

## Автоматизация процессов в роботизированном комплексе зачистки резервуаров для нефтепродуктов

### **Багаев Леонид Александрович**

начальник отдела 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия, 25gosniihim@mail.ru

### **Ерёмин Владимир Николаевич**

к.т.н., доцент, старший научный сотрудник 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия, 25gosniihim@mail.ru

### **Инютин Сергей Арнольдович**

д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник 25-го Государственного научно-исследовательского института химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия, 25gosniihim@mail.ru, inyutin\_sa@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

---

Анализируется разработанная концептуальная модель автоматизации вторичных процессов в экспериментальном образце многофункционального роботизированного комплекса для зачистки внутренней поверхности резервуаров для нефтепродуктов. Подробно описаны структура, состав и процесс функционирования экспериментального образца роботизированного комплекса. Первичный процесс в комплексе удаление с внутренней поверхности резервуара несмываемых остатков нефтепродукта и роботизированную зачистку специальными управляемыми чистящими устройствами, с использованием жидкой фазы моющих средств и специального чистящего раствора, вторичные процессы - мониторинг внутренней поверхности, фильтрация чистящего раствора и удаление из резервуара нефтепродуктов, возникших после зачистки, углеводородного шлама. При функционировании роботизированного комплекса должен выполняться мониторинг внутренней поверхности резервуара с целью обнаружения дефектов по причинам нарушения герметичности в местах массовой сквозной коррозии материала оболочки резервуара, старения и нарушения целостности оболочки и герметизирующего материала в местах устранения предыдущих дефектов, наложения заплат и других причин. Вероятно возникновение дополнительных дефектов при применении средств механической зачистки внутренней поверхности. Разработаны модели для вероятностной оценки разгерметизации и протечек нефтепродукта из резервуара, введенного в эксплуатацию после зачистки.

---

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** роботизированный комплекс; зачистка резервуаров для нефтепродуктов; несмываемые остатки нефтепродуктов; углеводородный шлам; моделирование вторичных процессов на роботизированном комплексе; мониторинг внутренней поверхности резервуара.

## **Ведение**

По действующим нормативными требованиями резервуары для нефтепродуктов должны периодически зачищаться от возникающего при эксплуатации несмываемых остатков нефтепродуктов, нефтешлама, механических примесей, грязи, песка, ржавчины и отложений высокомолекулярных твердых, гелеобразных углеводородов и жидкой нефтяной фракции. Назовём процесс зачистки первичным процессом в роботизированном комплексе<sup>1,2</sup> [1,2].

Зачистка внутренней поверхности резервуаров для нефтепродуктов от несмываемых остатков, нефтешлама является сложным, опасным и трудоемким процессом с применением жидких растворов моющих средств, механической зачисткой внутренней поверхности резервуара и удалением значительных объемов продуктов зачистки [1,2].

По результатам специального анализа находящихся в настоящее время в эксплуатации комплексов для зачистки резервуаров от нефтепродуктов установлено, что большинство из них обладают рядом недостатков: не обеспечивают очистку до нормативных требований и полное отделение от внутренней поверхности резервуара твердых и гелеобразных отложений, мониторинг внутренней поверхности резервуара, разделение продуктов зачистки на нефтепродукт и жидкую фракцию, многократное использование очищающих растворов, кроме того требуется периодическое или постоянное присутствие обслуживающего персонала внутри резервуара для управления процессом зачистки<sup>3</sup> [3].

Актуальной является задача разработки и эффективной эксплуатации многофункционального роботизированного комплекса для зачистки резервуаров, обеспечивающего удаление с внутренней поверхности и дна резервуаров несмываемых остатков нефтепродукта, механическую роботизированную зачистку внутренней поверхности с помощью автоматических управляемых средств и специальных моющих растворов, последующее удаление из резервуаров продуктов зачистки и их утилизацию.

