

## К совершенствованию устройств очистки выбросов АЗС паров углеводородов при снижении образования отходов для повышения экологической безопасности жилых зон

*С.А. Кошкарев, Д.Д. Бушнев, А.А. Кузубова,*

*К.С. Кошкарев, М.Ф. Пафаднам*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** Статья посвящена вопросу совершенствования устройств очистки выбросов АЗС от паров углеводородов для повышения экологической безопасности зон и территорий жилой застройки. Известно, что выбросы паров бензола, относящегося ко второму классу опасности, имеют существенную проблему в части превышения предельно допустимых концентраций на границах санитарно-защитных зон АЗС и близлежащей жилой застройки. Наибольшая часть выделения паров бензина, поступающих в локальные системы аспирации, связана с заполнением и опорожнением резервуаров хранения топлива на АЗС. Для снижения выбросов от источников АЗС предложено в установках улавливания паров бензина применять аппараты абсорбционного типа. В статье представлены результаты экспериментов на опытно - промышленной установке с аппаратом очистки выбросов АЗС от паров бензола и других углеводородов с использованием раствора смеси натриево-магниевых солей природного типа. В качестве рабочего агента в таких аппаратах было предложено использовать сточную воду очистного устройства АЗС с целью снижения дополнительного количества образования отходов, образующихся при их эксплуатации. По результатам обработки экспериментальных данных получены графическая зависимость и уравнения регрессии. Определены области аэрогидродинамических режимов, при которых достигается наибольшая эффективность для параметров аппарата исследованной модификации. Такой подход также позволяет снижать негативное техногенное воздействие АЗС в части образования дополнительного количества отходов. Проведенные успешные испытания показали надежную и эффективную работу опытной установки с предложенным аппаратом.

**Ключевые слова:** автозаправочная станция (АЗС), бензин, выброс, атмосфера, концентрация, углеводороды, аспирация, абсорбция, устройство, бишофит, вода.

Современное муниципальное хозяйство городов предполагает экологически безопасную эксплуатацию автозаправочных станций и комплексов (АЗС). Существующие экологические, санитарно-гигиенические нормативы предполагают строительство автозаправочных станций таким образом, чтобы границы санитарно-защитные зоны станций автозаправки располагались за пределами исторически сложившихся жилых зон.

Концентрации паров ингредиентов, содержащихся в атмосфере в районах расположения АЗС Ставрополя, превышают значения  $C_{\text{пдк}}$  до 50 %, а иногда и более [1,2]. Одним из способов снижения максимальных значений выбросов, наблюдающихся при сливе бензина из топливозаправочных цистерн в резервуары АЗС, являются управленческо-технологические решения (одновременное заполнение одного резервуара), но они не всегда дают требуемый результат [2]. Уменьшению отрицательного воздействия автотранспортными объектами на окружающую среду посвящена работа [3]. Анализ решений в [2,4], показал целесообразность снижения выбросов АЗС и другими, техническими способами.

Загрязнение атмосферного воздуха углеводородами бензина (ВТЕХ) в Рио-де-Жанейро в районах расположения автозаправочных станций имеет место и в других странах. Пробы атмосферного воздуха при заполнении резервуаров хранения бензина АЗС проводились, чтобы оценить рассеивание выбросов. Результаты измерений показали высокие значения концентраций ВТЕХ (бензола), изменявшиеся незначительно в точках отбора проб жилых зон на расстояниях от 50 до 250 м от АЗС [5].

Согласно результатам исследования качества атмосферного воздуха, уровень бензола на всех АЗС был выше нормируемого [6]. Средний индекс опасности (НИ) для воздействия соединений ВТЕХ составлял от 3 до 5 (более значения 1). Сделан вывод о необходимости мониторинга выбросов бензина ВТЕХ АЗС, особенно бензола, являющегося соединением канцерогенного риска, для контроля и управления качеством атмосферы городов.

