

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202393172** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.06.20

(51) Int. Cl. **F28G 9/00 (2006.01)**
F28G 15/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.01.14

(54) ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ, ВКЛЮЧАЯ РАСТВОРЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ, А ТАКЖЕ КОГНИТИВНАЯ ОЧИСТКА

(31) **2021115199**

(32) **2021.09.06**

(33) **RU**

(86) **PCT/IB2022/050288**

(87) **WO 2022/248943 2022.12.01**

(71) Заявитель:

АНГАРА ГЛОБАЛ ЛТД (GB)

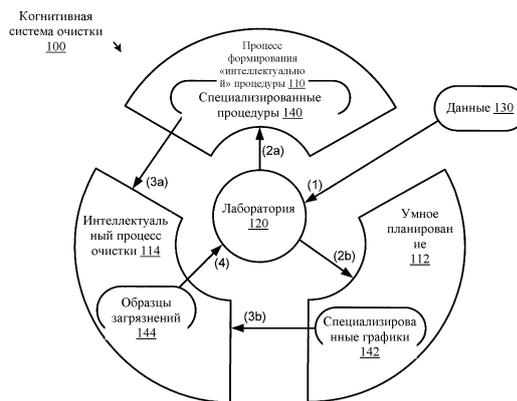
(72) Изобретатель:

**Чередник Эдуард Борисович (BY),
Родин Илья Юрьевич (RU)**

(74) Представитель:

**Котлов Д.В., Яшмолкина М.Л.,
Лазебная Е.А. (RU)**

(57) Метод используется для очистки систем теплообменных устройств. Данный метод осуществляется с помощью компьютерной системы, оснащенной одним или несколькими процессорами и устройством памяти, в котором хранятся одна или несколько программ, допускающих возможность их выполнения одним или несколькими процессорами. В процессе осуществления данного метода производится определение процентного содержания компонентов чистящего раствора на основе (по крайней мере, частично) технологических параметров работы системы теплообменных устройств. Технологические параметры включают в себя химические составы и рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств. В состав чистящего раствора входят следующие компоненты: (1) водорода пероксид - 2-90% (м/м); (2) комплексообразующее соединение - 3-30% (м/м); (3) водорастворимый каликсарен - 0,01-10% (м/м); и (4) вода. В состав комплексообразователя входит многоосновная органическая кислота или ее натриевая соль, или же производное фосфористой кислоты.



A1

202393172

202393172

A1

Промышленные системы очистки, включая растворы для удаления отложений различных типов, а также когнитивная очистка

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[0001] Настоящая заявка в целом относится к промышленным системам и методам очистки, включая растворы, используемые для удаления отложений различной природы с металлических, стеклянных и керамических поверхностей промышленного оборудования. Указанные системы могут использоваться для удаления таких отложений, как оксиды металлов (например, железа, хрома и/или никеля), карбонатных и солевых отложений, отложений битума/дегтя/парафинов, а также жиросодержащих отложений, отложений органического и биологического происхождения (бактериальных отложений). Настоящая заявка также включает в себя когнитивные системы и методы очистки, в которых могут использоваться описанные химические растворы.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

[0002] В состав процедур промышленной обработки, например нефтепереработки, могут входить операции транспортировки текучих сред через такие компоненты, как установки для предварительного подогрева или теплообменные устройства. С течением времени и с учетом различных условий такая транспортировка текучих сред может приводить к накоплению загрязнений и отложений внутри указанных установок для предварительного подогрева или теплообменных устройств. Наличие загрязнений ухудшает рабочие характеристики оборудования, что приводит к снижению производительности, а также оказывает общий отрицательный экономический эффект на промышленный процесс.

[0003] Традиционные методы очистки оборудования установок для предварительного подогрева или теплообменных устройств требуют разборки оборудования и поэтому применяются, как правило, во время простоев в работе предприятий, что случается, ориентировочно, один раз в два-четыре года. Эффективность работы систем предварительного подогрева или систем теплообмена в промежутках между проведением очисток может составлять менее 50 % от номинальной, что приводит к увеличению эксплуатационных расходов и объемов выброса углерода из системы.

[0004] Примером известного метода очистки является жидкостная химическая очистка (ЖХО) [заявка № 0277781, PHELPS DODGE IND INC. (US), дата публикации 10.08.1988, C23G1/10], состоящая из следующих этапов: для проведения очистки используется моющий раствор, содержащий H_2SO_4 и H_2O_2 , после чего выполняются промывка и сушка. При использовании данного метода моющий раствор и металл, подлежащий очистке, выдерживаются в разогретом состоянии; при этом длительность процесса обработки контролируется.

[0005] Данный метод эффективно используется для удаления отложений, образующихся в процессе высокотемпературной термомеханической обработки медной катанки. К недостаткам данного метода относятся необходимость использования горячих растворов, необходимость нагревания образцов, подлежащих очистке, а также нестабильность времени окисления горячих моющих растворов. При этом, данный метод не является универсальным и применим только для очистки поверхностей медной катанки.

[0006] Другой пример известного процесса ЖХО описан в заявке № 94-021419/02 («Метод очистки медной поверхности»). Реактив представляет собой моющий раствор, содержащий 45–75 г/л надсерной кислоты, получаемой путем электрохимической обработки 25–50 % водного раствора серной кислоты. Обработка проводится после нагрева раствора до температуры 100–120 °С в течение 3–7 минут. После обработки моющим раствором для ЖХО выполняется промывка изделий в воде и их сушка.

[0007] Данный метод характеризуется несколькими существенными недостатками: он требует искусственного нагревания моющих растворов, в результате чего повышаются их агрессивность и токсичность. Помимо этого, метод характеризуется нестабильной окислительной способностью и, как следствие, непостоянством протекания процесса воздействия чистящих растворов на очищаемую поверхность. Кроме того, применение данного метода связано с существенными расходами на нейтрализацию и утилизацию промышленных отходов.

[0008] В еще одном примере применения известного метода используются пероксиды с комплексообразующими соединениями в дезинфицирующих составах [RU 2 360 415 C1, ООО «НПП Биохиммаш» (РФ), дата публикации 10.07.2009, МПК A01N25/22]. В данном соединении используется водорода пероксид, молекулы которого связаны с молекулами комплексообразующего соединения; соединение используется для дезинфицирующей обработки поверхностей. 1,5 кг механически активированного комплексообразующего соединения смешивают с 5 кг пероксида и разбавляют путем добавления 30 л воды с добавкой поверхностно-активного вещества (ПАВ). Одним из недостатков данного метода является узкая специфика применения: возможность использования его только для дезинфекции, отсутствие ингибиторов окисления металлов, а также сложность обработки поверхности.

[0009] Об одном из известных чистящих растворов сообщается в патенте США № 4,636,282 (GREAT LAKES CHEMICAL CORP (US), дата публикации 13.01.1987, IPC C23F1/18), в котором он представляет собой моющий раствор для проведения очистки, содержащий 8–12 % (м/м) 0,004–0,02 М раствор H_2SO_4 , в котором используется стабилизирующая добавка и 0,5 М раствор H_2O_2 . Очистку с помощью данного раствора проводят при температуре 50 °С, после чего изделия промывают водой и высушивают. Преимуществом данного метода является эффективное удаление с поверхности примесей, растворимых в кислотах, т.е. получение блестящей поверхности. Недостатками данного метода являются его неуниверсальность (метод пригоден только для травления меди), необходимость использования горячих растворов, а также специальных травильных растворов со стабилизирующими добавками.

[0010] Еще один пример известного метода очистки, описанного в публикации США № US2004101461 (A1), включает в себя использование водного раствора, содержащего водорода пероксид в концентрациях 20–70 % (м/м), комплексообразующее средство на основе фосфонової кислоты в концентрациях 10–60 % (м/м) (в зависимости от содержания водорода пероксида) и воду. Данный раствор характеризуется широким спектром применения и может использоваться для отбеливания, очистки, дезинфекции, стерилизации и окисления, включая использование для насыщения почвы кислородом (рекомендуемое использование). Недостатками данного раствора являются его недостаточная эффективность при использовании для очистки металлических поверхностей и неспособность удалять оксиды металлов.

[0011] Таким образом, целесообразным является развитие методов и систем очистки и удаления загрязнений, основывающихся на экономичных решениях и использующих эффективные составы.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0012] В некоторых вариантах осуществления используются новые композиции для эффективного удаления отложений различной природы с различных поверхностей оборудования и изделий, таких как металлические и/или неметаллические поверхности, включая стеклянные, керамические и полимерные поверхности. Одним из общих технических результатов рассматриваемой группы изобретений является повышение эффективности воздействия раствора (степени очистки) при очистке от отложений различной природы с одновременным снижением агрессивности раствора в отношении

материалов, из которых изготовлено оборудование, и изделий (конструкционных материалов). Еще одним техническим результатом в случае очистки металлических поверхностей является образование слоя с высокой коррозионной устойчивостью на поверхности изделий, подлежащих очистке и выполненных из металлов и их сплавов.

[0013] В некоторых вариантах осуществления для удаления отложений различной природы используется какой-либо раствор. Указанный раствор содержит водорода пероксид, комплексообразующее соединение, каликсарен и воду в следующих количественных соотношениях: водорода пероксид – 2–90 % (м/м); комплексообразующее соединение – 3–30 % (м/м); каликсарен – 0,01–10 % (м/м); вода – оставшаяся часть. В качестве комплексообразующих средств используются водорастворимые хелатные соединения. Например, к хелатным соединениям относятся многоосновные органические кислоты, их натриевые соли и производные фосфористых кислот.

[0014] В некоторых вариантах осуществления раствор также содержит органическую кислоту в концентрации 3–30 % (м/м), при этом в качестве органической кислоты используется уксусная кислота, а также муравьиная кислота, пропионовая кислота, масляная кислота, щавелевая кислота, лимонная кислота, сульфаминовая кислота, адипиновая кислота, виннокаменная кислота, молочная кислота, ангидриды указанных кислот или же любые возможные их сочетания.

[0015] В некоторых вариантах осуществления раствор также содержит стабилизатор разложения пероксидных соединений в концентрации 1–5 % (м/м), при этом в качестве стабилизатора разложения пероксидных соединений используются натрия гексаметафосфат, калия фосфат, натрия гидрофосфат и натрия дигидрофосфат.

[0016] В некоторых вариантах осуществления раствор также содержит ПАВ в концентрации 0,5–2,5 % (м/м). при этом в качестве ПАВ используются сульфонол, неонол или их смесь, как правило в соотношении 2:1.

[0017] В некоторых вариантах осуществления раствор также содержит ингибитор в концентрации 0,5–1,5 % (м/м).

[0018] Реализация данной задачи и требуемый технический результат достигаются также благодаря использованию для получения указанного выше раствора концентрированного компонента, содержащего комплексообразующее соединение и каликсарен в следующих соотношениях: комплексообразующее соединение – 60–90 % (м/м); каликсарен – 10–40 % (м/м).

[0019] В некоторых вариантах осуществления концентрированный компонент содержит ингибитор в концентрации 5–15 % (м/м).

[0020] В некоторых вариантах осуществления концентрированный компонент также содержит органическую кислоту в концентрации 10–85 % (м/м).

[0021] В некоторых вариантах осуществления концентрированный компонент также содержит стабилизатор разложения пероксидных соединений в концентрации 10–30 % (м/м).

[0022] В некоторых вариантах осуществления концентрированный компонент также содержит ПАВ в концентрации 1–10 % (м/м).

[0023] Реализация данной задачи и требуемый технический результат достигаются также благодаря использованию для очистки от отложений различной природы такого метода приготовления раствора, при котором предлагаемый концентрированный компонент смешивается с водорода пероксидом и разбавляется водой.

[0024] Реализация данной задачи и требуемый технический результат достигаются также благодаря использованию метода очистки поверхности с помощью раствора для

очистки от отложений различной природы, включающего стадию, на которой обеспечивается контакт поверхности с раствором согласно изобретению, при этом поверхность может быть металлической или неметаллической.

[0025] Реализация данной задачи и требуемый технический результат достигаются также благодаря использованию метода очистки поверхности от отложений различной природы, представляющего собой сочетание механического, химического и физико-химического воздействий на указанные отложения компонентов чистящего раствора, получаемого в процессе взаимодействия концентрированного раствора, содержащего, по крайней мере, комплексобразующее соединение и каликсарен, с водородом пероксидом, с последующим разбавлением водой, что приводит к интенсивному выделению газа на поверхности и внутри пор отложений с образованием пузырьков радиусом от $1,3 \cdot 10^{-6}$ м до $2 \cdot 10^{-3}$ м, с поддержанием в зоне локального разложения температур до 150 °С и давлений от $0,1$ МПа до 15 МПа; при этом поверхность может быть металлической или неметаллической.

[0026] В технологии очистки используется сочетание механического и химического воздействий на отложения, а также сочетание комплексобразующих и поверхностно-активных свойств в одной молекуле активного компонента (каликсарена): одно из свойств характеризует вещество как комплексобразующее соединение, а другое – как ПАВ. В предлагаемой технологии используется экзотермический эффект разложения пероксидных соединений с интенсивным газообразованием на поверхности и внутри отложений. Благодаря наличию указанного эффекта исключается необходимость нагревания чистящего раствора, поскольку для этой цели используется энергия разложения. Использование каликсаренов в сочетании с пероксидными соединениями также вносит свой вклад в адсорбционное снижение мощности отложений; данное явление известно как «эффект Ребиндера». Интенсивное газообразование способствует разрыхлению отложений и ускорению десорбции с поверхности оборудования и изделий, подлежащих очистке. В сочетании с использованием каликсаренов, проявляющих как комплексобразующие и поверхностно-активные свойства, так и способность к образованию мицеллярных структур, достигается полное смещение равновесия в сторону растворения отложений, включая растворение оксидов металлов в процессе очистки металлических поверхностей.

[0027] Использование традиционных процессов очистки требует остановки производственного процесса для разборки и очистки оборудования. Такая процедура занимает много времени и является дорогостоящей, поскольку проведение очистки требует приостановки всех производственных процессов и большинство операций очистки осуществляется вручную. Несмотря на существование финансовых и экологических стимулов для поддержания оборудования в чистом состоянии с целью обеспечения его эффективной работы, частое проведение процедур очистки требует также финансовых затрат. Таким образом, целесообразной является разработка оптимального метода контроля загрязнения оборудования.

[0028] Для успешного решения задач по контролю загрязнения предлагаются специализированные методы и системы контроля загрязнения, позволяющие формировать индивидуальные графики очистки и реализовывать адаптивные процессы очистки. Использование таких методов и систем позволяет моделировать процесс накопления загрязнений в оборудовании, отслеживать и моделировать эксплуатационные характеристики и эффективность системы с учетом накопления загрязнений с течением времени, а также выстраивать соответствующие системы показателей с учетом уровня воздействия на окружающую среду и финансовых затрат. С применением соответствующих моделей указанные методы и системы могут использоваться для разработки и реализации предсказательных моделей с целью формирования графиков

проведения работ по контролю загрязнений и процедур по очистке оборудования от загрязнений, специально разработанных для удовлетворения специфических требований и соответствия основным показателям производительности (таким как финансовые и/или экологические цели) конкретного приложения или клиента.

[0029] В сравнении с традиционными методами очистки, которые применяются только в случае остановки работы предприятия (например, каждые два-четыре года), описанные в настоящем документе методы и системы могут применяться без прекращения функционирования предприятия. Кроме того, использование методов и систем, описанных в настоящем документе, способно увеличить эффективность теплопередачи на величину до 70–80 %, а также существенно снизить уровень выбросов углерода из систем установок для предварительного подогрева или систем теплообменных устройств.

[0030] Согласно некоторым вариантам осуществления, метод очистки систем теплообменных устройств реализуется с использованием компьютерной системы, оснащенной одним или несколькими процессорами и устройством памяти, в котором хранятся одна или несколько программ, допускающих возможность их выполнения одним или несколькими процессорами. Указанный метод включает в себя процедуру оценки уровня загрязнения системы теплообменных устройств, основанную (по крайней мере, частично) на результатах измерения эксплуатационных характеристик системы теплообменных устройств. Указанные эксплуатационные характеристики включают в себя скорость теплообмена. Рассматриваемый метод также включает в себя формирование стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы, основанной на анализе оценочного уровня загрязнений системы теплообменных устройств, а также формирование исходной процедуры очистки на основе технологических параметров работы системы теплообменных устройств. Технологические параметры включают в себя химические составы и рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств. Рассматриваемый метод также включает в себя формирование стоимостной модели очистки на основе исходной процедуры очистки, расчет параметров графика очистки для минимизации общих эксплуатационных затрат с использованием как стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы, так и стоимостной модели очистки, а также выполнение исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств в соответствии с расчетным графиком очистки.

[0031] В некоторых вариантах осуществления данный метод также включает в себя процедуру отбора образцов загрязнений из системы теплообменных устройств во время выполнения исходной процедуры очистки, описание характеристик образцов загрязнений, формирование уточненной процедуры очистки, основанной (по крайней мере, частично) на характеристиках образцов загрязнений, разработку уточненной стоимостной модели очистки на основе уточненной процедуры очистки и выполнение уточненной процедуры очистки системы теплообменных устройств в соответствии с расчетным графиком.

[0032] В некоторых вариантах осуществления описание характеристик образцов загрязнений включает в себя определение одной или нескольких химических характеристик (например, химического состава) образца, одной или нескольких механических характеристик образца и одной или нескольких физических характеристик образца.

[0033] В некоторых вариантах осуществления рассматриваемый метод также включает в себя разработку трехмерной синтезированной модели образца загрязнения на основе характеристик образца загрязнения. Например, синтезированная модель может представлять собой трехмерную отпечатанную модель образца загрязнения, механические и/или физические свойства которой схожи с соответствующими свойствами отобранного

образца загрязнения. Например, синтезированная модель может иметь такую же степень пористости и/или проницаемости, что и образец загрязнения.

[0034] В некоторых вариантах осуществления выполнение исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств включает в себя одно или несколько следующих действий: 1) определение химического состава образца загрязнения, отобранного из системы теплообменных устройств; 2) определение температуры в системе теплообменных устройств и корректировка исходной процедуры очистки в соответствии с температурой в системе теплообменных устройств; и 3) определение давления в системе теплообменных устройств и корректировка исходной процедуры очистки в соответствии с давлением в системе теплообменных устройств.

[0035] В некоторых вариантах осуществления формирование исходной процедуры очистки на основе технологических параметров работы системы теплообменных устройств включает в себя извлечение ранее сформированных процедур очистки из хранилища данных и формирование исходной процедуры очистки на основе извлеченных процедур очистки. Сформированные ранее процедуры очистки были сформированы для одной или нескольких других систем теплообменных устройств, технологические параметры работы которых согласуются с технологическими параметрами работы рассматриваемой системы теплообменных устройств. Другие системы теплообменных устройств аналогичны рассматриваемой системе теплообменных устройств, однако не обязательно идентичны ей.

[0036] Согласно некоторым вариантам осуществления, в состав вычислительного устройства входят один или несколько процессоров, а также устройство памяти, работающее в паре с одним или несколькими процессорами. Устройство памяти обеспечено возможностью хранения одной или нескольких программ, которые допускают возможность их выполнения одним или несколькими процессорами, а одна или несколько программ включают в себя инструкции по осуществлению любого из методов, описанных в настоящем документе.

[0037] Согласно некоторым вариантам осуществления, одна или несколько программ хранятся на машинно-читаемом носителе данных, предназначенном для долговременного хранения информации. Одна или несколько программ включают в себя инструкции, которые, при выполнении их вычислительным устройством, побуждают систему выполнять какой-либо из методов, описанных в настоящем документе.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0038] Определенные отличительные признаки заявленной технологии сформулированы в прилагаемой формуле изобретения. Однако, для ясности некоторые из аспектов заявленной технологии проиллюстрированы на приведенных ниже рисунках.

[0039] На рис. 1 показаны отличительные признаки когнитивного процесса очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[0040] На рис. 2А показана функциональная схема, иллюстрирующая когнитивный процесс очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[0041] На рис. 2В показана функциональная схема, иллюстрирующая реализацию когнитивного процесса очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[0042] На рис. 3 показана функциональная схема, иллюстрирующая особенности когнитивной системы очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[0043] На рис. 4 показан поперечный разрез оборудования, который включает в себя различные типы загрязнений в соответствии с особенностями заявленной технологии.

- [0044] На рис. 5А–5С показан многостадийный процесс очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0045] На рис. 5D–5F показан процесс дробления загрязнений в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0046] На рис. 6 показана функциональная схема, иллюстрирующая процесс формирования «интеллектуальной» процедуры в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0047] На рис. 7А–7С показаны результаты анализа химического состава образцов загрязнений в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0048] На рис. 8А–8F показаны модели описания характеристик образца загрязнений в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0049] На рис. 9А–9С показана структура «интеллектуальной» процедуры в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0050] На рис. 10 показана функция загрязнения в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0051] На рис. 11 показана диаграмма, иллюстрирующая влияние «интеллектуального» графика регулярной очистки на эксплуатационные характеристики системы в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0052] На рис. 12 показана электронная система, с помощью которой могут быть реализованы особенности заявленной технологии.
- [0053] На рис. 13 показана ожидаемая выгода от использования системы теплообменных устройств, очистка которой от загрязнений осуществляется в соответствии с особенностями заявленной технологии.
- [0054] На рис. 14А–14D показана функциональная схема метода очистки систем теплообменных устройств в соответствии с особенностями заявленной технологии.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0055] Приведенное ниже подробное описание предназначено для использования в качестве описания различных конфигураций заявленной технологии и не предназначено для представления только тех конфигураций, в которых заявленная технология может применяться на практике. Прилагаемые чертежи включены в настоящий документ и являются частью подробного описания. Подробное описание включает в себя конкретные детали, что необходимо для обеспечения полного понимания заявленной технологии. Тем не менее, заявленная технология не ограничивается приведенными конкретными деталями, изложенными в настоящем документе, и может применяться на практике с использованием одного или нескольких методов реализации, отличающихся от изложенных в настоящем документе. В одном или нескольких методах реализации конструкции и компоненты показаны в виде функциональной схемы, для того чтобы избежать затруднений в понимании принципов заявленной технологии.

Состав чистящего раствора

[0056] Как указано выше, суть предлагаемой технологии заключается в сочетании механического, химического и физико-химического воздействий на отложения, а также в сочетании комплексообразующих и поверхностно-активных свойств в одной молекуле активного компонента.

[0057] Это подразумевает использование пероксидных соединений, таких как перокси кислоты и водорода пероксид. Разложение указанных соединений сопровождается обильным газообразованием с выделением энергии. Радиус пузырьков газа,

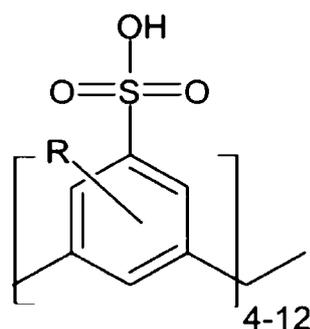
образующихся в ходе реакции разложения пероксидного соединения варьируется от $1,3 \cdot 10^{-6}$ М до $2 \cdot 10^{-3}$ м. С одной стороны, для того чтобы образующиеся пузырьки могли оказывать разрушающее воздействие на отложения, значение радиуса должно превышать размер пор отложений. С другой стороны, увеличение поверхностного натяжения препятствует проникновению раствора в поры отложений; поэтому для каждого отдельного случая подбирается оптимальное промежуточное значение размера пузырька. Температура внутри пор отложений может достигать $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, а давление газов в зоне местного разложения может достигать значений в диапазоне от 0,1 МПа до 15 МПа. Высокой эффективности данного процесса удастся добиться в порах отложений тогда, когда значительное количество газообразных продуктов выделяется в небольшом объеме пространства. Объем выделяемого газа прямо пропорционален концентрации водорода пероксида.

[0058] Таким образом, отложения подвергаются механическому воздействию, которое, в сочетании с низким поверхностным натяжением на границе раздела фаз, делает возможным возникновение эффекта Ребиндера. Кроме того, эффект экзотермического разложения проявляется в нагреве раствора, что, в свою очередь, приводит к увеличению скорости проявления описанных эффектов и протекания химических реакций непосредственно в порах отложений.