## **Моделирование вторичных процессов в роботизированном комплексе**

Первичным процессом в роботизированном комплексе является зачистка внутренней поверхности резервуара. При зачистке в ряде случаев возникает ряд вторичных процессов с негативными эффектами, главный из которых разгерметизация оболочки резервуара с последующими утечками нефтепродукта. Причинами этого опасного явления являются дефекты оболочки резервуара, к которым обычно относится коррозия металла, старение композитных материалов, критическое истончение материала оболочки. Наблюдается также эффекты старения и деградация герметизирующего материала ранее устраненных отверстий и прочих дефектов природного и техногенного характера в оболочке резервуара для нефтепродуктов<sup>4</sup> [4,6].

Для оценки влияния дефектов внутренней поверхности, приводящих к нарушению целостности оболочки резервуара на вторичные процессы разгерметизации и протечек нефтепродукта в период дальнейшей эксплуатации необходимо учитывать следующие параметры, фиксируемые в технической документации после зачистки внутренней поверхности резервуара:

<sup>1</sup>Балдин К.В. Моделирование жизненного цикла сложных систем. М.: РДЛ, 2000. 319 с.

<sup>2</sup>Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1998. 319 с.

<sup>3</sup>Гнеденко Б.В. и др. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1997.

<sup>4</sup>Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. М.: Мир, 2008.

- местоположение и физический размер дефекта оболочки резервуара;
- номинальный объем резервуара, планируемый уровень заполнения для оценки давления нефтепродукта на внутреннюю оболочку;
- причины происхождения дефекта (стихийное, техногенное) и степень воздействия на оболочку резервуара;
- толщина материала оболочки резервуара в месте возникновения дефекта;
- время с момента наложения заплаты после предыдущих зачисток на место дефекта;
- материал и толщина заплаты;
- метод сцепления материалов заплаты и подложки;
- технология наложения заплаты (оперативная, стационарная, дешевая, экономичная, дорогая);
- покрытие оболочки резервуара антикоррозийными и защитными материалами;
- степень агрессивности и температурные перепады во внешней среде.

Для прогноза и оценки вероятности возникновения вторичного процесса разгерметизации и протечек нефтепродукта из введенного в эксплуатацию после зачистки резервуара являются важными большинство указанных параметров, учёт которых порождает полную систему совместных событий для вероятностных оценок<sup>5,6</sup> [5].

Для прогнозных расчётов использовалась следующая модель процессов разгерметизации и протечек нефтепродукта. Вторичный моделируемый процесс описывается конечным множеством измеряемых параметров:  $(\alpha_1, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_n)$ , где локаторы  $(1, \dots, i, \dots, n)$  задают номера параметров. Параметры в общем случае не являются независимыми, между ними имеются корреляционные связи, парные коэффициенты корреляции параметров в общем случае не равны нулю.

Экспертными оценками и методами численного моделирования для измеряемых параметров можно установить подмножества удовлетворительных значений:

$$\forall i = 1 \div n \quad \alpha_i \in [\alpha'_i, \dots, \alpha''_i] \subseteq D_i = [0, \dots, p_i), \quad (p_i, p_j) = 1, \quad p_i = \max \alpha_i + 1.$$

Пусть линейными преобразованиями значения частных параметров  $\alpha_i$  вторичного процесса приведены к множеству целых положительных чисел. Относительные значения частных параметров введём следующим образом  $\alpha_i/p_i$ , такой метод позволяет учесть не только целые, но и рациональные значения частных показателей. Нормируем относительные значения частных показателей. Будем считать, что имеют удовлетворительные значения показатели, попадающие в конечные подмножества:

$$\frac{\alpha'_i}{p_i} \leq \frac{\alpha_i}{p_i} \leq \frac{\alpha''_i}{p_i}. \quad (1)$$

Не принадлежность значений частных показателей заданному удовлетворительному подмножеству или диапазону:  $\exists i = 1 \div n \quad \alpha_i \notin [\alpha'_i, \dots, \alpha''_i] \subseteq D_i$ , назовём рисками, генерируемыми отдельными показателями.

<sup>5</sup>Воронов А.А. Элементы теории автоматического управления. М.: Воениздат, 2015. 372с.

<sup>6</sup>Богуславский Л.Б. Основы построения вычислительных сетей для автоматизированных систем управления. М.: Энергоатомиздат, 2013. 256 с.

