



ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

ENERGY AND ECOLOGY

ЭКОЛОГИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ
И КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ECOLOGY OF AIR ATMOSPHERE AND SPACE

Статья поступила в редакцию 19.11.14. Ред. пер. № 2139

The article has entered in publishing office 19.11.14. Ed. reg. No. 2139

УДК 502.3:504.5:725.384

СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ АЗС НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ РАССЕЙВАНИЯ

С.А. Кошкарёв

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
РФ 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, «ВолгГАСУ», кафедра «БЖДТ»
тел.: 8 (8442)-96-99-07, 8-961-07-023-77, 8937-696-1087
e-mail: kaf_bgdvt@mail.ru, cool.koshka12@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.07.007

Заключение совета рецензентов: 18.12.14 Заключение совета экспертов: 16.02.15 Принято к публикации: 15.04.15

В статье проведено сравнение значений концентраций загрязняющих веществ, полученных с помощью натуральных измерений, моделирование рассеивания выбросов автозаправочных станций (АЗС) (расчетного мониторинга), которые расположены на городской территории. Сделан вывод о целесообразности учета технологии заправки топлива в резервуары при обосновании размера санитарно-защитной зоны АЗС, – а также вывод о необходимости проводить расчеты рассеивания паров тяжелых углеводородов в атмосфере для различных физических параметров источника выбросов – АЗС. Обосновано заключение о целесообразности установки системы улавливания паров тяжелых углеводородов для АЗС, в пределах границы СЗЗ которых расположена жилая застройка.

Ключевые слова: загрязняющее вещество, автозаправочная станция (АЗС), выбросы, атмосфера, рассеивание, мониторинг, санитарно-защитная зона, устройство, улавливание, адсорбция.

THE ENVIRONMENTAL SAFETY IMPROVING BY MODELING DISPERSION AND EMISSIONS REDUCING OF GAS STATIONS

S.A. Koshkarev

Volgograd State University of Architecture and Building Construction
1 Academicheskaya Str., Volgograd, 400074 Russian Federation
ph.: 8-(8442)-96-99-07, 8-961-07-023-77, 8937-696-1087;
e-mail: kaf_bgdvt@mail.ru; cool.koshka12@mail.ru



Referred 18 December 2014 Received in revised form 16 February 2015 Accepted 15 April 2015

The paper suggests the perspective ways of reduction emissions of dangerous pollutions on the gas stations. It compares the pollutant concentration values obtained by in environmental measurements and the modeling of dispersion of emissions from the gas stations located on the city territory. This paper concludes that there is the advisability to account of technology fuel filling process in tanks for the regulations of the sanitary protection zone size of gas station. Moreover it concludes that the calculations of heavy hydrocarbon vapor dispersion in the atmosphere for various physical parameters of the emissions source (gas station) are necessary. Therefore the installation of vapor trapping of heavy hydrocarbons to the gas station is necessary as well.

Keywords: pollutions, gas station, emissions, the atmosphere, modeling, dispersion, monitoring, sanitary protection zone, device, capture, adsorption.



Кошкарёв Сергей
Аркадьевич

Сведения об авторе: канд. техн. наук, докторант Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» и «Альтернативная энергетика и промэкология» (2010–по настоящее время); инженер ФГБОУ «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет».

Образование: инженер-строитель, Волгоградский государственный инженерно-строительный институт (1977–1983); Санкт-Петербургский технологический институт, аспирантура (1987–1992); Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, докторантура (2012– по настоящее время).

Область научных интересов: теоретические и экспериментальные основы аэродинамики частиц пыли в задачах охраны труда и экологической безопасности в строительстве (частицы пыли РМ 2,5 и РМ 10, моделирование стратификации выбросов, процессы в псевдооживленном слое гранулированных материалов, пылеулавливание).

Публикации: 35, в том числе 1 авторское свидетельство СССР, 2 патента РФ и 5 РФ патентов на полезную модель.

Information about the author: PhD (engineering), demonstrator of “BZDT” department, associate professor of “Safety in Technosphere” of Volgograd State University of Architecture and Building Construction.

Education: a civil engineer, Volgograd State University of Architecture and Building Construction.

Research area: designing, development of environmental design documentation (MPE, WGL, etc.).

Publications: 35.

