускное отверстие для приема потока питания, содержащего пластиковые отходы, из системы подачи отходов пластика. Плавильный резервуар также включает в себя систему нагрева для нагревания отходов пластика от температуры подачи до температуры расплава с получением расплавленного пластика, а также выпускное отверстие для вывода расплавленного пластика. Система для пиролиза пластиковых отходов также включает в себя реактор пиролиза, имеющий входное отверстие, выполненное с возможностью приема расплавленного пластика, и систему нагрева, выполненную с возможностью нагрева расплавленного пластика до температуры пиролиза, а также первое выходное отверстие для извлечения пиролизного масла. Реактор пиролиза дополнительно включает в себя второе выходное отверстие для извлечения пек. Система дополнительно включает в себя систему управления, выполненную с возможностью управления системой нагрева для ограничения температуры расплавленного пластика до температуры производства пек (и ниже той температуры, при которой образуется значительное количество угля или кокса).

### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 иллюстрирует упрощенную технологическую схему систем в соответствии с одним или более вариантами осуществления, раскрытыми в настоящем документе.

Фиг. 2 иллюстрирует упрощенную технологическую схему систем в соответствии с одним или более вариантами осуществления, раскрытыми в настоящем документе.

Фиг. 3 иллюстрирует упрощенную технологическую схему систем в соответствии с одним или более вариантами осуществления, раскрытыми в настоящем документе.

### **Подробное описание**

Описанные в настоящем документе варианты осуществления направлены на термохимические способы преобразования пластиковых отходов в полезные нефтехимические продукты, топливо и другие промежуточные или конечные продукты. Описанные в настоящем документе варианты осуществления также направлены на конструктивное решение реактора пиролиза и управление им.

Полимеры, которые могут подвергаться пиролизу с образованием пиролизного масла, могут включать в себя термопласты, терморезистивные материалы и эластомеры. Например, отходы, подвергающиеся пиролизу с образованием пиролизного масла, могут включать в себя, среди многих других термопластов, полистирол, полипропилен, полифениленсульфид, полифениленоксид, полиэтилен, полиэфиримид, полиэфиркетон, полиоксиметилен, полиэфирсульфон, поликарбонат, полибензимидазол, полимолочную кислоту, нейлон и акриловые полимеры, такие как полиметилметакриловая кислота (PMMA). Используемые в настоящем документе пиролизные масла могут быть также получены из различных ненасыщенных или насыщенных эластомеров и каучуков, известных в данной области техники, таких как полибутадиен, изопрен, бутадиенстирол, этиленвинилацетат и многие другие. Описанные в настоящем документе варианты осуществления могут быть достаточно надежными для обработки некоторого количества полимеров, содержащих гетероатомы, включая полимеры, перечисленные выше, а также другие, известные в данной области техники; однако содержание гетероатомов в полученном пиролизном масле обычно должно быть меньше чем 2 мас.%, например меньше чем 1 мас.% или меньше чем 0,5 мас.%.

Пластиковые отходы могут быть преобразованы в пиролизное масло с использованием систем в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Эти системы могут включать в себя в качестве основных компонентов плавильный резервуар и реактор пиролиза. Система может также вклю-

чать в себя систему подачи пластиковых отходов, систему разделения пиролизного масла и одну или несколько систем нагрева, как будет описано ниже.

В большинстве случаев система подачи пластиковых отходов представляет собой систему, выполненную с возможностью обеспечения подачи пластиковых отходов в плавильный резервуар, и особенно не ограничивается, поскольку может использоваться множество различных конфигураций. В некоторых вариантах осуществления система подачи пластиковых отходов может включать в себя загрузочный бункер, который может быть заполнен некоторым количеством пластиковых отходов, например в виде стружки, гранул, хлопьев, ослабленных волокон, измельченного пластика и других форм пластиковых отходов, которые могут быть получены от переработчика или другого поставщика пластиковых отходов. Загрузочный бункер может быть связан по текучей среде со шнековым конвейером или другим средством для дозирования и транспортировки пластиковых отходов в плавильный резервуар. В некоторых вариантах осуществления система подачи пластиковых отходов может включать в себя экструдер, который может быть одношнековым или двухшнековым, и может нагревать и частично или полностью расплавлять пластиковые отходы за счет вязкостного рассеяния механической энергии, подаваемой двигателем на вращающийся шнек.

В большинстве случаев желательно ограничить количество воды и кислорода, подаваемых в плавильный резервуар и реактор пиролиза. Шнековый конвейер и/или загрузочный бункер или связанные с ним линии потока могут быть соединены с системой подачи горячего азота, так что полимер может быть нагрет до температуры, достаточной для удаления воды, но не настолько высокой, чтобы расплавить полимеры, выпуская поток азота, содержащий водяной пар и любой кислород, который может быть вытеснен.

Затем высушенные отходы пластика могут подаваться в плавильный резервуар, в котором они нагреваются до температуры, достаточной для плавления пластика, но достаточно низкой, чтобы избежать какого-либо значительного преобразования отходов пластика, поскольку предпочтительно контролировать реакцию и получаемые продукты реакции при преобразовании в реакторе пиролиза. В некоторых вариантах осуществления отходы пластика могут быть нагреты в экструдере и могут подаваться в плавильный резервуар в нагретом, частично или полностью расплавленном состоянии. Отходы пластика затем могут быть нагреты или дополнительно нагреты в плавильном резервуаре до температуры в диапазоне приблизительно 200-375°C, например приблизительно 300°C. Температура расплавленного пластика должна быть достаточно высокой для того, чтобы расплавить пластик и получить расплавленный пластик желаемой вязкости, облегчая транспортировку между отдельными операциями, но, как было отмечено выше, достаточно низкой для того, чтобы ограничить или избежать превращения пластика в плавильном резервуаре.

Плавильный резервуар может быть сосудом с мешалкой. Этот сосуд может включать в себя входное отверстие для приема потока питания, содержащего отходы пластика, из системы подачи отходов пластика, а также выходное отверстие для транспортировки или вывода полученного расплавленного пластика. Плавильный резервуар может также включать в себя выходное отверстие для выпуска любых газов, образующихся в плавильном резервуаре или вытесняемых из отходов пластика, например, которые могут уноситься вместе с сырьем или образовываться в результате нагревания отходов пластика. Плавильный резервуар может включать в себя систему нагрева для нагревания пластиковых отходов от температуры подачи до температуры расплава. Система нагрева может включать в себя одно или оба из внешней рубашки и внутренних змеевиков для обеспечения тепла для плавления пластиковых отходов.