Сформируем в форме усредненной суммы относительных частных показателей (1) комплексный показатель общего риска вторичного процесса:

$$W_n^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{p_i}. \tag{2}$$

Комплексный показатель (2) имеет наименьшую вычислительную сложность  $O(n \log_2 n)$ . Недостатком является то, что в общем случае изменения комплексного показателя (2) не позволяют вычислить однозначно изменения частных показателей риска (1).

Модифицированный комплексный показатель (2), сохранив его форму в виде рациональной дроби со знаменателем  $1/n$ :

$$\tilde{W}_n = P W_n^k - \frac{P}{n} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{p_i} \right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i P}{p_i} - \frac{P}{n} Z, \tag{3}$$

где  $P = \prod_{i=1}^n p_i$  — знаменатель комплексного показателя (3),

$p_i$  — знаменатели частных показателей параметров (2) вторичного процесса,  $\forall i, j = 1 \div n (p_i, p_j) = 1$ .

Вычисляемая величина:

$$Z = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{p_i} \right] — \tag{4}$$

является функцией от  $n$  — переменных, её вычисляемое значение принадлежит подмножеству целых положительных чисел. Функция  $Z$  обладает следующими свойствами:

$$Z \in [0, \dots, n), \quad \frac{1}{n} Z \in [0, \dots, \frac{n-1}{n}).$$

Эту функцию можно использовать в качестве комплексного показателя характеристики динамики вторичного процесса роботизированного комплекса<sup>7,8</sup> [1]. Для комплексного показателя (3) удовлетворительными значениями является принадлежность рассчитанного значения функции (4) к фиксированному подмножеству в области её значений:  $Z (\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n) \in [Z', \dots, Z''] \subseteq [0, \dots, n-1]$ . На изменении комплексного показателя (3) отражаются допустимые изменения значений частных параметров (1). Заметим, что удовлетворительные значения комплексного показателя (3) достигаются и в случае, когда значения отдельных частных показателей (1) не принадлежат удовлетворительным множествам. В этом случае возникает компенсация недостаточных значений отдельных частных показателей (1) за счет других.

<sup>7</sup>Пирогов Ю.Н. Математическое моделирование процессов функционирования объектов и технических средств обеспечения горючим. М.: Неография, 2016. 228 с.

<sup>8</sup>Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 912 с.

Правильная рациональная дробь  $0 \leq \frac{n\tilde{W}_n}{P} < 1$  рассматривается как вероятность возникновения во вторичном процессе эффектов разгерметизации и протечек нефтепродукта. При удовлетворительных значениях функции  $Z(\alpha_1, \dots, \alpha_p, \dots, \alpha_n)$  вычисляется вероятность принадлежности комплексного показателя (3) подмножеству значений, удовлетворяющих заданным условиям. Описанный подход позволяет сформировать и вычислять меру риска для вторичного процесса роботизированного комплекса зачистки резервуаров.

Технология использования комплексного показателя (3) содержит этапы вычисления удовлетворительного подмножества и моделирование процесса функционирования системы управления сложным вторичным процессом при потоках значений параметров (1), значения которых могут не принадлежать удовлетворительным подмножеством. Это позволяет принять меры по коррекции их значений для принадлежности соответствующим подмножествам, что является управляющими воздействиями на динамику первичного процесса.

### **Структура роботизированного комплекса зачистки резервуаров**

Проанализируем структуру и дадим краткое описание первичного процесса функционирования роботизированного комплекса для зачистки внутренней поверхности резервуаров от нефтяных отложений, нефтешлама<sup>9</sup> [1]. Схема экспериментального образца роботизированного комплекса приведена на рисунке.

Роботизированный комплекс для зачистки внутренней поверхности резервуаров и сбора нефтешламов содержит автоматизированную систему управления процессом зачистки, сбора данных о дефектах внутренней поверхности, прогноза разгерметизации и утечек нефтепродукта из резервуара на базе серийного IBM совместимого персонального компьютера со специальным программным обеспечением.