[0059] Чистящий состав содержит водорода пероксид, комплексообразующее средство, каликсарен и воду. Пероксид водорода в концентрациях 2–90 % (м/м) (в зависимости от концентрации исходного раствора) обеспечивает протекание процессов газообразования за счет эффекта экзотермического разложения, которое, в свою очередь, оказывает разрушительное воздействие на отложения. Использование состава с процентным содержанием менее 2 % не обеспечивает надлежащего эффекта (наблюдается неполная очистка). Использование состава с процентным содержанием более 90 % не рекомендуется, поскольку в таком случае процесс интенсивного разложения может оказывать разрушительное воздействие на оборудование. Концентрация водорода пероксида оказывает влияние на объем газа и на температуру в порах отложений. Изменяя значение концентрации пероксидного компонента, можно добиваться нужной интенсивности процесса газообразования.

[0060] Комплексообразующее средство используется в концентрациях 3–30 % (м/м). В качестве комплексообразующих средств могут использоваться водорастворимые хелатные соединения, например, натриевые соли многоосновных органических кислот или многоосновные органические кислоты (такие как этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТУК)) сами по себе, а также производные фосфористых кислот (такие как нитрилтриметилфосфоновая кислота (НТМФК) и гидроксиэтилидендифосфоновая кислота (ГЭДФК)). Использование хелатных соединений в концентрациях менее 3 % не обеспечивает необходимого эффекта комплексообразования, а в концентрациях более 30 % хелатное соединение растворяется не полностью.

[0061] Водорастворимый каликсарен общей формулы используется в концентрациях 0,1–10 %. Предпочтительно используются каликсарены общей формулы:



[0062] Использование каликсаренов указанной структуры делает возможным эффективное связывание ионов тяжелых элементов (включая радиоактивные) за счет образования с ними устойчивых комплексов. Существует возможность использования любых структур указанного выше состава. Для металлических поверхностей предпочтительным является использование соединений с количеством мономерных звеньев, равным 6 или 8, поскольку в таком случае размер внутренней полости молекулы соответствует радиусу атома тяжелого элемента. Использование каликсаренов в концентрациях менее 0,01 % не обеспечивает эффекта комплексообразования. При увеличении концентрации (до значений, превышающих 10 %) не наблюдается никакого улучшения чистящих свойств.

[0063] Использование водорастворимых производных каликсаренов, сочетающих в себе комплексообразующие и поверхностно-активные свойства, позволяет существенно повысить эффективность очистки. В частности, в случае проведения очистки металлических поверхностей ионы металлов связываются и переносятся в мицеллярную фазу (что не предлагалось ранее).

[0064] Возможно дополнительное введение органической кислоты в концентрации 3–30 % (м/м) – например, уксусной кислоты, муравьиной кислоты, пропионовой кислоты, масляной кислоты, щавелевой кислоты, лимонной кислоты, сульфаминовой кислоты, адипиновой кислоты, виннокаменной кислоты, молочной кислоты, ангидридов указанных кислот или же любых возможных сочетаний вышеуказанных веществ. Использование органических кислот обеспечивает дополнительное повышение эффективности разложения водорода пероксида за счет образования пероксикислот. В указанном диапазоне концентраций достигается максимальный эффект. При использовании недостаточных или избыточных количеств реактивов уровень pH среды не будет способствовать комплексообразованию и контролируемому разложению пероксидных соединений.

[0065] Дополнительное механическое воздействие на отложения достигается за счет разложения пероксидных соединений ряда одноосновных (C1–C6), а также двухосновных (C2–C6), трехосновных и четырехосновных карбоновых кислот. Например, наиболее оптимальным для дальнейшего повышения эффективности очистки от карбонатных отложений является использование одноосновных карбоновых кислот, таких как уксусная и муравьиная кислоты. Для получения стабильных комплексов с ионами железа наиболее оптимальным является использование двухосновных карбоновых кислот, таких как щавелевая и адипиновая кислоты, или же трехосновных карбоновых кислот, например, лимонной кислоты. Четырехосновная карбоновая кислота ЭДТУК и/или ее соли являются наиболее оптимальными в качестве универсальных комплексообразующих средств. Указанные примеры конкретных кислот приведены в качестве иллюстрации варианта осуществления группы изобретений и не предназначены для ограничения рамок изобретения. Указанные примеры применения кислот не следует рассматривать как ограничивающие рамки заявленной группы изобретений, которые определены формулой изобретения. Все карбоновые кислоты, используемые в данной технологии, являются биологически разлагаемыми.

[0066] В состав может дополнительно вводиться стабилизатор разложения пероксидных соединений (например, натрия гексаметафосфат или аналогичные соли фосфорной кислоты, такие как калия фосфат, натрия гидрофосфат или натрия дигидрофосфат) в концентрациях 1–5 %. Если стабилизатор используется в концентрациях менее 1 %, то процесс разложения происходит лавинообразно и неконтролируемо, в то время как использование стабилизатора в концентрациях свыше 5 % не обеспечивает нужного газообразования. Скорость газообразования в процессе

разложения пероксидных соединений зависит главным образом от концентрации стабилизатора разложения.

[0067] Кроме того, может добавляться ПАВ в концентрациях 0,5–2,5 %. В качестве ПАВ может использоваться, например, сульфонол совместно с неололом в соотношении 2:1, однако возможно использование указанных веществ как самостоятельных компонентов ПАВ. Благодаря использованию ПАВ становится возможным дальнейшее повышение эффективности очистки раствором путем снижения поверхностного натяжения в области соприкосновения жидкости с твердым телом (чистящего раствора с отложением). Данный эффект связан с адсорбцией молекул ПАВ на поверхности отложения, которая обусловлена сходством химических свойств молекул отложений и молекул ПАВ. Благодаря снижению поверхностного натяжения обеспечивается лучшая смачиваемость отложений чистящим составом, что подразумевает увеличение площади соприкосновения раствора с отложениями. Кроме того, наличие описанного выше эффекта позволяет раствору проникать в поры отложения, благодаря чему создается возможность доставки молекул пероксидных соединений в поры отложения с последующим его разложением. Выбор ПАВ является важной задачей, которая решается индивидуально в зависимости от природы отложений. Рассматривая общие случаи, можно указать на то, что анионные ПАВ, такие как алкилбензолсульфонокислоты, могут использоваться в процессах очистки от масел, а катионные ПАВ, такие как цетримония хлорид, могут использоваться для удаления силикатных отложений. Выбор ПАВ также определяется уровнем pH раствора, поскольку использование анионных ПАВ является неприемлемым в кислой среде, точно так же как использование катионных ПАВ является неприемлемым в щелочной среде. Использование ПАВ в концентрациях ниже 0,5 % не обеспечивает эффекта смачивания. Использование ПАВ в концентрациях выше 2,5 % не обеспечивает дальнейшего повышения эффективности очистки. Кроме того, благодаря использованию ПАВ облегчается получение пузырьков нужных размеров.

[0068] Для того, чтобы исключить разрушающее воздействие чистящего состава непосредственно на металлические, стеклянные и керамические поверхности оборудования, дополнительно используют соответствующие ингибиторы в концентрациях 0,5–1,5 %. Указанные вещества образуют на поверхности прочный нерастворимый слой, который защищает поверхность от воздействия активных компонентов раствора. Использование ингибиторов в концентрациях менее 0,5 % не обеспечивает надлежащего ингибирующего эффекта, а использование их в концентрациях, превышающих 1,5 %, не обеспечивает повышения эффективности ингибирования. В качестве ингибитора для металлических поверхностей используется, например, ингибитор KI-1, для легированных и углеродистых сталей – Catapine-B, для сплавов на основе железа и цветных металлов – KI-1. В частности, ингибиторы растворения металлов подавляют окислительное воздействие пероксидных соединений и создают стойкую к окислению защитную пленку.

[0069] Моющего действия удается достичь путем прокачивания чистящего состава через контуры оборудования, или же путем помещения деталей последнего в циркуляционную ванну. Для подтверждения количественного содержания реактивов в водном растворе, использующемся для очистки от отложений металлических и неметаллических поверхностей, были подготовлены испытываемые образцы (см. таблицу 1). Указанные образцы были подвергнуты испытаниям по оценке эффективности очистки.

Таблица 1. Испытуемые образцы чистящих растворов.

Состав, % (м/м)	Примеры									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Водорода пероксид	2	25	90	5	15	30	5	15	60	90
Комплексообразующее	4	4	6	4	4	6	15	30	5	10

средство										
Стабилизатор разложения пероксидов	0	0	0	2	3	4	2	2	8	10
ПАВ	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2
Каликсарен	15	2	0,01	10	0,1	0,1	15	0,1	0,1	0,1
Вода	остав- шаяся часть									

[0070] Для приготовления испытуемого раствора (образца) № 1 концентрированный компонент, содержащий комплексообразующее соединение (ЭДТУК) и водорастворимый каликсарен (6 мономерных звеньев), смешивали с 36 % раствором водорода пероксида и разбавляли водой. Полученный чистящий раствор имел следующий состав: водорода пероксид (5 %), ЭДТУК (4 %), водорастворимый каликсарен (10 %) и вода (оставшаяся часть). Полученный раствор прокачивали через теплообменное оборудование, загрязненное карбонатными отложениями и оксидами железа. Контроль чистоты проводили визуально и путем определения перепада давлений на входе и выходе теплообменного устройства. Результаты оценки эффективности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты оценки эффективности очистки с помощью испытуемых растворов.

Характеристики очистки	Примеры									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наличие отложений после очистки, % от площади поверхности	10	0	0	0	0	0	15	0	0	0
Время очистки, час	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Агрессивное воздействие раствора на металл	Частичное разрушение	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	Частичное разрушение	отсутствует	отсутствует	отсутствует

[0071] Испытуемые растворы №№ 1 и 10 готовили таким же образом, как и испытуемый раствор № 1, за следующими исключениями:

[0072] В качестве комплексообразующих веществ в испытуемом растворе № 2 использовали НТМФК, в испытуемом растворе № 3 – ЭДТУК, в испытуемом растворе № 4 – ЭДТУК, в испытуемом растворе № 5 – НТМФК, в испытуемом растворе № 6 – ГЭДФК, в испытуемом растворе № 7 – ЭДТУК, в испытуемом растворе № 8 – ЭДТУК, в испытуемом растворе № 9 – ГЭДФК, в испытуемом растворе № 10 – НТМФК; в качестве стабилизаторов разложения в испытуемых растворах №№ 4–10 использовали натрия полифосфат; в качестве ПАВ в испытуемом растворе № 4 использовали сульфонол, в испытуемом растворе № 5 – ОР-7, в испытуемом растворе № 6 – сульфонол, в испытуемом растворе № 7 – ОР-10, в испытуемом растворе № 8 – ОР-7, в испытуемом растворе № 9 – сульфонол, в испытуемом растворе № 10 – ОР-10.

[0073] Испытуемые растворы №№ 2–10 испытывали и оценивали таким же образом, как и испытуемый раствор № 1. Указанные испытания подтверждают повышение эффективности предлагаемого в изобретении раствора при удалении отложений различной природы с одновременным снижением агрессивности раствора по отношению к конструкционным материалам.

[0074] В то время как настоящая группа изобретений подробно описана в примерах вариантов осуществления, являющихся предпочтительными, необходимо помнить, что

эти варианты осуществления приведены лишь в качестве иллюстрации изобретения. Данное описание не следует толковать как ограничивающее объем настоящего изобретения, поскольку специалисты в области химии и другие лица могут вносить изменения в параметры описанного раствора, в параметры концентрированного компонента, используемого для приготовления этого раствора, в метод приготовления этого раствора и в метод очистки с целью их адаптации к конкретным составам раствора или ситуациям, не выходя за рамки приведенной ниже формулы группы изобретений. Для специалиста в данной области понятно, что в рамках данного изобретения, определенных формулой изобретения, возможны многочисленные варианты и модификации, включая аналогичные решения.

Когнитивная система очистки

[0075] На рис. 1 показаны отличительные признаки когнитивной системы очистки 100 (например, установки когнитивной очистки) в соответствии с особенностями заявленной технологии. Когнитивная система 100 очистки используется для контроля загрязнения оборудования (например, оборудования, используемого в теплообменных устройствах и отгонных аппаратах), которое склонно к накоплению загрязнений. Накопление загрязнений в таком оборудовании может оказывать отрицательное воздействие на эффективность системы (например, теплообменного устройства). Таким образом, адаптация системы, предназначенной для очистки оборудования и контроля его загрязнения, к конкретным условиям использования может повысить эффективность и рентабельность системы, а также снизить объем углеродосодержащих выбросов (например, выбросов CO₂) из системы путем надлежащего технического обслуживания оборудования, направленного на то, чтобы системы (например, отгонные аппараты, системы очистки природного газа, системы очистки сточных вод, системы водоочистки, химические технологические установки) содержались в чистоте и работали эффективно.

[0076] Когнитивная система 100 очистки адаптируется к конкретным требованиям и разновидностям ее применения. Например, в оборудовании из первой системы могут скапливаться загрязнения, химические, механические или физические свойства которых отличаются от аналогичных свойств загрязнений, скапливающихся в оборудовании второй системы, отличной от первой системы. Загрязнения могут быть различными вследствие воздействия самых разнообразных факторов, таких как свойства транспортируемого оборудованием материала (например, текучей среды), рабочая температура оборудования и/или рабочее давление в оборудовании. Таким образом, специализированная когнитивная система 100 очистки может быть настроена под конкретные требования к системе и выполняемые ею задачи. Когнитивная система 100 очистки включает в себя три главных компонента: процесс 110 формирования «интеллектуальной» процедуры (например, методы и системы для формирования специализированной процедуры очистки), процесс 112 «интеллектуального» планирования (например, методы и системы для формирования специализированного графика очистки) и процесс 114 «интеллектуальной» очистки (также упоминаемый в настоящем документе как «процесс 114 интеллектуальной очистки» и «адаптивный процесс 114 очистки») (например, методы и системы для проведения очистки системы в соответствии с процессом 110 формирования «интеллектуальной» процедуры и процессом 112 «интеллектуального» планирования).

[0077] Когнитивная система 100 очистки устанавливается в лаборатории 120 (например, в виртуальной лаборатории), подготовленной для приема (1) данных 130 (например, информации) от клиента, описывающих его потребности и цели (например, потребность в проведении процедур контроля загрязнений для достижения нулевого значения нетто-выбросов), информации относительно работы системы клиента (например,

информации о продуктах и процессах, используемых в системе теплообменных устройств) и информации относительно уровня загрязнения системы клиента (например, данных анализа образцов загрязнений, отобранных из теплообменного устройства, таких как образцов загрязнений, отобранных из смывов, полученных в процессе очистки теплообменного устройства). Лаборатория 120 проводит анализ, используемый (2a) процессом 110 формирования «интеллектуальной» процедуры, а также используемый (2b) процессом 112 «интеллектуального» планирования для формирования моделей, используемых в качестве источника данных в процессе адаптации процедур (например, формирования специализированных процедур 140), а также адаптации процесса планирования (например, формирования специализированных графиков 142) для эффективного контроля загрязнений в соответствии с целями и экономическими факторами клиента. В процессе 114 «интеллектуальной» очистки оборудования проводится в соответствии со специализированными (3a) процедурами 140, а также в соответствии со специализированными (3b) графиками 142 (например, очистка оборудования проводится через промежутки времени, установленные специализированным графиком 142, и с помощью специализированной процедуры 140 для очистки оборудования). В процессе очистки отбирают образцы 144 загрязнений и отправляют (4) в лабораторию 120 для анализа (например, описания характеристик). В процессе 110 формирования «интеллектуальной» процедуры и процессе 112 «интеллектуального» планирования новая информация, полученная путем анализа (например, описания характеристик) отобранных образцов 144 загрязнений, используется для уточнения и дополнения специализированных процедур 140 и специализированных графиков 142 с целью проведения последующих очисток.

[0078] Процесс 110 формирования «интеллектуальной» процедуры включает в себя формирование фирменных процедур 140 очистки, адаптированных (например, приспособленных) к конкретным нуждам и условиям клиента. В некоторых вариантах осуществления специализированные процедуры 140 (например, специализированные процедуры очистки 140, специализированные процедуры 140) формируются на основе информации об оборудовании, системе и разновидности применения системы (например, оборудовании теплообменного устройства на нефтеперерабатывающем предприятии, оборудовании теплообменного устройства в системе очистки природного газа или оборудовании теплообменного устройства в составе установки для очистки сточных вод). Например, при формировании специализированной процедуры 140 может использоваться информация о типе текучих сред, транспортируемых оборудованием, температуре и/или давлении, при которых эксплуатируется оборудование, и/или состоянии оборудования. В некоторых вариантах осуществления специализированная процедура 140 формируется на основе характеристик, определенных путем анализа образцов загрязнений, отобранных (например, полученных или принятых) из оборудования. Например, информация о химических, механических и/или физических свойствах образца загрязнений, отобранного в процессе проведения предыдущей очистки оборудования, может использоваться для определения (например, формирования, уточнения, дополнения, изменения или адаптации) специализированной процедуры проведения следующей очистки с целью повышения эффективности и скорости очистки. В некоторых вариантах осуществления специализированная процедура очистки включает в себя использование одного или нескольких чистящих растворов (например, чистящих средств, ПАВ, чистящих составов), описанных выше. Кроме того, специализированная процедура 140 может уточняться и дополняться в процессе очистки (или для проведения последующих очисток) на основе описания характеристик образцов 144 загрязнений, отобранных при проведении предыдущих очисток. Для рис. 6 и 9А-9С приводится дополнительная информация о процессе 10 формирования «интеллектуальной» процедуры.

[0079] Процесс 112 «интеллектуального» планирования включает в себя формирование графика 142, адаптируемого на основе динамических цифровых алгоритмов, использующих процесс сбора данных (например, сбора данных, таких как температура на входах/выходах, с использованием датчиков отгонного аппарата). Специализированный график 142 (например, специальный график 142) обеспечивает рекомендуемые интервалы проведения очистки и технического обслуживания, разработанные с учетом экономической рентабельности, для снижения финансовых и экологических издержек. Например, специализированный график 142 может быть адаптирован с учетом целей клиента, таких как повышение эффективности системы, достижение нулевого значения чистых выбросов и/или повышение прибыльности. Кроме того, специализированная процедура 142 может корректироваться на основе результатов описания характеристик образцов 144 загрязнений, отобранных при проведении предыдущих очисток.

[0080] В процессе 114 «интеллектуальной» очистки используется специализированная процедура 140 очистки. Процесс 114 «интеллектуальной» очистки не требует разборки оборудования и поэтому может осуществляться в любое время, в том числе во время простоев в работе системы (например, нефтеперерабатывающего предприятия, завода) и во время работы системы (например, нефтеперерабатывающего предприятия, завода). Например, на нефтеперерабатывающем предприятии можно исключить из системы циркуляции одно из теплообменных устройств и продолжить работу с использованием других теплообменных устройств. Отключенное теплообменное устройство может пройти процедуру очистки, в то время как другие теплообменные устройства и нефтеперерабатывающее предприятие в целом будут продолжать работать. Кроме того, процесс 114 «интеллектуальной» очистки может осуществляться до 7 раз быстрее по сравнению с традиционными методами очистки. Процесс 114 «интеллектуальной» очистки является адаптивным процессом очистки, включающим в себя дистанционный мониторинг параметров процесса очистки, осуществляемый в режиме реального времени, что обеспечивает возможность корректировки «интеллектуальной» процедуры 110 во время осуществления процесса 114 «интеллектуальной» очистки, на основе данных о ходе процесса очистки. Например, данные о температуре, давлении и/или химическом составе образцов 144 загрязнений, полученные на основе анализа смыва, отобранного при осуществлении процесса 114 «интеллектуальной» очистки, могут использоваться для корректировки специализированной процедуры 140 в ходе осуществления процесса 114 «интеллектуальной» очистки и/или корректировки (а также усовершенствования) специализированной процедуры 140 для проведения следующей очистки.

[0081] На рис. 2А показана функциональная схема, иллюстрирующая когнитивный процесс 200 очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии. Когнитивный процесс 200 очистки (например, когнитивная процедура 200 очистки) реализуется путем использования когнитивной системы 100 очистки и включает в себя координацию функций трех платформ: клиента 210, поставщика 212 когнитивной системы 100 очистки (например, поставщика 212 когнитивной системы очистки) и поставщика 214 услуг очистки (например, местного поставщика 214 услуг очистки). Например, клиентом 210 может являться нефтеперерабатывающее предприятие, нуждающееся в проведении комплекса работ по контролю загрязнений (например, удаления загрязнений, очистки) своего оборудования. В другом примере клиентом 210 может быть система обработки отходов, требующая проведения комплекса работ по контролю загрязнений своего оборудования.

[0082] Функционирование когнитивной системы очистки опирается на процесс сбора данных, при помощи которого формируются управляемые данными модели, с использованием которых определяются «интеллектуальный» процедура 110,

«интеллектуальный» график 112 и процесс 114 «интеллектуальной» очистки. Когнитивная система 100 очистки допускает адаптацию к практическим задачам, относящимся к вопросам обработки данных, которые могут быть связаны с обеспечением доступа к весьма неоднородным данным, целостности, надежности, безопасности данных и с другими проблемами в области обработки данных. Функционирование когнитивной системы 100 очистки может в значительной степени зависеть от эффективности процедур обработки и анализа данных, а также от используемых методов и инструментов машинного обучения. Следовательно, эффективность методов когнитивной системы очистки будет повышаться по мере накопления данных.

[0083] Данные, используемые в работе когнитивной системы 100 очистки, можно разделить на следующие основные категории:

- Данные 220 о продукте: данные о физических и химических свойствах продуктов, используемых в системе теплообменных устройств;
- Системные данные 226: данные, характеризующие систему теплообменных устройств, включая ее архитектуру, текущие индивидуальные эксплуатационные характеристики, а также историю данных об эксплуатационных характеристиках теплообменного устройства, в состав которых могут входить данные 224, получаемые от датчиков (например, датчиков температуры или давления), установленных в системе теплообменных устройств;
- Данные о загрязнениях: данные, характеризующие загрязнения внутри теплообменного устройства, в состав которых могут входить данные о любых физических, механических и химических свойствах загрязнений (например, данные образцов 144 загрязнений, полученные на основе анализа смыва, образцы загрязнений, предоставленные клиентом 210);
- Экономические данные 228: данные, описывающие внешние системы (например, макроэкономические данные, стоимость топлива, стоимость продукции и рыночная цена поставок), а также эксплуатационные данные, относящиеся к производительности, данные о затратах, запланированных и незапланированных процедурах вмешательств различных типов (например, операциях технического обслуживания или ремонта), их длительности, причинах, затратах, результатах, а также экологические данные, описывающие результаты оценок степени воздействия на окружающую среду (например, информация о выбросах или загрязнениях).

[0084] В состав данных 220 о продукции могут входить данные о продукции как в холодном, так и в горячем состояниях (например, плотности или вязкости), данные о прошлых очистках, результаты лабораторных испытаний и химические свойства продукции. В состав данных 220 о продукции может входить информация о сырой нефтяной смеси, в том числе, помимо прочего, о плотности в градусах API, вязкости при температуре 80 °С, вязкости при температуре 260 °С, общем содержании серы в % (м/м), железа (ppm), никеля (ppm), ванадия (ppm), насыщенных углеводородов (%), ароматических углеводородов (%), смол (%), асфальтенов (%) и СП. Заявленная технология не ограничивается указанными типами данных и может включать в себя использование данных других типов.

[0085] В состав системных данных 226 могут входить технические характеристики узла, архитектуру системы, а также общую информацию, включая (помимо прочего): место расположения завода; информацию об обслуживании узла, о размере, типе, типе соединения (параллельном/последовательном), количестве серий; информацию о площади поверхности узла (общей/эффективной) и площади поверхности оболочки (общей/эффективной). В состав системных данных 226 могут также входить данные об индивидуальных эксплуатационных характеристиках узла, включая (помимо прочего):

информацию о распределении текучей среды, наименование текучей среды, количество текучей среды – вход/выход пара, характеристики жидкости, пара, воды, неконденсирующихся веществ, температуру на входе/выходе, удельную плотность, вязкость, молекулярную массу (пара), молекулярную массу (неконденсирующихся веществ), удельную теплоемкость, теплопроводность, теплоту фазового перехода, давление на входе, скорость, перепад давлений и сопротивляемость загрязнению. В состав системных данных могут также входить данные об эксплуатационных характеристиках узла, включая (помимо прочего) величину теплообмена и скорость передачи (при обслуживании). В некоторых вариантах осуществления в состав системных данных 226 входят данные 224 датчиков, получаемые от одного или нескольких датчиков, установленных в системе теплообменных устройств, таких как датчик температуры для отслеживания значений температуры на входе в систему теплообменных устройств. В состав системных данных 226 могут также входить конструктивные данные (со стороны оболочки/ трубы), включая (помимо прочего): данные о расчетном/ испытательном давлении; расчетной температуре; количестве проходов в каждой из оболочек; коррозионном допуске (включая входы/ выходы соединений, а также промежуточные данные); количестве труб, их толщине, длине и шаге резьбы; типах труб, их материалах; устройстве байпасного уплотнения; термокомпенсационном соединении; а также входном патрубке Rho-V2.