После плавления пластиковых отходов расплавленный пластик можно подавать в реактор пиролиза для превращения расплавленного пластика в пиролизное масло и пек. Реактор пиролиза может включать в себя входное отверстие, выполненное с возможностью приема расплавленного пластика, первое выходное отверстие для извлечения пиролизного масла и второе выходное отверстие для извлечения пека. Реактор пиролиза может также включать в себя систему нагрева, выполненную с возможностью нагревания расплавленного пластика от температуры на входе до температуры пиролиза. Расплавленный пластик можно нагревать в реакторе пиролиза до температуры, например, в диапазоне от примерно 350 до примерно 700°C, например, от примерно 370°C (700°F) до примерно 675°C (1250°F), например, от 350°C (662°F) до 550°C (1022°F), и при давлении в диапазоне от примерно 0,3 бар изб. (4 фунт/кв.дюйм изб.) до приблизительно 1,4 бар изб. (20 фунт/кв.дюйм изб.), например приблизительно 0,4 бар изб. (6 фунт/кв.дюйм изб.).

При нагревании расплавленный пластик может расщепляться на короткоцепочечные нефтяные углеводороды, которые могут быть извлечены и разделены в системе разделения. Желательно, чтобы варианты осуществления, описанные в настоящем документе, производили пековый продукт, и таким образом ограничивали количество кокса или угля, образующихся при пиролизе пластика. Нагревание расплавленного пластика в реакторе пиролиза может быть ограничено или может контролироваться таким образом, чтобы в некоторых вариантах осуществления в кокс или уголь превращалось менее 1 мас.% отходов пластика; менее 0,5 мас.% в других вариантах осуществления и менее 0,2 мас.% в еще одних вариантах осуществления. Ограничение формирования угля может обеспечить чрезвычайно большую длину реактора, а также производство более ценного пекового продукта. Может быть предусмотрена

система управления для управления системой нагрева реактора пиролиза, обеспечивающая профиль нагрева или температуру нагрева, предпочтительную для производства пекового продукта и ниже температуры, при которой будет образовываться какое-либо значительное количество угля или кокса.

В некоторых вариантах осуществления система нагрева реактора пиролиза может включать в себя зону предварительного нагрева и реакционную зону. Зона предварительного нагрева может быть выполнена с возможностью нагревания расплавленного пластика до первой температуры пиролиза, предназначенной для низкого преобразования, такого как на 5-20 мас.%, например на 10 мас.% преобразование (в настоящем документе преобразование измеряется в мас.%, если не указано иное). После зоны предварительного нагрева расплавленный пластик может быть обработан в реакционной секции для превращения значительной части пластика в пиролизное масло. Температура пиролиза и время пребывания могут предназначаться для преобразования в реакционной зоне от 30 до 80 мас.% пластика, например 70 мас.%. Общее преобразование пластиковых отходов в пиролизный газ и пиролизное масло может составлять, например, более 80 мас.%, более 85 мас.%, более 90 мас.% и вплоть до 95 или 97 мас.% в некоторых вариантах осуществления, где остальная часть пластиковых отходов может быть извлечена из реактора пиролиза в виде пека.

Пиролизное масло, извлеченное из реактора пиролиза, может быть подано в систему разделения для разделения выходящего потока реакции пиролиза на две или более фракций. Система разделения может включать в себя одну или более ректификационных колонн. Также может быть предусмотрен резервуар предварительного испарения для разделения потока, выходящего из реактора пиролиза, на жидкое сырье и парообразное сырье, подаваемое в ректификационную колонну (колонны). В некоторых вариантах осуществления продукты реакции пиролиза, извлеченные из реактора пиролиза, могут быть разделены по температурам кипения на пиролизную газовую фракцию, легкую пиролизную масляную фракцию, среднюю пиролизную масляную фракцию и тяжелую пиролизную масляную фракцию.

Для облегчения смешивания и плавления полимера варианты осуществления настоящего изобретения могут включать в себя делитель потока, расположенный между выходным отверстием плавильного резервуара и входным отверстием реактора пиролиза, выполненный с возможностью разделения расплавленного пластика на первую часть и вторую часть. Первая часть может подаваться на вход реактора пиролиза. Вторая часть может подаваться в смесительную систему, предназначенную для смешивания второй части расплавленного пластика с пластиковыми отходами. Смесительная система может конфигурироваться как часть системы подачи пластиковых отходов, например, путем смешивания твердых отходов пластмассы с расплавленной пластмассой на шнековом конвейере; в других вариантах осуществления смесительная система может быть расположена перед входным отверстием плавильного резервуара и после системы подачи пластиковых отходов.

В некоторых вариантах осуществления, в которых осуществляется промежуточное извлечение из реактора пиролиза и системы разделения, выходящий поток реакции пиролиза может охлаждаться. Например, в некоторых вариантах осуществления средняя пиролизная масляная фракция или тяжелая пиролизная масляная фракция могут использоваться в качестве охлаждающей среды, снижая температуру потока, выходящего из реактора пиролиза, и замедляя или останавливая любые реакции, которые в противном случае могут происходить во время транспортировки в систему разделения. Таким образом, можно избежать чрезмерного крекинга пластмасс и чрезмерного образования пиролизного газа, обеспечивая более высокое извлечение жидкого пиролизного масла. Описанные в настоящем документе системы могут таким образом включать в себя делитель потока (который может быть тройником или трубами/клапаном) для разделения средней или тяжелой пиролизной масляной фракции на первую и вторую части, а также систему охлаждения для смешивания одной из частей с продуктами реакции пиролиза, извлекаемыми из реактора пиролиза.

Способствуя транспортировке расплавленного пластика, извлеченного из плавильного резервуара, описанные в настоящем документе способы могут включать в себя смешивание расплавленного пластика с частью тяжелой или средней пиролизной масляной фракции. Например, тяжелое пиролизное масло может быть разделено с использованием делителя потока, и часть тяжелого пиролизного масла может быть возвращена в качестве разбавителя и смешана с расплавленным пластиком в смесительной системе (которая может представлять собой, например, тройник, статический смеситель или небольшой сосуд с мешалкой). В других вариантах осуществления, например, среднее пиролизное масло может быть разделено с использованием делителя потока, и часть среднего пиролизного масла может быть возвращена в качестве разбавителя и смешана с расплавленным пластиком в смесительной системе. Смесительная система может быть расположена после плавильного резервуара и перед реактором пиролиза. В некоторых вариантах осуществления смесительная система располагается между плавильным резервуаром и делителем потока расплавленного пластика.