ЦВ корпусе комплекса 1 находятся системы подачи моющей жидкости 2, установки гравитационного разделения продуктов зачистки 3, установки доочистки нефтепродуктов 4, установки доочистки моющей жидкости 5, установки утилизации твердых отложений 6 и установки вентиляции внутреннего пространства резервуара 7.

Механизированная система зачистки внутренней поверхности резервуаров состоит из резервуара-сборника 8, связанного трубопроводами со средством 9 создания разрежения — давления и роботизированным оборудованием зачистки внутренней поверхности с телемеханикой и диагностическими блоками контроля 11. На крышке резервуара-сборника 8 установлен уровнемер 12, управляющий выход которого (не показан) связан с пускателем средства 9 создания разрежения или давления. В нижней части резервуара-сборника 8 имеются патрубки с запорными клапанами 13, 14 и 15 соответственно для удаления гелеобразного нефтешлама, слива имеются запорные клапаны 16 и 17 на всасывающем патрубке и 18, 19 на нагнетательном патрубке. На всасывающем патрубке средства 9 создания разрежения или давления также имеется мановакуумметр (не показан).

Роботизированный комплекс зачистки внутренней поверхности резервуара содержит коленообразную трубу 20, для которой один конец соединен через запорный клапан 21 с гибким трубопроводом 10, а другой конец — с диффузором 22. Коленообразная труба 20 закреплена

<sup>9</sup>Федоров Ю.Н. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 576 с.