На основе проведенного обзора ограниченной части литературы можно сделать вывод об актуальности дальнейших исследований по данному направлению.

К комплексной проблеме экологической безопасности относится не только выполнение существующих нормативов в части концентраций  $C_{\text{пдк}}$  -

---

выбросов паров бензина на АЗС. Другой актуальной проблемой для населения жилых зон и предприятий городов представляет также снижение количества образования отходов. Анализ некоторых устройств показывает, что, например, в устройстве [7] в качестве сорбента использовался мазут и керосин. Известны и другие устройства очистки паровоздушной смеси от углеводородов, например, [8-10] с использованием абсорбционно-десорбционных методов. Эти устройства обеспечивают приемлемую эффективность процесса абсорбции паров бензином, но требуют дополнительных охлаждающих теплообменников для поддержания температуры керосина 25-30°C при существенных капитальных и эксплуатационных затратах. В [11] подтверждена возможность использования для абсорбционного поглощения паров бензина других, кроме керосина, жидких сорбентов углеводородов. Однако данные установки предполагают образование дополнительного количества образования отходов.

В [12] результаты изучения бинарной адсорбции и селективности равновесии бензола и водяного пара показали, что данный процесс удовлетворительно описывается и изотермами адсорбции типа Ленгмюра – Фрейндлиха. При определенных условиях возможно использовать пары воды для процессов селективной сорбции бензола парами воды и последующей кинетической десорбции в устройствах ЛОС. Результаты [13] показали возможность использования в качестве эффективных адсорбентов из отходов кожуры бананов для селективной адсорбции паров толуола и бензола для очистки влагосодержащих сред и атмосферного воздуха от ингредиентов ЛОС.

Таким образом, повышение экологической безопасности совершенствованием аппаратов улавливания выбросов углеводородов АЗС, их дальнейшее исследование является актуальной задачей. При этом,

---

использование в качестве сорбента воды с нефтепродуктами из очистного сооружения АЗС с добавлением смеси натриево-магниевых солей природного типа (бишофита) позволяет снизить образование дополнительного объема отходов.

Теоретическое обоснование и описание процессов абсорбции углеводородов, например, бензола и толуола, с использованием водяного пара достаточно сложно и выходят за рамки данной статьи. При этом для описания процесса сорбции в устройствах можно использовать диффузионные модели:

$$\partial \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{D \partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial (wc)}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial \tau} \quad (1)$$

где  $D$  - эффективный коэффициент диффузионного объемного перемешивания жидкости в направлении ее движения;

$c$  - безразмерная концентрация поглощаемого вещества в сорбенте-жидкости в направлении ее движения.

Решение уравнения (1) с граничными условиями общепринятого вида Данквертса:

$$(wc_0) = wc|_{x=0} - D(dc/dx)|_{x=0}, (dc/dx)|_{x=L} \quad (2)$$

$L$  - приведенная относительная длина устройства (характерный размер), в направлении которой осуществляется движения жидкости-сорбента.

При линейно уменьшающемся кинетическом параметре абсорбционного поглощения паров бензина по приведенной относительной длине устройства  $x$   $(\partial c / \partial \tau) = -kc$  можно получить в виде функций-квадратур.

При этом для использования данной модели необходимо провести исследование и получить регрессии для расчета эффективного коэффициента

диффузионного объемного перемешивания жидкости в направлении ее движения  $D$ , кинетического параметра абсорбционного поглощения паров  $(\partial c / \partial \tau) = -kc$  для исследованной области аэрогидродинамических режимов работы устройства.

Для практических целей целесообразно использовать более простой экспериментальный метод исследования с определением регрессивных зависимостей для расчета степени очистки в устройстве в выделенных диапазонах аэродинамических параметров. С этой целью в опытно-промышленной установке, схема которой изображена на рис. 1, было применено устройство по патенту [11]. При проведении эксперимента для исследованного устройства в качестве абсорбента использовалась сточная вода из емкости сбора с содержанием около 15% нефтепродуктов с добавлением соли бишофита по массовой концентрации до 20 %.