Введение

В настоящее время влияние выбросов автозаправочных станций (далее АЗС) на окружающую среду и особенности их распространения недостаточно полно изучены. Следует отметить, что имеются вполне апробированные методики по расчету количества таких выбросов [1, 2]. Результаты расчета валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от АЗС показывают, что данные значения составляют до 420 т/г для г. Ставрополя и до 800 т/г для Волгограда (слив топлива в резервуары АЗС и заправка а/т) [3].

Известно, что моделирование рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов промышленности и городского хозяйства прово-

дятся с целью определения приземных концентраций на границе жилой застройки и санитарно-защитной зоны в районе расположения по методике ОНД-86 [4]. Расчет рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятия, выполняется, например, по программе «УПРЗА Эколог 3.00», разработанной фирмой «Интеграл», «УПРЗА Эко-Центр» и другим программным обеспечением, согласованным и рекомендованным к использованию ГО им. А.И. Воейкова. Данные программы реализуют методику расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе, содержащихся в выбросах предприятия ОНД-86 [4]. Порядок расчета: классификация источников выбросов загрязняющих веществ; мощность выбросов для ряда геометрических размеров и параметров источников определяет-



ся методическим пособием по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [5]. В данном документе источник выбросов – АЗС – определяется по целому ряду признаков как неорганизованный источник выбросов в атмосферу. При этом методики по расчету выбросов АЗС [1, 2] дают суммарное количество для ингредиентов. Нормативный документ [5] рекомендует принимать высоту неорганизованных источников выбросов в расчетах на рассеивание, например, по программе «УПРЗА Эко-Центр», связанных с работой автотранспорта, $H = 5$ м. При этом некоторые источники выбросов имеют высоту выделения ниже 5 метров.

В работе [6] были приведены результаты предварительных исследований по моделированию рассеивания паров тяжелых углеводородов в атмосфере, которые показали превышение относительных концентраций в долях предельно допустимой концентрации (ПДК) ряда загрязняющих веществ в контрольных точках на границе СЗЗ и жилой застройки, расположенной в пределах СЗЗ АЗС. Была отмечена целесообразность применения перспективных методов снижения выбросов путем установки устройств улавливания тяжелых углеводородов (паров бензина) для такого АЗС, как одного из наиболее опасных и значительных по количеству загрязнений.

Таким образом, анализ литературных данных демонстрирует наличие по крайней мере двух проблем. Первая проблема связана с методологией расчетов рассеивания ингредиентов, ее известных дефектов, которые проявляются в т.ч. при моделировании стратификации паров тяжелых углеводородов. При этом источники АЗС имеют разную высоту выделения. Вторая проблема – сокращение выбросов АЗС. Результаты расчетов по моделированию рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосфере показывают, что в целом ряде случаев значения расчетных приземных концентраций выше предельно допустимых значений в контрольных точках на границе СЗЗ и особенно жилой застройки, расположенной в пределах СЗЗ АЗС, для ряда газообразных ингредиентов выбросов АЗС.

Теоретический анализ

Расчеты по моделированию рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосфере проводились на компьютере по программам «УПРЗА Эколог 3.00» и «УПРЗА Эко-Центр». В рамках данной рабо-

ты было выполнено прогнозирование – моделирование рассеивания паров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от нескольких среднестатистических АЗС г. Ставрополя с целью определить концентрации тяжелых углеводородов на границе жилой застройки и санитарно-защитной зоны по методике ОНД-86 [4]. При этом рассматривался самый неблагоприятный режим при одновременном сливе топлива в 2 наземных резервуара среднестатистической АЗС и заправки а/т из топливораздаточных колонок (ТРК). Расчеты проводились в двух вариантах. В первом варианте высота неорганизованного источника – АЗС – принималась $H = 5$ м. Во втором высота принималась $H = 3$ м, т. е. равной фактической (физической) высоте источника.

Результаты расчетов максимально разовых и среднегодовых значений выбросов углеводородов среднестатистических АЗС г. Ставрополя выполнялись по методике [1, 2] и соответствующей программе на компьютере, например серии «Эко-Центр». Максимально разовые и среднегодовые значения выбросов по конкретным ингредиентам также рассчитаны с применением компьютерной программы, с учетом содержания их в бензине (Аи 92–95) по методике [1, 2]. Полученные значения выбросов были использованы как исходные данные к последующему расчетному моделированию по методике [4].