В некоторых вариантах осуществления также предусматривается теплообменник на линии, транспортирующей расплавленный пластик из плавильного резервуара в реактор пиролиза. Этот теплообменник может быть выполнен с возможностью нагрева или поддержания температуры расплавленного пластика, чтобы поддерживать текучесть в последующих системах. Также может потребоваться нагрев после смешивания с рециркулируемой средой или сильный пиролизный нагрев для поддержания желаемой

температуры расплавленного пластика.

Как было указано выше, описанные в настоящем документе системы могут включать в себя плавильный резервуар, имеющий нагревательную рубашку и нагревательные змеевики, нагреватель азота и теплообменник расплавленного пластика. Тепло может подаваться к каждому из них с использованием теплообменной среды. Теплообменная среда может быть нагрета, например, с использованием пламенной или электрической системы нагрева. Топливо может подаваться в систему пламенного нагрева и может представлять собой внешнее топливо или внутреннее топливо, такое как пиролизный газ, извлеченный из системы разделения. Теплообменная среда может подаваться через систему с замкнутым контуром, при этом она циркулирует от пламенного нагревателя к каждому соответствующему пользователю с желаемой скоростью, а затем возвращается к пламенному нагревателю для продолжения нагрева, циркуляции и использования.

Для систем, обрабатывающих хлор- и другие галогенсодержащие полимеры, такие как PVC, варианты осуществления в настоящем документе могут включать в себя систему впрыска химикатов для подачи реагентов, которые будут реагировать с галогенами и облегчать их удаление. Неорганические и органические хлориды и другие галогениды (фториды, бромиды) регулярно присутствуют во всех типах пластмасс, обычно, но не ограничиваясь этим, присутствуя в виде добавок, связующих веществ, антипиренов и остаточных катализаторов. Эти галоидные соединения частично удаляются путем диссоциации в плавильном резервуаре с образованием хлористого, фтористого или бромистого водорода, извлекаются в виде отходящих газов из плавильного резервуара или из сепаратора паров расплава и обрабатываются с использованием системы удаления хлоридов. Остающиеся галогены могут быть удалены с использованием впрыскивания щелочных реагентов на месте. Впрыскивание может производиться в расплав полимера, например, перед или непосредственно в реакторе пиролиза. Для этой цели используется щелочной химикат, который обычно является, не ограничиваясь этим, безводной известью, едким натром, оксидом алюминия, карбонатом кальция или оксидом магния. Например, суспензионный раствор щелочного химиката готовится и вводится в реактор пиролиза, где температура находится в диапазоне от 500 до 1000°F, а время пребывания находится в диапазоне от 5 до 60 мин, для реакции органических галогенидов с щелочным химикатом с образованием солей, которые при этом удаляются из жидких и газообразных продуктов пиролиза. Образующиеся щелочные соли и непрореагировавшие щелочные реагенты извлекаются из кубового остатка реактора пиролиза вместе с пеком.

В некоторых вариантах осуществления система ввода щелочных химикатов может включать в себя систему подачи извести для образования известковой суспензии. Известковая суспензия может быть сформирована, например, путем смешивания извести с частью тяжелого или среднего пиролизного масла. Затем известковую суспензию можно подавать в смесительную систему для смешивания известковой суспензии с расплавленным пластиком. Система смешивания извести может быть расположена перед реактором пиролиза, а в некоторых вариантах осуществления она располагается после делителя потока расплавленного пластика. В линиях потока и в реакторе пиролиза известь может реагировать с хлором, содержащимся в расплавленном пластике, с образованием хлорида кальция, который может быть извлечен вместе с пеком из реактора пиролиза. Аналогичным образом можно использовать и другие щелочные химические реагенты.

Упрощенная технологическая схема термохимического способа в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения проиллюстрирована на фиг. 1. Сырье 10 пластиковых отходов может подаваться в реакционную зону 20 пиролиза для преобразования пластмасс в пиролизное масло, которое может включать в себя различные углеводороды, такие как легкие (C1-C4) углеводороды, углеводороды диапазона лигроина, углеводороды дизельного диапазона и более тяжелые углеводороды, возможно вплоть до пека. Пек может быть извлечен в виде потока 12 побочных продуктов, а оставшиеся продукты конверсии могут быть извлечены в виде пиролизного масла 14. Затем пиролизное масло 14 может подаваться в зону 22 дистилляции и разделения для разделения пиролизного масла на различные углеводородные фракции, такие как вышеупомянутые легкие углеводороды 15, лигроин 16, дизель 18, и тяжелые нефтяные фракции 19. Часть или все легкие углеводороды 15, такие как углеводороды C1, или C1-C2, или от C1 до C3, C4, C5, C6 или C7, могут возвращаться в реакционную зону 20 пиролиза для использования в качестве топлива для горелок (не показаны), связанных с реактором и/или нагревателями (также не показаны). Более тяжелые продукты также могут возвращаться, если это необходимо, в реакционную зону 20 пиролиза; например, фракции лигроина, дизельного топлива или тяжелой нефти могут подаваться в реакционную зону 20 пиролиза и использоваться в качестве потока разбавителя или охлаждающего потока, как будет дополнительно описано ниже.

В некоторых вариантах осуществления технологическое оборудование для блока пиролиза может иметь модульную форму. Технологические модули могут доставляться автомобильным или железнодорожным транспортом и могут собираться на месте. Модульность позволяет осуществлять строгий контроль качества в заводских условиях. Модульность также обеспечивает большую предсказуемость в плане затрат и сроков, а также минимизацию перерасходов.

Описанные в настоящем документе варианты осуществления основаны на термохимическом разложении (пиролизе) пластикового сырья для получения различных сортов газообразных и жидких про-

дуктов. Твердые пластиковые частицы вводятся в плавильный резервуар, а затем последовательно в реактор. Каждый из этих сосудов термически нагревается. В случае плавильного резервуара тепло обеспечивается циркулирующим горячим потоком теплоносителя. Реактор термически нагревается набором газовых горелок, которые обеспечивают прямой контакт дымовых газов горелки со стенкой корпуса, которая может быть снабжена рубашкой с находящимся в ней металлом с низкой температурой плавления. Металл внутри рубашки плавится, обеспечивая равномерный нагрев.