Скорость парогазовой смеси на выходе из устройства измерялась микроманометром электронного типа ЛТА ЭПМ.

Концентрация паров углеводородов в газовой смеси, подаваемой на вход газопроводящего устройства [11], и после очистки в нем измерялась методами хроматографии по стандартным методикам с использованием прибора «Цвет-500М» [14, 15].

При исследовании предложенного абсорбционного устройства улавливания паров бензина были приняты следующие определяющие факторы по плану трёхфакторного эксперимента [16, 17]:

$\bar{v}_k$  – относительная среднерасходная скорость очищаемой паровоздушной смеси по площади поперечного сечения контактной камеры, отнесенная к 1 м/с;  $\bar{h}_3$  – высота участка заполнения сферической насадкой, отнесенная к общей высоте контактной камеры  $h_k$ ;  $\bar{h}_ж$  – уровень подъема водного раствора соли бишофита до 20% по массовой концентрации, отнесенный к общей высоте трубы - камеры.

---

Схема контактной камеры представлена на рис 1.

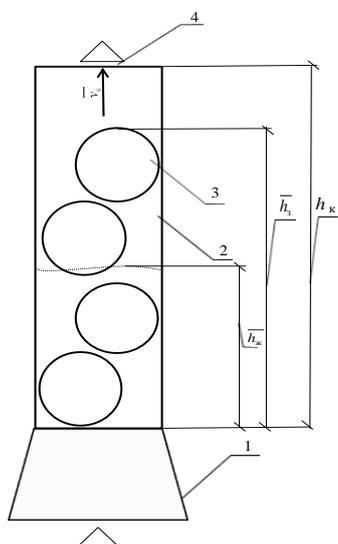


Рис. 1. – Схема контактной камеры устройства: 1– вход очищаемого газа (входной конфузор); 2–контактная камера технологического блока; 3– сферическая насадка; 4– выход из контактной камеры очищенного от паров бензина воздуха (газовоздушной смеси).

В качестве функций отклика рассматривались степень улавливания паров ингредиентов углеводородов и гидродинамическое сопротивление аппарата в различных аэродинамических режимах работы устройства.

Полученные результаты приведены на рис. 2 и 3. Аналогичные зависимости получены и для других режимов работы аппарата.

$\eta, \%$	$\eta, \%$
------------	------------

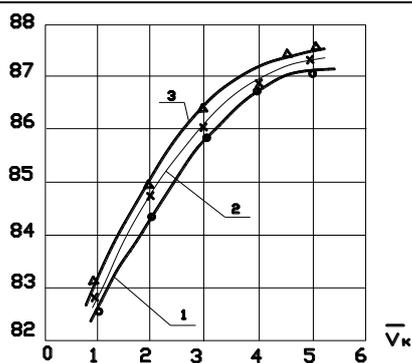


Рис. 2. - Изменение степени улавливания углеводородов от среднерасходовой скорости потока в трубе камеры  $\bar{v}_k$  при использовании сточной воды из емкости сбора стоков с содержанием около 15% нефтепродуктов с добавлением соли бишофита до 20% по массе как сорбента для высоты  $\bar{h}_3 = 0,2$  при: 1 -  $\bar{h}_ж = 0$ ; 2 -  $\bar{h}_ж = 0,25$ ; 3 -  $\bar{h}_ж = 0,5$ .

