

Экономика и экология

УДК 504.3.054

JEL: Q55, Q56, Q57

***КОШКАРЕВ Сергей Аркадьевич,***

Волгоградский государственный технический университет (ФГБУ ВО ВолгГТУ), пр. Ленина 28, 400005, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2107-4060>

Кошкарев Сергей Аркадьевич, доцент, кафедра «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», Волгоград. E-mail: cool.koshka12@mail.ru

***КОШКАРЕВ Кирилл Сергеевич***

Волгоградский государственный технический университет (ФГБУ ВО ВолгГТУ), пр. Ленина 28, 400005, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2508-3098>

Кошкарев Кирилл Сергеевич, аспирант, кафедра «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», Волгоград. E-mail: [cool.koshka12@mail.ru](mailto:cool.koshka12@mail.ru)

***ПЕРНИЦКИЙ Александр Дмитриевич***

Волгоградский государственный технический университет (ФГБУ ВО ВолгГТУ), пр. Ленина 28, 400005, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9288-0479>

Перницкий Александр Дмитриевич, магистр, кафедра Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», Волгоград. E-mail: [al\\_ernitsky@mail.ru](mailto:al_ernitsky@mail.ru)

**ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ АЗС**

**Аннотация**

**Предмет/тема.** Совершенствование и создание новых высокоэффективных технологий и устройств снижения объема выбросов загрязняющих веществ автозаправочных комплексов, при уменьшении расходов на эксплуатацию количества образующихся отходов.

**Цели/задачи.** Совершенствование и разработка надежных газоулавливающих аппаратов приемлемой незначительной материал- и энергоемкости для систем аспирации АЗС, снижающих расходы на эксплуатацию и экологические платежи за выбросы и отходы.

**Методология.** Натурные исследования величин концентраций загрязняющих веществ в районе расположения автозаправочных станций (АЗС) выбросов. Аналитические исследования по выбору типа эффективного газоулавливающего аппарата приемлемой материал- и энергоемкости для систем аспирации АЗС, позволяющего снижать расходы на эксплуатацию и экологические платежи.

**Вывод.** В статье представлены результаты натурных исследований величин концентраций загрязняющих веществ в районе расположения автозаправочных станций (АЗС) выбросов. Аналитические исследования по выбору типа эффективного газоулавливающего аппарата приемлемой

материало- и энергоемкости для систем аспирации АЗС показали, что наиболее приемлемым с точки зрения технико-экономического обоснования и экологической целесообразности является применение абсорбционных аппаратов. Даны основные рекомендации по использованию предложенного типа абсорбционного устройства, которые позволяют снизить расходы на эксплуатацию и экологические платежи.

**Ключевые слова:** газ, пар, углеводороды, источники, выбросы, атмосфера, абсорбция, массообмен, энергоэффективность, экономика.

### **Economy and Ecology**

**Sergey A. Koshkarev**, Academic degree, Academic rank, Candidate of technical science City name of the Department "Volgograd, department of Life Safety Building Construction and municipal, Assistant of professor

**Kirill S. Koshkarev**, Academic degree, Academic rank, Post Graduate City name of the Department "Volgograd, department of Life Safety Building Construction and municipal, post graduate student Volgograd State Technical University

**Alexander D. Pernickiy**, Academic degree, Academic rank - City name of the Department "Volgograd, department of Life Safety Building Construction and municipal, magister Volgograd State Technical University

### **EFFICTIVE TECHNOLOGIES FOR ASPIRATION'S SCHEMES OF GAS STATION**

#### **Abstract**

**Importance** Improvement and creation of new highly efficient technologies and devices for reducing the volume of pollutant emissions from filling stations, while reducing the cost of operating the amount of waste generated.

**Objective** Improvement and development of reliable gas trapping devices of acceptable low material and energy consumption for aspiration systems of gas stations, reducing operating costs and environmental payments for emissions and waste.

**Methods** Improvement and development of new energy and cost saving technologies and mass exchanging devices and high equipment's efficiency, while reducing the consumption of materials, for the effective practical use.

There presented some results of field studies of the values of the pollutants's concentrations of gas filling stations's emissions in the area of the location in this article. It was fulfilled analytical studies on the choice of the type of effective gas trapping apparatus of acceptable material and energy consumption for aspiration systems of gas filling stations, which allows to reduce operating costs and environmental payments.

**Conclusions and Relevance** The article presents the results of field studies of the concentrations of pollutants in the area of the location of gas filling stations (gas stations) emissions. Analytical studies on the choice of the type of effective gas trapping apparatus of acceptable material and energy consumption for aspiration systems of gas stations have shown that the most acceptable from the point of view of technical and economic substantiation and environmental feasibility is the use of absorption's apparatuses. Basic recommendations are

given for the use of the proposed absorption's type of devices, which can reduce operating costs and environmental payments.