Термический механизм способа по существу не является каталитическим и разрушает полимерные связи в пластиковом сырье за счет термического разрушения.

Степень термического разложения зависит от температуры плавильного резервуара и реактора. Как правило, чем выше температура, тем больше степень термического разложения исходного пластика и тем ниже молекулярная масса продуктов (т.е. полимерные цепи разбиваются на более мелкие сегменты с меньшим количеством атомов углерода). Таким образом, используемая температура представляет собой баланс между слишком высокой температурой (которая приводит к более высокому выходу газа и более легким жидким продуктам с низкой вязкостью) и слишком низкой (которая приводит к более низкому выходу газа и более тяжелым жидким продуктам с высокой вязкостью).

Изменения в составе исходного пластика будут влиять на предпочтительную температуру для работы плавильного резервуара и реактора. В частности, увеличение количества PVC, а также PP и PE высокой плотности в исходном сырье потребует повышения температуры. Аналогичным образом увеличение количества полипропилена и полиэтилена низкой плотности наряду с уменьшением количества PVC в исходном сырье позволит использовать более низкую температуру процесса.

После плавления и пиролиза варианты осуществления в настоящем документе используют фракционирование для разделения газа и жидкостей на потоки желаемых продуктов. Варианты осуществления, описанные в настоящем документе, могут обеспечивать следующие продукты: (i) горючий пиролизный газ; (ii) более легкий жидкий продукт с физическими и химическими свойствами, подобными необработанному нестабилизированному лигроину или бензину; (iii) более тяжелые жидкие продукты с физическими и химическими свойствами, аналогичными неочищенному дизельному топливу и тяжелой нефти; и (iv) тяжелый жидкий пек, который можно смешивать с асфальтенами других процессов нефтепереработки.

Одним из преимуществ описанных в настоящем документе вариантов осуществления является их простота и гибкость для работы с изменениями состава и количества пластикового сырья. Кроме того, поскольку варианты осуществления способов в настоящем документе не требуют добавления каких-либо катализаторов или добавок, способ использует довольно простые первичные средства управления (то есть температуру) для регулирования выхода и свойств продукта.

При необходимости температуру процесса можно отрегулировать, чтобы отразить изменения в составе пластикового сырья. В то же время количество PVC и PET в пластиковом сырье должно быть сведено к минимуму. Пластик PVC труднее плавится и разлагается; продукт разложения также выделяет газообразный хлор (который выпускается из плавильного резервуара, а затем удаляется при контакте с водой). Остаточный хлор также может загрязнять потоки жидких продуктов, что является нежелательным. Разложение PET имеет тенденцию к выделению в потоки продуктов оксигенатов, которые также являются нежелательными загрязнителями.

На фиг. 2 проиллюстрирована упрощенная технологическая схема систем для преобразования пластиковых отходов в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Измельченный пластик 10 может поступать в зону подачи, расположенную в верхней части плавильного резервуара 40. Затем пластик направляется в плавильный резервуар 40 через шнек подачи сырья (не показан). В некоторых вариантах осуществления шнек подачи сырья может быть заменен экструдером или дополнительно может включать в себя экструдер, и пластиковое сырье может нагреваться за счет действия экструдера. Перед подачей в плавильный резервуар измельченный пластик может быть объединен с частью повторно используемого расплавленного пластика 42 из нижней части плавильного резервуара. Затем это объединенное пластиковое сырье нагревается в плавильном резервуаре до температуры 232-343°C (450-650°F), например 300°C (573°F). Резервуар может быть нагрет до этой температуры путем использования горячего теплоносителя, циркулирующего через внешнюю рубашку резервуара (не показана), а также через внутренние змеевики (не показаны). Альтернативно, резервуар может быть нагрет электрическим нагревательным элементом или за счет циркуляции горячих дымовых газов в нагревательной рубашке. Расплавленный пластик может быть тщательно перемешан с помощью встроенной мешалки в плавильном резервуаре (не показана).

В некоторых вариантах осуществления расплавленный полимер 41 может затем извлекаться из плавильного резервуара 40, перекачиваться насосом и дополнительно нагреваться в теплообменнике расплава (не показан) горячим теплоносителем и подаваться в сепаратор паров расплава (не показан). Температуру подачи в сепаратор можно установить, регулируя количество горячего теплоносителя в теплообменнике расплава. Любые пары, образующиеся в плавильном резервуаре, могут быть извлечены в виде отходящего газа, отделенного от расплавленного полимера. В некоторых вариантах осуществления тяжелый жидкий продукт пиролиза 76B и/или средний жидкий продукт пиролиза 74B может использовать-

ся в качестве разбавителя, который рециркулирует и добавляется к расплавленному пластику в плавильном резервуаре или в подходящих местах перед реактором 44 пиролиза. Этот разбавитель также подает тепло непосредственно в расплав пластика, помогая расплавить твердый пластик. Концентрация рециркулирующего разбавителя варьируется для оптимизации подвода тепла и поддержания текучести расплавленного пластика.

Первая часть 43 расплавленного пластика затем может быть направлена на вход реактора 44 пиролиза, где она может быть дополнительно нагрета и подвергнута пиролизу. Вторая часть 42 перекачиваемого расплавленного пластика, например, после нагревания в теплообменнике расплава, может быть возвращена обратно в плавильный резервуар и объединена с поступающим свежим пластиком.

Любые отходящие газы 45, извлеченные из плавильного резервуара и/или из сепаратора паров расплава (не показан), могут быть объединены и направлены в систему удаления хлоридов. Система удаления хлоридов может включать в себя колонну промывки щелочью или колонну водяной промывки либо для полной нейтрализации хлористого водорода, либо для получения побочного продукта в виде соляной кислоты (не показана). Хлорид может присутствовать в потоке(ах) отходящего газа, и его можно удалить перед объединением с верхним паром 68 из разделительной колонны 70, поступающим в конденсатор 72 верхнего погона.