[0086] Когнитивная система 100 очистки характеризуется инвариантностью в вопросе применяемого метода описания характеристик. Например, в зависимости от фактической ситуации на заводе может использоваться описание как физических, так и химических характеристик. На практике применяются как описание химических характеристик загрязнений, так и описание предполагаемой геометрии загрязнений внутри узлов.

[0087] Сбор эксплуатационных данных может проводиться на протяжении всей истории производства; полученные данные могут использоваться при разработке цифровой копии завода для обеспечения высокой эффективности принимаемых решений. Когнитивную систему 100 очистки можно снабдить платформой цифровой копии завода, хотя система может продолжать эффективно работать и при наличии соответствующих эксплуатационных данных. В состав эксплуатационных данных могут входить (помимо прочего): данные о производственных затратах, производительности, эксплуатационных событиях (например, о проводимых процедурах технического обслуживания и ремонта, включая их стоимость, продолжительность и результаты), а также экологические данные о пороговых значениях выбросов и загрязнений. В данном примере эксплуатационные данные приводятся как составная часть экономических данных 228 с учетом взаимосвязанности понятий эксплуатации системы и эксплуатационных затрат. Например, данные о выбросах могут быть привязаны к штрафным санкциям и средствам стимулирования, а также могут быть монетизированы (например, путем продажи квот на выбросы).

[0088] Макроэкономические и промышленные данные и прогнозы могут использоваться для выработки прогнозных заявлений, что подразумевает доверие к общим экономическим параметрам, рынкам и общемировым перспективам. Указанные данные могут быть непосредственно приобретены на рынке (например, у компании IHS Markit) или же собраны в результате проведения исследований. В соответствии с особенностями заявленной технологии, экономические прогнозы могут согласовываться со стратегическим видением компании и внутренними экономическими моделями.

[0089] Сбор и накопление данных, поступающих в реальном времени, может осуществляться путем использования платформы «интернета вещей» предприятия для сбора, предварительной обработки, хранения и выдачи данных связанных датчиков.

Когнитивная система 100 очистки может работать с более низкими частотами дискретизации на основе ручного сбора данных, хотя при этом некоторые функциональные возможности (например, пороговые значения степени очистки в реальном времени) могут оказаться урезанными.

[0090] Ретроспективные данные, используемые при работе когнитивной системы 100 очистки, могут извлекаться из корпоративных хранилищ данных, в которых происходит их накопление. Процедура получения ретроспективных данных из объединенного резерва корпоративных данных может оказаться более предпочтительной, поскольку ее надежность подкрепляется корпоративной политикой управления данными, что может рассматриваться в качестве метода контроля качества, обеспечивающего доступность, применимость, согласованность, целостность и безопасность данных с использованием заданного набора процедур и соответствующего подхода к выполнению указанных процедур. Использование объединенного резерва данных является методом усваивания и хранения данных всех типов в исходном виде в хранилищах данных и обеспечения унифицированного доступа к этим данным в масштабах всего предприятия в целях управления потоками информации, проведения анализов и составления отчетов. Использование объединенного резерва данных позволяет организовывать различные методики просмотра этих данных (таких как глобальный и локальный просмотры) путем обеспечения наличия метаданных и поддержания преемственности данных. Определенные разъяснения можно получать, обращаясь за помощью к оператору баз данных, который обеспечивает соблюдение надлежащих процессов управления данными.

[0091] Сбор, хранение и передача данных могут осуществляться в аналоговой и/или цифровой формах. Заявленная технология может использоваться при работе с обеими формами данных, хотя использование отраслевых стандартов цифровых форматов данных (например, CSV, JSON, TXT или XLS) может обеспечить достижение лучших результатов по сравнению с использованием аналоговых форматов данных.

[0092] Когнитивная система 100 очистки характеризуется инвариантностью в вопросе применяемого протокола. Например, протокол MQTT (передачи последовательности сообщений с телеметрическими данными) может быть развернут на платформе «интернета вещей» предприятия.

[0093] Когнитивный процесс 200 очистки запускается сразу после заключения договора между клиентом 210 и поставщиком 212 услуг по когнитивной очистке. Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке проводит оценку уровня загрязненности на основе анализа данных 220 о продукции и/или данных 224 датчиков, предоставляемых клиентом 210, после чего проводит схемотехнический анализ теплообменного устройства (HEX) и оценку необходимости очистки системы клиента на основе системных данных 226, предоставляемых клиентом 210. Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке организует лабораторию 120 (например, виртуальную лабораторию 120, виртуальную лабораторию 120 чистоты), которая настраивается с возможностью (на 1 этапе) описания характеристик загрязнений (например, описания характеристик образцов загрязнений, предоставляемых клиентом 210, и/или образцов 144 загрязнений, отбираемых в процессе очистки); (на 2 этапе) формирования специализированных процедур 140 на основе характеристик загрязнений и (на 3 этапе) формирования функции 230 загрязнений в соответствии с характеристиками загрязнений (например, на их основе) и данными сформированных специализированных процедур 140. Лаборатория 120 (например, поставщик 212 услуг по когнитивной очистке) получает информацию от клиента 210 и/или поставщика 214 услуг очистки. Виртуальная лаборатория может принимать: образцы 144 загрязнений, данные 220 о продукции (в состав которых могут входить данные образцов загрязнений), данные 224 датчиков, системные данные 226 теплообмена (HEX) и экономические данные 228 от клиента 210. В некоторых вариантах

осуществления, например, в случаях, если ранее уже проводились очистки, виртуальная лаборатория также принимает образцы 144 загрязнений, отобранные из смыва (полученного в процессе очистки), от поставщика 214 услуг очистки.

[0094] Образцы загрязнений, полученные от клиента 210, и образцы загрязнений 144, собранные в процессе очистки, используются для описания характеристик загрязнений (например, описание характеристик загрязнений проводится с использованием образцов загрязнений, полученных от клиента 210, и/или образцов 144 загрязнений, полученных от поставщика 214 услуг). В некоторых вариантах осуществления, например, в случаях, когда образец загрязнений не может быть получен от поставщика 214 услуг (например, в случае, если очистки ранее не проводились), описание характеристик загрязнений (1 этап) проводится для образцов загрязнений, полученных от клиента 210, а специализированная процедура 140 определяется (например, формируется) на основе характеристик образца загрязнений, полученного от поставщика 214 услуг. В некоторых вариантах осуществления, например, в случаях, когда образец загрязнений не может быть получен от клиента 210, описания характеристик загрязнений (1 этап) проводится для образцов 144 загрязнений, полученных от поставщика 214 услуг, а специализированная процедура 140 определяется (например, формируется) на основе характеристик образца 144 загрязнений. В некоторых вариантах осуществления, например, в случаях, когда образец загрязнений не может быть получен ни от клиента 210, ни от поставщика 214 услуг, специализированная процедура 140 формируется на основе информации об оборудовании и системах клиента (например, данных 220 о продукции и/или системных данных 226), а также информации, полученной во время предыдущих процедур очистки, проводившихся для других клиентов (например, других систем). Например, если невозможно получить образцы загрязнений для описания характеристик загрязнений, поставщик 212 услуг по когнитивной очистке может сформировать специализированную процедуру 140 на основе других процедур (например, других специализированных процедур), сформированных ранее для других клиентов с аналогичными заявками (например, для других нефтеперерабатывающих заводов) или других клиентов, работающих с аналогичными материалами. Для рис. 7А–7С и 8А–8F приводится подробная информация касательно описания характеристик загрязнений.

[0095] Характеристики образца загрязнений, определяемые в процессе описания характеристик загрязнений (на 1 этапе), используются для формирования специализированной процедуры 140, а функция 230 загрязнения формируется (на 3 этапе) на основе описания характеристик загрязнений (на 1 этапе) и специализированной процедуры 140. Функция 230 загрязнения представляет собой модель, демонстрирующую прогнозируемую тенденцию накопления загрязнений в оборудовании с течением времени. Функция 230 загрязнения является специфической для конкретного клиента 210 и формируется на основе характеристик загрязнений, полученных от клиента 210, и/или анализа образцов загрязнений 144, полученных от поставщика 214 услуг. Ниже приведены пример функции 230 загрязнения для рис. 10 и дополнительная подробная информация касательно адаптации процедуры (на 2 этапе) для рис. 6 и 9А–9С.

[0096] В состав данных 224 датчиков, получаемых от клиента 210, входит информация, являющаяся индикатором эксплуатационных характеристик и/или эффективности работы системы клиента (например, нефтеперерабатывающего завода). Например, в состав данных 224 датчиков могут входить значения температуры на входе и выходе теплообменного устройства. По мере накопления загрязнений снижающаяся эффективность работы теплообменного устройства будет отражаться в значениях температуры на входе и выходе теплообменного устройства. Таким образом, используя анализ данных 224 датчиков и рассчитанную функцию 230 загрязнения, поставщик 212 услуг по когнитивной очистке формирует (на 4 этапе) функцию 232 деградации параметров теплообменного устройства (также называемую функцией 232 очистки

теплообменного устройства). Функция 232 деградации параметров теплообменного устройства является моделью изменения эксплуатационных характеристик системы (например, ее эффективности) с течением времени (например, по мере накопления загрязнений в оборудовании). В некоторых вариантах осуществления функция 232 деградации параметров теплообменного устройства выражается с использованием одной или нескольких систем показателей, определенных клиентом 210. Например, функция 232 деградации параметров теплообменного устройства может выражаться с использованием параметра эксплуатационных затрат нефтеперерабатывающего завода. В другом примере функция 232 деградации параметров теплообменного устройства может выражаться в показателях относительной эффективности теплопередачи. На основе функции 232 деградации параметров теплообменного устройства формируется специализированный график 142. Специализированный график 142 может быть специально рассчитан на улучшение или оптимизацию конкретного параметра или ключевого показателя, важного для клиента 210. Например, специализированный график 142 может быть оптимизирован с целью снижения эксплуатационных затрат нефтеперерабатывающего завода, снижения объема выбросов углерода в процессе работы нефтеперерабатывающего завода или же сочетания обоих факторов. Кроме специализированного графика 142, поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также предоставляет предварительную оценку ожидаемой прибыли при условии выполнения работ по контролю загрязнений с использованием когнитивной системы 100 очистки (например, с использованием специализированной процедуры 140 с периодичностью, указанной в специализированном графике 142, а также с использованием процесса 114 «интеллектуальной» очистки). На рис. 11 приведены примеры функции деградации параметров теплообменного устройства в случае невыполнения работ по очистке, а также функции деградации параметров теплообменного устройства при проведении технического обслуживания оборудования в соответствии с параметрами работы когнитивной системы 100 очистки.

[0097] При «интеллектуальном» планировании 112 функция 232 деградации параметров теплообменного устройства используется для формирования (на 5 этапе) специализированного графика 142 для клиента 210. Специализированный график 142 представляет собой рекомендуемый подход к выполнению процедур контроля загрязнения системы теплообменных устройств, разработанный с целью получения существенной экономической и экологической выгоды. «Интеллектуальный» план 112 может включать в себя специализированный график 142 (например, календарь проведения запланированных (или рекомендуемых) работ по очистке), средства планирования ресурсов, операции, осуществляемые на предприятии, процедуры снабжения, обеспечения безопасности и другие аспекты деятельности. Например, при разработке «интеллектуального» плана 112 могут учитываться ценовые прогнозы, связанные с продукцией и макроэкономическими показателями, чтобы, по мере возможности, запланировать проведение работ по очистке в такие периоды, когда цены или спрос находятся на спаде. При наличии риска того, что проведение предварительной оценки существования «критического» или «вероятного» уровней загрязнения не будет запланировано, в процессе реализации «интеллектуального» плана 112 на цифровой информационной панели может срабатывать аварийная сигнализация с отображением красного или желтого уровней опасности. Результаты реализации «интеллектуального» плана 112 могут использоваться в процессе утверждения графика очистки (например, в процессе получения разрешения на проведение процесса 114 «интеллектуальной» очистки в соответствии со специализированным графиком 142). После утверждения «интеллектуальный» план 112 может использоваться для запуска последовательности подготовки к очистке в соответствии с технологическими процессами компании.

[0098] Специализированный график 142 предоставляют (на 6 этапе) клиенту 210 для утверждения, а после утверждения клиентом «интеллектуального» плана 112 очистки

связываются с поставщиком услуг 214 и заключают договор (на 7 этапе) с поставщиком услуг 214. В некоторых вариантах осуществления поставщик 212 услуг по когнитивной очистке обращается к поставщику услуг 214 и заключает с ним договор на проведение (то есть, выполнение) процедуры 114 «интеллектуальной» очистки. Поставщик 214 услуг выполняет (на 8 этапе) многостадийную очистку 250 (например, многостадийный процесс 250 очистки) в соответствии с процедурой 114 «интеллектуальной» очистки (например, используя специализированную процедуру 140, которая включает в себя процедуры применения химических реактивов/ чистящих средств и модули очистки). Многостадийная очистка 250 выполняется поставщиком 214 услуг, а поставщик 122 услуг по когнитивной очистке проводит подготовку персонала и осуществляет надзор над выполнением многостадийной очистки 250.

[0099] Процесс 114 «интеллектуальной» очистки представляет собой локально-адаптивный процесс очистки, включающий в себя многостадийную очистку 250, при которой специализированная процедура 140 может корректироваться на месте выполнения работ на каждой стадии многостадийной очистки 250. Так как отдельные параметры работы теплообменного устройства постоянно изменяются, в специализированный график 140 в процессе работы может потребоваться постоянно вносить изменения на основе данных, получаемых в ходе оперативного контроля проведения многостадийной очистки 250. Таким образом, для достижения максимального эффекта процедура смешивания компонентов может проводиться на месте выполнения работ, что позволит вносить (по мере необходимости) изменения в специализированную процедуру 140 на основе данных, получаемых в ходе оперативного контроля проведения многостадийной очистки 250.

[00100] Например, процесс 114 «интеллектуальной» очистки может включать в себя любые из перечисленных ниже действий: оперативный контроль давления внутри оборудования в процессе очистки, оперативный контроль температуры внутри (или на поверхности) оборудования в процессе очистки, а также анализ химического состава отобранных из смывов образцов загрязнений в процессе очистки. Во время проведения процесса 114 «интеллектуальной» очистки специализированная процедура 140 может корректироваться на основе информации, получаемой в процессе 114 «интеллектуальной» очистки. Например, во время проведения процесса 114 «интеллектуальной» очистки может быть изменена химическая формула чистящего средства в специализированной процедуре 140. В другом примере может быть увеличена продолжительность стадии очистки (например, этапа очистки) многостадийной очистки 250 в случае, если загрязнение будет хуже, чем ожидалось, поддаваться удалению или же если объем загрязнений окажется выше ожидаемого. Во время проведения процесса 114 «интеллектуальной» очистки поставщик 214 услуг осуществляет отбор (на 9 этапе) образцов 144 загрязнений из смыва и предоставляет отобранные образцы 144 загрязнений поставщику 212 услуг по когнитивной очистке для анализа (например, описания характеристик загрязнений). По окончании процесса 114 «интеллектуальной» очистки поставщик 212 услуг по когнитивной очистке проводит оценку (на 10 этапе) прибыли, полученной за счет проведения многостадийной очистки 250, а информация о результатах очистки отправляется (на 11 этапе) на утверждение клиенту 210.

[00101] По окончании многостадийной очистки 250 поставщик 212 услуг по когнитивной очистке может также сформировать прогноз затрат, представляющий собой актуализацию экономических параметров, используемых в процессе оптимизации в рамках выработки «интеллектуального» графика 112. Результаты прогнозирования затрат могут включать в себя информацию о фактических расходах на эксплуатацию системы теплообменных устройств и о расходах, связанных с формированием «интеллектуальной» процедуры 110. Прогноз затрат может быть подготовлен на основе ежемесячных, ежеквартальных и ежегодных прогнозов уровней загрязнений, на основе данных из

открытых источников, обеспечивающих доступ к аналитическим отчетам о текущем и будущем экономическом положении, или же на основе данных, полученных от специализированных консалтинговых фирм.

[00102] Например, прогноз затрат может содержать, по крайней мере, следующую информацию:

- информацию о цене топлива, используемого на предприятии;
- информацию об объеме предполагаемого к использованию топлива (основанную на производственных планах и прогнозе уровня загрязнений);
- информацию о средневзвешенных затратах на эксплуатацию системы теплообменных устройств; а также
- информацию о затратах, связанных с очисткой, выражаемую в показателях трудовых затрат, затрат на химические реактивы и длительности проведения процедуры; перечисленные показатели могут указывать на необходимость разборки системы теплообменных устройств.

[00103] Использование когнитивной системы 100 очистки может помочь поддерживать прогноз затрат в актуальном (то есть, обновленном) и максимально точном состоянии с целью улучшения эксплуатационных характеристик. Прогноз затрат может учитывать существующие договорные отношения. Результаты прогнозирования затрат могут включать в себя информацию об экономических и экологических издержках, связанных с эксплуатацией теплообменного устройства в различных сценариях.

[00104] В некоторых вариантах осуществления клиент 210 может устанавливать оборудование (например, компьютерную систему), имеющее доступ к данным 224 датчиков, получаемым от оборудования (например, теплообменного устройства), и с непосредственным контролем системы (например, нефтеперерабатывающего предприятия). В компьютерной системе может быть настроена возможность автоматического переключения между рабочим режимом и режимом очистки, что позволит плавно переключаться между рабочими процессами системы для обеспечения возможности использования другого оборудования, в то время как выбранное оборудование подвергается очистке (например, согласно указанию в специализированном графике 142). Например, запуск процесса 114 «интеллектуальной» очистки может быть автоматизирован на основе выбранного специализированного графика 142 и данных датчиков 224. Компьютерная система может определять потребность в проведении очистки оборудования (например, удаления загрязнений) и автоматически переключать работу системы на использование других трубопроводов или резервного теплообменного устройства, чтобы можно было провести очистку выбранного для этой цели оборудования. Компьютерная система может также автоматически связываться с поставщиком 214 услуг очистки (в некоторых случаях с одобрения клиента 210) для запуска процесса 114 «интеллектуальной» очистки. В некоторых вариантах осуществления компьютерная система также проводит автоматический оперативный контроль хода процесса многостадийной очистки 250 и/или определение конечной стадии многостадийной очистки 250 с использованием данных 224 датчиков, зарегистрированных на оборудовании.

[00105] На рис. 2В приведена функциональная схема, иллюстрирующая реализацию когнитивного процесса 200 очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии. Когнитивный процесс 200 очистки включает в себя получение данных 260 об эксплуатационных характеристиках системы (таких как данные 224 датчиков, на основе которых можно судить об эксплуатационных характеристиках системы) и формирование предварительной оценки 262 уровня загрязнений на основе данных 260 об эксплуатационных характеристиках системы (например, предварительной оценки уровня загрязнений, соответствующего данным 224 датчиков).

[00106] В некоторых вариантах осуществления когнитивный процесс 200 очистки включает в себя описание характеристик 263 образца загрязнений (например, образца 144 загрязнений), отобранного в ходе предыдущей очистки (например, из смыва). Описание характеристик образца 144 загрязнений может проводиться с целью определения его химического состава, одного или нескольких механических свойств и/или одного или нескольких физических свойств. В случае получения и описания характеристик образца 144 загрязнений вырабатывается специализированная процедура 140, основанная на характеристиках образца 144 загрязнений. Если описание характеристик образца 144 загрязнений не представляется возможным, то специализированная процедура 140 вырабатывается на основе полученной информации о системе. В некоторых вариантах осуществления полученная информация о системе сравнивается с имеющейся в хранилище данных информацией о предыдущих операциях очистки, проводившихся для различных клиентов, а специализированная процедура (например, «интеллектуальная» процедура 110) вырабатывается с использованием (по крайней мере, частичным) информации о системе и информации, имеющейся в хранилище данных.

[00107] Процесс 110 формирования «интеллектуальной» процедуры включает в себя адаптацию специализированной процедуры 140, а процесс формирования специализированной процедуры включает в себя выбор конкретных ингредиентов для очистки оборудования, выбор конкретной концентрации каждого из выбранных ингредиентов и выбор метода применения выбранных ингредиентов.

[00108] Ингредиенты для специализированной процедуры 140 определяются на основе характеристик загрязнений, накопившихся в оборудовании (которые могут быть определены в процессе описания характеристик отобранных образцов загрязнений и/или приблизительно оценены с использованием информации, относящейся к работе оборудования и системы), информации, касающейся оборудования (включая информацию о любом из следующих параметров: материале, из которого изготовлено оборудование, форме/геометрии оборудования, конфигурации оборудования и типе оборудования), а также времени, имеющегося для проведения очистки (например, времени простоя оборудования, которое может быть равным или не равным времени простоя системы). Различные характеристики загрязнений, включая такие характеристики, как уровень накопления загрязнений, химический состав загрязнений и/или размер пор загрязнений, могут указывать на то, какие типы активных компонентов будут эффективны в удалении загрязнений. Кроме того, материалы оборудования (то есть, материалы, из которых состоит оборудование) также могут указывать на то, какие химические вещества можно и нельзя использовать. Например, некоторые химические реактивы могут вызывать интенсивную или агрессивную коррозию при соприкосновении с материалами некоторых типов, используемыми в оборудовании. В то время как цель процесса очистки состоит в том, чтобы удалить загрязнения, важно также не допускать чрезмерного повреждения или коррозии оборудования (например, согласно указаниям поставщика оборудования или клиента 210). Поэтому выбор конкретных химических компонентов осуществляется на основе описания характеристик загрязнений, характеристик материалов оборудования и имеющегося и/или ожидаемого времени проведения очистки (которое равно или меньше времени простоя оборудования). Выбранные таким образом химические реактивы будут эффективны в удалении загрязнений, и, в то же самое время, скорость коррозии элементов оборудования будет поддерживаться на приемлемом уровне. Выбор ингредиентов для специализированной процедуры 140 представляет собой нечто большее, чем просто выбор активного ингредиента. Выработка процедуры включает в себя также выбор ингредиентов с учетом других растворов или химикатов, вовлеченных в процесс очистки (например, используемых в этом процессе). Например, выбор ингредиентов может также включать в себя выбор растворителя (растворителей), катализатора (катализаторов), ПАВ,

ингибиторов коррозии и/или моющего раствора (моющих растворов), вовлеченных в процесс очистки (например, выбор ингредиентов, входящих в состав указанных веществ).

[00109] Например, органический растворитель выбирается путем сравнения результатов оценки целевых параметров растворимости материала загрязнения (или его полимерной фракции) по Хансену и растворимости органического растворителя (например, исходя из подобию параметров растворимости ингредиента (ингредиентов) и параметров растворимости загрязнения, подлежащего удалению). Параметры растворимости выбранного органического растворителя в пространстве Хансена максимально точно соответствуют аналогичным параметрам материала загрязнения (например, параметры растворимости выбранных ингредиентов органического растворителя подобны параметрам растворимости материала загрязнения, подлежащего удалению). В некоторых вариантах осуществления, например, когда ни один из органических растворителей по отдельности не отвечает целевым требованиям подобию (таким как пороговая разность, допуск) параметрам растворимости загрязнений, различные растворители и их соответствующие концентрации выбираются так, чтобы значения параметров растворимости смеси выбранных растворителей в их соответствующих концентрациях находились в пределах целевых требований подобию параметрам растворимости загрязнений. Значение допуска (то есть, степени подобию параметров растворимости растворителя или смеси растворителей, необходимой для соответствия целевым требованиям подобию значениям параметров растворимости загрязнений) определяется, исходя из соотношения объема раствора и объема загрязнений (то есть, зависит от него). Меньшее значение соотношения объема раствора и объема загрязнений требует более точного соответствия.