**Keywords:** *gas, vapor, hydrocarbons, resource, emissions, atmosphere, absorption, mass exchange, energy efficiency, economics.*

Автозаправочные станции (АЗС) являются характерными объектами городского хозяйства в настоящее время. Количество ГСМ и бензина, которые производители распределяют – реализуют через сеть локальных АЗС. Количество таких автозаправочных комплексов возросло за период с 1990 до 2020 гг. более чем на порядок (более чем в 10 раз) [1-3]. Данные, приводимые в литературе, показывают, что выбросы вредных веществ в атмосферу города от АЗС среднестатистической для южных регионов РФ 3 климатической зоны в расчете на одну единицу составляют около 9,5 - 9,9 т/год [1,2]. Имеются данные, например [3], свидетельствующие о том, что в России АЗС общего пользования выбрасывают в течение года более 140 тыс.т паров углеводородов. По данным исследователей: в Германии ежегодно АЗС выбрасывают 145000 т паров углеводородов, в Англии от АЗС выброс составляет более 120000т. При операциях заполнения и хранения в резервуарах АЗС количество испаряющихся паров ингредиентов с большими и малыми дыханиями составляет около 0,18% от объема бензина. По оценкам [3] в РФ при технологических операциях слива топлива, например, из цистерн топливозаправщиков в резервуары хранения бензина от АЗС выделяется и стратифицируется в приземном слое атмосферы в валовых объемах около 11 млн. м<sup>3</sup> углеводородов топлива. Это составляет только от резервуаров хранения топлива, бензина АЗС не менее 4,3 млн.м<sup>3</sup> и 7 млн.м<sup>3</sup> вредных веществ выбрасывается в атмосферу из бензобаков при заправке автомобилей на АЗС ежегодно.

Балансовый метод расчета среднегодовых выделений - углеводородов<sup>1</sup> при операциях заполнения резервуаров хранения бензина и заправке баков автотранспорта на АЗС показывает, что для Волгограда ежегодный объем выбросов составляет около 800 т/г и для Ставрополя около 450 т/г [1,2]. Анализ состава валовых выбросов АЗС показывает, что основными вредными веществами являются газообразные углеводороды различных химических свойств и значениями санитарно-гигиеническими нормативов [1-3]. Это определяет актуальность данной проблемы негативного влияния АЗС на атмосферный воздух мегаполисов.

Повышенный коэффициент оборачиваемости резервуаров АЗС, расположенных в крупных городах на урбанизированных территориях - с наиболее высокой плотностью жилой застройки, и незначительная высота источников выброса (от 3 до 5 м) интенсивно загрязняет приземный слой атмосферы углеводородами бензина [2-4].

Загрязнение в районах расположения автозаправочных комплексов – станций, не оборудованных системами улавливания лёгких фракций

(УЛФ), характерно для многих стран мира. Это логично вытекает из единообразия способов заправки, например, из автоцистерн и применения бюджетных технологических способов хранения бензина в резервуарах АЗС. Использование одного из наименее дорогостоящих технических средств снижения испарения углеводородов с поверхности “зеркала” топлива – понтонов имеет известные недостатки и не может применяться в широкой практике городского хозяйства [1-3]. Большая часть АЗС строится в районах компактной исторически сложившейся жилой застройке, чтобы максимально приблизиться к потребителю [3,4].

В РФ, Бразилии, и других странах АЗС расположены как в промышленных зонах, так и в районах жилой застройки. В [5] приведены результаты исследования качества воздуха атмосферы в разных районах г. Рио-де-Жанейро. Мониторинг проводился как на территориях АЗС, так и примыкающими к ним районами жилой застройки на расстоянии до 250 м от места их расположения. Отборы проб воздуха атмосферы осуществлялись при выполнении технологических операций заполнения резервуаров хранения АЗС. Точки отбора проб воздуха располагались на расстояниях от 50 до 250 м, чтобы оценить фактическую стратификацию выбросов группы углеводородов бензина (ВТЕХ). Это можно объяснить тем, что предельно допустимая концентрация бензола, относящегося ко второму классу опасности, имеет достаточно низкое значение, например в России  $C_{пдк}=0,3$  мг/м<sup>3</sup>. Результаты измерений для бензола показали, что в направлении, перпендикулярном к границам территории АЗС в диапазоне – радиусе от 50 до 250 м градиент изменения концентраций ВТЕХ был незначительным, т.е. мало изменялся в районе расположения АЗС. При этом концентрации бензола имели значения, превышающие предельно допустимые значения  $C_{пдк}$  [5].

Результаты исследования качества атмосферного воздуха приведенного в статье [6], уровень концентраций бензола на территории и локализованных вблизи всех АЗС жилых районов в Тегеране был выше нормируемого. Средний индекс опасности воздействия соединений углеводородов бензина ( $HI_{ВТЕХ}$ ) для исследованных объектов АЗС в Тегеране находился в диапазоне от 3 до 5 ( $HI_{ВТЕХ} > 1$ ), достигая для некоторых объектов значения 5,75. Сделан вывод о необходимости контроля и совершенствования системы мониторинга выбросов бензола, толуола и этилбензола для эффективного управления качеством атмосферы городов Ирана. Особое внимание следует уделять бензолу, являющегося соединением повышенной опасности и риска в части возникновения канцерогенных заболеваний [6, 7]. Отмечается также ухудшение качества жизни и здоровья людей, как работающих на АЗС, так и проживающих в жилых районах, примыкающих к местам расположения АЗС [7].