Для описания тепломассовых процессов непрерывной абсорбции в аппаратах различных типов конструкций для получения решений в виде комбинации конечных элементарных функций и интегралов, конечных функций, которые могут быть получены решением дифференциального уравнения. С этой целью можно использовать однопараметрическую диффузионную модель [3, 7]:

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

где c – относительная концентрация вещества в потоке сорбента в направлении движения x (жидкости-сорбента, например, в устройстве очистки абсорбционного типа), D – эффективный коэффициент диффузионного объемного перемешивания жидкости в направлении ее движения $\text{м}^2/\text{с}$; w – линейная скорость движения жидкости-сорбента, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$, τ – время.

Граничные условия записываются в общепринятом виде условий Данквертса [3, 7]:

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

Решение уравнения (1) с условиями (2) имеет вид:

$$c = (1 - c_0) \left[\frac{e^{\lambda_1 x}}{1 - \frac{D\lambda_1}{w} e^{L(\lambda_1 - \lambda_2)} \left(e^{L(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{w}{D\lambda_2} - 1 \right)} - \frac{e^{\lambda_2 x}}{\lambda_2 \left(\frac{e^{L(\lambda_1 - \lambda_2)}}{\lambda_1} - \frac{D}{w} \left(e^{L(\lambda_1 - \lambda_2)x} + \frac{w}{D\lambda_2} - 1 \right) \right)} \right]. \quad (3)$$

Иной, макрокинетический подход к анализу непрерывных процессов межфазного теплообмена заключается в определении плотности распределения $\rho(\tau)$ жидкости-сорбента по времени его пребывания в аппарате τ . При теоретическом анализе использовалась функция влияния (4), которая соответствует диффузионному распространению мгновенно поданного точечного возмущения в безграничной неподвижной среде в направлении x :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi D \tau}} \left[e^{-\frac{(D_a - w\tau)^2}{4\tau D}} \right], \quad (4)$$

где D – эффективный коэффициент диффузионного объемного перемешивания жидкости в направлении ее движения x , м²/с, τ – время пребывания жидкости-сорбента в аппарате, D_a – диаметр аппарата (или характерный, эквивалентный геометрический размер для устройств, поперечное сечение которых отличается от круга).

При этом значение средней конечной безразмерной массовой концентрации паров углеводородов бензина ($\bar{c}(x) \Big|_{x=L} = \bar{c}_{\text{вых}}$) ($\bar{c} = (c/c_0)$ – значение концентрации углеводородов бензина на выходе из аппарата в (3), (5) в жидком сорбенте, выгружаемом из аппарата, может определяться по следующей интегральной зависимости:

$$\bar{c} = \frac{1}{2\sqrt{\pi D \tau}} \int_0^\infty \frac{c(\tau)}{\sqrt{\tau}} \left[e^{-\frac{(D_a - w\tau)^2}{4\tau D}} \right] d\tau. \quad (5)$$

Для реального аппарата конечной длины (характерного размера) D_a наиболее надежным методом измерения средней конечной массовой концентрации паров бензина $C_{\text{вых}}$ в жидком сорбенте на выходе из аппарата представляется использование плотности распределения ρ по времени пребывания жидкого сорбента в ап-

парате τ (среднего времени пребывания $\bar{\tau}$), непосредственно получаемого в опытах с трассером:

$$\bar{c} = \int_0^\infty c(\tau)\rho(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Экспериментальные исследования концентрации углеводородов в районе расположения АЗС

Измерения проведены в теплый период года при температуре воздуха 22 °С и наиболее неблагоприятных погодных условиях для рассеивания веществ со скоростью ветра: при скорости ветра $v \leq 0,5$ м/с штиль, и наибольшей скорости ветра, превышение которой составляет 5% $U^* = 6$ м/с [4, 5].

Экспериментальные замеры проводились в соответствии с принятыми стандартными методиками.

Для измерения температуры воздуха применялись спиртовые и ртутные термометры, а также термоанемометры ТА-4 ЛИОТ и ТА-8М. Скорость ветра измерялась с помощью крыльчатых (АСО-3) и чашечных (МС-13) анемометров, при малых скоростях – с помощью термоанемометров.

Замеры концентраций загрязняющих веществ производились с помощью газоанализаторов типа УГ-2. При проведении исследований пробы загрязненного воздуха отбирались с помощью стеклянных шприцев, а также с помощью специальных газовых пипеток. Для анализа проб применялись лабораторные газовые хроматографы серии “Цвет-100М” [8]. При этом концентрации углеводородов – ингредиентов паров бензина нефтяного – пересчитывались на основе их содержания по данным литературы [1, 2]

Результаты измерения концентрации углеводородов нефти при скорости ветра $v = 0,5$ м/с и $U^* = 6$ м/с, т. е. при наиболее неблагоприятных условиях для рассеивания веществ в районе расположения среднестатистической АЗС г. Ставрополя, приведены в таблице 1.