[00110] Значение концентрации каждого выбранного ингредиента определяется также с учетом материала оборудования и результатов описания характеристик загрязнений, отложившихся в оборудовании. В частности, значения концентраций выбранных активных ингредиентов определяются, исходя из любого сочетания следующих факторов (например, одного из них или более, двух из них или более, множества):

- стехиометрической емкости конкретного химического вещества применительно к его количественному взаимодействию с конкретным компонентом материала загрязнения. Например, каждый процент HCl в чистящем растворе обеспечивает взаимодействие с 1,38 грамма кальция карбоната на каждые 100 грамм чистящего раствора;
- скорости протекания реакции как функции концентрации ингредиента. Например, максимальная скорость растворения магнетита в растворе фосфорной кислоты наблюдается при концентрации последней, равной 25 % (м/м). Следовательно, превышение данного значения является нецелесообразным, при условии, что время, необходимое для замены раствора, не нивелирует экономию времени при очистке с максимальной скоростью;
- скорости протекания реакции как функции концентрации продукта химической реакции;
- растворимости продуктов, образующихся в результате реакции. Например, несмотря на тот факт, что 25 % раствор фосфорной кислоты характеризуется максимальной скоростью растворения магнетита, он не может быть полностью превращен в раствор железа фосфата, поскольку количество образующегося в результате реакции железа фосфата превышает растворимость последнего;
- ожидаемого количества материала загрязнения внутри блока оборудования;
- ожидаемого значения соотношения объема раствора и объема загрязнения;

- ожидаемой продолжительности процедуры очистки;
- ожидаемого количества замен раствора (например, циклов промывки, при проведении которых моющий раствор или активный ингредиент должен заменяться при каждом цикле промывки для обеспечения наличия достаточного количества моющего раствора, содержащего активный ингредиент для эффективного удаления загрязнений) и потерь времени, связанных с проведением каждой замены (например, каждого цикла промывки);
- стоимости ингредиента и стоимости утилизации использованного раствора; а также
- угроз безопасности, связанных с оценкой риска развития коррозии (некоторые конструкционные материалы, входящие в состав оборудования, могут характеризоваться конкретными значениями максимальной или минимальной концентрации, обеспечивающими совместимость с конкретными химическими веществами).

[00111] Кроме того, концентрации химических ингредиентов (за исключением активных ингредиентов и растворителей или соразтворителей материала загрязнений), как правило, определяются на основе анализа подробных данных о конкретных веществах и функциях, относящихся к применению ингредиента. Например, конкретное значение концентрации ПАВ может выбираться с целью минимизации поверхностного натяжения между чистящим раствором (который содержит активный ингредиент) и материалом загрязнения. В другом примере конкретное значение концентрации ПАВ может выбираться с целью обеспечения концентрации ПАВ, достаточной для стабилизации гетерогенной системы, образующейся при разрыхлении материала загрязнений в процессе очистки. В еще одном примере конкретное значение концентрации ингибитора коррозии может выбираться, исходя из минимального значения концентрации, необходимого для обеспечения соответствия целевому показателю предельной величины скорости коррозии для рассматриваемого оборудования. В некоторых вариантах осуществления значения концентраций химических веществ с конкретными функциями выбираются, исходя из зависимостей функции от концентрации, которые могут эмпирически определяться в лаборатории (например, экспериментальным или расчетным путем).

[00112] Способ применения выбранных ингредиентов (в соответствующих определенных концентрациях) определяется, исходя из геометрии (то есть, размеров и формы) оборудования с накопленными загрязнениями. Например, через оборудование, в котором имеется внутренняя полость со входом и выходом, может допускать протекание химических веществ и растворов. Напротив, оборудование, не имеющее внутренних полостей, благодаря которым могут создаваться направленные потоки, характеризующееся большими значениями соотношений площади внутренней поверхности и внутреннего объема или содержащее труднодоступные места (даже в случае его разборки), возможно, потребует замачивать в ванне. В таких случаях из выбранных растворов (например, растворов, содержащих активный ингредиент) можно готовить пену или вязкий раствор и распылять непосредственно на загрязненную поверхность оборудования. В другом примере оборудование может погружаться в ванну, содержащую чистящий раствор; процесс очистки может включать в себя энергичное встряхивание (например, путем перемешивания, взбалтывания, циркуляции, обработки ультразвуком) чистящего раствора в ванне.

[00113] Дополнительная информация, касающаяся выбора ингредиента, определения концентрации ингредиента и метода использования ингредиента, приведена в приложении А. После выработки специализированной процедуры 140 (информации о том, какие ингредиенты, в каких концентрациях и с помощью каких методов следует

использовать) производится определение (например, формирование) стоимостной модели процесса очистки на основе данных специализированной процедуры 140 очистки.

[00114] Когнитивный процесс 200 очистки также включает в себя формирование прогноза 230 уровня загрязнения (например, функции 230 загрязнения), основанного на предварительной оценке 262 уровня загрязнения и (при наличии) характеристиках отобранного образца 144 загрязнений. Предварительная оценка 262 уровня загрязнения может использоваться для снижения финансовых последствий, вызванных загрязнением. В соответствии с особенностями заявленной технологии, при проведении предварительной оценки 262 уровня загрязнения могут использоваться пять кодов вероятности. Существуют следующие коды вероятности (перечень не является исчерпывающим):

- (1) Уровень частой повторяемости. Данный уровень вероятности указывает на то, что организация может нести очень серьезные убытки, при этом способы минимизации воздействия могут отсутствовать. Может потребоваться принятие неотложных мер.
- (2) Уровень высокой вероятности. Данный уровень вероятности указывает на то, что организация с высокой вероятностью будет нести значительные убытки, связанные с загрязнением. Существуют определенные известные средства снижения степени воздействия. Требуется принятие срочных мер.
- (3) Вероятный уровень. Организация, возможно, начнет нести финансовые потери вследствие загрязнения. Величина убытков от загрязнения начинает превышать стоимость очистки. Может потребоваться проведение физической «интеллектуальной» очистки.
- (4) Уровень нечастой повторяемости. Судя по некоторым признакам, происходит накопление загрязнений. Результаты предварительной оценки уровня загрязнения указывают на то, что может потребоваться проведение процесса «интеллектуального» планирования.
- (5) Уровень низкой вероятности. Данные не указывают на протекание каких-либо процессов накопления загрязнений внутри системы.

[00115] В некоторых вариантах осуществления пост управления завода оснащается информационной панелью предварительной оценки 262 уровня загрязнения, что позволяет оперативно и на регулярной основе контролировать процесс накопления загрязнений и связанные с ним последствия.

[00116] Прогноз 230 уровня загрязнения (например, функция 230 загрязнения) используется для формирования стоимостной модели 232 эксплуатационных характеристик системы (например, функции 232 деградации системы), которая отражает ожидаемое изменение стоимости 232 эксплуатационных характеристик системы (например, функцию 232 деградации системы, которая используется для прогнозирования/ предварительной оценки эксплуатационных характеристик системы) с течением времени (например, в процессе возрастающего накопления загрязнений). В некоторых вариантах осуществления ожидаемая стоимость 232 эксплуатационных характеристик системы выражается в показателях эффективности системы. В некоторых вариантах осуществления ожидаемая стоимость 232 эксплуатационных характеристик системы выражается в показателях углеродосодержащих выбросов. В некоторых вариантах осуществления ожидаемая стоимость 232 эксплуатационных характеристик системы выражается в показателях финансовых затрат на эксплуатацию системы. В некоторых вариантах осуществления ожидаемая стоимость 232 эксплуатационных характеристик системы выражается в показателях чистой финансовой прибыли от работы системы. Например, при оценке ожидаемой стоимости 232 эксплуатационных характеристик системы может приниматься во внимание эффективность работы системы, количество топлива, необходимого для эксплуатации системы, количество

углеродосодержащих выбросов, образующихся в процессе работы системы (а также размеры любых штрафных санкций, которые могут быть связаны с избыточными объемами выбросов, или же размеры любых финансовых выгод, которые могут быть связаны с продажей квот на углеродосодержащие выбросы).

[00117] График работ по контролю загрязнений (например, специализированный график 142) определяется на основе стоимостной модели 232 эксплуатационных характеристик системы и стоимостной модели 264 процесса очистки. Например, в целях снижения финансовых затрат и увеличения прибыльности график 142 работ по контролю загрязнений специально рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить снижение (в идеале, минимизацию) общих затрат на эксплуатацию системы (включая затраты на проведение очистки и стоимость эксплуатации системы).

[00118] Процесс 114 «интеллектуальной» очистки проводится в соответствии с графиком 142 проведения работ по контролю загрязнений, а также в соответствии со специализированной процедурой 140 очистки. Например, процесс 114 «интеллектуальной» очистки включает в себя многостадийную очистку 250 и в специализированной процедуре 140 указывается, какие химические вещества (например, чистящие средства, ПАВ и т.д.) используются на каждой стадии многостадийной очистки 250. Специализированная процедура 140 очистки может включать в себя информацию не только о химическом составе (например, формуле) и концентрациях специально подобранных чистящих химических веществ. Например, специализированная процедура 140 очистки может также включать в себя информацию о температурах, давлениях и/или длительности каждой из стадий многостадийной очистки 250. Образцы 144 загрязнений отбираются из смывов во время проведения многостадийной очистки 250 (например, в рамках процесса 114 «интеллектуальной» очистки). Описание характеристик отобранных образцов 144 загрязнений используется с целью усовершенствования (например, корректировки, изменения) специализированной процедуры 140 очистки для проведения следующей запланированной очистки в соответствии с графиком 142 работ по контролю загрязнений. Для рис. 5А–5С приводится подробная информация о стадиях (например, этапах) проведения многостадийной очистки 250.

[00119] Например, для проведения первоначальной очистки (например, первого проведения многостадийной очистки 250) системы теплообменных устройств поставщик 212 услуг по когнитивной очистке проводит предварительную оценку 262 уровня загрязнения на основе данных 260 об эксплуатационных характеристиках системы теплообменных устройств, как описано выше. Результаты предварительной оценки 262 уровня загрязнения используются для формирования прогноза 230 уровня загрязнения (например, функции 230 загрязнения) и исходной процедуры (например, специализированной процедуры 140). Исходная процедура адаптируется на основе данных 260 об эксплуатационных характеристиках системы, в состав которых могут входить данные 224 датчиков и/или системные данные 226, касающиеся работы системы теплообменных устройств. Предварительная оценка 262 уровня загрязнения используется для формирования стоимостной модели 232 эксплуатационных характеристик системы (например, функции 232 деградации параметров системы), а исходная процедура (например, специализированная процедура 140) используется для формирования стоимостной модели 264 очистки. Стоимостная модель 232 эксплуатационных характеристик системы и стоимостная модель 264 очистки используются для формирования исходного графика контроля загрязнений (например, специализированного графика 142). Многостадийная очистка 250 теплообменного устройства проводится в соответствии с исходным графиком контроля загрязнений и исходной процедурой. При проведении последующих процедур очистки исходная процедура и/или исходный график контроля загрязнений могут быть скорректированы, исходя из характеристик образцов 144 загрязнений, отобранных на этапе многостадийной очистки 250. Таким образом, при

проведении последующих очисток (например, многостадийной очистки 250) теплообменного устройства может использоваться скорректированная процедура (например, специализированная процедура 140), отличающаяся от исходной процедуры; такие последующие очистки также могут проводиться в соответствии со скорректированным графиком контроля загрязнений (например, специализированным графиком 142), отличающимся от исходного графика контроля загрязнений. Таким образом, когнитивный процесс 200 очистки является «интеллектуальным» процессом, который корректируется и обучается с каждой проведенной очисткой (например, с каждым новым рабочим циклом).

[00120] На рис. 3 показана функциональная схема, иллюстрирующая особенности когнитивной системы 100 очистки в соответствии с особенностями заявленной технологии. В процессе реализации когнитивной системы 100 очистки важно определить технические ресурсы 310 программы очистки, а также составить технологический план действий и необходимый график очистки, соответствующий требованиям регламента 312 эксплуатации и технического обслуживания системы. Например, если необходимо проводить очистку системы, по крайней мере, один раз в два года, то применяемый специализированный график 142 должен обеспечивать очистку каждой единицы оборудования системы (подпадающей под действие регламента), по крайней мере, один раз в 24 месяца. В другом примере, если система эксплуатируется в регионе, где использование каких-либо конкретных чистящих средств запрещено или требуется использование особых процедур утилизации каких-либо конкретных чистящих средств, то специализированная процедура 140 (например, химические вещества и растворы, используемые в специализированной процедуре 140) должна соответствовать указанным требованиям.

[00121] Вдобавок к необходимости разработки и проведения процесса 114 «интеллектуальной» очистки в соответствии с специализированными графиками 142 и специализированными процедурами 140 (формируемыми в рамках процесса 112 «интеллектуального» планирования и процесса 110 формирования «интеллектуальной» процедуры, соответственно), которые соответствовали бы требованиям регламента 312, важно также обеспечивать способность когнитивной системы 100 очистки оперативно контролировать техническое состояние оборудования (и/или системы) 320, например, способность к получению данных, позволяющих когнитивной системе 100 очистки определять степень деградации эффективности процесса теплопередачи и увеличения гидравлического сопротивления. Поступление указанной информации позволяет когнитивной системе 100 очистки создавать управляемые данными модели, обеспечивающие формирование точных прогнозов 322 изменения эксплуатационных характеристик системы и точных прогнозов 322 накопления загрязнений в системе и, таким образом, обеспечивать формирование эффективного специализированного графика 142, основанного на результатах моделирования (например, точных прогнозах) поведения системы.

[00122] Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также предоставляет краткосрочный и долгосрочный планы 330, включающие определение операций очистки, которые должны проводиться ежегодно, ежеквартально и ежемесячно. Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также предоставляет краткосрочный и долгосрочный прогнозы стоимости очистки и необходимых работ для согласования специализированного графика 142 очистки, учитывающего необходимость экономного расхода средств. Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также осуществляет приобретение материалов (например, для приготовления чистящих средств, используемых в специализированных процедурах 140) и услуг (например, заключает договоры с поставщиками 214 услуг) для проведения многостадийной очистки 250.

[00123] Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также осуществляет оперативное планирование 340 реализации (то есть, выполнения, осуществления, проведения) процесса 114 «интеллектуальной» очистки, включая организацию поставок 342 и работы субподрядчиков по выполнению рабочих заказов. Поставщик 212 услуг по когнитивной очистке также ведет учет выполненных рабочих заказов, использования материалов, стоимости работ по очистке, а также участия в прибылях и/или распределения прибыли в соответствии с заключенными договорами об оказании услуг.

[00124] Когнитивная система 100 очистки также обеспечивает проведение сравнительного анализа 350 плановой (то есть, ожидаемой) услуги по когнитивной очистке, предоставляемой когнитивной системой 100 очистки, и фактически оказанной услугой по когнитивной очистке. Например, когнитивная система 100 очистки может обеспечивать сопоставление затрат, сравнение прибыли/ результатов и/или сравнение запланированных (например, в соответствии с графиком) процедур очистки с фактически проведенными процедурами.

[00125] На рис. 4 показан поперечный разрез оборудования вместе с загрязнениями различных типов в соответствии с особенностями заявленной технологии. В общем случае, загрязнения, накапливающиеся внутри конкретной единицы оборудования, по своей структуре могут быть отнесены к одной из трех категорий: свежие загрязнения 410, спекающиеся загрязнения 420 и спекшиеся загрязнения 430. Свежие загрязнения 410 по своей структуре являются гелеобразными и относительно мягкими в сравнении с другими типами загрязнений. Спекающиеся загрязнения 420 можно найти в зоне 2, в которой гелеобразные по своей структуре свежие загрязнения начинают с течением времени затвердевать. Спекшиеся загрязнения 430 представляют собой загрязнения, перешедшие из гелеобразной формы (соответствующей структуре свежих загрязнений 410) в твердую, структура которой заполнена смолами; такие загрязнения, как правило, наблюдаются непосредственно возле оборудования (например, на стальных поверхностях, в трубной обвязке). Среди всех трех типов загрязнений спекшиеся загрязнения 430 являются самыми трудными в удалении.

[00126] На рис. 5А–5С показан многостадийный процесс очистки (например, многостадийная очистка 250) в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[00127] Выполнение многостадийной очистки 250 начинается с использования растворителей для удаления свежих загрязнений 410, находящихся в зоне 1, а также прочистки пор спекающихся загрязнений 420 и спекшихся загрязнений 430, находящихся в зонах 2 (в случае их наличия) и 3. После удаления свежих загрязнений 410, а также любых смол, находящихся в порах загрязнений (например, загрязнений 420 и 430) в зонах 2 и 3, многостадийная очистка 250 предусматривает использование ПАВ для подготовки пор спекающихся загрязнений 420 и спекшихся загрязнений 430, а также снижения поверхностного натяжения и натяжения на границах раздела фаз.

[00128] Как показано на рис. 5А, многостадийная очистка 250 включает в себя заливку пор катализатором и обработку затвердевшей массы средствами дробления загрязнений (например, Alfa PEROX), как указано в специализированной процедуре 140. В некоторых вариантах осуществления в состав средств дробления загрязнений входит чистящее средство, предназначенное (или подготовленное) для высвобождения кислорода по мере своего разложения – например, высвобождения кислорода в процессе разложения водорода пероксида). Как показано на рис. 5В, средства дробления загрязнений проникают глубоко в поры затвердевшей массы загрязнений и осуществляют дробление загрязнений (например, спекающихся загрязнений 420 и спекшихся загрязнений 430). Как только загрязнение будет раздроблено, через оборудование начинает прокачиваться раствор для вымывания разрыхленных и раздробленных загрязнений из оборудования и удаления любых отложений, остающихся в оборудовании. Чистящий раствор и остатки

загрязнений «вымываются» из оборудования, а остатки загрязнений, находящиеся в смыве (то есть, в текучей среде, вымываемой из оборудования), отбираются в качестве образца загрязнений (например, образца 144 загрязнений). Проводится описание характеристик образца загрязнений с целью усовершенствования «интеллектуальной» процедуры 110 для проведения будущих очисток. Как показано на рис. 5С, раздробленные загрязнения и их остатки, образовавшиеся в процессе дробления загрязнений, удаляются и производится очистка оборудования. Специализированная процедура 140 предусматривает использование специальных фирменных растворов, вызывающих дробление загрязнений. Подробная информация о чистящих растворах (например, о составе чистящих растворов) приведена выше, а подробная информация о процессе дробления загрязнений приведена ниже, в качестве пояснения к рис. 5D–5F.

[00129] На рис. 5D–5F показан процесс дробления загрязнений в соответствии с особенностями заявленной технологии. На рис. 5D показан процесс проникновения средств дробления загрязнений глубоко в поры затвердевшей массы загрязнений и прохождения химической реакции, в результате которой средства дробления загрязнений выделяют кислород. Как показано на рис. 5F, пузырьки кислорода, выделяемого средствами дробления загрязнений, расширяются и быстро схлопываются внутри пор структуры загрязнений, что приводит к быстрым перепадам давления, в результате чего внутри структуры загрязнений возникают напряжения растяжения. На рис. 5F показан процесс преодоления предела прочности массы загрязнений (например, спекающихся загрязнений 420 и спекшихся загрязнений 430) на разрыв и механического дробления (то есть, разрушения) твердой структуры затвердевшей массы загрязнений под воздействием перепадов давления, возникающих в результате расширения и быстрого схлопывания пузырьков кислорода в порах затвердевшей массы загрязнений. Расширение и схлопывание пузырьков воздуха в порах затвердевшей массы загрязнений является необходимым процессом, обеспечивающим дробление затвердевшей массы загрязнений на небольшие кусочки, допускающие вымывание (как описано выше для рис. 5С).

[00130] На рис. 6 показана функциональная схема, иллюстрирующая процесс формирования «интеллектуальной» процедуры 110 в соответствии с особенностями заявленной технологии. Перед формированием «интеллектуальной» процедуры проводится анализ образцов загрязнений с целью описания их характеристик. В некоторых вариантах осуществления описание характеристик образцов загрязнений включает в себя химический анализ с целью определения химического состава образцов загрязнений, техническую визуализацию образцов загрязнений с целью определения физических характеристик образцов загрязнений и механический анализ образцов загрязнений с целью определения эластических свойств и прочности образцов загрязнений на разрыв. В некоторых вариантах осуществления образец загрязнений может также анализироваться и использоваться для построения трехмерной (3D) модели синтезированных загрязнений. Например, на основе данных технической визуализации образцов загрязнений может быть получен синтезированный образец загрязнений, отпечатанный на 3D-принтере и характеризующийся физическими свойствами, имитирующими свойства отобранных образцов загрязнений, например, обладающий порами таких же размеров, типов и структуры. В некоторых вариантах осуществления отобранные образцы загрязнений могут также использоваться для создания геомеханической модели и/или трехмерной модели пористой микроструктуры загрязнений; может также проводиться процедура гидродинамического моделирования (например, трехмерного гидродинамического моделирования) с использованием геомеханической модели и/или трехмерной пористой микроструктурной модели загрязнений с целью имитации динамических характеристик текучих сред внутри пористого загрязнения.

[00131] На рис. 6 показана функциональная схема, иллюстрирующая этапы анализа и описания характеристик образцов загрязнений для использования в процессе формирования специализированной процедуры 140. Образец загрязнений отбирается (610) из оборудования (например, образец загрязнений 144 отбирается из смыва в процессе очистки, отбирается из теплообменного устройства) и проходит процедуру технической визуализации с целью получения подробного макроскопического описания образца загрязнений. Техническая визуализация образца загрязнений может осуществляться с использованием любого из следующих методов: фотографии, микротомографии, компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Образец загрязнений готовится (612) к проведению анализа. Например, процесс подготовки образца загрязнений может включать в себя высверливание цилиндрических «пробок» из образца загрязнений, очистку и высушивание таких цилиндрических «пробок». В другом примере образец загрязнений может нарезаться на тонкие ломтики. В еще одном примере образцы загрязнений более мелких размеров (например, остатки загрязнений) могут очищаться и высушиваться в процессе подготовки к анализу. В некоторых вариантах осуществления создается (614) (например, синтезируется, разрабатывается, формируется, распечатывается) синтезированная модель (например, трехмерная (3D) модель, модель, отпечатанная на 3D-принтере) образца загрязнений на основе данных технической визуализации образца загрязнений (например, на основе изображений образца загрязнений). В некоторых вариантах осуществления процесс подготовки образца загрязнений включает в себя поиск аналогов образца загрязнений в хранилище данных (например, поиск в хранилище данных, в котором хранится информация о других образцах загрязнений, таких как ранее отобранные образцы загрязнений, информации, касающейся других образцов загрязнений, свойства которых представляются схожими со свойствами образца загрязнений, который готовится для проведения анализа).

[00132] Образец загрязнений и синтезированная модель образца загрязнений (если применимо) анализируются (620) с целью определения химического состава образцов загрязнений, механических свойств (например, механических характеристик) образцов загрязнений и физических свойств (например, физических характеристик) образцов загрязнений. В некоторых вариантах осуществления могут также определяться изменения характеристик (например, химического состава, физических характеристик и механических характеристик) загрязнений, обусловленные старением (например, старением загрязнения).