Представляется существенным важным обстоятельством наличие в выбросах АЗС бензола, являющегося веществом 2 класса опасности.

Реализация на практике принципов градостроительства с учетом требований экологизации для повышения экологической безопасности городов делает все более актуальными исследования в части снижения объемов выбросов вредных веществ. Исторически сложившаяся жилая застройка, как показывают данные литературы [1,2, 5-8], располагается в области и пределах границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) АЗС. При этом концентрации ингредиентов в атмосферном воздухе на границе жилой застройки в городских районах жилой застройки могут превышать нормативы ПДК  $C_{\text{пдк}}$  до 30-50% [4, 5-8].

Результаты измерения концентрации углеводородов бензина при опасных значениях скорости ветра, которые наиболее неблагоприятны для рассеивания веществ в районе расположения типовой АЗС г. Ставрополь в районе (3-я климатическая в зона РФ), приведены в таблице 1 по данным исследований [8]. Результаты проведенных измерений показали, что имеет место превышение максимально-разовых значений концентраций паров бензола (код 602) и диметилбензола (ксилола код 616) в близлежащей к АЗС жилой застройке при ее расположении на расстоянии около 50 м. Нормативный размер СЗЗ для принятой в исследовании выборки АЗС составлял 50 м.

Предельно-допустимые значения концентраций для бензола (код 602) составляет  $C_{\text{пдк602}}=0,3 \text{ мг/м}^3$ , для ксилола (смесь изомеров о-, м-, п-диметилбензола код 616) -  $C_{\text{пдк616}}=0,2 \text{ мг/м}^3$ . Максимально-разовые значения концентрации паров в долях  $C_{\text{пдк}}$  составляют для бензола  $C_{\text{пдк602}}=0,3 \text{ мг/м}^3$  и ксилола (смесь изомеров о-, м-, п- диметилбензола код 616)  $C_{\text{пдк616}}=0,2 \text{ мг/м}^3$ . Максимально-разовые значения средних значений концентрации паров бензола (код 602) и диметилбензола (ксилола) при сливе бензина в один резервуар из автоцистерны, как реализация одного из технологических мероприятий по снижению мощности выброса, составляли для бензола  $C^{\text{МР}}_{602}=2,30 \text{ мг/м}^3$ . В безразмерной относительной концентрации  $C_{\text{пдк}}$  составляет для бензола  $C_{\text{пдк602}}=7,67$  (превышение допустимых значений в 7-8 раз), для диметилбензола (ксилола)  $C_{\text{пдк616}}=1,25$  (превышение допустимых значений в 1,25 раза).

Кроме проблемы соблюдения существующих нормативов ПДК на границе жилой застройки выбросами АЗС, -  $C_{\text{пдк}}$ , значимую проблему для городов и высоко селитебных территорий важным представляется также снижение количества образования отходов, имеющими существенный вклад в решение проблемы обеспечения экологической безопасности.

**Таблица 1 –Значения приземных концентраций ингредиентов (паров бензина нефтяного и бензола) на различных расстояниях от**

**границы территории типовой АЗС Ставрополя / Table 1. Values of surface concentrations of ingredients (petroleum gasoline and benzene vapors) at various distances from the border of the territory of a typical gas station in Stavropol**

Технологический процесс АЗС	Расстояние от источника, м			
	10	30	50	100
	Значения средних максимально-разовых концентраций паров бензина нефтяного – суммы углеводородов / бензола, $C_{\nu}^{mp} / C_{602}^{mp}$ , мг/м <sup>3</sup>			
Слив топлива в один резервуар	<u>1480</u> 6,44	<u>138</u> 2,3	<u>56,0</u> 1,84	<u>14,50</u> 1,2
Одновременный слив топлива в два резервуара	<u>2954,57</u> 8,05	<u>275,79</u> 4,6	<u>111,13</u> 3,45	<u>29,0</u> 1,15

Сокращение испарения и выбросов в атмосферу при приеме, отпуске и хранении нефтепродуктов можно с помощью систем улавливания легких фракций бензинов (УЛФБ). Для улавливания и рекуперации паров, выделяющихся из резервуаров и при операциях слива - налива нефтепродуктов, разработаны и используются установки различных типов. Несмотря на разнообразие предлагаемых, методов и конструктивных решений разработанных установок позволяет определить следующие основные технологические подходы к способам улавливания и последующего извлечения и использования, рекуперации паров нефтепродуктов:

- повышение давления в паровой фазе углеводородов в процесс сжатия (компрессии) с достижением конденсации паров до жидкого состояния;
- применение селективное поглощение углеводородов из паровоздушной смеси на твердых адсорбентах (поверхности, объеме) с последующей десорбцией (адсорбционные методы);
- конденсация, охлаждение паровой смеси воздуха и углеводородов с использованием, например, теплообменного, холодильного оборудования при постоянном давлении с получением жидкой фазы углеводородсодержащего конденсата (криогенный);
- абсорбция - поглощение паров углеводородов при контакте – обработке газовой смеси жидкими абсорбентами (абсорбционный, сорбция);
- фильтрация и мембранные технологии;
- комбинированные (вариативное сочетание конденсационных, сорбционных способов и компрессии – сжатия).