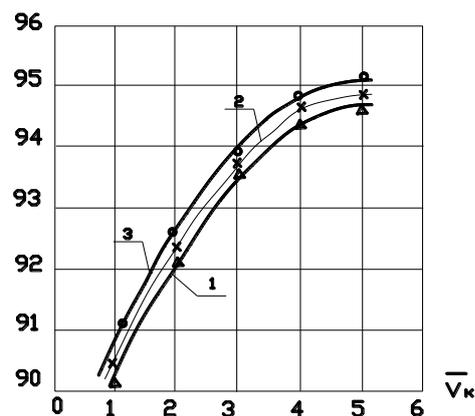


Рис. 3. -Изменение степени улавливания углеводородов от среднерасходовой скорости потока в трубе камере  $\bar{v}_k$  при использовании сточной воды с добавлением соли бишофита до 20% по массе для высоты  $\bar{h}_3 = 0,8$  при: 1 -  $\bar{h}_ж = 0$ ; 2 -  $\bar{h}_ж = 0,25$ ; 3 -  $\bar{h}_ж = 0,5$ .

По результатам математической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии при использовании в качестве жидкого сорбента 20%-го раствора бишофита по массе в сточной воде при содержании нефтепродуктов около 15%:

$$\eta = 0,797 + 0,0285\bar{v}_k(1 - 0,1\bar{v}_k) + 0,1415\bar{h}_3(2,16\bar{h}_3 - 1) + 0,1485\bar{h}_ж(\bar{h}_ж - 0,15) \quad (2)$$

Уравнение регрессии для расчета эффективности улавливания бензола, являющегося веществом 2 класса опасности, имеет асимптотический вид:

$$\eta_{бензола} = 0,757 + 0,02705\bar{v}_к(1 - 0,1\bar{v}_к) + 0,134\bar{h}_3(2,16\bar{h}_3 - 1) + 0,141\bar{h}_ж(\bar{h}_ж - 0,15)(3)$$

Экспериментально установлено, что приемлемая для практики эффективность улавливания паров достигается при среднерасходной скорости по площади поперечного сечения очищаемой газозадушной смеси потока в камере  $\bar{v}_к = 2,5 - 4$  м/с, и заполнении трубы - камеры сферической насадкой на 80 % от ее общей высоты, при уровне сорбента в 50 %.

Преимуществом использования сточной воды по сравнению с другими сорбентами, например, мазутом, является отсутствие необходимости сложного промышленного рециклинга. Насыщенная парами углеводородов отработанного сорбента вода направляется на очистные сооружения.

### **Выводы.**

1. Улавливание паров бензина в эффективных устройствах систем аспирации и использование воды из емкости сбора стоков с территории АЗС с добавлением соли бишофита до 20% по массе как сорбента в абсорбере снижает выброс паров до 90% с достижением нормативов выбросов, сокращает образование отходов и является значимым вкладом в решение актуальной задачи повышения экологической безопасности.

2. Масштабирование исследованного абсорбера достигается увеличением числа ячеек (контактных камер) при сохранении их геометрических размеров (диаметр, высота) для рекомендуемых скоростных режимов парогазовой смеси в трубе камеры.

### **Литература**

1. 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.

2. Соколова, Е. В. Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействий АЗС на атмосферу городских комплексов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. №. 3 (36). С. 102-107.

3. Беспалов, В.И., Мазепа, Я.А. Анализ воздействия автотранспортных предприятий на городскую среду // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1331.

4. 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.

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. Патент № 139122 Россия, МКИ В 01 Д 47/02. Устройство для очистки газов / Кошкарев С.А., Азаров, В. Н., Кисленко Т. А. Заявка № 2013138200/05; Заяв. 15.08.2013. Оpubл. 10.04.2014. Бюл. № 10.

8. Патент RU №2155631 Россия, МПК (мкл.) В013/14. Способ утилизации паров бензина / Сахабутдинов, Р.З., Фаттахов, Р.Б., Тронов В.П. 06.05.1996.

9. Патент США №4475928, мкл. В01D 53/14, Anker J. Jacobsen, Vjergbakkevej 45, DK-2600 Glostrup, Denmark, 1984.

10. Патент RU №2100689. МПК (мкл.) F17C 3/00 (1995.01). Способ хранения жидких углеводородов / Будников, В.Ф., Басарыгин, Ю.М., Завертайло, М.М. Заявка: 95109542/25, 07.06.1995. Оpubл. 27.12.1997.