Таблица 1

Результаты измерения суммарной концентрации тяжелых углеводородов (значения максимальной концентрации паров бензина нефтяного) при скорости ветра $v = 0,5$ м/с и $U^* = 6$ м/с в районе расположения среднестатистической АЗС, г. Ставрополь

Table 1

The results of the total concentration measuring of heavy hydrocarbons (the maximum concentration of gasoline vapor oil) when the wind speed $v = 0,5$ m/s and $U^* = 6$ m/s in the situation' area of the average statistic gas station, Stavropol

Технологический процесс АЗС	Расстояние от источника выброса, x, м															
	10				30				50				100			
	Концентрация паров бензина нефтяного (углеводородов), мг/м ³															
	утро		вечер		утро		вечер		утро		вечер		утро		вечер	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Одновременная заправка 4 автомашин	60-70	50	50-70	40	30-50	20-30	10-40	10-20	30	10	10-20	5-8	10	5	5-10	менее 5
Одновременная заправка 8 автомашин	110-120	90-100	80-100	80	50-60	30	20-40	10-20	40-50	10	5-20	5-8	10	5	5-10	менее 5
Слив топлива в один резервуар	200-280	130-150	150-180	80-110	80-100	70-80	20-60	50-70	70-80	40-50	20-60	30	30-50	20-30	5-30	10-20
Одновременный слив в два резервуара	300-350	170-200	150-230	120-150	140-150	150-200	60-100	100-120	130-150	70-80	50-100	50-60	40-50	20-50	5-40	10-30

На рисунке 1 представлены осредненные результаты по принятым к исследованию АЗС для высоты $H = 5$ м. На рисунке 2 – для фактической высоты $H = 3$ м. Графики приведены для некоторых ингре-

диентов выбросов, для которых расхождение измеренных и расчетных значений концентрации было существенным (максимальным).

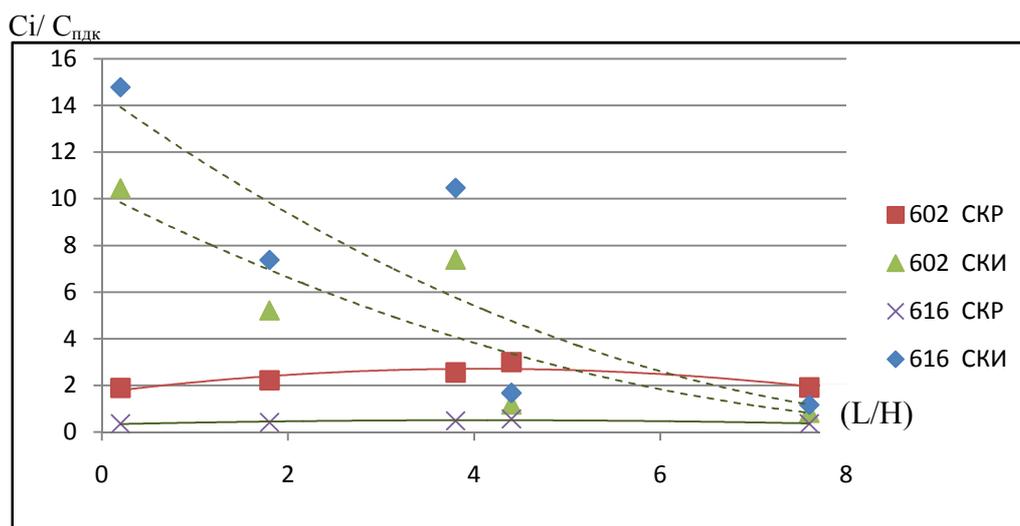


Рис. 1. Значения расчетных и измеренных концентраций $C_i/C_{плдк}$ бензола (602) и ксилола (С616) C_i для высоты неорганизованного источника $H = 5$ м (рекомендованной к расчету для источника – АЗС) в долях от ПДК
 Fig. 1. The values of calculated and measured concentrations of C_i/C_{MPC} benzene (602) and xylene (616) for the source' height $H = 5$ m (recommended to the calculation for the source - gas station) as a proportion of MPC