Все указанные способы имеют свои преимущества и недостатки. При выборе конкретного технологического способа (метода) для установок УЛФБ, которые имеют свои недостатки и преимущества, следует

базироваться на экономической и экологической необходимости целесообразности и достаточности в каждом конкретном случае. Следовательно, для обеспечения приемлемого уровня количества выбросов и величин концентраций ингредиентов на границах санитарно-защитных и жилых зон целесообразно учитывать экономические затраты на строительство и эксплуатации такого рода оборудования. Важным фактором в принятии решения использовать тот или иной метод являются также состав и промышленная площадь занимаемого оборудованием, уровень звукового давления, создаваемого элементами установок на границах санитарно-защитных и жилых зон. Это приводит к решению задачи оптимизации соотношения экономических (стоимостных на строительство и эксплуатацию), или приведенных затрат, и эколого-технической смарт-приемлемости применяемых технологий и оборудования. В практике реализуется, как правило, принцип смарт-приемлемости: экологотехнической целесообразности – достаточности и экономической приемлемости – оптимальности. Все основные способы сокращения испарения в атмосферу бензина на АЗС имеют недостатки и преимущества. Так, например, способ сжатия осуществляют с созданием повышенного давления 5 МПа в рабочем объеме тягодутьевыми устройства (компрессорами, эжекторами и т.п.) с последующей конденсацией, как правило, до 90- 95% от общего количества углеводородов, содержащихся в газозооной смеси отходящих от резервуаров АЗС. При этом несомненным преимуществом является отсутствия достаточно громоздкого и металлоемкого сорбционного оборудования и рабочих тел: абсорбентов и адсорбентов. К недостаткам относятся существенно – значительные экономико-энергетические затраты (значительные стоимость и мощность компрессорного оборудования для достижения высокой степени сжатие паров для их конденсации). Кроме того компрессоры создают высокий уровень звукового давления, который может превосходить допустимые значения на границах санитарно-защитных и жилых зон (50 – 55 дБ). Для обеспечения пожарной безопасности таких установок запрещено осуществлять компрессию смесей, содержащих кислород и горючие, взрывоопасные компоненты - пары углеводородов и требуется затраты на заполнение резервуаров инертным газом. Опасность деформации резервуаров предполагает исключения снижения давления на входе (в резервуарах) ниже атмосферного, что вероятно при высоких степенях сжатия. Это вызывает дополнительное испарение нефтепродукта, уменьшению эффективной производительности установок и возможности возникновения взрывоопасной ситуации.

Криогенный способ технологии может быть реализован путем переохлаждения смеси паров ПВС, например, сжиженным азотом с последующей получением конденсата углеводородов. В установках типа

«Кедр» (НПП «Криосервис») охлаждение газовой смеси осуществляется жидким азотом. На получение одного литра конденсата требуется 1,2 литра жидкого азота. К основным преимуществам относятся отсутствие электроагрегатов и элементов, движущихся частей с механическим приводом, незначительная взрыво- пожароопасность. К недостаткам можно отнести затраты на обслуживание персоналом и высокую стоимость не менее 300 тыс.руб, с использованием и доставкой жидкого азота (от 300 р за 1 м<sup>3</sup> без учета стоимости баллонов и их доставки); стоимость затрат выше стоимости полученного конденсата [9].

При адсорбционном способе УЛФБ поглощение газов осуществляется твердыми поглотителями (адсорбентами) например, активированным углем. Составными Характерными частями сорбционных установок поглощения газов (УЛФБ) являются комплект адсорберов, абсорбер - колонна с жидким сорбером, насосное оборудование для подачи и отбора абсорбированного углеводородов, оснащенного вакуумными клапанами и система автоматического контроля и управления. Очищаемая смесь углеводородсодержащих газов систему адсорберов. В режиме работы один из адсорберов работает в режиме поглощения активных углеводородов. В это же время во втором аппарате осуществляется режим регенерации твердого сорбента, например, активированного угля, характерной особенностью которого является высокий показатель удельной площади поверхности контакта, (отношение площади поверхности к объему). Активированный уголь имеет значительную способность поглощения в очень тонком поверхностном слое атомов углерода газообразных углеводородов не бесконечно, но до наступления состояния насыщения (равновесного состояния). Для того чтобы исключить прохождение углеводородов без обработки – поглощения необходимо восстановление дальнейшей работоспособности угля. Это достигается проведением десорбции поглощенных ингредиентов, т.е. необходимо регенерировать уголь для обеспечения его дальнейшего эффективного использования в следующем цикле работы адсорбера.