[00133] Анализ (620) образца загрязнений и/или синтезированной модели включает в себя проведение анализа (622) структуры загрязнений образца загрязнений и/или его синтезированной модели, описание физических характеристик (624) образца загрязнений и/или его синтезированной модели, описание механических характеристик (626) образца загрязнений и/или его синтезированной модели, а также проведение сопровождающего моделирования (628) с использованием модели (например, цифровой модели) образца загрязнений. Анализ (622) структуры загрязнения образца загрязнений и/или его синтезированной модели включает в себя выполнение любой из следующих операций: комплексного петрографического анализа; анализа изображений, полученных методом КТ-сканирования; анализа изображений, полученных методом МРТ; и анализа анизотропических свойств. Описание физических характеристик (624) образца загрязнений и/или его синтезированной модели включает в себя определение физических свойств образца загрязнений и/или его синтезированной модели. В частности, различные методы, такие как измерение проницаемости и томографическая визуализация, могут служить источниками информации о характеристиках пор (например, о размерах пор, типах пор и структуре пор), насыщении пор (например, о насыщении пор смолами), проницаемости и смачиваемости. Описание механических характеристик (626) образца загрязнений и/или его синтезированной модели включает в себя определение

механических свойств образца загрязнений и/или его синтезированной модели, например, определение вязкости, разрывной прочности, модуля упругости (то есть, эластичности) и/или коэффициента поперечной деформации образца загрязнений и/или его синтезированной модели. Трехмерная цифровая модель (например, виртуальная модель, имитационная модель) образца загрязнений также может использоваться для имитации и определения модели трехмерной микроструктуры пор образца загрязнений, имитации трехмерной гидродинамики с использованием геомеханических моделей, а также имитации влияния различных процессов очистки на образец загрязнений. В качестве пояснения к рис. 7А–7С и 8А–8F ниже приведена дополнительная информация, касающаяся проведения анализа (620) образца загрязнений.

[00134] Возможность имитации влияния различных процессов очистки на образец загрязнений позволяет поставщику услуг по когнитивной очистке совершенствовать (например, оптимизировать) специализированную процедуру 140 очистки путем имитации влияния применения различных чистящих средств, ПАВ и растворов, а также изменения температуры, давления и длительности проведения процедур в процессе очистки. С помощью описанных выше методов анализа (620) на основе химических, механических и физических свойств образцов загрязнений, а также соответствующих моделей (например, синтезированной модели, цифровой модели) разрабатывается (630) специализированная процедура 140 очистки. Адаптация (630) (например, формирование, выбор) процедуры 140 очистки включает в себя разработку ПАВ, разработку процедуры очистки, а также контроль качества и проверку безопасности с целью подтверждения совместимости с материалами оборудования.

[00135] На рис. 7А–7С показаны результаты анализа химического состава образцов загрязнений (например, образцов 144 загрязнений, отобранных из смыва, полученного в процессе очистки) в соответствии с особенностями заявленной технологии. Результаты анализа образца загрязнений (например, образца загрязняющих отложений) могут включать в себя следующие данные: процентное содержание элементов или функциональных групп, степень ненасыщенности, а также степень полимеризации и молекулярно-весовое распределение.

[00136] На рис. 7А показаны четыре различных образца загрязнений: образец 700-1, образец 700-2, образец 700-3 и образец 700-4. В некоторых вариантах осуществления образцы совместно именуется как «образцы 700». Как показано на рисунке, образцы 700 загрязнений отличаются друг от друга по внешнему виду (например, имеют различные видимые размеры, различную видимую пористость), а значит, предположительно могут иметь различные химические, механические и физические свойства. Образцы 700 загрязнений анализируют по показателю потери массы при прокаливании, а также определяют их состав (то есть, химические составы образцов). В некоторых вариантах осуществления образцы 700 с высоким содержанием неорганических материалов анализируют методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) и/или рентгеновской флуоресцентной спектроскопии (РФС).

[00137] На рис. 7В показана таблица 710, в которой приведена информация о химическом составе образцов 700-1, 700-2, 700-3 и 700-4 загрязнений. Химический анализ образцов 700 загрязнений позволяет определить содержания неорганических веществ, органических веществ, а также содержания углерода и карбоидов в каждом из образцов.

[00138] На рис. 7С показана таблица 720 с результатами анализов образцов 700-2 и 700-4 методами АЭС-ИСП и РФС; оба указанных образца характеризуются высоким содержанием неорганических веществ. Результаты анализов методами АЭС-ИСП и РФС позволяют определить химические составы образцов загрязнений.

[00139] На рис. 8А–8F показаны модели (например, компьютерная модель, синтезированная модель) для описания характеристик образца загрязнений в соответствии

с особенностями заявленной технологии. Описание характеристик загрязнений является основным элементом функционирования когнитивной системы 100 очистки, поскольку результаты описания характеристик загрязнений используются для формирования специализированной процедуры 140 очистки. Чем точнее будет проведено описание характеристик загрязнений и чем больший объем данных о загрязнениях будет получен, тем более эффективной может получиться специализированная процедура 140 очистки. Описание характеристик загрязнений может включать в себя моделирование эксплуатационных данных и данных о продукте, а также анализ образца загрязнений (и, как вариант, синтезированных моделей, отпечатанных на 3D-принтере, и/или трехмерных компьютерных моделей образца загрязнений). Задача описания характеристик загрязнений заключается в систематизации практики моделирования загрязнений и перекрестной проверки результатов с целью обеспечения высокой степени совпадения результатов моделирования и лабораторных испытаний. Результаты моделирования могут использоваться для формирования прогнозов уровней загрязнений и оценки «интеллектуальных» процедур с целью поддержания аналитического профиля очистки в актуальном состоянии.

[00140] Результаты описания характеристик загрязняющих отложений могут быть получены с помощью целого ряда методов анализа, среди которых, помимо прочего: инфракрасная спектроскопия на основе преобразования Фурье (ИК-Фурье), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), сканирующая электронная микроскопия в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (СЭМ-ЭДС), рентгеноструктурная кристаллография (РСК), атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) и атомная эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП).

[00141] Описание характеристик загрязнений включает в себя использование любого из следующих методов: метода физического моделирования, методов машинного обучения, а также методов гибридного интегрирующего физического моделирования с машинным обучением. Описание характеристик загрязнений может включать в себя анализ последовательности загрязнений, фациальный анализ, качественную и количественную интерпретации (по результатам лабораторного анализа образцов), а также химическое и физическое описание фаций в составе последовательности загрязнений.

[00142] Объединение гибридной модели с данными о физических свойствах продукта (плотности, вязкости, сорте сырой нефти), а также с его химическими свойствами позволяет использовать заявленную технологию для описания характеристик загрязнений. Определенные характеристики загрязнений используются для разработки специализированной процедуры 140.

[00143] В определенных случаях описание характеристик загрязнений может имитироваться с использованием синтезированных данных, полученных с помощью моделей 1–3. Такие имитации могут оказаться полезными для настройки модели по данным разработки с целью ограничения количества основных сценариев, используемых при имитации.

[00144] В рамках процесса описания характеристик загрязнений могут совместно и по отдельности моделироваться следующие основные механизмы загрязнений:

- Коррозионное загрязнение, заключающееся в протекании химических реакций между поверхностями оборудования (например, металлическими поверхностями) и любыми компонентами или растворенными в текучей среде газами;
- Химическое загрязнение, заключающееся в протекании химических реакций или фазовых превращений любых компонентов (или между ними) текучей

среды, которые приводят к выпадению твердого осадка на поверхности теплообменного устройства;

- Загрязнение твердыми частицами, заключающееся в накоплении суспендированных частиц, содержащихся в текучей среде; а также
- Кристаллизационное загрязнение, заключающееся в отложении солей, растворенных в текучей среде, в процессе их кристаллизации на внутренней поверхности теплообменного устройства.

[00145] Следует отметить, что присутствие механических дефектов на поверхностях оборудования может привести к ускорению коррозии и интенсификации других механизмов накопления загрязнений.

[00146] Как показано на рис. 8А и 8В, описание характеристик образцов загрязнений включает в себя формирование компьютерной модели 810 (например, трехмерной компьютерной модели, виртуальной модели) и/или синтезированной модели 820 (например, модели, распечатанной на 3D-принтере, синтезированной трехмерной модели) образца загрязнений. Компьютерная модель 810 и/или синтезированная трехмерная модель 820 могут использоваться для определения физических свойств образца загрязнений, таких как пористость и проницаемость. Например, количественный анализ образца загрязнений может включать в себя использование одной или нескольких методик технической визуализации, таких как микрокомпьютерная томография (микро-КТ) образца загрязнений. Результаты технической визуализации могут использоваться для формирования компьютерной модели 810 и/или синтезированной трехмерной модели 820.

[00147] Синтезированная трехмерная модель 820 представляет собой полиметрическую модель образца загрязнений, отпечатанную на 3D-принтере. В некоторых вариантах осуществления синтезированная трехмерная модель 820 может быть получена в результате масштабирования (в сторону увеличения) исходного томографического объема для обеспечения формирования (например, печати) синтезированной трехмерной модели 820 в соответствии с разрешающей способностью 3D-принтера. Синтезированная трехмерная модель 820 может использоваться для определения пористости и проницаемости образца загрязнений. Например, пористость синтезированной трехмерной модели 820 может определяться путем введения ртути в образец, при этом объем ртути, проникшей в образец, измеряется в зависимости от давления. Распределение поровых каналов по размерам и диаметр поровых каналов могут быть рассчитаны, исходя из суммарного объема ртути, введенной в образец. Проницаемость синтезированной трехмерной модели 820 может быть рассчитана, исходя из среднего диаметра порового канала и величины капиллярного давления. Абсолютная проницаемость может также быть рассчитана, исходя из результатов эксперимента по введению ртути в образец. Кроме того, компьютерная модель 810 может использоваться для имитации одной или нескольких методик, таких как, например, методика введения ртути, для подтверждения и проверки результатов, полученных в экспериментах (например, в эксперименте по введению ртути), проведенных на синтезированной трехмерной модели 820.

[00148] Как показано на рис. 8С, информация, получаемая путем технической визуализации образца загрязнений, может использоваться для определения параметров пор и параметров капилляров образца загрязнений, с последующим формированием соответствующей компьютерной модели, например, компьютерной модели 810 (показана на рис. 8А) или компьютерной модели 812. Компьютерная модель (например, модель 810 или модель 812) может быть использована для формирования модели давления внутри пор, показанной на рис. 8D, с целью определения величины давления, требуемой для преодоления сопротивления структуры загрязнений на разрыв и разрушения загрязнений в процессе очистки.

[00149] На рис. 8D показана модель 830, демонстрирующая процесс разложения водорода пероксида с выделением кислорода, модель 840, демонстрирующая величину прироста давления внутри поры вследствие разложения водорода пероксида (то есть, за счет выделения кислорода) для постоянной скорости разложения и фиксированного объема, а также модель 850, демонстрирующая прогнозируемый прирост давления внутри поры в трехмерном объеме структуры загрязнения (например, компьютерная модель 810 образца загрязнений). Таким образом, информация, относящаяся к химическим, физическим и механическим свойствам структуры загрязнения, в сочетании с моделями давления, возникающего внутри поры вследствие разложения водорода пероксида (то есть, за счет выделения кислорода), может быть использована для формирования процедуры для обеспечения надлежащего прироста давления внутри структуры загрязнения, достаточного для разрыва затвердевшей массы загрязнений и обеспечения эффективной очистки.

[00150] Как показано на рис. 8E и 8F, предварительная оценка давления внутри поры, необходимого для дробления загрязнения, производится на основе моделей 860 динамических характеристик текучей среды и моделей 870 механического поведения загрязнения, как описано для рис. 8A–8D. Данная информация используется поставщиком 212 услуг по когнитивной очистке для формирования специализированной процедуры 140, которая предположительно должна обеспечивать прирост давления внутри пор, достаточный для дробления структуры загрязнения. Специализированная процедура 140 включает в себя выбор одного или нескольких ПАВ для удаления свежих загрязнений и смол, скопившихся внутри пор затвердевших структур загрязнений, а также выбор одного или нескольких катализаторов и активных веществ для обеспечения нужного прироста давления внутри пор, обеспечивающего дробление структуры загрязнения.

[00151] На рис. 9A–9C проиллюстрирована разработка «интеллектуальной» процедуры (то есть, процесс 110 формирования «интеллектуальной» процедуры) в соответствии с особенностями заявленной технологии.

[00152] На рис. 9A проиллюстрирована прогнозируемая (например, расчетная) ответная реакция структур загрязнений, соответствующих образцам загрязнений с 700-1 по 700-4, на воздействие различных первичных чистящих составов. Например, ожидается, что при использовании первичного чистящего состава OS3 образец 700-1 будет частично диспергирован, а при использовании первичного чистящего состава OS4 или OS5 – увеличится в объеме. Таким образом, любой из первичных чистящих составов (OS3, OS4 или OS5) заслуживает включения в состав процедуры очистки системы теплообменных устройств, соответствующей образцу 700-1.

[00153] На рис. 9B проиллюстрирована прогнозируемая (например, расчетная) ответная реакция структур загрязнений, соответствующих образцам загрязнений с 700-1 по 700-4, на воздействие различных вторичных чистящих составов. Например, ожидается, что образец 700-1 будет полностью диспергирован при использовании вторичного чистящего состава B1, частично диспергирован при использовании вторичного чистящего состава B2 и увеличится в объеме при использовании вторичного чистящего состава B3. Ожидается, что использование вторичных чистящих составов B1 и B4 при очистке загрязнений, соответствующих образцу 700-1, окажется неэффективным. Таким образом, любой из вторичных чистящих составов (B1, B2 или B3) заслуживает включения в состав процедуры очистки системы теплообменных устройств, соответствующей образцу 700-1.

[00154] На рис. 9C проиллюстрирована прогнозируемая (например, расчетная) ответная реакция структур загрязнений, соответствующих образцам загрязнений с 700-1 по 700-4, на воздействие различных составов (например, специализированных процедур 140). Специализированная процедура 140 для образцов загрязнений определяется на основе результатов, показанных на рис. 9A и 9B. Например, специализированная

процедура, предназначенная для очистки системы теплообменных устройств, соответствующей образцу загрязнений 700-1, включает в себя использование первичного чистящего состава OS3 и вторичного чистящего состава B1, ни один из которых, как ожидается, не должен вызвать существенного увеличения объема структуры загрязнений. В другом примере специализированная процедура, предназначенная для очистки системы теплообменных устройств, соответствующей образцу загрязнений 700-2, включает в себя использование первичного чистящего состава OS4 и вторичного чистящего состава B4, ни один из которых, как ожидается, не должен вызвать частичного растворения и полного диспергирования структуры загрязнений.

[00155] В специализированной процедуре 140 описывается конкретная (определяемая характером загрязнений) последовательность применения химических составов, а также их объемы и методы применения при обработке загрязнений теплообменного устройства. Специализированная процедура 140 может разрабатываться на основе функции загрязнения и описания характеристик загрязнений теплообменного устройства. Специализированная процедура 140 может разрабатываться вручную или автоматически, в зависимости от сложности структуры загрязнений и имеющегося опыта обработки конкретных теплообменных устройств.

[00156] С функциональной точки зрения специализированная процедура 140 реализуется в двух основных формах, направленных на решение различных задач: в форме предварительной процедуры и в форме действующей процедуры. Предварительная процедура представляет собой оценочный вариант процедуры очистки, используемый на этапе планирования когнитивной процедуры очистки в качестве исходного компонента процесса 112 «интеллектуального» планирования. Предварительная процедура предоставляет данные, используемые для имитации «интеллектуального» графика и для оценки результатов наряду с ежемесячными, ежеквартальными и ежегодными прогнозами уровней загрязнений. Действующая процедура представляет собой действующую процедуру очистки, используемую на этапе проведения очистки (например, во время выполнения многостадийной процедуры 250 очистки), которая включает в себя процесс смешивания компонентов на месте, а также процесс 114 «интеллектуальной» очистки с использованием последних еженедельных прогнозов уровня загрязнения и отчета о характеристиках загрязнения перед очисткой.

[00157] Аналогично процедурам предварительной оценки уровня загрязнений и описания характеристик загрязнений, специализированная процедура 140 может вырабатываться с использованием следующих методов: метода физического моделирования, методов машинного обучения, а также методов гибридного интегрирующего физического моделирования с машинным обучением. Результаты разработки специализированной процедуры 140 могут включать в себя как содержания химических продуктов, так и технологию обработки (этапы обработки, их длительности и состояние окружающей среды). В процессе разработки стратегии специализированной процедуры 140 в приоритетном порядке рассматриваются вопросы безопасности и условия возникновения коррозии в условиях проведения очистки и организационных работ.

[00158] На рис. 10 показана функция 1010 загрязнения (например, соответствующая функции 230 загрязнения) в соответствии с особенностями заявленной технологии. Функция 1010 загрязнения представляет собой модель, позволяющую проводить предварительную оценку изменения объема накопленных загрязнений с течением времени. Функция 1010 загрязнения определяется, исходя из структуры загрязнений, физических характеристик загрязнений, механических характеристик загрязнений, деградации эксплуатационных характеристик системы теплообменных устройств со временем и стоимости очистки. Функция 1010 загрязнения может быть выражена как

фактор, влияющий на производительность процесса теплопередачи системы теплообменных устройств и/или стоимость эксплуатации системы теплообменных устройств. Специализированный график 142 определяется на основе (по крайней мере, частично) функции 1010 загрязнения.

[00159] Проводится анализ данных для построения функции 1010 загрязнения, выражающей зависимость процесса образования загрязнений от эксплуатационных данных, а также ее влияние на теплопередачу и объем затрат. Указанная зависимость может быть установлена с помощью метода физического моделирования, методов машинного обучения и/или методов гибридного интегрирующего физического моделирования с машинным обучением. В физических моделях может использоваться подробная информация о системе (например, информация о геометрии теплообменных устройств, технологической конструкции и физических свойствах потоков и оборудования). Может выполняться перекрестная проверка физических моделей путем согласования данных для калибровки и повышения точности. Применяя методы машинного обучения, можно установить зависимость процесса образования загрязнений от эксплуатационных данных (путем анализа данных); можно использовать относительно большие объемы ретроспективных данных с высокой степенью дискретизации для достижения стабильных результатов. Тем не менее, модели машинного обучения могут оказаться недоступными для интерпретации или не обеспечивать демонстрацию физических основ функционирования модели. Метод гибридного моделирования объединяет в себе как физические методы, так и методы машинного обучения для достижения точных и быстрых результатов; причем физическая информация может сохраняться и использоваться для повышения точности модели. Функция 1010 загрязнения может использоваться в качестве исходного компонента для получения функции очистки. Функция очистки основывается на характеристиках загрязнений и параметрах очистки; в ней учитывается подробная информация о специализированной (то есть, специально подготовленной, индивидуализированной) процедуре очистки и о технологии очистки.

[00160] Функция 1010 загрязнения может определяться, исходя из предварительной оценки уровня загрязнений, описания характеристик загрязнений и производственного плана. Функция 1010 загрязнения обеспечивает ориентировочный прогноз будущего состояния системы теплообменных устройств и ее эксплуатационных характеристик, фокусируясь на будущей ситуации с загрязнениями и ее влиянии на эффективность производства.

[00161] Для построения точной функции 1010 загрязнения в состав данных могут быть включены ретроспективные климатические данные и данные климатических прогнозов, поскольку поведение функции 1010 загрязнения может меняться в зависимости от температуры окружающей среды. Точность функции 1010 загрязнения может также зависеть от методов, используемых для формирования функции 1010 загрязнения, и результатов описания характеристик загрязнений. В случаях использования грубых моделей ввода функция 1010 загрязнения может использоваться в качестве тренда для параметризации процесса формирования специализированного графика 142.

[00162] На практике существуют два основных метода формирования функции 1010 загрязнения: (i) метод регрессионного анализа и (ii) метод искусственных нейронных сетей (ИНС). Регрессионный анализ представляет собой набор статистических процессов для оценки взаимосвязи между зависимой переменной (уровнем загрязнения) и независимыми переменными, а метод ИНС представляет собой метод получения выходных данных (уровня загрязнения) с использованием ретроспективных выходных и входных данных без программирования. При наличии большого объема данных использование метода ИНС может давать лучшие результаты по сравнению с

использованием метода регрессионного анализа. Однако, в рамках метода ИНС не всегда возможно интерпретировать весовые коэффициенты. С другой стороны, метод регрессионного анализа может давать лучше интерпретируемые результаты и применяться в тех случаях, когда имеющийся объем данных недостаточен для анализа. Когнитивная система 100 очистки может применяться вне зависимости от используемого метода, хотя при этом может проводиться проверка с целью сравнения обоих методов и выявления предпочтительных результатов. Метод ИНС имеет преимущество в долгосрочной перспективе ввиду его самообучения на основе предыдущих реализаций и независимости от субъективных систематических ошибок.

[00163] Функция 1010 загрязнения может регулярно обновляться по мере поступления новых данных и использоваться для принятия предварительных решений касательно закупок, оценки экономической ситуации и планирования процедур. В ходе анализа может проводиться перекрестная проверка фактических данных в сравнении с результатами прогноза. Серьезные расхождения подлежат оценке, отклонения от нормы требуют объяснений, а на основе полученных результатов проводится обновление моделей.

[00164] Когнитивная система 100 очистки предусматривает существование нескольких различных типов проверки функции 1010 загрязнения в зависимости от их функционального назначения: еженедельное прогнозирование, ежемесячное прогнозирование, ежеквартальное прогнозирование и ежегодное прогнозирование. Проверки результатов еженедельного прогнозирования могут использоваться для отслеживания еженедельных изменений плана/ фактических показателей загрязнения, чтобы гарантировать эксплуатацию оборудования системы теплообменных устройств на уровне «низкой вероятности» загрязнения. В случаях, когда результаты еженедельного прогнозирования указывают на то, что фактический уровень загрязнения превышает уровень «низкой вероятности», может запускаться последовательность действий по подготовке к очистке. Ежемесячные, ежеквартальные и ежегодные прогнозы могут использоваться с целью планирования расходов путем выражения результатов прогнозирования уровней загрязнения в категориях стоимости и времени в рамках процесса «интеллектуального» планирования. Функция 1010 загрязнения является реализуемым элементом представления когнитивной системы 100 очистки, который используется в процессе 112 «интеллектуального» планирования для формирования специализированного графика 142.

[00165] На рис. 11 показан график 1110, иллюстрирующий повышение относительной эффективности теплопередачи с помощью теплообменного устройства, обслуживаемого в соответствии со специализированным графиком 142, формируемым путем «интеллектуального» планирования 112, в сравнении с обслуживанием устройства с соблюдением общепринятых интервалов очистки (например, во время простоев в работе предприятия, которые могут иметь место, например, один раз в год). Как видно из рисунка, благодаря проведению технического обслуживания системы теплообменных устройств в соответствии со специализированным графиком 142 можно достичь существенного повышения экономической выгоды в сравнении с использованием общепринятых графиков техобслуживания, требующих остановки предприятия для проведения очистки оборудования.

[00166] На рис. 12 показана электронная система 1200, с помощью которой можно осуществить один или несколько методов реализации заявленной технологии. Электронная система 1200 может представлять собой процессор/ контроллер и/или являться частью процессора/ контроллера. В состав электронной системы 1200 могут входить машинно-читаемые носители информации различных типов, а также интерфейсы для подключения машинно-читаемых носителей информации различных иных типов. В

состав электронной системы 1200 входит шина 1208, один или несколько блоков 1212 обработки данных, системная память 1204 (и/или буферная память), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 1210, долговременное запоминающее устройство 1202, интерфейс 1214 устройства ввода, интерфейс 1206 устройства вывода, а также один или несколько сетевых интерфейсов 1216, либо подсистемы и разновидности указанного выше оборудования.

[00167] Шина 1208 в совокупности представляет всю систему, периферийные шины и шины наборов микросхем, которые коммуникативно соединяют многочисленные внутренние устройства электронной системы 1200. В одном или нескольких вариантах осуществления шина 1208 коммуникативно соединяет один или несколько блоков 1212 обработки данных с ПЗУ 1210, системной памятью 1204 и долговременным запоминающим устройством 1202. Из указанных различных блоков памяти в один или несколько блоков 1212 обработки данных загружаются подлежащие выполнению команды и подлежащие обработке данные для выполнения процессов, соответствующих заявленному изобретению. Один или несколько блоков 1212 обработки данных могут представлять собой одиночный процессор или многоядерный процессор в различных вариантах реализации.

[00168] В ПЗУ 1210 хранятся статические данные и команды, необходимые одному или нескольким блокам 1212 обработки данных и другим модулям электронной системы 1200. С другой стороны, долговременное запоминающее устройство 1202 может представлять собой устройство памяти с функциями чтения и записи. Долговременное запоминающее устройство 1202 может представлять собой энергонезависимый модуль памяти, в котором хранятся инструкции и данные даже в том случае, когда электронная система 1200 выключена. В одном или нескольких вариантах осуществления в качестве долговременного запоминающего устройства 1202 может использоваться запоминающее устройство большой емкости (например, магнитный или оптический диск и соответствующий ему дисковый накопитель).