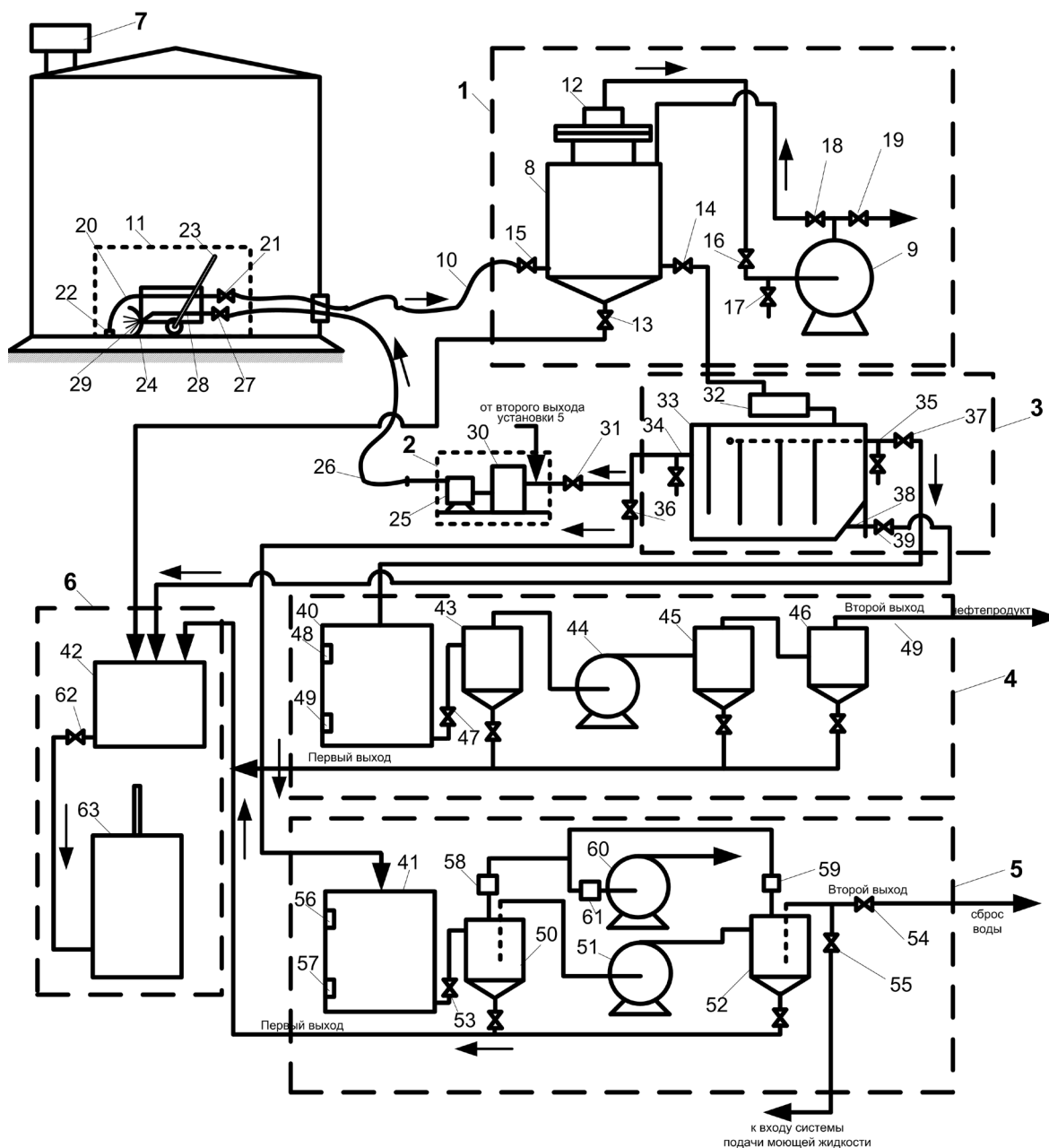


Схема роботизированного комплекса для зачистки внутренней поверхности резервуаров для нефтепродуктов: 1 – корпус комплекса; 2 – система подачи моющей жидкости, откачивания размытых отложений; 3 – установки гравитационного разделения загрязненной жидкости; 4 – установка доочистки нефтепродуктов; 5 – установка доочистки моющего раствора; 6 – установка утилизации твердых и желеобразных отходов; 7 – установка вентиляции газового пространства резервуара; 8 – резервуар-сборник; 9 – трубопровод; 10, 26 – гибкий трубопровод; 11 – роботизированный комплекс зачистки внутренней поверхности с телемеханикой и диагностическими блоками контроля качества зачистки; 12 – уровнемер; 13-19, 2, 27, 31, 39, 47, 53-55, 62 – запорные клапаны; 20 – коленообразная труба; 22 – диффузор; 23 – тележка; 24 – скребок; 25, 51 – жидкостной насос; 28 – трубка; 29 – размывающее сопло; 30 – бак системы подачи моющей жидкости; 32 – фильтр грубой очистки; 33 – бак гравитационного разделения загрязненной жидкости; 34 – патрубок слива моющего раствора; 35 – патрубок слива нефтепродукта; 38 – патрубок слива желеобразных отходов; 40 – бак-накопитель нефтепродуктов; 41 – накопитель (бак) для моющего раствора; 42 – бак-накопитель желеобразных отходов; 43 – фильтр грубой очистки; 44 – жидкостной насос; 45 – фильтр-сепаратор; 46 – фильтр тонкой очистки; 48 – датчик верхнего уровня; 49 – датчик нижнего уровня; 50 – коалесцирующий фильтр; 52 – адсорбционный фильтр; 58 и 59 – поплавковые рассекатели; 60 – вакуумный насос; 61 – датчик; 63 – блок сжигания отходов

на тележке 23. Между коленообразной трубой 20 и колесом тележки 23 установлен скребок 24. Система 2 подачи моющей жидкости содержит жидкостной насос 25, напорный патрубок которого соединен с гибким трубопроводом 26, второй конец которого через запорный клапан 27 соединен с трубкой 28, на конце которой установлено размывающее сопло 29. Всасывающий патрубок жидкостного насоса 25 соединен с баком 30, снабженным подогревателем. Вход в бак 30 системы подачи моющей жидкости через запорный клапан 31 подключен к патрубку слива моющего раствора из установки 3 гравитационного разделения загрязненной жидкости и ко второму выходу установки 5 доочистки моющего раствора. Более детальное описание роботизированного комплекса приведено в [1,7–10].