Коэффициент эффективности улавливания устройства с аппаратами - адсорберами составляет 85 – 95%. Это является высоким значением и привлекательным для применения в практике при невысоких концентрациях улавливаемых ингредиентов газов для обеспечения величин нормативных значений выбросов АЗС. Несомненным недостатком в части смарт – приемлемости использования данного способа является существенно значительная стоимость комплекта системы десорбционных и абсорбционных аппаратов установок (около 1 млн.евро и более) и уголь, пропитанный парами бензина, электроподогревателем для десорбции представляют значительную пожаровзрывоопасность помимо аналогичных проблем собственно АЗС. Значительные габариты и занимаемые площади



системы при энергопотреблении от 10 до 30 кВт на каждые 100 куб.м очищаемой газозоудной смеси и «петлей» рециклинга адсорбции-десорбции делает сложной систему автоматического управления и контроля процессом. Стоимость установки такого рода, например УУПБА-01М (НПО «Химавтоматика» - ООО «ТЕХИНВЕСТ») составляет не менее 200000 руб с расходами на строительные-монтажные работы 30 – 50 тыс руб. Эксплуатация предполагает замену фильтра 1 раз в два года и последующую утилизацию данного вида отхода при дополнительных затратах не менее 60 тыс. рублей [3,10]. Номенклатура адсорбционных установок широко представлена значительным количеством зарубежных фирм производителей, например, Cool Sorption [11]. Carbovac [12] и др.

Наиболее более широкое распространение получили методы сорбционно – абсорбционные методы очистки газов выбросов АЗС. На практике большее часто применяются методы физической абсорбции с целью выделения – поглощения одного целевого или ряда компонентов. Другой вид сорбции – хемосорбция, когда обрабатываемые газы и сорбент вступают в химическую реакцию взаимодействия с получением продуктов отличных от исходных веществ – сорбатов [13, 14].

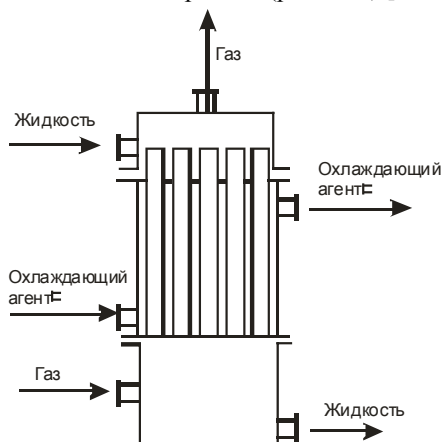
Основное требование к абсорбенту заключается в том, что он должен иметь высокая поглотительную способность по отношению к целевому и незначительные энергозатраты на извлечение абсорбированного им газожидкостного компонента. Это достигается использованием таких абсорбентов, у которых парциальное давление по извлекаемому целевому веществу - компоненту над его раствором в сорбенте при рабочей температуре процесса незначительно. Высокий градиент концентраций позволяет получать достаточно высокие коэффициенты массопередачи, определяющие скорость данного процесса межфазного массобмена.

Выбор того или иного абсорбента определяется рядом предъявляемых к нему требований. В части важных свойств можно отметить следующие: достаточно малоэнергоемкая регенерация; высокая селективная поглощающая способность; химическая инертность в процессе работы по отношению к обрабатываемым газам с исключением разложения, и изменением химических свойств при минимально возможных побочных продуктах реакций и потерях абсорбента поглотителя [13, 14].

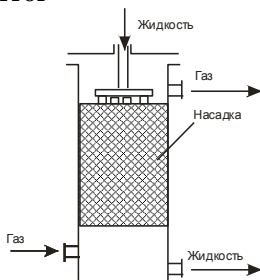
Применяемые абсорбенты в устройствах принимаются для конкретных условий химических веществ состава и свойств, концентрации, температуры и давления газов. В практике следует ограничивать данные параметры некоторой рабочим диапазоном с требуемой и приемлемой степенью очистки при заданных скоростях движения, концентрации, температуры и давления очищаемых газов, отходящих от оборудования (резервуаров) АЗС.

Используемые в технологиях очистки на промышленности и городском хозяйстве абсорбционные отличаются прежде всего по типу основного аппарата - абсорбера. В абсорбционных процессах массообмен происходит на поверхности контакта жидкой и газовой фаз. Абсорбционные аппараты в газоочистных установках можно условно разделить на четыре основные группы из способа создания этой поверхности соприкосновения контактирующих фаз [14, 15].

В первой группе абсорберов относятся аппараты с контактом между фазами газа и зеркалом жидкости, поверхностью подвижной или фиксированной пленкой жидкого сорбента (рис. 1, 2) [14, 15].



**Рисунок 1 - Поверхностно - орошаемый абсорбер с горизонтальным зеркалом жидкого сорбента / Fig.1. Surface - irrigated absorber with horizontal liquid sorbent mirror**

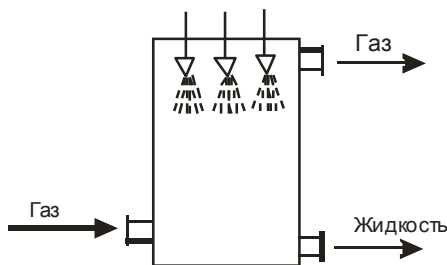


**Рисунок 2 - Абсорбер с неподвижной массообменной насадкой / Fig. 2. Absorber with fixed mass transfer nozzle**

Распыливающие абсорберы, условно составляющие вторую группу, имеют следующие характерные конструктивные особенности и элементы:

– абсорберы колонного или камерного типа, оборудованные системой форсунок, распыляющих жидкий сорбент и в полые объемы которых подается для очистки газовая смесь (рис.3);