Расплавленный пластик 43 может медленно подаваться к распределителю сырья в реакторе пиролиза, где расплавленный пластик нагревается на внутренней стенке с нисходящим потоком с помощью верхней мешалки реактора пиролиза (не показана). В некоторых вариантах осуществления внутренняя стенка может иметь конусообразную форму. Как было отмечено выше, в реактор пиролиза также могут быть введены щелочные реагенты. Расплавленный пластик может быть нагрет до температуры, например, в диапазоне от приблизительно 700 до приблизительно 1250°F, например от 662 до 1022°F, при давлении в диапазоне от приблизительно 4 до приблизительно 20 фунт/кв.дюйм изб., таком как приблизительно 6 фунт/кв.дюйм изб., за счет горячих дымовых газов от газовых горелок, циркулирующих через внешнюю рубашку. При нагревании расплавленный пластик может расщепляться на нефтяные углеводороды с короткой цепью, которые можно разделить в зоне 22 дистилляции и разделения.

Реактор пиролиза в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения может быть разделен на две зоны: первую секцию и вторую секцию. Первая секция может содержать зону предварительного нагрева, предназначенную для низкой конверсии, например, на 5-20%, например на 10%, и реакционную зону, предназначенную для конверсии на 30-80%, например на 40-70%, например приблизительно на 60% (по массе). Вторая секция представляет собой зону максимизации жидкого продукта, работающую при указанных выше температурах, где окончательное преобразование завершается с более длительным временем пребывания. Температуру во второй секции можно регулировать, чтобы избежать закоксовывания, что способствует получению жидкого пекового продукта. Нижняя мешалка реактора пиролиза (не показана) перемешивает пековый продукт, а также удаляет любые твердые частицы со стенок и дна реактора.

В некоторых вариантах осуществления система разделения может включать в себя одну или более ректификационных колонн. В некоторых вариантах осуществления система 22 разделения может включать в себя, помимо других компонентов, барабан предварительного испарения и одну или более ректификационных колонн. В некоторых вариантах осуществления парообразный продукт пиролиза 46 извлекается из реактора 44 пиролиза, где он подвергается охлаждению в смесителе для охлаждения паров реактора пиролиза частью охлажденной средней пиролизной фракции 74а, извлеченной из бокового отвода 74 разделительной колонны 70. Охлажденный пиролизный пар 48 затем направляется в барабан предварительного испарения (не показан) перед подачей в разделительную колонну 70. Для предотвращения накопления горячий пек 50 из нижней части реактора удаляется и посылается в пековый барабан (не показан) через донный шнек реактора пиролиза (не показан). Пековый продукт из реактора пиролиза может охлаждаться встречным потоком (не показан) тяжелой фракции пиролиза из барабана предварительного испарения (не показан), что также частично снижает вязкость пекового продукта. Пековый барабан может охлаждаться окружающим воздухом до температуры ниже примерно 400°F, но выше температуры размягчения.

Охлажденные продукты 48 пиролиза из верхней части реактора 44 пиролиза могут подаваться в барабан предварительного испарения (не показан) в зоне 22 дистилляции и разделения. Любая тяжелая фракция пиролиза, которая выпадает в барабане предварительного испарения, может быть перекачана и объединена с кубовым продуктом 76 колонны 70 разделения. Часть этой тяжелой фракции пиролиза из барабана предварительного испарения также может быть отправлена обратно в пековый барабан (не показан) для охлаждения и снижения вязкости пека из реактора пиролиза, как было отмечено выше. Верхний продукт испарительного барабана подается в разделительную колонну в качестве сырья. Разделительная колонна может состоять из клапанных тарелок в верхней части, насадочного слоя в средней части и жалюзийных тарелок в нижней части. Основная цель колонны состоит в разделении потока, выходящего из реактора 48 пиролиза, на пиролизный газ 78, легкую фракцию 80 пиролиза, среднюю фракцию 74 пиролиза и тяжелую фракцию 76 пиролиза.

Пар 68 из верхней части колонны 70 разделения объединяется с обработанным потоком 45 отходя-

шего газа из барабана с каустической содой (не показан), который затем частично конденсируется охлаждающей водой в верхнем конденсаторе, прежде чем он попадет в барабан 72 флегмы. Легкая фракция пиролиза из барабана флегмы перекачивается насосами легкой фракции пиролиза, где часть 80R направляется в виде флегмы обратно в верхнюю часть колонны. Оставшаяся легкая фракция 80 пиролиза извлекается в качестве продукта, и в некоторых вариантах осуществления в этот поток вводится антиоксидант. В некоторых вариантах осуществления легкая фракция пиролиза может быть извлечена как боковой погон с верхней тарелки колонны разделения, и в таких вариантах осуществления колонна может работать с полной флегмой.

Любые легкие углеводороды и неконденсируемые углеводороды 78 из барабана 72 флегмы направляются в компрессорную установку пиролизного газа (не показана), где они сжимаются, а затем охлаждаются. Охлажденный пиролизный газ затем направляется в аккумулятор пиролизного газа (не показан), где он может смешиваться с подпиткой топливного газа, которая может потребоваться во время запуска и останова. Затем отходящий газ из аккумулятора направляется в пакет теплоносителя (не показан) и в горелки реактора пиролиза (не показаны) для использования в качестве топливного газа.

Средняя фракция пиролиза извлекается как боковой погон 74 из средней секции колонны 70 разделения. Средняя фракция 74 пиролиза затем перекачивается насосом, где часть 74a возвращается обратно в разделительную колонну для промывки поступающего пара перед охлаждением. Холодильник средней фракции пиролиза (не показан) может охлаждать остаток, и часть остатка может возвращаться обратно в смеситель охлаждения паров реактора пиролиза для использования в качестве охлаждающей жидкости. Оставшаяся часть может быть извлечена в виде продукта с возможностью введения антиоксиданта в этот поток.

Работа кипятильника колонны может быть обеспечена за счет циркуляции горячего теплоносителя в кипятильнике (не показан). Тяжелая фракция 76 пиролиза из нижней части колонны, которая является смесью тяжелых углеводородов, может быть перекачана, затем объединена с тяжелой фракцией пиролиза из барабана предварительного испарения и охлаждена в охладителе тяжелой фракции пиролиза (не показан) перед отправкой в хранилище.

Как было отмечено выше, часть 76В тяжелой фракции 76 пиролиза и/или часть 76В средней фракции 74 пиролиза может быть возвращена назад в плавильный резервуар или в подходящее положение в секции расплава и смешана с расплавленным пластиком, извлеченным из плавильного резервуара 40.