[00169] В одном или нескольких вариантах осуществления в качестве долговременного запоминающего устройства 1202 может использоваться съемное запоминающее устройство (например, гибкий магнитный диск, устройство флэш-памяти и соответствующий ему дисковый накопитель). Как и долговременное запоминающее устройство 1202, системная память 1204 может представлять собой устройство памяти с функциями чтения и записи. Тем не менее, в отличие от долговременного запоминающего устройства 1202, системная память 1204 может представлять собой энергозависимое устройство памяти с функциями чтения и записи, например, ОЗУ. В системной памяти 1204 могут храниться любые команды и данные, которые могут потребоваться одному или нескольким блокам 1212 обработки данных во время выполнения программы. В одном или нескольких вариантах осуществления процессы, соответствующие заявленному изобретению, хранятся в системной памяти 1204, долговременном запоминающем устройстве 1202 и/или ПЗУ 1210. Из указанных различных блоков памяти в один или несколько блоков 1212 обработки данных загружаются подлежащие выполнению команды и подлежащие обработке данные для выполнения процессов, соответствующих одному или нескольким вариантам осуществления.

[00170] Шина 1208 также подключается к интерфейсам 1214 и 1206 устройств ввода и вывода. Интерфейс 1214 устройства ввода позволяет пользователю передавать информацию и выбирать команды для управления электронной системой 1200. В состав устройств ввода, которые могут использоваться с помощью интерфейса 1214 устройств ввода, могут входить, например, буквенно-цифровые клавиатуры и указательные устройства (называемые также «устройствами управления курсором»). Интерфейс 1206 устройства вывода может, например, делать возможным демонстрировать изображения,

формируемые электронной системой 1200. В состав устройств вывода, которые могут использоваться с помощью интерфейса 1206 устройств вывода, могут входить, например, принтеры и устройства отображения, такие как жидкокристаллический дисплей (LCD), светодиодный дисплей (LED), дисплей на органических светодиодах (OLED), гибкий дисплей, дисплей с плоским экраном, твердотельный индикатор, проектор или любое другое устройство, предназначенное для вывода информации. В состав одного или нескольких вариантов осуществления могут входить устройства, функционирующие в качестве входных и выходных устройств одновременно, например, сенсорный экран. В указанных вариантах осуществления обратная связь с пользователем может реализовываться как сенсорная обратная связь в любой ее форме, например, как визуальная обратная связь, слуховая обратная связь или тактильная обратная связь, при этом входная информация может быть получаться от пользователя в любой форме, включая акустическую, речевую и тактильную.

[00171] Наконец, как показано на рис. 12, шина 1208 также соединяет электронную систему 1200 с одной или несколькими сетями и/или одним или несколькими сетевыми узлами (такими как электронное устройство 102, показанное на рис. 1) посредством одного или нескольких сетевых интерфейсов 1216. Таким образом, электронная система 1200 может являться частью компьютерной сети (такой как локальная сеть (LAN), территориальная сеть (WAN) или «сеть сетей», т.е., Интернет). В рамках заявленного изобретения может использоваться любой из компонентов электронной системы 1200.

[00172] На рис. 13 показана прогнозируемая прибыль от использования системы теплообменных устройств, контроль загрязнения которой осуществляется в соответствии с особенностями заявленной технологии. На рис. 13 показаны графики, иллюстрирующие количество энергии, которое можно сэкономить с помощью когнитивной системы 100 очистки в сравнении с ранее использовавшимися методами очистки.

[00173] На рис. 14A–14D показана функциональная схема метода 1400 очистки систем теплообменных устройств в соответствии с особенностями заявленной технологии. Метод 1400 осуществляется (то есть, выполняется) (1410) с использованием компьютерной системы (например, электронной системы 1200), оснащенной одним или несколькими процессорами (например, процессорами 1212) и устройством памяти (например, системной памятью 1204), в котором хранятся одна или несколько программ, допускающих их выполнение одним или несколькими процессорами. Метод 1400 включает в себя проведение предварительной оценки (1420) уровня загрязнений системы теплообменных устройств (например, оборудования системы теплообменных устройств), основывающейся (по крайней мере, частично) на измеренных эксплуатационных характеристиках системы теплообменных устройств (например, формирование предварительной оценки 262 уровня загрязнений на основе данных 260 об эксплуатационных характеристиках системы). Указанные эксплуатационные характеристики включают в себя скорость теплообмена. Рассматриваемый метод 1400 также включает в себя формирование (1430) стоимостной модели 232 эксплуатационных характеристик системы, основывающейся на анализе оценочного уровня загрязнений (например, на предварительной оценке 262 уровня загрязнений) системы теплообменных устройств и определении (1440) исходной процедуры очистки (например, исходной процедуры, которая представляет собой специализированную процедуру 140) на основе технологических параметров работы системы теплообменных устройств. Технологические параметры включают в себя химический состав и рабочую температуру текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств (например, данные 260 об эксплуатационных характеристиках системы, в состав которых могут входить любые данные 224 датчиков и системные данные 226). Метод 1400 также включает в себя формирование (1450) стоимостной модели 264 процесса очистки на основе исходной процедуры очистки и данных расчета (1460) графика 142 очистки (например,

специализированного графика 142 очистки) для минимизации общих эксплуатационных затрат с использованием как стоимостной модели 232 эксплуатационных характеристик системы, так и стоимостной модели 264 процесса очистки. Метод 1400 также включает в себя выполнение (1470) исходной процедуры очистки (например, проведение многостадийной очистки 250 с использованием специализированной процедуры 140) системы теплообменных устройств согласно рассчитанному графику 142 очистки.

[00174] В некоторых вариантах осуществления определение (1440) исходной процедуры очистки (например, специализированной процедуры 140) включает в себя загрузку (1442) ранее сформированных процедур очистки из хранилища данных и формирование (1444) исходной процедуры очистки (например, специализированной процедуры 140) на основе загруженных процедур очистки. Процедуры очистки, получаемые из хранилища данных, сформированы для одной или нескольких других систем теплообменных устройств, технологические параметры которых согласуются с технологическими параметрами рассматриваемой системы теплообменных устройств (например, в них используются такие же или аналогичные химические вещества/материалы /типы материалов, они характеризуются перекрывающимся диапазоном температур и/или перекрывающимся диапазоном давлений).

[00175] В некоторых вариантах осуществления выполнение (1470) исходной процедуры очистки включает в себя одно или несколько из указанных ниже действий: определение (1472) химического состава образца 144 загрязнения, отобранного из системы теплообменных устройств, определение (1474) температуры в системе теплообменных устройств и корректировка (1474) исходной процедуры очистки (например, специализированной процедуры 140) в соответствии с температурой в системе теплообменных устройств, а также определение (1476) давления в системе теплообменных устройств и корректировка (1476) исходной процедуры очистки в соответствии с давлением в системе теплообменных устройств.

[00176] В некоторых вариантах осуществления метод 1400 также включает в себя описание характеристик (1480) образца загрязнений, отобранного из системы теплообменных устройств во время выполнения исходной процедуры очистки (например, образца загрязнений 144, отобранного во время проведения многостадийной очистки 250), а также формирование (1490) обновленной процедуры очистки (например, другой специализированной процедуры 140 очистки) на основе (по крайней мере, частично) характеристик образца загрязнений. Метод 1400 также включает в себя формирование (1492) обновленной стоимостной модели процесса очистки, основанной на обновленной процедуре очистки, и выполнение (1494) обновленной процедуры очистки системы теплообменных устройств в соответствии с расчетным графиком 142.

[00177] В некоторых вариантах осуществления описание характеристик (1480) образца загрязнений 144 включает в себя определение (1482) одного или нескольких из следующих показателей: одной или нескольких химических характеристик (например, химического состава) образца 144 загрязнений, одной или нескольких механических характеристик (например, механического свойства) образца 144 загрязнений и одной или нескольких физических характеристик (например, физического свойства) образца 144 загрязнений.

[00178] В некоторых вариантах осуществления описание характеристик (1480) образца 144 загрязнений включает в себя формирование (1484) трехмерной синтезированной модели 820 образца 144 загрязнений на основе характеристик образца 144 загрязнений. В некоторых вариантах осуществления трехмерная синтезированная модель 820 имеет механические свойства и/или физические свойства, подобные механическим свойствам и/или физическим свойствам (например, имитирующие их или являющиеся идентичными им) отобранного образца 144 загрязнений. Например,

трехмерная синтезированная модель 820 может иметь такие же показатели проницаемости и/или пористости, как и отобранный образец 144 загрязнений. В другом примере трехмерная синтезированная модель 820 может иметь такие же показатели эластичности и/или размеров пор, как и отобранный образец 144 загрязнений.

[00179] В некоторых вариантах осуществления описание характеристик (1480) образца 144 загрязнений включает в себя формирование компьютерной модели (например, компьютерной модели 810, 812), которая может использоваться для формирования имитационных моделей, например, имитационных моделей воздействия чистящих средств, химических веществ, ПАВ, растворов на образец загрязнений. В некоторых вариантах осуществления результаты имитационного моделирования используются для формирования специализированных процедур 140, таких как исходная процедура очистки и/или обновленная процедура очистки.

[00180] Варианты осуществления, находящиеся в рамках настоящего изобретения, могут частично или полностью реализовываться с использованием материального машинно-читаемого носителя данных (или нескольких материальных машинно-читаемых носителей данных одного или нескольких типов) с записанными на нем (них) одной или несколькими командами. Материальный машинно-читаемый носитель данных также может быть энергонезависимым.

[00181] Машинно-читаемый носитель данных может представлять собой любой носитель данных, с которого можно осуществлять чтение, на который можно осуществлять запись, или же к которому может быть обеспечен доступ вычислительному устройству общего или специального назначения, включая любые устройства электронной обработки сигналов и/или электронные схемы, способные выполнять команды. Например, помимо прочих, в состав машинно-читаемых носителей данных могут входить любые энергозависимые полупроводниковые устройства памяти, такие как устройства RAM, DRAM, SRAM, T-RAM, Z-RAM и TTRAM. В состав машинно-читаемых носителей данных могут также входить любые энергонезависимые полупроводниковые устройства памяти, такие как устройства ROM, PROM, EPROM, EEPROM, NVRAM, устройства флэш-памяти, nvSRAM, FeRAM, FeTRAM, MRAM, PRAM, CBRAM, SONOS, RRAM, NRAM, устройства беговой памяти, FJG RAM и устройства памяти типа Millipede.

[00182] Кроме того, в состав машинно-читаемых носителей данных могут входить любые непроводниковые устройства памяти, такие как накопители на оптических дисках, накопители на магнитных дисках, накопители на магнитной ленте, другие магнитные запоминающие устройства или любой другой носитель данных, способный хранить одну или несколько команд. В одном или нескольких вариантах осуществления материальный машинно-читаемый носитель данных может непосредственно сопрягаться с вычислительным устройством, в то время как в других вариантах осуществления материальный машинно-читаемый носитель данных может сопрягаться с вычислительным устройством опосредованно, например, с использованием одного или нескольких проводных соединений, одного или нескольких беспроводных соединений или любых сочетаний указанных соединений.

[00183] Команды могут быть непосредственно исполняемыми или же могут использоваться для конструирования исполняемых команд. Например, команды могут быть реализованы в виде исполняемого или неисполняемого машинного кода или же в виде команд языка программирования высокого уровня, допускающего компиляцию с получением исполняемого или неисполняемого машинного кода. Кроме того, команды также могут быть реализованы в виде данных или могут включать в себя такие данные. Команды, предназначенные для выполнения компьютером, также могут быть представлены в любом формате, включая стандартные программы, стандартные подпрограммы, программы, структуры данных, объекты, модули, приложения,

прикладные мини-программы, функции и т.д. Как признано специалистами в этой области техники, подробности реализации, включая (однако не ограничиваясь нижеизложенным) количество, структуру, последовательность и организацию команд, могут существенно варьироваться без изменения лежащей в их основе логики, функционального назначения, технологии обработки и выходных данных.

[00184] В то время как выше, в основном, обсуждалось использование микропроцессоров или многоядерных процессоров, выполняющих программы, в одном или нескольких вариантах осуществления команды выполняются с помощью одной или нескольких интегральных схем, например, схем типов ASIC или FPGA. В одном или нескольких вариантах осуществления такие интегральные схемы выполняют команды, хранящиеся в самой схеме.

[00185] Специалисты в данной области техники поймут, что различные блоки, модули, элементы, компоненты, методы и алгоритмы, описанные в настоящем документе с иллюстративной целью, могут быть реализованы в виде электронной аппаратуры, компьютерного программного обеспечения или сочетания того и другого. Для демонстрации указанной взаимозаменяемости аппаратуры и программного обеспечения выше с иллюстративной целью и в общих чертах были описаны различные блоки, модули, элементы, компоненты, методы и алгоритмы в том, что касается их функциональности. Реализация указанной функциональности в виде аппаратуры или в виде программного обеспечения зависит от конкретного варианта применения и от конструктивных ограничений, налагаемых на систему в целом. Квалифицированные специалисты могут реализовывать описанную функциональность различными методами для каждого конкретного варианта применения. Различные компоненты и блоки могут располагаться по-разному (например, располагаться в другом порядке или по-другому разделяться на части), не выходя при этом за рамки заявленной технологии.

[00186] Подразумевается, что любой конкретный порядок или структура подчиненности блоков в описанных процессах являются иллюстрацией типовых подходов. Исходя из конструктивных предпочтений становится ясно, что конкретный порядок или структура подчиненности блоков при реализации процессов могут быть изменены или же что все проиллюстрированные блоки могут быть реализованы. Любые из рассматриваемых блоков могут быть реализованы одновременно. В одном или нескольких вариантах осуществления предпочтительными могут оказаться многозадачный режим работы и параллельная обработка данных. Кроме того, разделение различных компонентов системы в вариантах осуществления, описанных выше, не следует понимать, как требование такого разделения во всех вариантах осуществления; необходимо понимать, что описанные программные компоненты и системы могут, в общем случае, объединяться в одном программном продукте или же объединяться в пакеты вместе с другими программными продуктами.

[00187] В соответствии с их использованием в данной спецификации и любых пунктах данной заявки, термины «базовая станция», «принимающее устройство», «компьютер», «сервер», «процессор» и «память» относятся к электронным или другим техническим устройствам. Указанные термины не относятся к людям или группам людей. В контексте данной спецификации термины «отображать» или «отображение» означают отображение на электронном устройстве.

[00188] В контексте настоящего изобретения фраза «по крайней мере, один из», предшествующая перечню элементов, вместе с союзом «и» или «или», используемым для разделения любых элементов, уточняет перечень в целом, а не отдельные составляющие перечня (т.е., не отдельные элементы). Фраза «по крайней мере, один из» не требует выбора, по крайней мере, одного элемента из всех перечисленных; вместо этого, данная фраза допускает, что имеется в виду включение в описание, по крайней

мере, любого одного элемента и/или, по крайней мере, любого одного сочетания элементов, и/или, по крайней мере, по одному из всех элементов. В качестве примера, каждая из фраз «по крайней мере, один из элементов А, В и С» или «по крайней мере, один из элементов А, В или С» означает только элемент А, только элемент В или только элемент С, любое сочетание элементов А, В и С и/или по крайней мере, один из каждого элемента: А, В и С.

[00189] Предикативные фразы «выполненный с возможностью», «функционирующий с целью» и «запрограммированный для» не подразумевают никакого конкретного осязаемого или неосязаемого изменения объекта, а, скорее, предназначены для использования в качестве взаимозаменяемых фраз. В одном или нескольких вариантах осуществления фраза «процессор, выполненный с возможностью оперативного контроля и управления выполнением операции или работой компонента» может также означать «процессор, программируемый с целью оперативного контроля и управления выполнением операции» или «процессор, функционирующий с целью оперативного контроля или управления выполнением операции». Аналогично этому, фраза «процессор, выполненный с возможностью выполнения машинной программы» может истолковываться как «процессор, запрограммированный для выполнения машинной программы или функционирующий с целью выполнения машинной программы».

[00190] Такие фразы, как «один из аспектов», «указанный аспект», «другой аспект», «некоторые аспекты», «один или несколько аспектов», «одна из реализаций», «указанная реализация», «другая реализация», «некоторые реализации», «одна или несколько реализаций», «один из вариантов осуществления», «указанный вариант осуществления», «другой вариант осуществления», «некоторые варианты осуществления», «один или несколько вариантов осуществления», «одна из конфигураций», «указанная конфигурация», «другая конфигурация», «некоторые конфигурации», «одна или несколько конфигураций», «рассматриваемая технология», «раскрытый предмет изобретения», «раскрытый предмет настоящего изобретения», «другие вариации вышеуказанного» и им подобные приведены из соображений удобства и не подразумевают, что раскрытие предмета изобретения, связанное с такими фразами, имеет принципиальное значение для рассматриваемой технологии, или что такое раскрытие предмета изобретения охватывает все конфигурации рассматриваемой технологии. Раскрытие предмета изобретения, связанное с использованием указанных фраз, может охватывать все конфигурации, либо одну или несколько конфигураций. Раскрытие предмета изобретения, связанное с использованием указанных фраз, может содержать один или несколько примеров. Такие фразы, как «один из аспектов» или «некоторые аспекты» могут относиться к одному или нескольким аспектам, и наоборот; аналогичным образом, это же относится и к другим приведенным выше фразам.

[00191] Слово «типичный», встречающееся в данном документе, означает «используемый в качестве примера, образца или иллюстрации». Любой вариант осуществления, описываемый в настоящем документе в качестве «типичного» или в качестве «примера», не обязательно должен истолковываться как предпочтительный или приоритетный по сравнению с другими вариантами осуществления. Кроме того, в той части, в какой термины «включать», «иметь» и им подобные используются в описании или в формуле изобретения, подразумевается, что такие термины являются собирательными, подобно тому, как толкуется термин «содержать» в случае его использования в качестве переходного слова в пункте формулы изобретения.

[00192] Все структурные и функциональные аналоги элементов различных аспектов, описанных в данном раскрытии предмета изобретения, уже известные или ставшие известными специалистам в данной области техники позже, явным образом включены в настоящий документ посредством ссылок и предназначены для включения в объем

формулы изобретения. Кроме того, никакая информация, раскрытая в данном документе, не предназначена для того, чтобы быть всеобщим достоянием, вне зависимости от того, излагается такая информация явным образом в формуле изобретения или нет. Ни один из элементов пункта формулы изобретения не должен истолковываться как подпадающий под действие положений шестого абзаца §112 раздела 35 Свода законов США, если только данный элемент не излагается явным образом с использованием фразы «средство для» или, в случае с патентной формулой на метод, элемент не излагается с использованием фразы «этап для».

[00193] Приведенное выше описание имеет целью дать возможность любому специалисту в этой области техники практически использовать различные аспекты, описанные в данном документе. Различные модификации указанных аспектов будут вполне очевидными для специалиста в этой области техники, а общие принципы, определенные в настоящем документе, могут применяться и к другим аспектам. Таким образом, формула изобретения не ограничивается аспектами, раскрытыми в настоящем документе, а должна отвечать полному объему, соответствующему сформулированным заявлениям, при этом предполагается, что упоминание об элементе в единственном числе означает не «один и только один» (если только это не указано специально), а, скорее, «один или несколько». Если специально не указано иное, то термин «некоторые» означает один или несколько элементов. Местоимения мужского рода (например, «его») относятся также и к элементам женского и среднего рода (например, «ее» и «его»), и наоборот. Заголовки и подзаголовки, в случае их наличия, используются исключительно для удобства и не ограничивают объем заявленного изобретения.

Формула изобретения:

1. Метод очистки систем теплообменных устройств, заключающийся в следующем:
с помощью компьютерной системы, оснащенной одним или несколькими процессорами и устройством памяти, в котором хранятся одна или несколько программ, допускающих возможность их выполнения одним или несколькими процессорами:
определяют процентный состав компонентов чистящего раствора, основываясь (по крайней мере, частично) на технологических параметрах системы теплообменных устройств, при этом технологические параметры включают в себя химические составы текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств, а также рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств, при этом процентный состав является следующим:
водорода пероксид – 2–90 % (м/м);
комплексообразующее соединение – 3–30 % (м/м);
водорастворимый каликсарен – 0,01–10 % (м/м); а также
вода;
где комплексообразующее соединение представляет собой многоосновную органическую кислоту или ее натриевую соль, либо производную фосфористой кислоты.
2. Метод согласно п. 1, в котором определение процентных содержаний компонентов также основывается на результатах описания характеристик образца загрязнений, отобранного из системы теплообменных устройств.
3. Метод согласно п. 2, в котором описание характеристик образца загрязнений включает в себя определение одной или нескольких из следующих характеристик:
одной или нескольких химических характеристик образца загрязнений;
одной или нескольких механических характеристик образца загрязнений; а также
одной или нескольких физических характеристик образца загрязнений.
4. Метод согласно п. 2, в котором описание характеристик образца загрязнений включает в себя формирование трехмерной синтезированной модели образца загрязнений на основе характеристик образца загрязнений.
5. Метод согласно п. 1, в котором определение процентных содержаний компонентов также основывается на определении температуры в системе теплообменных устройств и/или определении давления в системе теплообменных устройств.
6. Метод согласно п. 1, в котором определение процентных содержаний компонентов также основывается на загрузке из хранилища данных процедур очистки, сформированных ранее для одной или нескольких других систем теплообменных устройств, технологические параметры работы которых согласуются с технологическими параметрами работы рассматриваемой системы теплообменных устройств.
7. Метод согласно п. 1, в котором в состав компонентов также входит органическая кислота в концентрации 3–30 % (м/м).
8. Метод согласно п. 7, в котором органической кислотой может являться уксусная кислота, муравьиная кислота, пропионовая кислота, масляная кислота, щавелевая кислота, лимонная кислота, сульфаминовая кислота, адипиновая кислота, виннокаменная кислота, ангидриды кислот или же любые сочетания перечисленных выше соединений.
9. Метод согласно п. 1, в котором в состав компонентов также входит стабилизатор разложения пероксидных соединений в концентрации 1–5 % (м/м).
10. Метод согласно п. 9, в котором стабилизатор разложения пероксидных соединений содержит одно или несколько следующих веществ: натрия гексаметафосфат, калия фосфат, натрия гидрофосфат и натрия дигидрофосфат.

11. Метод согласно п. 1, в котором в состав компонентов также входит ПАВ в концентрации 0,5–2,5 % (м/м).
12. Метод согласно п. 11, в котором ПАВ содержит сульфеновую кислоту, алкилфенолэтоксилат или же смесь сульфеновой кислоты и алкилфенолэтоксилата.
13. Метод согласно п. 11, в котором ПАВ содержит смесь сульфеновой кислоты и алкилфенолэтоксилата в соотношении 2:1.
14. Метод согласно п. 1, в котором в состав компонентов также входит ингибитор в концентрации 0,5–1,5 % (м/м).
15. Метод согласно п. 1, в котором комплексообразующее соединение представляет собой водорастворимое хелатное соединение.
16. Метод очистки систем теплообменных устройств, заключающийся в следующем:
 - с помощью компьютерной системы, оснащенной одним или несколькими процессорами и устройством памяти, в котором хранятся одна или несколько программ, допускающих возможность их выполнения одним или несколькими процессорами, осуществляются:
 - оценка уровня загрязнения системы теплообменных устройств, исходя (по крайней мере, частично) из измеренных эксплуатационных характеристик системы теплообменных устройств, где в состав эксплуатационных характеристик входит скорость теплоотдачи;
 - формирование стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы на основе анализа оценочного уровня загрязнений системы теплообменных устройств;
 - формирование исходной процедуры очистки на основе технологических параметров работы системы теплообменных устройств, где в состав технологических параметров входят химический состав текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств, и рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств;
 - формирование стоимостной модели процесса очистки на основе исходной процедуры очистки;
 - расчет графика очистки для минимизации общих эксплуатационных затрат с использованием как стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы, так и стоимостной модели процесса очистки; а также
 - выполнение исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств согласно расчетному графику очистки.
17. Метод согласно п. 16, в котором:
 - исходная процедура очистки включает в себя приготовление состава для раствора, используемого для удаления загрязнений;
 - проведение процедуры очистки включает в себя:
 - смешивание множества входящих в состав компонентов для получения раствора; а также
 - нанесение раствора на загрязнения системы теплообменных устройств с выделением вследствие этого газа в процессе разложения раствора, что приводит к дроблению загрязнений.
18. Метод согласно п. 17, в котором:
 - в состав раствора входит водорода пероксид;
 - в состав выделяющегося газа входит кислород;
 - образование газа включает в себя разложение водорода пероксида с выделением кислорода.
19. Метод согласно п. 17, в котором разложение раствора представляет собой экзотермический процесс разложения.