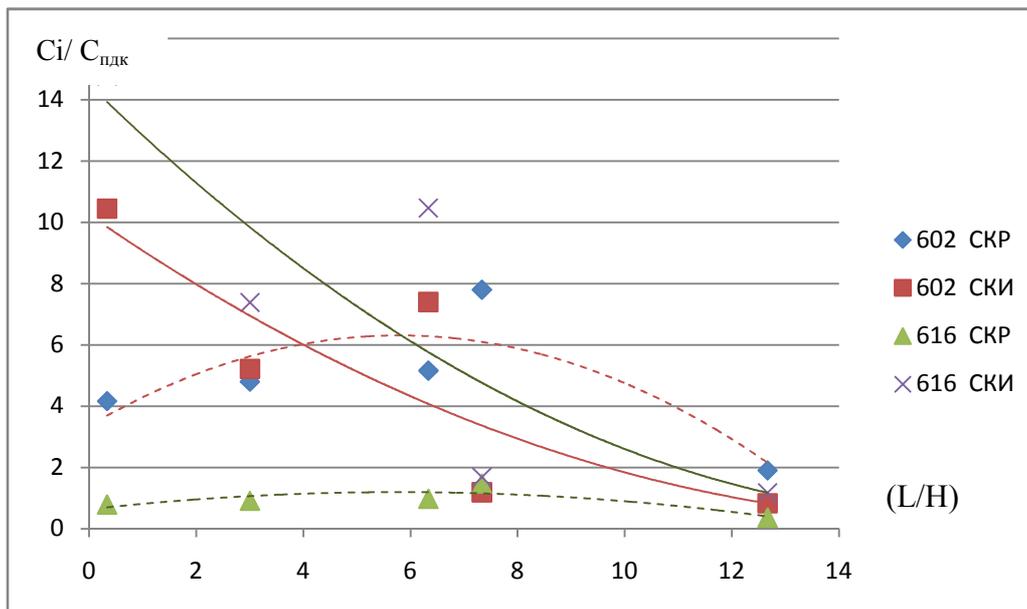


Рис. 2. Значения расчетных и измеренных концентраций $C_i/C_{\text{пдк}}$ бензола (602) и ксилола (С616) для высоты неорганизованного источника $H = 3$ м (расчетно-фактической высоты источника - АЗС) в долях от ПДК
Fig. 2. The values of the calculated and measured concentrations of C_i/C_{MPC} benzene (602) and xylene (616) for the modeling calculation of the source' height $H = 3$ m (the actual physical settlement for the source - gas station) as a proportion of MPC

На графиках, изображенных на рисунках 1 и 2, приведены результаты моделирования рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосфере и осредненные значения измеренных концентраций ингредиентов в районе расположения. На этих графиках приняты следующие условные сокращения: СКР – средние концентрации расчетных ингредиентов (углеводородов), полученные по программе (методика ОНД-86 [4]) и рекомендаций [5]. СКИ – средние измеренные концентрации (по данным измерений).

При этом средние значения измеренных концентраций ингредиентов (СКИ) бензола (602) и ксилола (С616) рассчитывались из суммарных значений концентраций углеводородов на основе данных по содержанию их в бензине (Аи 92–95).

Экспериментальные исследования эффективности абсорбционного устройства улавливания углеводородов из выбросов АЗС

Для снижения выбросов АЗС – улавливания паров бензина – было предложено использовать абсорбционный аппарат. Схема абсорбционного уст-

ройства предложенной конструкции представлена на рис. 3 [9].

Устройство относится к средствам очистки газов в пенноподобном слое, образуемом путем диспергирования жидкости закрученным потоком обрабатываемого газа. Коэффициент межфазного переноса от закрученного газозвушного потока к жидкому сорбенту в 3–5 раз выше, чем коэффициент межфазного переноса в незакрученном газозвушном потоке.

Конструктивное исполнение предлагаемого устройства направлено на повышение эффективности его работы за счет интенсификации массообменных процессов между очищаемым газом и сорбентом при формировании и стабилизации пенноподобного слоя, обеспечивающего поглощение вредных примесей из очищаемого газозвушного потока и предотвращающего смешивание загрязненного и очищенного газозвушных потоков.

Предлагаемое устройство содержит металлический цилиндрический корпус, состоящий из трех герметично соединенных блоков, разделенных горизонтальными перегородками: технологического, сепарационного и блока-поддона.