11. Патент РФ №2575887, МКИ В 01 Д 47/02. Устройство для очистки газов. / Кошкарев С. А., Азаров В. Н. Оpubл. 02. 2016.

---

12. Zhao Z. et al. Competitive adsorption and selectivity of benzene and water vapor on the microporous metal organic frameworks (HKUST-1) // Chemical engineering journal. 2015. V. 259. Pp.79-89.
13. Shen X. et al. Record-high capture of volatile benzene and toluene enabled by activator implant-optimized banana peel-derived engineering carbonaceous adsorbents // Environment International. 2020. V. 143. 105774.
14. Другов, Ю. С. Березин, В. Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха. М.: Химия, 1981. 265 с.
15. Мишина, Л. А., Юрьев, М. Я. Методы химического, физико-механического и метрологического контроля / Ленинград : Недра, 1998. 192 с.
16. Зажигает, Л. О., Кишьян, А. А., Романников, Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Москва: Атомиздат, 1978. 232 с.
17. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента. М.: Мир, 1981. 520 с.

### References

1. Sokolova, E.V., Sidjakin, P.A. Sovremennaja nauka i innovacii. 2013. N 4. Pp. 24-32.
  2. Sokolova, E. V. Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. 2013. Vyp. 3 (36). Pp. 102-107.
  3. Bepalov, V.I., Mazepa, Ja.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 2 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1331
  4. Koshkarev S.A., Bushnev D.D., Kuzubova A.A., Koshkarev K.S., Paphandam M.F. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n3y2020/6372.
-

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. Patent № 139122 Россия, MKI V 01 D 47/02. Устройство для очистки газов. [Gas cleaning device]. Koshkarev, S.A., Azarov, V. N., Kislenko T. A. Заявка № 2013138200/05; Заяв. 15.08.2013. Оpubl. 10.04.2014. Бюл. № 10.
  8. Patent RU №2155631 Россия, MPK (mkl.) V013/14. Способ утилизации паров бензина [Gasoline vapor recovery method]. Sahabutdinov, R.Z., Fattahov, R.B., Tronov V.P. 06.05.1996.
  9. Patent SShAN№4475928, mkl. V01D 53/14, Anker J. Jacobsen, Bjergbakkevej 45, DK-2600 Glostrup, Denmark, 1984.
  10. Patent RUN№2100689.MPK (mkl.) F17C 3/00 (1995.01). Способ хранения жидких углеводородов [Liquid hydrocarbon storage method]. Budnikov, V.F., Basarygin, Ju.M, Zavertajlo, M.M. Заявка: 95109542/25, 07.06.1995. Оpubl. 27.12.1997.
  11. Patent RF №2575887, MKI V 01 D 47/02. Устройство для очистки газов. [Gas cleaning device]. S. A. Koshkarev, V. N. Azarov, Оpubl. 02. 2016.
  12. Zhao Z. et al. Chemical engineering journal. 2015. V. 259. Pp.79-89.
  13. Shen X. et al. Environment International. 2020. V. 143. 105774.
  14. Drugov, Ju. S. Berezin, V. G. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха [Gas chromatographic analysis of polluted air]. М.: Химия. 1981. 265p.
  15. Mishina, L. A., Jur'ev, M. Ja. Методы химического, физико–механического и метрологического контроля [Methods of chemical, physical-mechanical and metrological control]. Ленинград: Недра, 1998. 192 p.
-



16. Zazhigaev, L. O., Kish'jan, A. A., Romannikov, Ju. I. et al. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov fizicheskogo jeksperimenta [Methods of planning and treatment results of physics' experiment]. Moskva: Atomizdat, 1978. 232 p.
17. Dzhonson, N. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnikеinauke. Metody planirovaniya jeksperimenta [Statistics in experiment's planning. Methods of experiment's planning]. M.: Mir, 1981. 520 p.