20. Метод согласно п. 16, который дополнительно включает в себя следующее:
описание характеристик образца загрязнений, отобранного из системы теплообменных устройств во время выполнения исходной процедуры очистки;
формирование обновленной процедуры очистки на основе (по крайней мере, частично) характеристик образца загрязнений;
формирование обновленной стоимостной модели процесса очистки на основе обновленной процедуры очистки; а также
выполнение обновленной процедуры очистки системы теплообменных устройств согласно расчетному графику.
21. Метод согласно п. 20, в котором описание характеристик образца загрязнений включает в себя определение одной или нескольких из следующих характеристик:
одной или нескольких химических характеристик образца загрязнений;
одной или нескольких механических характеристик образца загрязнений; а также
одной или нескольких физических характеристик образца загрязнений.
22. Метод согласно п. 20, дополнительно включающий в себя формирование трехмерной синтезированной модели образца загрязнений на основе характеристик образца загрязнений.
23. Метод согласно п. 16, в котором проведение исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств включает в себя одно или несколько из указанных ниже действий:
определение химического состава образца загрязнений, отобранного из системы теплообменных устройств;
определение температуры в системе теплообменных устройств и корректировку исходной процедуры очистки в соответствии с температурой в системе теплообменных устройств; а также
определение давления в системе теплообменных устройств и корректировку исходной процедуры очистки в соответствии с давлением в системе теплообменных устройств.
24. Метод согласно п. 16, в котором проведение исходной процедуры очистки на основе технологических параметров системы теплообменных устройств включает в себя следующее:
загрузку из хранилища данных процедур очистки, сформированных ранее для одной или нескольких других систем теплообменных устройств, технологические параметры работы которых согласуются с технологическими параметрами работы рассматриваемой системы теплообменных устройств; а также
формирование исходной процедуры очистки на основе загруженных процедур очистки.
25. Вычислительное устройство, состоящее из:
одного или нескольких процессоров; а также
устройства памяти, работающего в паре с одним или несколькими процессорами, в котором хранится одна или несколько программ, предназначенных для выполнения одним или несколькими процессорами, при этом в состав одной или нескольких программ входят команды, предназначенные для:
оценки уровня загрязнения системы теплообменных устройств, исходя (по крайней мере, частично) из измеренных эксплуатационных характеристик системы теплообменных устройств, где в состав эксплуатационных характеристик входит скорость теплоотдачи;
формирования стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы на основе анализа оценочного уровня загрязнений системы теплообменных устройств;
формирования исходной процедуры очистки на основе технологических параметров работы системы теплообменных устройств, где в состав технологических

параметров входят химический состав текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств, и рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств;

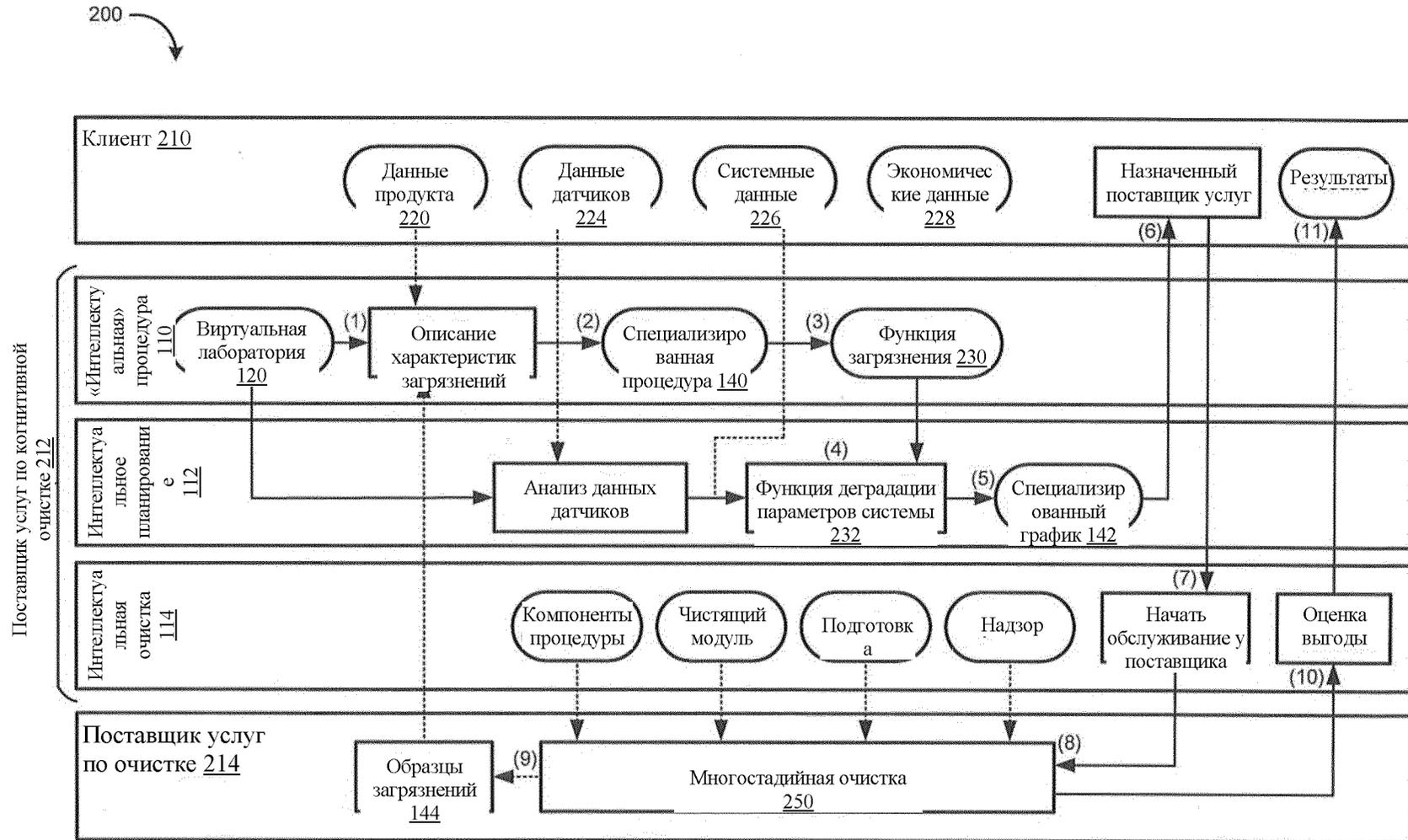
формирования стоимостной модели процесса очистки на основе исходной процедуры очистки;

расчета графика очистки для минимизации общих эксплуатационных затрат с использованием как стоимостной модели эксплуатационных характеристик системы, так и стоимостной модели процесса очистки; а также

выполнения исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств согласно расчетному графику очистки.



ФИГ. 1



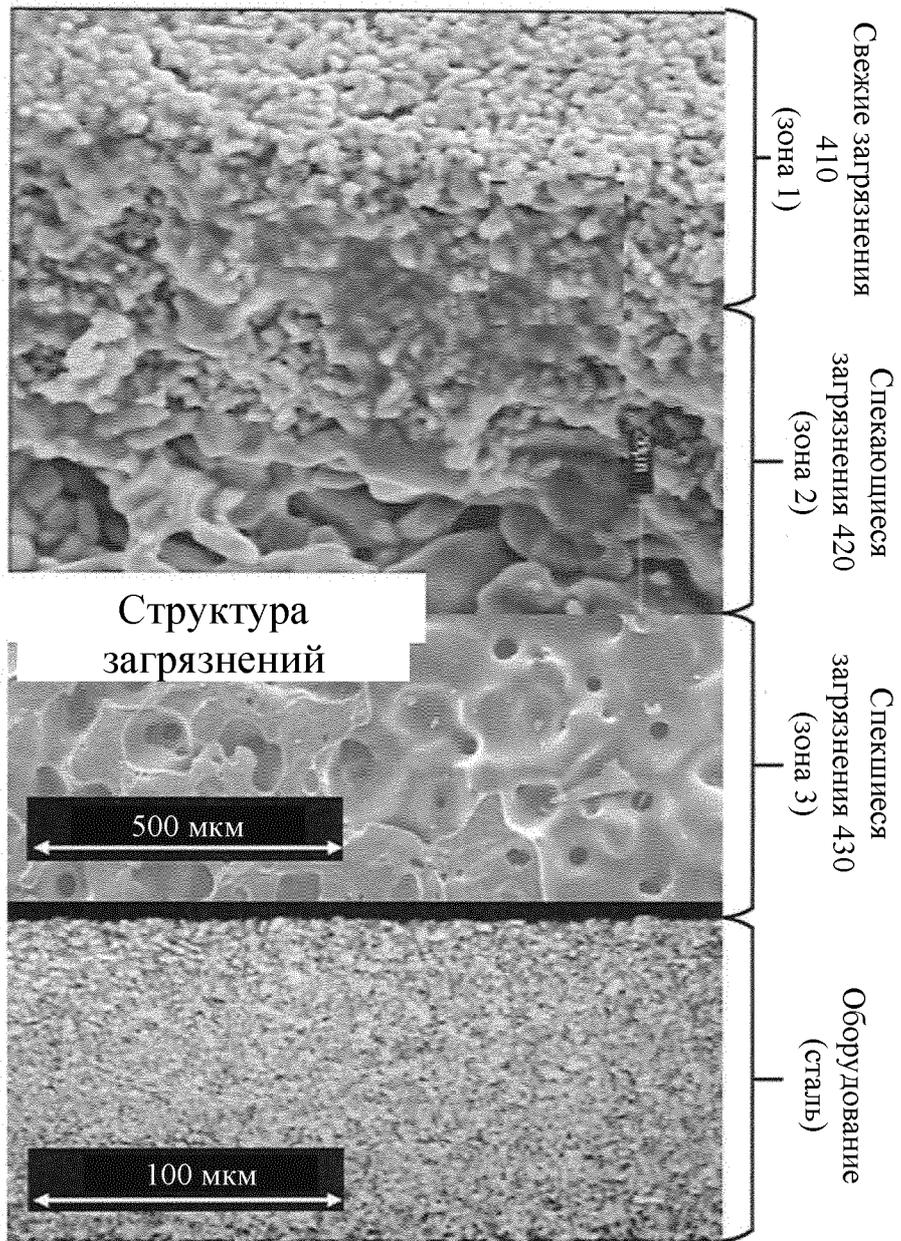
ФИГ. 2А



ФИГ. 2В

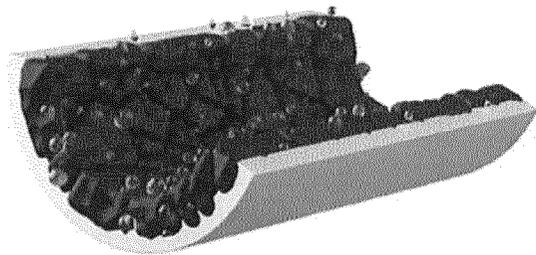


ФИГ. 3

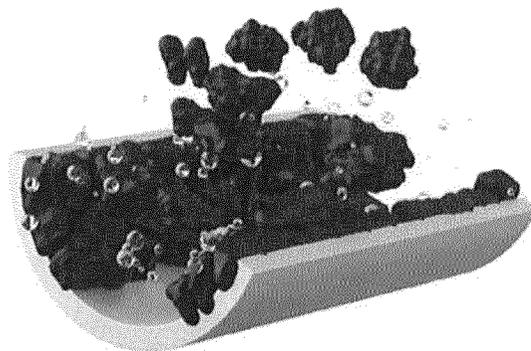


ФИГ. 4

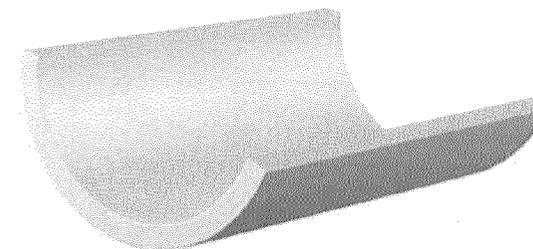
1. Подготовка массы – удаление гелеобразного слоя и очистка пор растворителями (зона 1)
2. Подготовка пор – снижение поверхностного / межфазного натяжения с помощью ПАВ
3. Многостадийное дробление загрязнений:
 - Заполнение пор катализатором
 - Обработка массы средством Alfa PEROX и управление реакцией разложения
 - Создание в порах избыточного давления, приводящего к возникновению напряжения растяжения, превышающего предел прочности загрязнения на разрыв
 - Удаление остатков загрязнения с потоком



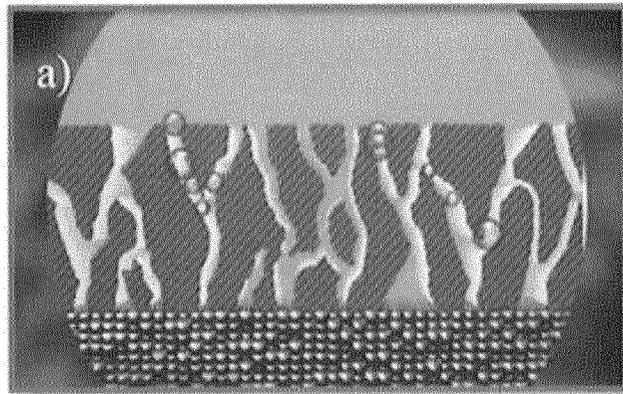
ФИГ. 5А



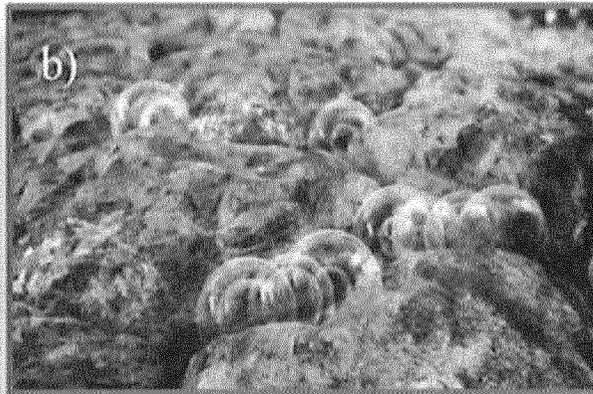
ФИГ. 5В



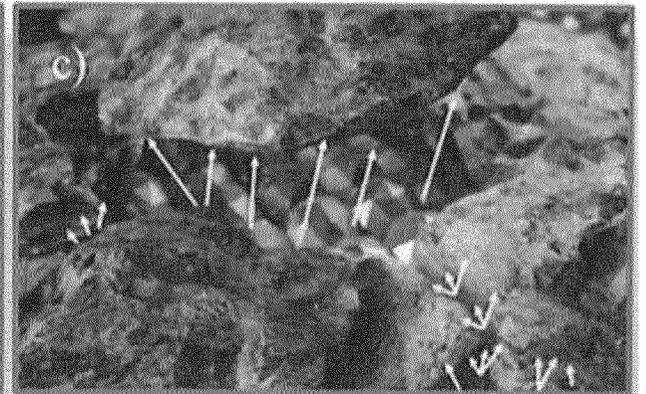
ФИГ. 5С



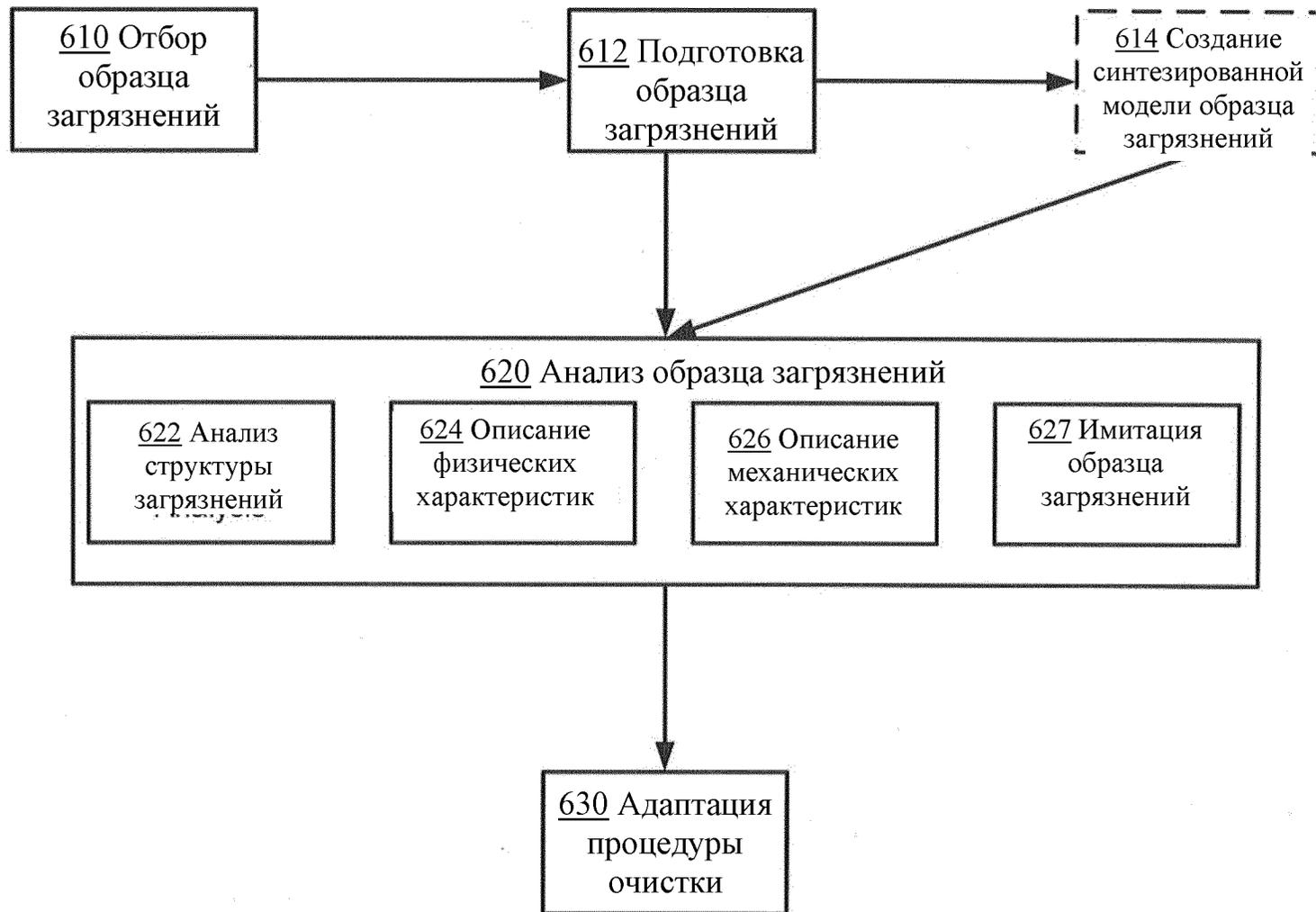
ФИГ. 5D



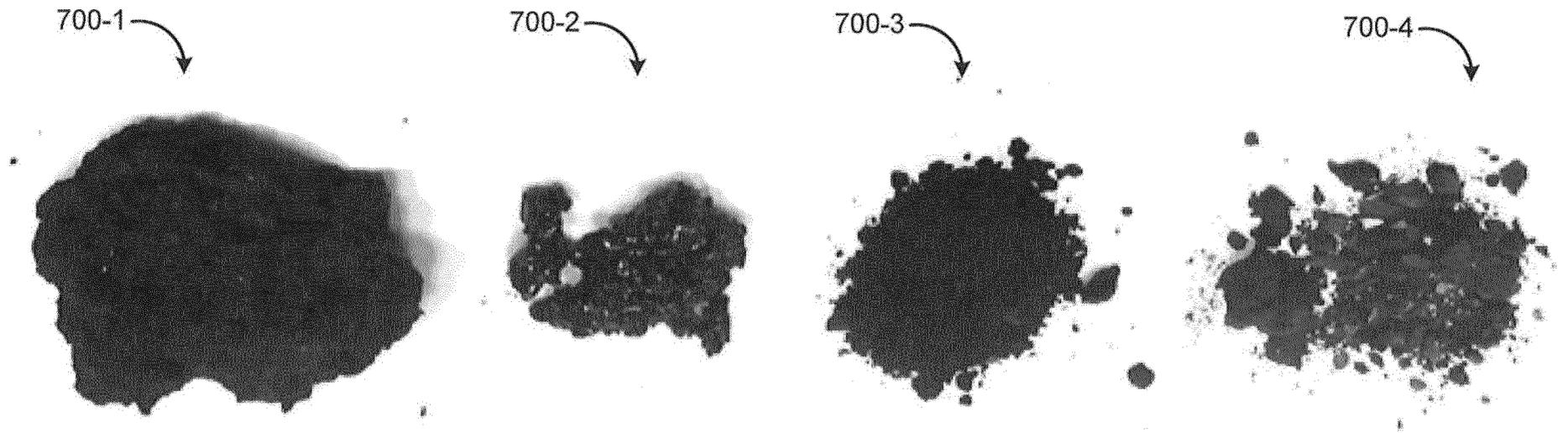
ФИГ. 5E



ФИГ. 5F



ФИГ. 6



ФИГ. 7А

710

Испытуемый образец	Неорганические вещества (%)	Органические вещества (%)	Углерод и карбиды (%)
700-1	< 1	15	75
700-2	20	75	5
700-3	< 1	> 95	< 4
700-4	50	< 1	50

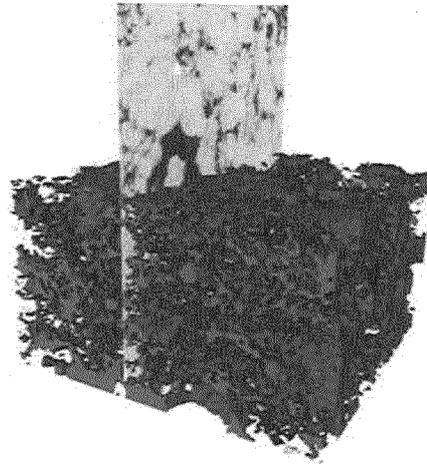
ФИГ. 7В

720 

Испытуем ый образец	Результаты анализов методами РФС и АЭС-ИСП
700-2	62 % Fe ₂ O ₃
	3 % SiO ₂
	1,4 % Al
	0,6 % MnO
	0,6 % S
	0,6 % CaO
700-4	22 % Fe ₂ O ₃
	14% Cr ₂ O ₃
	6,2 % S
	4 % NiO
	1,2 % SiO ₂
	0,9 % CaO
	0,6 % MnO