Приведём краткое описание технического оборудования комплекса. В системе откачивания размытых отложений средствами создания разрежения или давления являются жидкостно-кольцевой вакуум-компрессор марки ВК-6М с масляным контуром для охлаждения, серийно выпускаемый. Это обеспечивает функционирование системы откачивания размытых отложений при температуре окружающего воздуха до  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также создавать избыточное давление (до 0,15 МПа) в резервуаре-сборнике 8 во время слива из него загрязненной жидкости в установку 3. Это способствует ускорению процесса опорожнения резервуара-сборника.

Привод вакуум-компрессора может быть выполнен от электродвигателя или от коробки отбора мощности грузового автомобиля, на котором размещается роботизированный комплекс. В комплексе применены два параллельно установленных резервуара-сборника для повышения производительности системы откачивания размытых отложений.

В системе 2 подачи моющей жидкости в качестве жидкостного насоса используется серийно выпускаемый очиститель высокого давления модели К-890, снабженный баком с подогревателем. Максимальное давление очистителя — 19 МПа ( $190\text{ кгс/см}^2$ ), расход воды — 14 л/мин, расход дизельного топлива на подогрев моющего раствора до  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет 9,5 кг/час. Привод от электродвигателя мощностью 7,5 кВт.

Применение очистителя высокого давления в системе 2 подачи моющей жидкости в очищаемый резервуар позволяет повысить качество очистки внутренней поверхности резервуара, сократить время очистки и расход моющего раствора.

В качестве установки 3 гравитационного разделения ПЗР можно использовать известные установки для разделения несмешивающихся жидкостей.

В установке 4 доочистки нефтепродуктов используются серийно выпускаемые фильтрующие элементы:

- в фильтре 43 грубой очистки — металлическая сетка с толщиной фильтрования 25 мкм;
- в фильтре-сепараторе 45 — фильтрующий элемент ФЭ-5/15 с толщиной фильтрования 15 мкм, коалесцирующий элемент КЭ-15 и сепарирующий элемент СЭ-15, обеспечивающие полное удаление воды из нефтепродукта;
- в фильтре тонкой очистки 46 — фильтрующий элемент ЭФБ-5/15 с толщиной фильтрования 5 мкм.

В установке 4 доочистки нефтепродуктов применён жидкостной насос с электродвигателем во взрывобезопасном исполнении производительностью  $8\text{ м}^3/\text{ч}$ ., серийно выпускаемый промышленностью

В качестве фильтрующих элементов в установке 5 доочистки моющей жидкости используются серийно выпускаемые материалы:



- в коалесцирующем фильтре 50 — фильтроэлемент из углеродной ткани «Вискум»;
- в адсорбционном фильтре 52 — фильтроэлемент из углеродной ткани «Вискумак».

Концентрация нефтепродуктов в моющем растворе на выходе из установки 5 не превышает 0,3 мг/л, что соответствует экологическим требованиям.

В установке 5 доочистки моющих растворов используется жидкостной насос производительностью 8 м<sup>3</sup>/ч, оснащенный электродвигателем во взрывобезопасном исполнении.

В качестве вакуумного насоса 60 в установке доочистки моющих растворов применён насос марки ВВН1–0,75 с взрывобезопасным электродвигателем, серийно выпускаемый промышленностью.

В установке 6 утилизации твердых отложений для блока 63 сжигания отходов применены высокотемпературные (800–1100 °С) агрегаты, серийно выпускаемые установки «Костер-1» фирмы ТОО «Лесорб», Смоленск; «Смарт Эш» фирмы ЭКО сервис НЕФТЕГАЗ, Москва.

В установке 7 вентиляции газового пространства резервуара применён вентилятор производительностью по воздуху 4300–6860 м<sup>3</sup>/ч с электродвигателем во взрывобезопасном исполнении, выпускаемый серийно.

### **Заключение**

Экспериментальный образец технологического комплекса для зачистки резервуаров для нефтепродуктов монтируется на автомобиле КАМАЗ-53212 и автомобильном прицепе типа НЕФА3-8332 или на двух автомобильных рамах, что обеспечивает возможность мобильного перемещения всего технологического комплекса на грузовых платформах автомобиля и прицепа. Используемые в роботизированном комплексе технические решения защищены патентами: RU2391152 С1, 15.04.2009 г.; RU № 58959 U1, 09.06.2006 г.; US6858090 B2, 22.02.2005 г.; EP 589698 A1, 30.03.1994 г., RU60008 U1, 24.07.2006 г.