Пиролизный газ 78 или его часть можно использовать для запуска горелок в системе нагрева горячего теплоносителя (не показаны) и горелок реактора пиролиза (не показаны). Однако сырой пиролизный газ может содержать олефины и диолефины. В некоторых вариантах осуществления сырой пиролизный газ можно охлаждать, а затем фракционировать для извлечения всех соединений, более тяжелых, чем С2 или С3. В других вариантах осуществления весь поток сырого пиролизного газа 78 может быть сжат и извлечен как продукт.

Как было отмечено выше, системы в соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, могут быть модульными. В некоторых вариантах осуществления система может быть сконструирована так, чтобы включать в себя три или более модулей, например, (1) резервуар для расплава и связанное с ним оборудование, (2) реактор пиролиза и связанное с ним оборудование и (3) секцию разделения и связанное с ней оборудование. Другие различные резервуары для хранения, компрессоры, системы нагрева теплоносителя и другие части системы также могут содержаться в одном или нескольких дополнительных модулях. Модули также могут быть рассчитаны на анкерное крепление к фундаменту. Кроме того, модули также могут быть снабжены подходящими точками подключения для коммунальных услуг, таких как электроэнергия, охлаждающая вода, природный газ, подача сырья, продукты и т.д.

На фиг. 3 проиллюстрирована упрощенная технологическая схема системы питания, плавильного резервуара и сепаратора отходящего газа в соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе. Пластиковые отходы 302, такие как измельченный пластик (стружка, куски, гранулы, мелкие волокна или другие легкотекучие формы), могут подаваться в загрузочный бункер 304. Небольшой непрерывный поток нагретого азота 306 подается в загрузочный бункер 304 для удаления влаги, поступающей с подаваемыми пластиковыми отходами, а также для предотвращения попадания кислорода (воздуха) в плавильный резервуар 308. Например, поток азота может быть нагрет в нагревателе 307 азота до температуры, например, выше 60 или выше 100°C, с использованием горячего теплоносителя 330А. Поток 312 влажного азота выпускается из загрузочного бункера 304, и в некоторых вариантах осуществления может выбрасываться в атмосферу. Затем высушенные пластиковые отходы направляются в плавильный резервуар 308 через шнек 310 для исходного сырья, который может использоваться для дозирования измельченного пластика по линии 311 в плавильный резервуар с требуемой скоростью.

Перед подачей в плавильный резервуар 308 измельченный пластик 311 смешивается с частью 316 рециркулирующего расплавленного пластика, которая может представлять собой часть пластика, расплавленного и извлеченного из нижней части плавильного резервуара 308 через линию 318. Объединенное пластиковое питание 317 затем нагревается в плавильном резервуаре 308 до температуры, достаточной для плавления пластиковых отходов, например, 250-350°C, например 300°C, при которой расплав-

ленный пластик является в достаточной степени жидким (имеет достаточно низкую вязкость) для извлечения через линию 318 и транспортировки к последующему оборудованию.

Плавильный резервуар 308 может быть доведен до нужной температуры за счет использования горячего теплоносителя 330 из пакета 328 теплоносителя. Как показано на фиг. 3, плавильный резервуар может быть доведен до нужной температуры путем циркуляции части 330С горячего теплоносителя через внешнюю рубашку 308J плавильного резервуара, а также путем циркуляции части 330В горячего теплоносителя через внутренние нагревательные змеевики 308С. Использование теплоносителя 330 ограничивает максимальную температуру поверхности в любой точке плавильного резервуара, что может способствовать минимизации или устранению образования кокса в плавильном резервуаре 308. Расплавленный пластик перемешивается в плавильном резервуаре 308 внутренней мешалкой 320 плавильного резервуара.

Расплавленный пластик, выводимый из плавильного резервуара по линии 318, затем дополнительно нагревается в теплообменнике 322 расплава горячим теплоносителем 330D, например, до температуры в диапазоне от 325 до 375°C, например 350°C. Полученный нагретый расплав полимера может быть разделен, как было указано выше, на часть 316, возвращаемую в плавильный резервуар 308, и часть 324 расплава полимера, которая может подаваться в сепаратор 340 паров расплава и на последующую обработку (не показана), включая реактор пиролиза для преобразования расплава полимерных отходов в более легкие углеводороды.

В некоторых вариантах осуществления растворитель, такой как тяжелая нефть или средняя или тяжелая фракция пиролизного масла, полученного в последующем реакторе пиролиза, может подаваться по линии 342 и смешиваться с расплавленным полимером 318, извлеченным из плавильного резервуара 308. Рециркуляционное пиролизное масло может способствовать плавлению пластика, что является первым шагом к успешному пиролизу в реакторе. Пластик представляет собой неньютоновскую жидкость, обладающую высокой вязкостью. Очень трудно нагреть пластик в резервуаре и сохранять его однородным. Вязкость пластика сильно зависит от молекулярной массы пластикового полимера, скорости сдвига благодаря мешалке и другим механическим воздействиям, а также от температуры. Для того, чтобы ограничить широкий разброс реологии пластика при желаемой температуре расплава или ниже, подходящий растворитель 342 может быть смешан с расплавленным пластиком в плавильном резервуаре 308. Растворитель 342 может поступать из любых жидких продуктов процесса пиролиза (внутренний растворитель) или из внешнего источника. В некоторых вариантах осуществления растворитель подается со скоростью потока 10-30% (по массе) от скорости подачи свежих пластиковых отходов 311. Дополнительным преимуществом является то, что при использовании растворителя снижается вязкость пластика и улучшается теплопередача в плавильном резервуаре.

Как было отмечено выше, расплав полимера нагревается в теплообменнике 322 перед поступлением в сепаратор 340 паров расплава. Температура подачи в сепаратор 340 паров расплава устанавливается путем регулирования количества горячего теплоносителя в теплообменнике 322 расплава, который может представлять собой теплообменник спирального типа. В зависимости от перерабатываемых полимеров известь 344 может быть введена в виде суспензии в сепаратор 340 паров расплава для удаления неорганических и органических хлоридов из расплавленного исходного пластика. Оксид кальция будет реагировать с хлоридами в реакторе с образованием хлорида кальция, который затем будет удален из реактора вместе с пеком. Расплавленный пластик, извлекаемый по линии 346 из нижней части сепаратора 340, затем направляется в реактор пиролиза (не показан), где он нагревается, подвергается пиролизу и обрабатывается, как описано выше со ссылками на фиг. 1 и 2.