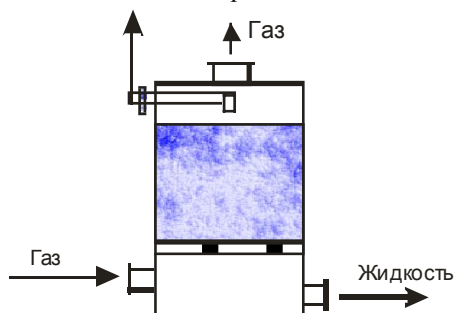
- скоростные прямоточные абсорберы, распыление жидкости сорбента происходит за счет кинетической энергии очищаемого движущегося с большой скоростью потока газовой смеси;
- абсорберы с использованием механическим распыливанием жидкости вращающимися элементами (дисками, и т.п. деталями).



**Рисунок 3 – Полюй форсуночный абсорбер - скруббер / Fig. 3. Hollow nozzle Absorber Scrubber**

В этих аппаратах площадь поверхности контакта межфазового обмена формируется гидродинамическими режимами работы и определяются в значительной степени расходом жидкости, диспергируемой в очищаемую газовую смесь [8 -10].

В третью подгруппу входят абсорберы барботажного типа (рис. 4, 5). В аппаратах этого типа поверхность контакта формируется потоками газа, истекающего и распределяющегося в виде структуры пузырьково-струйных течений в жидкости, и определяется гидродинамическими режимами расходами газа и жидкого сорбента.



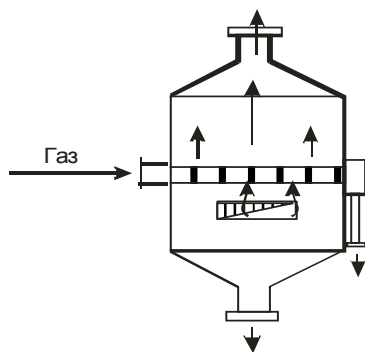
**Рисунок 4 - Противоточный абсорбер с объемно барботированным слоем сорбента / Fig. 4. Countercurrent absorber with a volumetrically bubbled sorbent layer**

К четвертой группе абсорберов относятся аппараты с пенным слоем, в которых поверхность контакта формируется при перекрестном движении очищаемого газа снизу вверх через жидкость и образуется на перфорированной решетке. В результате этого жидкость сорбента образует

с газом слой взвешенно-динамической пены в виде быстро движущихся капель-брызг, струйно-пузырькового течения суспензии жидкости и газа, подаваемого под давлением в абсорбер (рис. 6) [8 -10].

**Рисунок 5 - Абсорбер с взвешенно - плавающей насадкой / Fig. 5. Absorber with suspended floating nozzle**

Классификация с разделением абсорберов на выше рассмотренные группы обусловлено режимом гидродинамики работы и характером и параметрами формирующейся поверхности контакта. При этом один и тот же аппарат в зависимости от условий работы может в разных гидродинамических скоростных режимах оказаться барботажном, насадочно-форсуночно орошаемого, пленочного, и пенно-динамической группах.



**Рисунок 6 - Пенный абсорбер / Fig. 6. Foam absorber**

При противоточном и перекрестном характере движения фаз достигается наибольшие коэффициента массообмена. При равных или сравнимыми по величине коэффициентах селективности - извлечения компонента наиболее выгодным движением в схемах абсорбции требуется меньший удельный расход абсорбента, и, образуется более концентрированный расход поглотителя. В практике предпочтительно более полное использование потенциала абсорбции с получением более

концентрированного содержания целевых уловленных ингредиентов в сорбенте, следовательно, чаще реализуется перекрестно - противоточная схема движения фаз в аппарате [13- 15].

Схемы движения с полным, или идеальным перемешиванием жидкости применяются в многоступенчатых аппаратах типа, например, в тарельчатых абсорберах. Перекрестное движение газа и жидкости в чистом виде используется в аппаратах с колпачковыми, клапанными и колпачково-ситчатыми конструкциями массообменных тарельчатых элементов устройств провального типа (беспереливного), в которых газ и жидкость проходят через одни и те же отверстия [14, 15].

Применение прямого тока очищаемого газа и жидкого сорбента в насадочных абсорберах вместо обычно осуществляемого противотока позволяет до некоторой степени увеличивать производительность и эффективность устройств при уменьшении размеров и объемно-площадных показателей аппарата. При этом при больших скоростях газа увеличиваются показатели массообмена, однако снижается эффективность использования абсорбента и увеличивается удельный расход, а также возможно захлебывание аппарата [14, 15].

Интересным предложением на отечественном рынке производства абсорбционных устройств являются аппараты «ПО Ремстроймаш» стоимостью от 220 тыс.руб [16]. ООО «ZLRC» Promportal.ru производит и предлагает установку абсорбционных аппаратов для промышленной очистки от газов стоимостью от 7500 долларов USD [17].