Технологический комплекс кроме основной задачи — зачистка резервуаров для нефтепродуктов позволяет эффективно решать ряд дополнительных задач. В частности, производить мониторинг вторичных процессов и оценку состояния внутренней поверхности резервуаров, доочистку удаленных нефтепродуктов и моющих растворов до нормативных требований, сбор и удаление из резервуара твердых и гелеобразных отходов, возникших после зачистки. Это позволяет повторно использовать очищенные моющие растворы для очистки внутренней поверхности, что, в конечном счёте, повышает экономические показатели первичного процесса зачистки резервуаров для нефтепродуктов.

### **Литература**

1. *Старый С.В., Кувичка И.А., Овчинин Д.И.* Роботизированный комплекс для зачистки внутренней поверхности резервуаров и утилизации нефтешламов // Труды военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных сил России» (Москва, октябрь 2016 г.). М.: НПО Ангстрем, 2016. С. 470–475.
2. *Инютин С.А.* Метод оценки параметров в системе управления специальной аппаратурой // IT-comm: Телекоммуникация и транспорт. 2015. № 1. С. 75–78.
3. *Багаев Л.А., Ерёмин В.Н., Завьялов А.В.* Способ для временной заделки пробоин и трещин в заполненных жидкостью жестких конструкциях // Нефтепереработка и нефтехимия. 2016. № 12. С. 43–46.



4. Думболов Д. У., Ерёмин В. Н., Багаев Л. А. Технологический комплекс нейтрализации резервуаров после слива азотных окислителей // Ремонт, восстановление, модернизация, 2018. № 11. С. 22–36.
5. Багаев Л. А. Ерёмин В. Н., Завьялов А. В. Устройство для временной заделки пробоев в заполненных жидкостью резервуарах // Ремонт, восстановление, модернизация. 2019. № 10. С. 25–29.
6. Dubois D. Fuzz sets and systems: Theory and applications // Mathematics in Sciences and Engineering. 1980. Vol. 144. Pp. 345–352.
7. Fox M. AIP and expert system // IEEE Expert. 2009. No. 2. Pp. 8–20.
8. Михайлов В. Е., Константинов П. В. Исследование стальных вертикальных резервуаров нефтебаз, эксплуатирующихся в условиях севера, методом акустико-эмиссионного диагностирования // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 3–3 (15). С. 64–67.
9. Константинов П. В., Стручков В. Н., Михайлов В. Е. Метод акустической эмиссии как средство технического диагностирования стальных вертикальных резервуаров нефтебаз, эксплуатирующийся в условиях Севера // Научный аспект. 2015. № 4–2. С. 178–182.
10. Чеботарев Р. И., Кулавская Ю. И., Зоря Е. И. Зачистка резервуаров системами NESL // Промышленный сервис. 2015. № 4 (57). С. 28–32.

## AUTOMATION OF PROCESSES IN A ROBOTIC COMPLEX CLEANING TANKS FOR PETROLEUM PRODUCTS

### LEONID A. BAGAEV,

head of Department of FAU "25 Gosniihimanalit MO  
the Russian Federation", Moscow, Russia, 25gosniihim@mail.ru

### VLADIMIR N. EREMIN,

PhD, Associate Professor, senior researcher of FAU "25 Gosniihimanalit  
MO the Russian Federation", Moscow, Russia, 25gosniihim@mail.ru

### SERGEY A. INYUTIN,

PhD, Professor, leading researcher of FAU "25 Gosniihimmotologii MO RF",  
Moscow, Russia, 25gosniihim@mail.ru, Inyutin\_sa@mail.ru