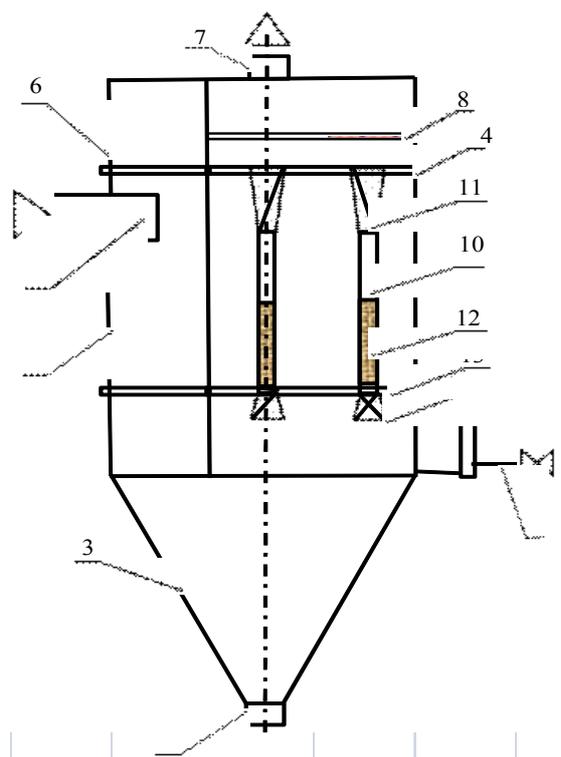


Рис. 3. Схема устройства абсорбционного типа:

- 1 – патрубок входа; 2 – технологический блок-модуль;
- 3 – блок-поддон с жидким сорбентом; 4 – патрубок слива отработанного сорбента; 5 – регулятор подачи и поддержания уровня жидкости; 6 – сепарационный блок;
- 7 – патрубок выхода очищенного потока газа;
- 8 – пластинчатый сепаратор; 9 – конфузоры;
- 10 – контактные трубчатые камеры; 11 – диффузоры;
- 12 – насыпные насадки (седла Берля, кольца Рашига);
- 13, 14 – горизонтальные перегородки

Fig. 3. Plot of the device absorption type:

- 1 – inlet nozzle (entrance); 2 - process flow module; 3 - block pallet with a liquid sorbent; 4 - drainage pipe having used sorbent; 5 - control supply and maintain the liquid level;
- 6 - separation module; 7 - outlet nozzle purified gas stream;
- 8 - plate separator; 9 - confusers; 10 - contact tubular chamber;
- 11 - diffusers; 12 - Bulk packing (Berl saddles, Raschig rings);
- 13, 14 - horizontal partitions

Проведенный теоретический анализ процесса абсорбции паров бензина в предложенном устройстве показал, что получаемое описание процесса достаточно сложно для практического использования и требует экспериментального установления ряда параметров. При этом необходимо определять эффектив-

ный коэффициент диффузионного объемного перемешивания жидкости в направлении ее движения D , исходя из среднего времени пребывания в аппарате $\bar{\tau}$, а также интегральный кинетический параметр абсорбции паров. Для упрощения практического применения и расчета абсорбции паров бензина в устройстве предложенной конструкции были изучены его работа и эффективность улавливания углеводородов с получением регрессии в зависимости от ряда параметров устройства.

Экспериментальные исследования проводились в промышленных условиях на стенде, схема которого показана на рис. 4. Основу установки составил аппарат предложенной конструкции, изготовленный из оргстекла, в полномасштабном (М 1:1) исполнении с сохранением геометрических размеров, соотношений и форм реального (промышленного) устройства. Контактные камеры имеют диаметр 80 мм.

Через патрубок выхода очищенного воздуха в сепарационном блоке экспериментальный образец подключен к вентилятору, работа которого обеспечивает разрежение в аппарате.

В качестве абсорбентов при проведении экспериментальных исследований использовались мазут и керосин.

Для поддержания уровня жидкого сорбента в блоке-поддоне предусмотрен регулятор подачи. Уровень сорбирующей жидкости в блоке-поддоне фиксировался визуально. Высота заполнения контактных камер жидким поглотителем оценивалась по шкале делений, нанесенной на стенки камеры.

Аэродинамическое сопротивление аппарата определялось по разности давлений, измеряемых с помощью электронного микроманометра ЭПМ ЛТА.