В качестве абсорбента применяются нефтепродукты, в который возможно вернуть углеводороды (бензин, авиационный керосин, дизельное топливо, печное топливо, осветительный керосин и т.п.). Однократная абсорбция возможна применением малолетучего абсорбента (дизельное топливо, керосин и т.п) с возвратом нефтепродукта в резервуар хранения, при этом содержание поглощенных паров углеводородов в нефтепродукте составит более 0,5%. Такое изменение абсорбента к изменению физических свойств (температуры вспышки), так и химического состава нефтепродукта. При этом стоит задача возврата отработанного абсорбента на предприятие по его переработки для возврата его к исходным свойствам и состава в соответствии с требованиям ГОСТ. При этом степень улавливания паров обычно составляет 80-95%. Закачка и откачка нефтепродукта осуществляется насосами в составе абсорберов УЛФБ, то есть дополнительных насосов не требуется. В последнее время общеизвестные массообменные насадки (кольца Рашига, Паля, седла Берля) заменяют на разработанные насадки регулярных и нерегулярных (насыпных) типов более эффективных конструкций для интенсификации процессов в абсорбционных аппаратах.

Выводы.

1. При этом важным обстоятельством является достижение меньшего аэродинамического сопротивления устройства с такими массообменными насадками. Кроме того практика показывает, что на поверхности насадок с использованием в качестве сорбентов даже светлых нефтепродуктов (дизельное топливо, керосин и т.п) образуется и осаждается нефтешлам, который необходимо удалять с выполнением дополнительных операций – промывки абсорберов и последующей переработкой (утилизацией).

2. Абсорбционные аппараты имеют важное преимущество в сравнении с другими: высокая степень улавливания. Имеются также и недостатки: значительное гидравлическое сопротивление, потребность в дополнительном рабочем теле - в абсорбенте (необходимо в среднем до 0,100 куб.м на 1 куб.м очищаемой газовоздушной смеси) и резервных емкостях его хранения и слива отработанного. Использование светлых нефтепродуктов как абсорбентов увеличивает пожаровзрывоопасность сорбционных установок и АЗС в целом. Большая металлоемкость и занимаемое производственные площади (габариты) также сдерживают более широкое применение таких установок. При этом расходы на эксплуатацию возрастают в том числе в связи со значительным потреблением электроэнергии.

3. Следует совершенствовать существующие конструкции высокоэффективных абсорбционных аппаратов меньшей металлоемкости, снижающих выбросы АЗС, с меньшим гидравлическим сопротивлением (расходом электроэнергии), с повышением общей техносферной безопасности (снижении образования отходов и пожаровзрывоопасности) .

#### **Список источников:**

##### *Нормативные документы:*

1. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. СПб: Интеграл. 1997 (с изменениями и дополнениями).

##### *Литература:*

1. Соколова (2013) – *Соколова Е. В. Повышение экологической безопасности городских автозаправочных станций*: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.19: Волгоград, 2013, 20 с.

2. Соколова (2013) – *Соколова Е. В. Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействий АЗС на атмосферу городских комплексов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. Вып. 3 (36). С. 102-107.*

3. Александров, Архаров, Емельянов (2005) – *Александров А.А., Архаров, И.А., Емельянов, В.Ю. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов. Журнал «Современная АЗС» №№ 10, 11, 12 – 2005 г. Доступно на сайте: URL: [wwtec.ru/index.php?id=362](http://wwtec.ru/index.php?id=362).*

4. Соколова, Сидякин (2013) – *Соколова, Е.В., Сидякин, П.А. К вопросу моделирования рассеивания выбросов паров тяжелых углеводородов и*

обоснованию размера санитарно-защитной зоны АЗС// Современная наука и инновации. 2013. № 4. С. 24-32.

5. Correa S. M. et al. *The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere //Atmospheric pollution research*. 2012. V. 3 (2). Pp. 163-169..

6. Asadi M, Mirmohammadi M. *Experimental study of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) contributions in the air pollution of Tehran, Iran*. Environmental Quality Management.2017. V.27 (1). Pp.83-93.

7. Hazrati S. et al. *Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene concentrations in atmospheric ambient air of gasoline and CNG refueling stations //Air Quality, Atmosphere & Health*. 2016. V. 9 (4). Pp. 403-409.

8. Кошкарев и др. (2020) – Кошкарев С.А., Заурова Ф.Х., Кузубова А.А., Хаустова Е.П., Кошкарев К.С. *К результатам исследования уровня загрязнения воздуха в районе расположения АЗС для снижения выбросов углеводородов // Инженерный вестник Дона*. 2020. №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6372.

9. НПП «Криосервис». URL://cryoservice.ru/

10. «Приволжский завод газоочистного оборудования» URL://gas-cleaning.ru/product/coal-adsorber.

11. Компания Cool Sorption A/S .Cool Sorption. URL://https://coolsorption.com.

12. Компания Carbovac . URL://alma-carbovac.com/

13. Сарданашвили, Львова (1980) – Сарданашвили А.Г., Львова А.И. *Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа*. - 2-е изд. пер. и доп. - М., Химия, 1980, 256с.