Отходящие газы 348 из плавильного резервуара и отходящие газы 350 из сепаратора паров расплава могут быть объединены и направлены в охладитель отходящего газа (не показан). Охлажденный отходящий газ можно направить в сепаратор парафинового масла (не показан). Конденсированное углеводородное/парафиновое масло отделяется от охлажденных отходящих газов в барабане сепаратора парафинового масла. Жидкое углеводородное/парафиновое масло может быть направлено в колонну разделения после реактора пиролиза для извлечения углеводородов. Хлорид, присутствующий в объединенном потоке отходящего газа, может быть удален путем промывки водой перед объединением с верхним паром из разделительной колонны после реактора пиролиза. Известь, добавляемая в реактор, также удаляет трудно удаляемые органические хлориды, создавая тем самым очень низкий уровень содержания хлоридов, в частях на миллион, в продукте пиролиза.

Введение извести или другой щелочи в реактор может быть использовано для удовлетворения технических требований к продуктам по хлоридам. Хлориды, поступающие с питанием, например из PVC, представляют собой как органические, так и неорганические хлориды. В то время как часть неорганического и органического хлорида, который диссоциирует в условиях плавильного резервуара, удаляется с паром плавильного резервуара, другой хлорид, который труднее удалить, реагирует со щелочным реагентом, таким как CaO (известь), в реакторе пиролиза с образованием солей, таких как хлорид кальция (CaCl<sub>2</sub>). Образовавшиеся соли и непрореагировавший щелочной реагент, такой как CaCl<sub>2</sub> и любой непрореагировавший CaO, удаляются вместе с пеком из нижней части реактора пиролиза. В некоторых вариантах осуществления безводный порошок извести смешивается с пиролизным маслом, таким как продукт

тяжелой фракции, и получаемая густая суспензия извести перекачивается в реактор пиролиза по линии 344. Скорость дозирования извести (щелочного реагента) можно регулировать для достижения желаемого снижения содержания хлора в продуктах пиролиза.

Как было описано выше, пакет 328 теплоносителя может использоваться для подачи нагретого теплоносителя к каждому из нагревателя 307 азота, змеевиков 308С плавильного резервуара, рубашки 308J плавильного резервуара и теплообменника 322 для расплава. После теплообмена в соответствующих блоках теплоноситель может быть возвращен в пакет теплоносителя для повторного нагрева и повторного использования в контурах теплообмена. Пакет 328 теплоносителя может представлять собой, например, теплообменник с обогревом пламенем, который может работать на одном или нескольких видах топлива, которым в некоторых вариантах осуществления может быть легкая углеводородная фракция 360, извлекаемая из разделительной колонны после реактора пиролиза, или внешняя подача 361 топлива. Топливо может сжигаться с воздухом 362, образуя выхлоп 364. Пламенный теплообменник, используемый для нагрева теплоносителя, может быть автономным блоком или может быть сконфигурирован как часть более крупного пламенного нагревателя, используемого для нагрева нескольких технологических или вспомогательных потоков комплекса. В других вариантах осуществления теплоноситель может нагреваться электрическим нагревателем.

В некоторых вариантах осуществления вся установка пиролиза предназначена для потребления части продукта пиролизного газа внутри самой установки после того, как она достигнет нормальных рабочих условий. Этот пиролизный газ будет использоваться для зажигания горелок в системе 328 нагрева горячего теплоносителя и горелок реактора пиролиза. Однако в зависимости от общей обработки сырой пиролизный газ может содержать олефины и диолефины, и профиль пламени может представлять опасность для окружающей среды. В качестве опции сырой пиролизный газ может быть очищен путем охлаждения и фракционирования для извлечения всех соединений тяжелее C1, C2 или C3. Дополнительным вариантом является сжатие всего потока сырого газообразного продукта пиролиза (например, приблизительно до 27 бар изб.), а затем отправка сжатого потока в качестве продукта. В этом случае потребности установки пиролиза в отоплении полностью удовлетворяются за счет импортируемого природного газа.

Как было описано выше, варианты осуществления в настоящем документе направлены на способы и системы для преобразования отходов полимерных материалов в полезные нефтехимические продукты, топливо и другие промежуточные и конечные продукты. Предпочтительно варианты осуществления в настоящем документе производят пек, а не смолу или кокс и работают при температурах и конверсиях, позволяющих получать высококачественное пиролизное масло.

Если не определено иное, все технические и научные термины, используемые в настоящем документе, имеют то же самое значение, что и обычно понимаемое специалистами в области техники, к которой принадлежат эти системы, устройства, способы, процессы и композиции.

Все формы единственного числа включают в себя также соответствующее множественное число, если контекст явно не указывает обратное.

Используемые в данном описании и в приложенной формуле изобретения термины "содержать", "иметь" и "включать в себя", а также все их грамматические вариации имеют открытое, неограничивающее значение, которое не исключает дополнительных элементов или стадий.

"Опционально" означает, что описываемые с его помощью событие или обстоятельства могут происходить, а могут и нет. Это описание включает в себя случаи, когда это событие или обстоятельство происходит, а также случаи, когда оно не происходит.

Когда используется слово "приблизительно" или "около", этот термин может означать разброс значения вплоть до  $\pm 10$ , 5, 2, 1, 0,5, 0,1% или вплоть до 0,01%.

Диапазоны могут выражаться как от приблизительно одного конкретного значения до приблизительно другого конкретного значения включительно. Когда указан такой диапазон, следует понимать, что другой вариант осуществления находится в диапазоне от одного конкретного значения до другого конкретного значения вместе со всеми конкретными значениями и их комбинациями в пределах этого диапазона.

В то время как настоящее раскрытие включает в себя ограниченное количество вариантов осуществления, специалисту в данной области техники, обладающему преимуществом этого раскрытия, будет понятно, что могут быть разработаны и другие варианты осуществления, которые не выходят за пределы области охвата настоящего раскрытия. Соответственно, область охвата должна быть ограничена только прилагаемой формулой изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ преобразования пластиковых отходов, содержащий:
  - подачу пластиковых отходов в плавильный резервуар;
  - нагревание пластиковых отходов в плавильном резервуаре для формирования горячего пластикового расплава;
  - извлечение горячего пластикового расплава из плавильного резервуара и его подачу в реактор

пиролиза;

нагревание горячего пластикового расплава в реакторе пиролиза до температуры пиролиза с получением пиролизного масла и жидкого пека;

разделение пиролизного масла на пиролизную газовую фракцию, легкую пиролизную масляную фракцию, среднюю пиролизную масляную фракцию и тяжелую пиролизную масляную фракцию;

рециркуляцию разбавителя, содержащего среднюю пиролизную масляную фракцию, в плавильный резервуар.