Для определения концентрации паров бензина в паровоздушной смеси, подаваемой на очистку и после аппарата, использовался хроматограф «Цвет-500М» [7, 10]

Расход паровоздушной смеси регулировался с помощью шибера.

Температура, барометрическое давление и относительная влажность воздуха замерялись с помощью ртутного термометра расширения с ценой деления 0,1 °С, барометра анероида и психрометра.

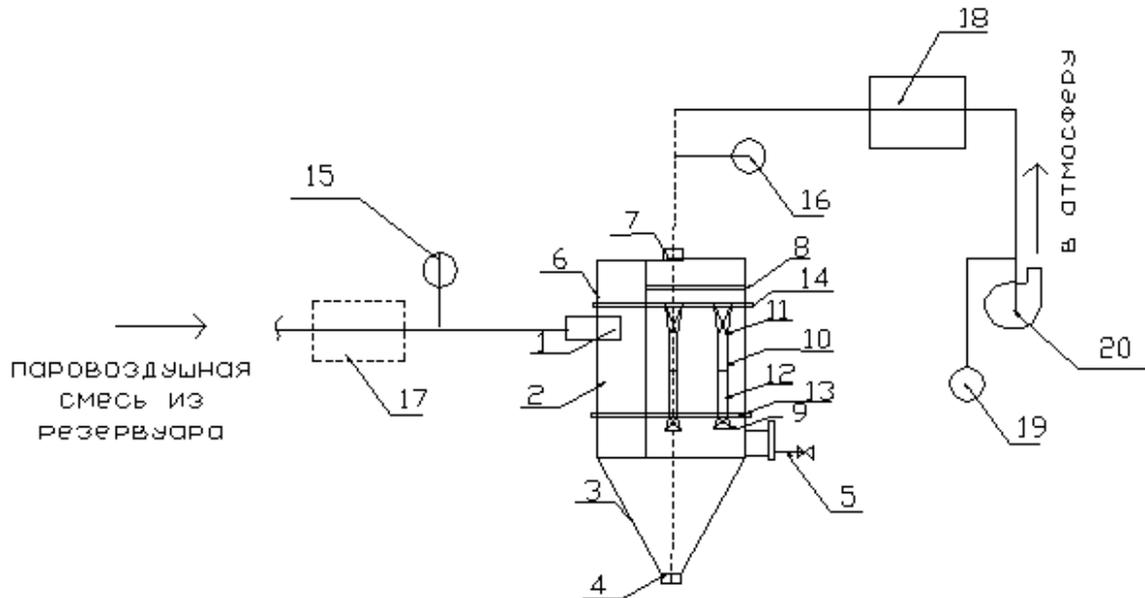


Рис. 4. Схема экспериментальной установки.

1 – патрубок входа; 2 – технологический блок-модуль; 3 – блок-поддон с жидким сорбентом; 4 – патрубок слива отработанного сорбента; 5 – регулятор подачи и поддержания уровня жидкости; 6 – сепарационный блок; 7 – патрубок выхода очищенного потока газа; 8 – пластинчатый сепаратор; 9 – конфузур; 10 – контактные трубчатые камеры; 11 – диффузоры; 12 – насыпные насадки (седла Берля); 13, 14 – горизонтальные перегородки; 15, 16 – измерительный комплекс для определения расхода и давления; 17, 18 – измерительный комплекс для определения концентрации; 19 – дистанционно-управляемый шиббер; 20 – вентилятор

Fig. 4. The experimental setup scheme:

1 – inlet nozzle (entrance); 2 – process flow module; 3 – block pallet with a liquid sorbent; 4 – drainage pipe used sorbent; 5 – control supply and maintain the liquid level; 6 – separation unit; 7 – outlet purified gas stream nozzle (exit); 8 – plate separator; 9 – confusers; 10 – contact tubular chamber; 11 – diffusers; 12 – bulk packing (Berl saddles); 13, 14 – horizontal partition; 15, 16 – measurement system for measuring (determining) the flow rate and pressure; 17, 18 – measurement system to measure the concentration; 19 – remote-controlled gate; 20 – fan (ventilator)

При проведении экспериментальных исследований по оценке характеристик предложенного абсорбционного аппарата для улавливания паров бензина был реализован полный факторный эксперимент 2^n (n – число факторов) [11]. В качестве определяющих факторов были приняты: \bar{v}_k – скорость очищаемой паровоздушной смеси в контактной камере, отнесенная к 1 м/с ; \bar{h}_3 – высота насыпной загрузки в контактной камере, отнесенная к высоте контактной камеры; $\bar{h}_ж$ – уровень подъема жидкого сорбента в контактной камере, отнесенный к высоте контактной камеры.