14. Диденко, Калачев (2003) – Диденко В.Г. *Совершенствование средств очистки газов на основе схем с инжекторными пенными скрубберами / Калачев А.В. // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: сб. тр. – Волгоград, 2003. – С. 124-129.*

15. Диденко (2003) – Диденко В.Г. *Анализ функционально-структурных особенностей применения многоступенчатых установок газоочистки / В. Г. Диденко, С. В. Беломутенко // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : сб. тр. - Волгоград, 2003. - С. 206-209.*

16. Компания «ПЮ Ремстроймаш». URL://www.npomz.ru/absorbery.

17. Promportal.su .ООО «ZLRC». URL: //china.promportal.su/goods/4609777/absorber -dlya-promishlennoy-ochistki-gazov.htm.

#### References:

Sokolova (2013) – Sokolova E.V. *Improving the environmental safety of city gas stations: author. dis. ... .. Cand. tech. Sciences: 05.23.19: Volgograd, 2013, 20 p [Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti gorodskih avtozapravochnykh stancij] [in Russian].*

Sokolova (2013) – Sokolova, E.V. *Substantiation of measures to reduce the level of impact of gas stations on the atmosphere of urban complexes [Obosnovanie meropriyatij po snizheniyu urovnya vozdeystvij AZS na atmosferu gorodskih kompleksov]. Bulletin of the North Caucasus Federal University [Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta]. 2013. No 3 (36). Pp. 102-107. 2013. [in Russian].*

Alexandrov, A.A., Arkharov, I.A., Emelyanov (2005) – Alexandrov A.A., Arkharov I.A., Emelyanov V.Yu. *Review of operating systems for capturing*

vapors of petroleum products. Overview of existing systems for trapping oil vapor [Obzor dejstvuyushchih sistem ulavlivaniya parov nefteproduktov]. URL: [wwtec.ru/index.php?id=362](http://wwtec.ru/index.php?id=362). [in Russian].

Sokolova, Sidyakin (2013) – Sokolova, E.V., Sidyakin, P.A. *On the issue of modeling the dispersion of heavy hydrocarbon vapors and substantiating the size of the sanitary protection zone of gas stations* [K voprosu modelirovaniya rasseivaniya vybrosov parov tyazhelyh uglevodorodov i obosnovaniyu razmera sanitarno-zashchitnoj zony AZS]. Modern Science and Innovations. 2013. No. 4. Pp. 24-32. [in Russian].

Correa S. M. et al. *The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. Atmospheric pollution research*. 2012. V. 3 (2). Pp. 163-169.

Asadi M, Mirmohammadi M. *Experimental study of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) contributions in the air pollution of Tehran, Iran*. Environmental Quality Management. 2017. V.27 (1). Pp. 83-93.

Hazrati S. et al. *Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene concentrations in atmospheric ambient air of gasoline and CNG refueling stations*. Air Quality, Atmosphere & Health. 2016. V. 9 (4). Pp. 403-409.

Koshkarev et al. (2020) – Koshkarev S.A., Zaurova F.Kh., Kuzubova A.A., Khaustova E.P., Koshkarev K.S. *To the results of the study of the level of air pollution in the area of the gas station location to reduce hydrocarbon emissions* [K rezul'tatam issledovaniya urovnya zagryazneniya vozduha v rajone raspolozheniya AZS dlya snizheniya vybrosov uglevodorodov]. Engineering Bulletin of the Don 2020. No. 3.

URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6372](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6372) [in Russian].

NPP "Cryoservice". URL: [//cryoservice.ru/](http://cryoservice.ru/) [in Russian].

"Privolzhsky plant of gas cleaning equipment" URL: [//gas-cleaning.ru/product/coal-adsorber](http://gas-cleaning.ru/product/coal-adsorber). [in Russian].

Cool Sorption A / S. Cool Sorption. URL: [//coolsorption.com](http://coolsorption.com).

Carbovac Company. URL: [//alma-carbovac.com/](http://alma-carbovac.com/)

Sardanashvili, A.G., Lvov, A.I. *Examples and tasks for oil and gas processing technology* [Primery i zadachi po tekhnologii pererabotki nefti i gaza]. M., Chemistry, 1980, 256p [in Russian].

Didenko (2003) – Didenko V. G. *Improvement of gas purification means based on schemes with injection foam scrubbers* [Sovershenstvovanie sredstv ochistki gazov na osnove skhem s inzhektornymi pennymi skrubberami ]./ Didenko V. G., Kalachev A. V. Quality of internal air and the environment: collection of articles [Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhayushchej sredy]. Volgograd, 2003 . Pp. 124-129 [in Russian].

Didenko (2003) – Didenko, V.G. *Analysis of functional and structural features of the use of multistage gas cleaning units* [Analiz funktsional'no-strukturnyh osobennostej primeneniya mnogostupenchatykh ustanovok gazoochistki]. / V.G. Didenko et al. Quality of internal air and the environment : collection of articles [Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhayushchej sredy]. Volgograd. 2003. Pp. 206-209 [in Russian].

Company "PO Remstroy Mash". URL: [//www.npommz.ru/absorber](http://www.npommz.ru/absorber) [in Russian].

Promportal.su. LLC "ZLRC". URL: [//china.promportal.su/goods / 4609777/absorber-dlya-promishlennoy-ochistki-gazov.htm](http://china.promportal.su/goods / 4609777/absorber-dlya-promishlennoy-ochistki-gazov.htm).