2. Способ по п.1, в котором пластиковые отходы подаются в плавильный резервуар в виде частично или полностью расплавленных отходов пластика, извлеченных из экструдера, причем способ дополнительно содержит частичное или полное плавление отходов пластика в экструдере.

3. Способ по п.1, дополнительно содержащий регулирование температуры в реакторе пиролиза для ограничения температуры нагретого расплавленного пластика до температуры ниже той температуры, при которой образуются уголь или кокс.

4. Способ по п.1, дополнительно содержащий:

разделение нагретого расплавленного пластика на первую часть и вторую часть;

смешивание второй части с пластиковыми отходами перед плавильным резервуаром;

подачу первой части в реактор пиролиза.

5. Способ по п.1, дополнительно содержащий перед подачей пластиковых отходов в плавильный резервуар их контактирование с азотом при температуре, достаточной для удаления воды из пластиковых отходов.

6. Способ по п.1, дополнительно содержащий нагревание одного или обоих из плавильного резервуара и реактора пиролиза прямо или косвенно посредством сжигания пиролизной газовой фракции.

7. Способ по п.1, дополнительно содержащий смешивание щелочного реагента с горячим расплавленным пластиком после плавильного резервуара и перед реактором пиролиза, реагирование щелочного реагента с хлором, содержащимся в горячем расплавленном пластике, с образованием солей кальция и извлечение солей кальция вместе с жидким пеком.

8. Способ по п.1, дополнительно содержащий извлечение потока пара из плавильного резервуара и опционально обработку этого потока пара для удаления любых содержащихся в нем галогенов.

9. Способ преобразования пластиковых отходов, содержащий:

подачу пластиковых отходов в плавильный резервуар;

нагревание пластиковых отходов в плавильном резервуаре для формирования горячего пластикового расплава;

извлечение горячего пластикового расплава из плавильного резервуара и его подачу в реактор пиролиза;

нагревание горячего пластикового расплава в реакторе пиролиза до температуры пиролиза с получением пиролизного масла и жидкого пека;

разделение пиролизного масла на пиролизную газовую фракцию, легкую пиролизную масляную фракцию, среднюю пиролизную масляную фракцию и тяжелую пиролизную масляную фракцию;

рециркуляцию разбавителя, содержащего тяжелую пиролизную масляную фракцию, в плавильный резервуар.

10. Способ по п.9, в котором пластиковые отходы подаются в плавильный резервуар в виде частично или полностью расплавленных отходов пластика, извлеченных из экструдера, причем способ дополнительно содержит частичное или полное плавление отходов пластика в экструдере.

11. Способ по п.9, дополнительно содержащий регулирование температуры в реакторе пиролиза для ограничения температуры нагретого расплавленного пластика до температуры ниже той температуры, при которой образуются уголь или кокс.

12. Способ по п.9, дополнительно содержащий:

разделение нагретого расплавленного пластика на первую часть и вторую часть;

смешивание второй части с пластиковыми отходами перед плавильным резервуаром;

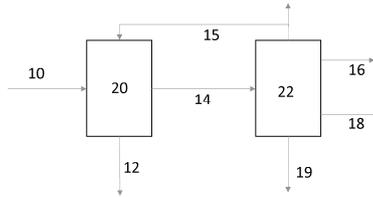
подачу первой части в реактор пиролиза.

13. Способ по п.9, дополнительно содержащий перед подачей пластиковых отходов в плавильный резервуар их контактирование с азотом при температуре, достаточной для удаления воды из пластиковых отходов.

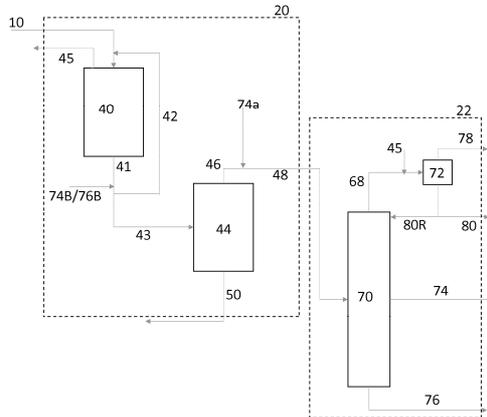
14. Способ по п.9, дополнительно содержащий нагревание одного или обоих из плавильного резервуара и реактора пиролиза прямо или косвенно посредством сжигания пиролизной газовой фракции.

15. Способ по п.9, дополнительно содержащий смешивание щелочного реагента с горячим расплавленным пластиком после плавильного резервуара и перед реактором пиролиза, реагирование щелочного реагента с хлором, содержащимся в горячем расплавленном пластике, с образованием солей кальция и извлечение солей кальция вместе с жидким пеком.

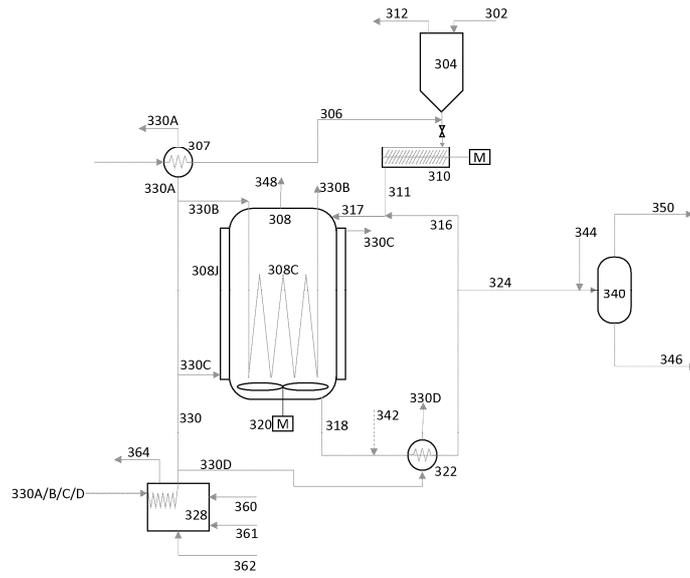
16. Способ по п.9, дополнительно содержащий извлечение потока пара из плавильного резервуара и опционально обработку этого потока пара для удаления любых содержащихся в нем галогенов.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