### ABSTRACT

The developed conceptual model of automation of secondary processes in an experimental sample of a multifunctional robotic complex for cleaning the inner surface of tanks for petroleum products is analyzed. The structure, composition and functioning of the experimental sample of the robotic complex are described in detail. The primary process in the complex is the removal of indelible oil product residues from the inner surface of the tank and robotic cleaning with special controlled cleaning devices, using the liquid phase of detergents and a special cleaning solution. The secondary processes are monitoring the inner surface, filtering the cleaning solution and removing hydrocarbon sludge from the tank after cleaning. In the operation of robotic in-line inspection should be performed monitoring of internal tank surface for the detection of

defects by reasons of leakage in mass of rust material tank shell aging and the integrity of the shell and hermetic material in the areas of eliminating previous defects, applying patches and other causes. Additional defects are likely to occur when using mechanical cleaning of the inner surface. Models have been developed for probabilistic assessment of depressurization and leaks of petroleum products from a tank put into operation after Stripping.

**Keywords:** robotic complex; cleaning of reservoirs for petroleum products; indelible residues of petroleum products; hydrocarbon sludge; modelling of secondary processes on the robotic complex; monitoring of the internal surface of the oil's tank.

## REFERENCES

1. Staryj S.V., Kuvichka I.A., Ovchinin D.I. Robotizirovannyj kompleks dlya zachistki vnutrennej poverxnosti rezervuarov i utilizacii nefteshlamov [Robotic complex for cleaning the inner surface of reservoirs and disposal of oil sludge]. *Trudy voenno-nauchnoj konferencii "Robotizaciya Vooruzhennyx sil Rossii"* [Proceedings of the military scientific conference "Robotization of the Russian Armed forces", Moscow, October 2016]. Moscow: NPO Angstrom, 2016. Pp. 470–475. (In Rus)
2. Inyutin S.A. Metod ocenki parametrov v sisteme upravleniya special'noj apparaturoj [Method of parameter estimation in the control system of special equipment]. *IT-comm*. 2015. No. 1. Pp. 75–78. (In Rus)
3. Bagaev L.A., Eryomin V.N., Zav'yalov A.V. Ustrojstvo dlya vremennoj zadelki proboin v zapolnennyx zhidkost'yu rezervuarax. [Device for temporary sealing of holes in liquid-filled reservoirs]. *Remont, vosstanovlenie, modernizaciya*. 2019. No. 10. Pp. 25–29. (In Rus)
4. Dumbolov D.U., Eryomin V.N., Bagaev L.A. Teknologicheskij kompleks nejtralizacii rezervuarov posle sliva azotnyx okislitelej. [Device for temporary sealing of holes in liquid-filled reservoirs]. *Remont, vosstanovlenie, modernizaciya*. 2018. No.11. Pp. 22–36. (In Rus)
5. Bagaev L.A., Eryomin V., Zav'yalov A.V. Sposob dlya vremennoj zadelki proboin i treshhin v zapolnennyx zhidkost'yu zhestkix konstrukcijax [Method for temporary sealing of holes and cracks in rigid structures filled with liquid]. *Neftepererabotka i nefteximiya*. 2016. No. 12. Pp. 43–46. (In Rus)
6. Dubois D. Fuzz sets and systems: Theory and applications. *Mathematics in Sciences and Engineering*. 1980. Vol. 144. No.7. Pp. 345–352.
7. Fox M. AIP and expert system. *IEEE Expert*. 2009. No. 2. Pp. 8–20.
8. Mikhailov V.E., Konstantinov P.V. Investigation of steel vertical tanks of oil depots operated in the conditions of the North by the method of acoustic-emission diagnostics. *Symbol of Science: an international scientific journal*. 2016. No. 3–3 (15). Pp. 64–67. (In Rus)
9. Konstantinov P.V., Struchkov V.N., Mikhailov V.E. Method of acoustic emission as a means of technical diagnostics of steel vertical tanks of oil depots operated in the conditions of the North. *Scientific Aspect*. 2015. No. 4–2. Pp. 178–182. (In Rus)
10. Chebotarev R.I., Kulavskaya Yu. I., Zorya E. I. Tank cleaning by NESL systems. *Industrial service*. 2015. No. 4 (57). Pp. 28–32. (In Rus)