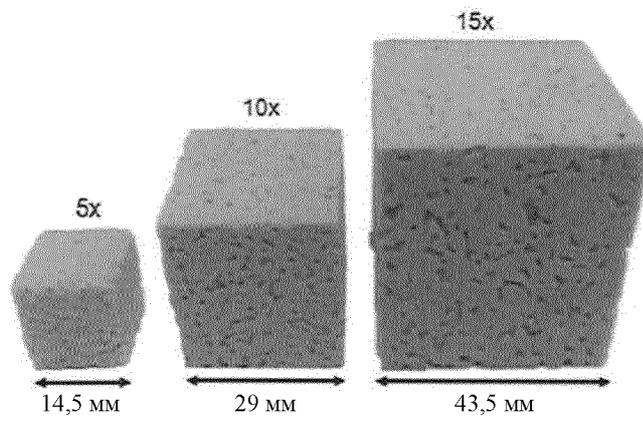
ФИГ. 7С

810

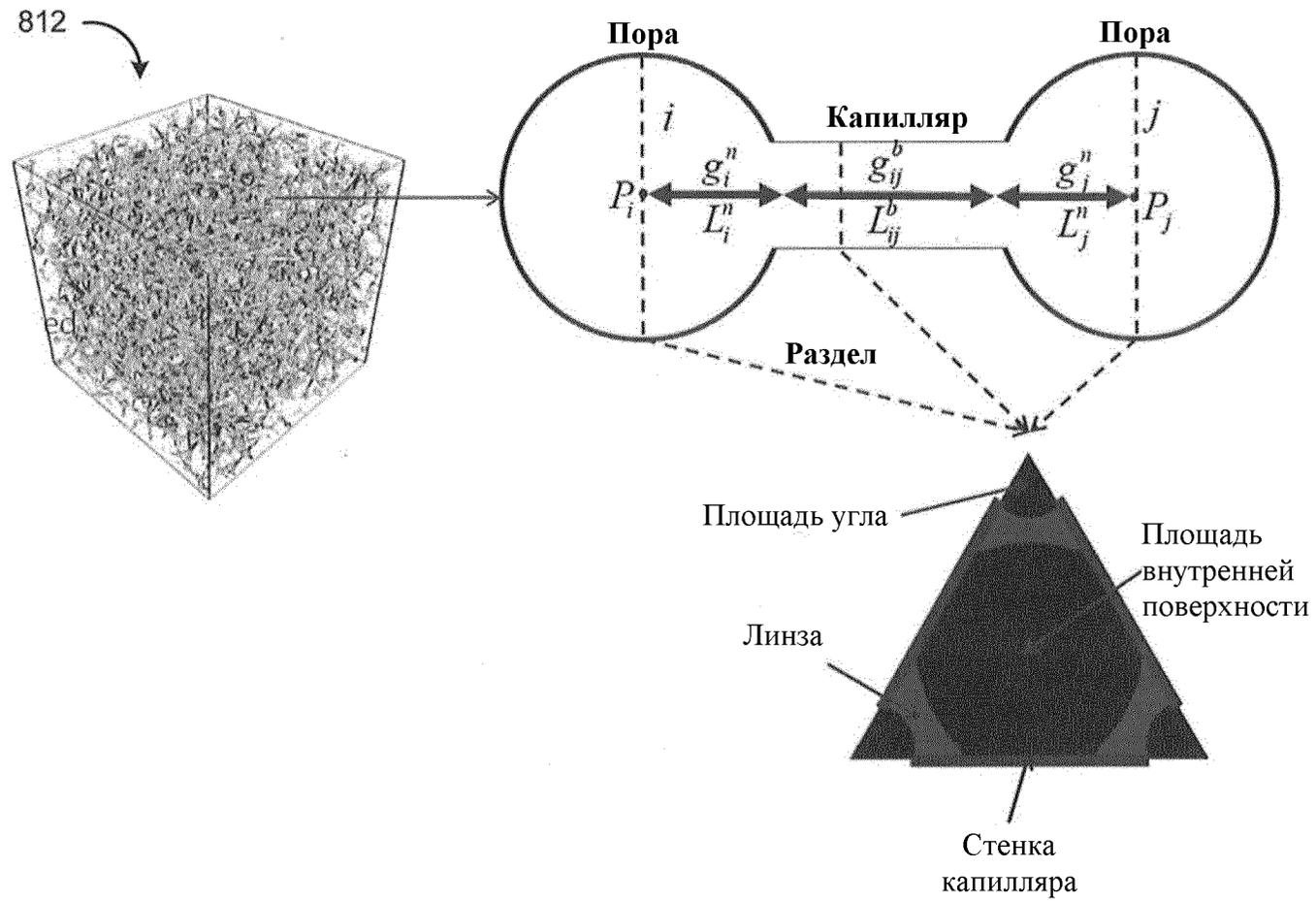


ФИГ. 8А

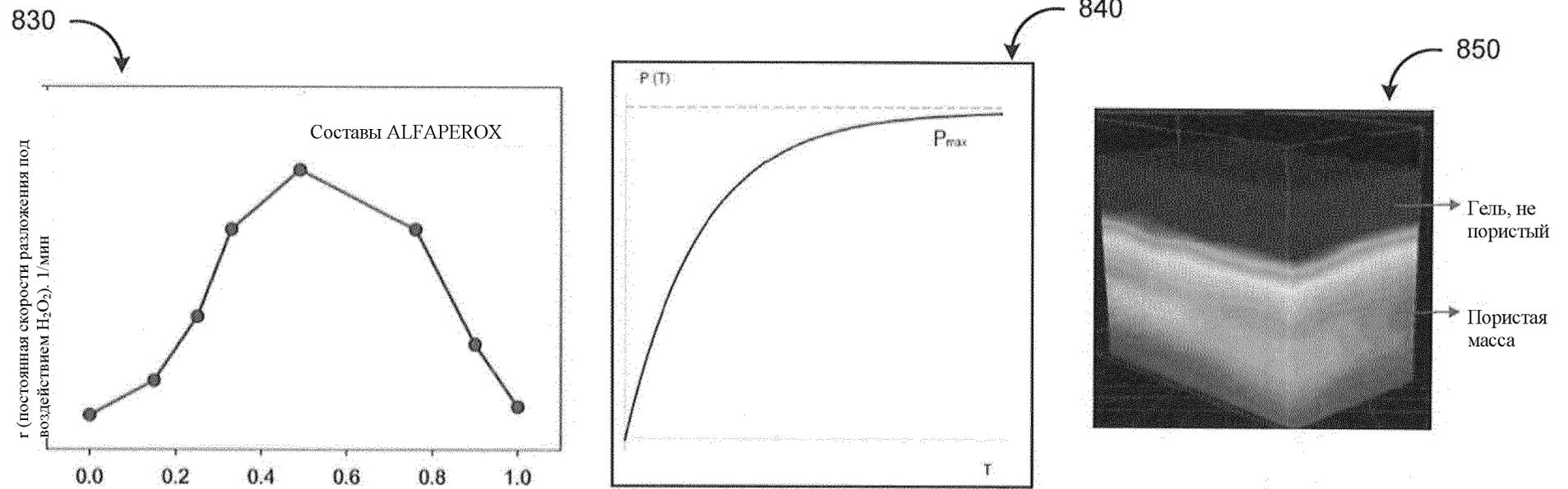
820



ФИГ. 8В

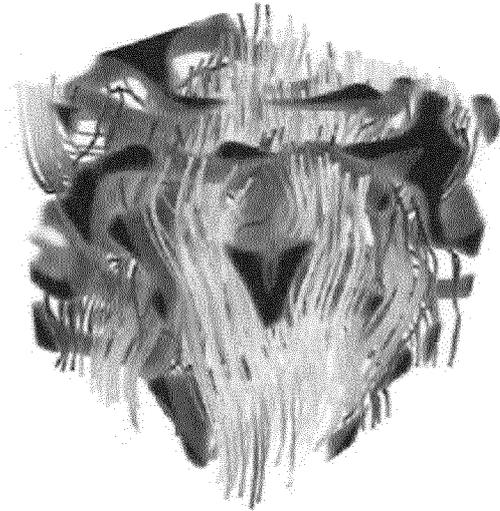


ФИГ. 8С



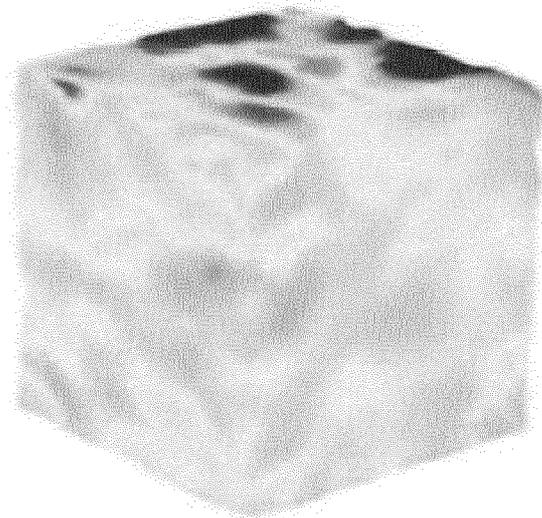
ФИГ. 8D

860



ФИГ. 8Е

870



ФИГ. 8F

Испытуемый образец	OS1	OS2	OS3	OS4	OS5
700-1	неэффективен	неэффективен	частичное диспергирование	увеличение в объеме	увеличение в объеме
700-2	неэффективен	неэффективен	увеличение в объеме	частичное диспергирование	неэффективен
700-3	частичное диспергирование	увеличение в объеме	увеличение в объеме	неэффективен	неэффективен
700-4	увеличение в объеме	неэффективен	неэффективен	увеличение в объеме	частичное диспергирование

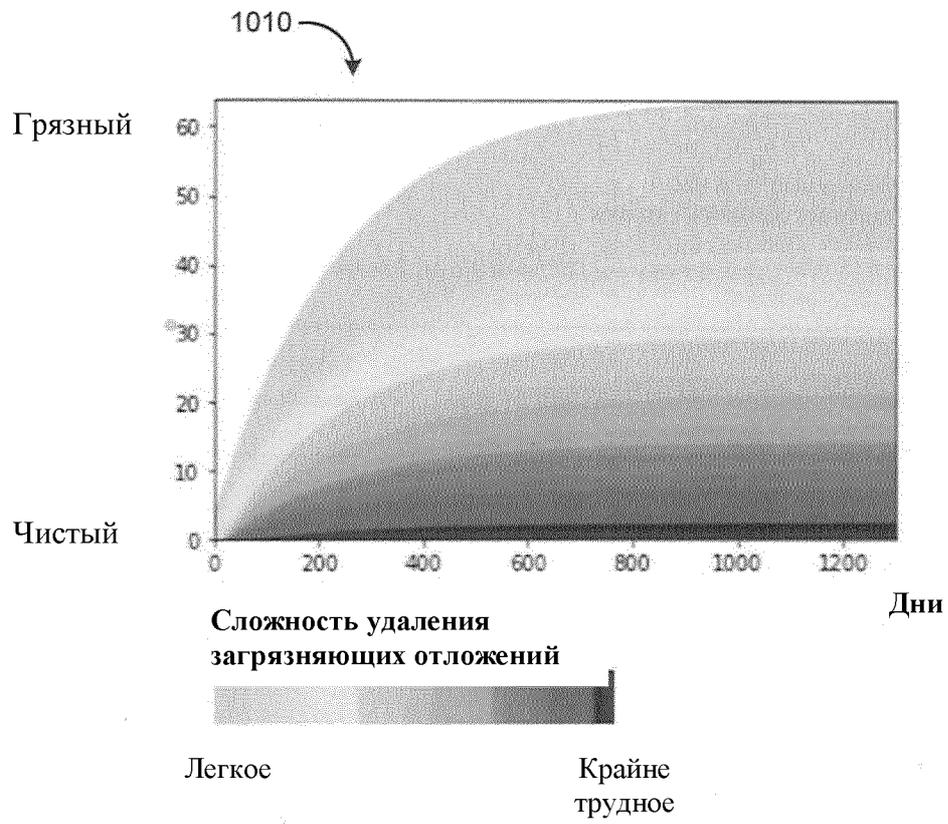
ФИГ. 9А

Испытуемый образец	A1	B1	B2	B3	B4
700-1	неэффективен	полное диспергирование	частичное диспергирование	увеличение в объеме	неэффективен
700-2	неэффективен	частичное диспергирование	увеличение в объеме	частичное диспергирование	полное диспергирование
700-3	неэффективен	неэффективен	полное диспергирование	частичное диспергирование	увеличение в объеме
700-4	неэффективен	неэффективен	полное диспергирование	увеличение в объеме	неэффективен

ФИГ. 9В

Испытуемый образец	Наиболее эффективные составы	Результаты испытаний
700-1	OS3+B1	частичное диспергирование (75 %), полная диспергирование
700-2	OS4+B4+OX	частичное растворение (35 %), полное диспергирование
700-3	OS1+B2+OX	частичное растворение (15 %), полное диспергирование
700-4	OS5+B3+OX	частичное растворение (25 %), полное диспергирование

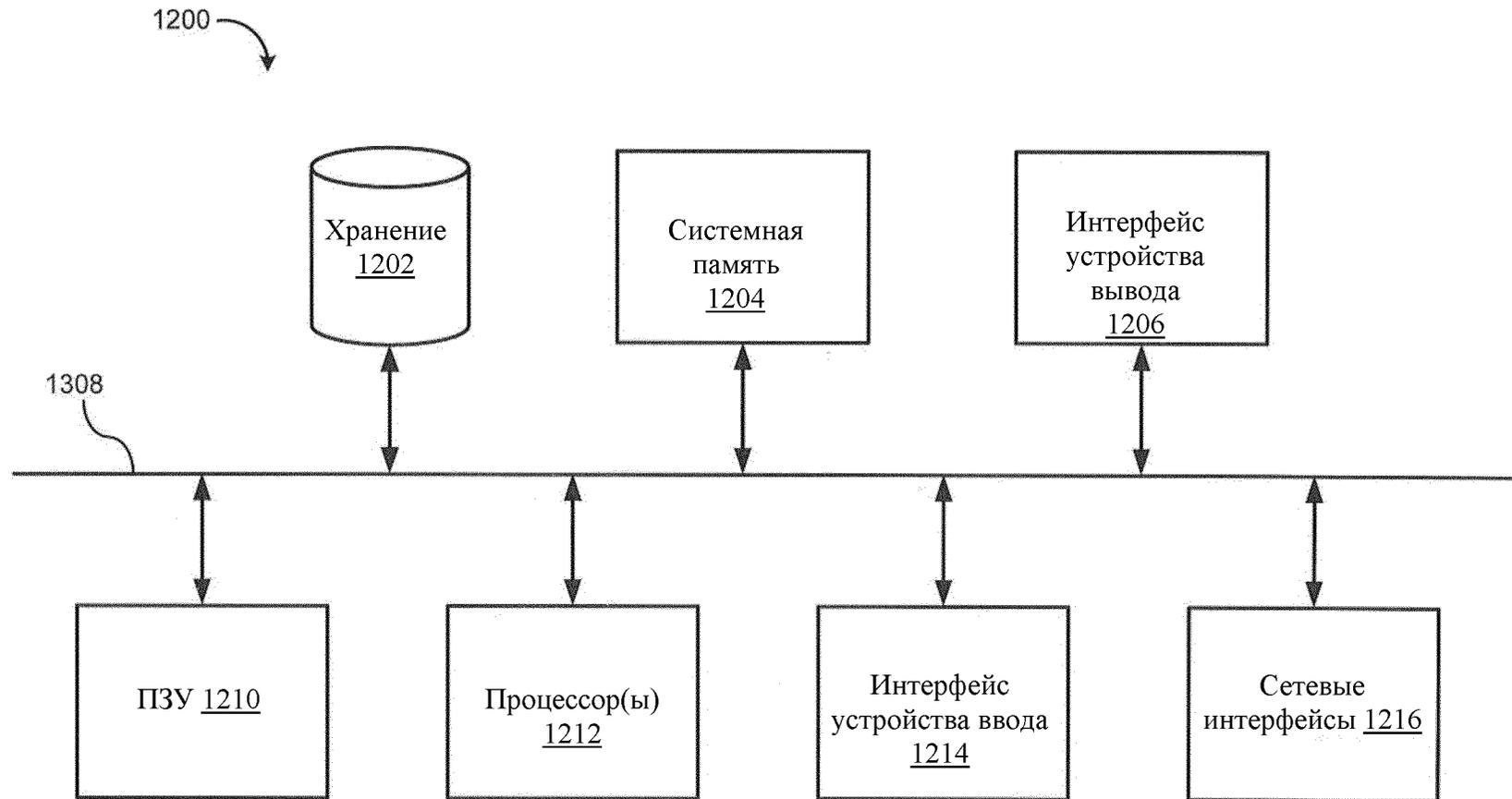
ФИГ. 9С



ФИГ. 10



ФИГ. 11



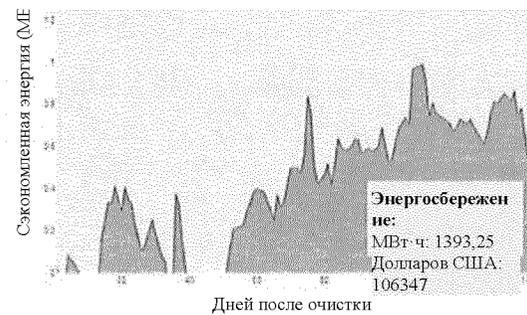
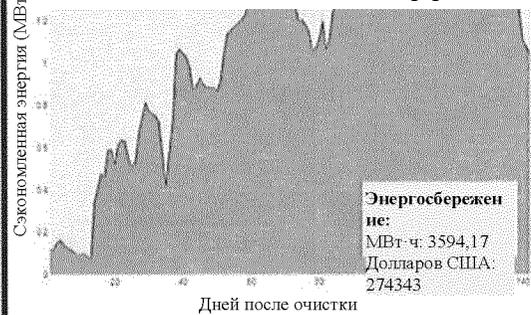
ФИГ. 12

Задача: сравнение эффективности базовой очистки компании «Ангара» (AlfaPEROX) с результатами предыдущих очисток

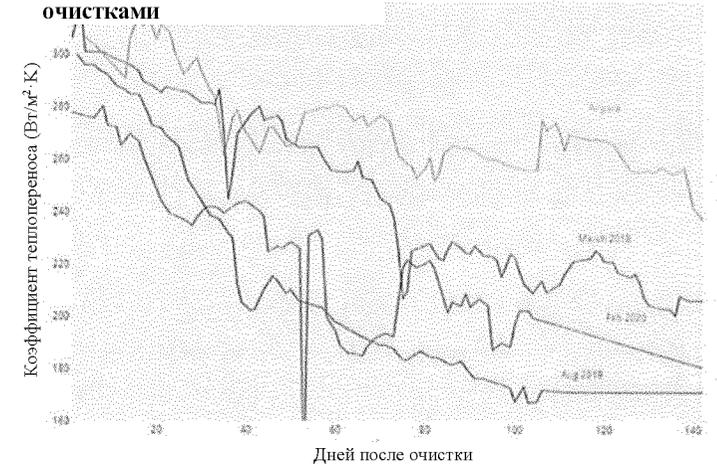
Тип оборудования: теплообменное устройство типа Comrabloc

Горячая сторона: Холодная сторона:
Остаток конденсата Конденсат

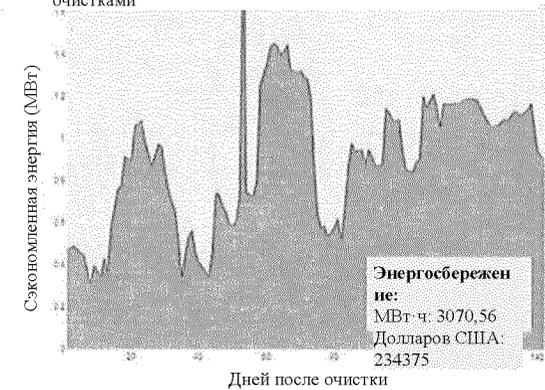
В результате всех предыдущих очисток (кроме проведенной в феврале 2020 г.) коэффициент теплопереноса (НТС) теплообменного устройства был доведен до целевого значения, равного 320,00 Вт/(кв.м·К). При этом AlfaPEROX компании «Ангара» (Angara) позволил очистить невидимые участки поверхностей теплообмена. Это создало запас площади поверхности, который позволил сделать теплообменное устройство более эффективным в течение первых 140 дней. В рамках когнитивной очистки компании «Ангара» рекомендуется делать перерыв для быстрой очистки после 80-го дня, чтобы добиться максимальной эффективности.



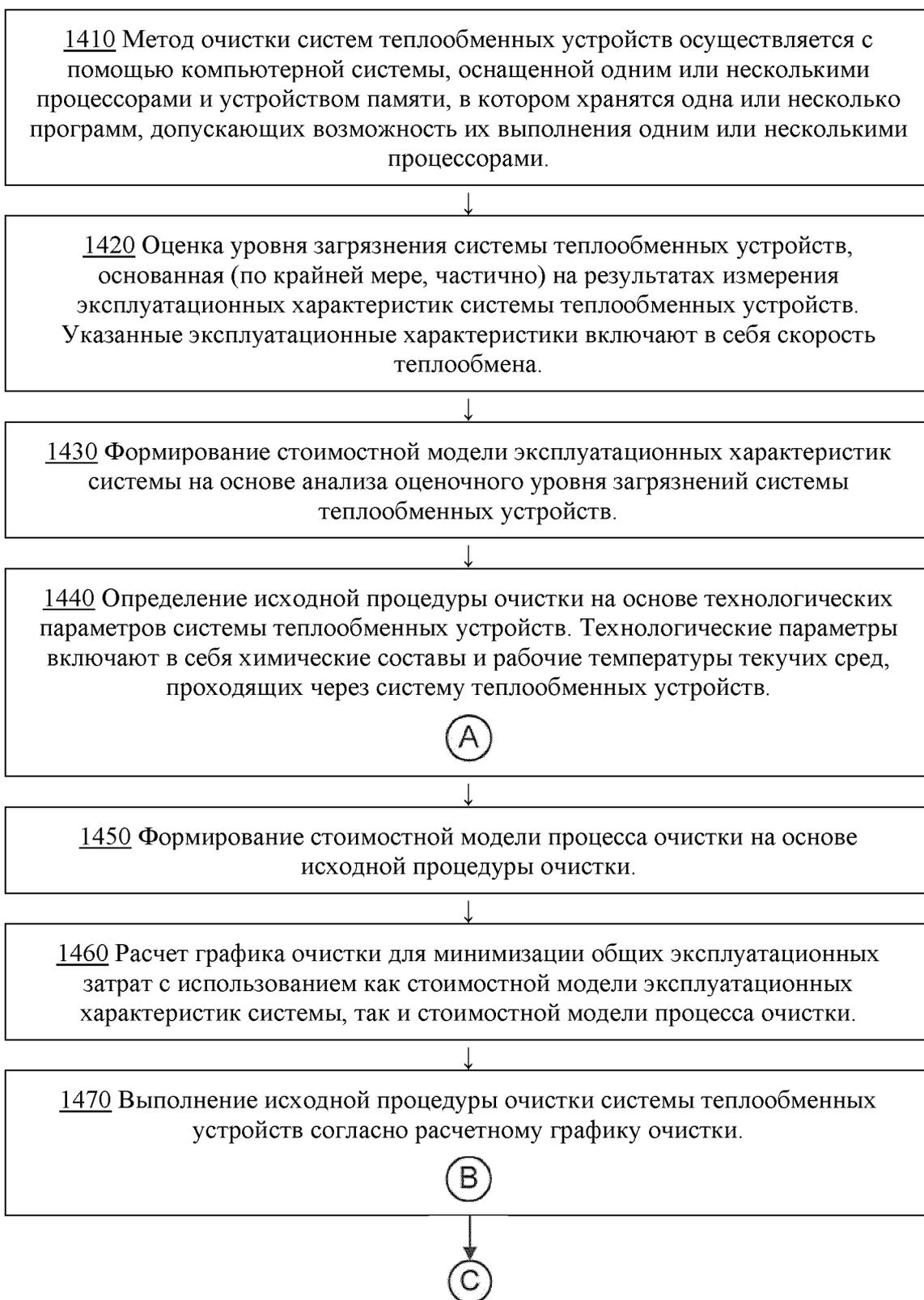
Очистка компании «Ангара» в сравнении с предыдущими очистками



Энергия, сэкономленная за первые 142 дня: очистка компании «Ангара» в сравнении с предыдущими очистками



ФИГ. 13

1400 

ФИГ. 14А

1400 A 

1440 Определение исходной процедуры очистки на основе технологических параметров системы теплообменных устройств. Технологические параметры включают в себя химические составы и рабочие температуры текучих сред, проходящих через систему теплообменных устройств.

1442 Извлечение ранее сформированных процедур очистки из хранилища данных. Процедуры очистки, получаемые из хранилища данных, сформированы для одной или нескольких других систем теплообменных устройств, технологические параметры которых согласуются с технологическими параметрами рассматриваемой системы теплообменных устройств.



1444 Формирование исходной процедуры очистки на основе загруженных процедур очистки.

ФИГ. 14В

1400

B

1470 Выполнение исходной процедуры очистки системы теплообменных устройств согласно расчетному графику очистки, включая выполнение одного или нескольких из следующих действий:

1472 Определение химического состава образца загрязнений, отобранного из системы теплообменных устройств.

1474 Определение температуры в системе теплообменных устройств и корректировка исходной процедуры очистки в соответствии с температурой в системе теплообменных устройств.

1476 Определение давления в системе теплообменных устройств и корректировка исходной процедуры очистки в соответствии с давлением в системе теплообменных устройств.

ФИГ. 14С



ФИГ. 14D