Определяющие факторы приведены к виду [11–13]:

$$x_1 = \frac{\bar{v}_k - \bar{v}_{k0}}{\Delta \bar{v}},$$

$$x_2 = \frac{\bar{h}_3 - \bar{h}_{30}}{\Delta \bar{h}_3},$$

$$x_3 = \frac{\bar{h}_ж - \bar{h}_{ж0}}{\Delta \bar{h}_ж}.$$

В качестве функций отклика рассматривались степень улавливания паров бензина и аэродинамическое сопротивление аппарата.

Степень улавливания оценивалась как отношение массы уловленных паров к массе паров, содержащихся в паровоздушной смеси, поступающей на очистку:

$$\eta = \frac{M_1 - M_2}{M_1}, \quad (7)$$

где M_1, M_2 – масса паров бензина до и после аппарата соответственно, г.

В свою очередь

$$M = cL, \quad (8)$$

где c – концентрация паров, мг/м^3 ; L – расход паровоздушной смеси, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$v_k = \frac{L}{3600N \frac{\pi D_k^2}{4}} = \frac{L}{18,086N}, \text{ м/с}, \quad (9)$$

где D_k – диаметр контактной камеры, м; N – число контактных камер, шт.

Адекватность полученных регрессионных зависимостей и значимость коэффициентов в них оценивались по критериям Фишера и Стьюдента соответственно посредством сравнения расчетных значений этих величин с табличными [11]. Полученные результаты при статистической обработке показали, что линейная модель с недостаточной степенью точности описывает процесс, и, следовательно, неадекватна. С учетом этого был сделан вывод о необходи-

мости аппроксимации модели полиномом второго порядка. Результаты экспериментальных исследований по оценке характеристик предложенного абсорбционного аппарата в рабочих режимах приведены в таблице 2 (4-й и 5-й столбцы демонстрируют три уровня подъема сорбента в контактной камере, который устанавливался в каждом аэродинамическом режиме и фиксировался визуально).

Результаты экспериментальных исследований

Таблица 2

The results of experimental studies

Table 2

Расход паровоздушной смеси, подаваемой на очистку, $L, m^3/ч$	Скорость потока в контактной камере, g_k	Высота насыпной загрузки в контактной камере, \bar{h}_3	Уровень подъема сорбента в контактной камере, $\bar{h}_ж$	Степень улавливания паров, η
1	2	3	4	5
жидкий сорбент – мазут				
145	1	0,5	0	83,0
			0,25	83,5
			0,5	83,5
145	1	0,8	0	90,7
			0,25	91,1
			0,5	91,1
360	2,5	0,5	0	85,4
			0,25	86,0
			0,5	86,4
360	2,5	0,8	0	93,3
			0,25	93,5
			0,5	94,0
580	4	0,5	0	87,1
			0,25	87,3
			0,5	87,9
580	4	0,8	0	95,0
			0,25	95,2
			0,5	95,3
жидкий сорбент – керосин				
145	1	0,2	0	80,7
			0,25	81,0
			0,5	81,1
145	1	0,5	0	82,8
			0,25	83,0
			0,5	83,2
145	1	0,8	0	90,5
			0,25	90,7
			0,5	90,7
360	2,5	0,5	0	85,0
			0,25	85,7
			0,5	86,0
360	2,5	0,8	0	93,1
			0,25	93,3
			0,5	93,7
580	4	0,5	0	86,8
			0,25	87,2
			0,5	87,5
580	4	0,8	0	94,8
			0,25	95,0
			0,5	95,3



Результаты и обсуждение

1. На основе проведенного анализа выполненных расчетов принятой к исследованию выборке АЗС, расположенной в г. Ставрополе, для высоты источника $H = 3$ м и $H = 5$ м можно сделать следующий вывод. Измеренные концентрации ингредиентов бензола (602) и ксилола (С616) в контрольных точках на границе жилой застройки и СЗЗ значительно превосходили расчетные значения в двух принятых вариантах с высотой источника АЗС $H = 3$ м и $H = 5$ м. При расположении АЗС в недостаточной степени аэрируемых воздухом жилых кварталах было отмечено большее расхождение в результатах расчетного и натурного мониторинга. Для расчета значений концентраций тяжелых углеводородов в контрольных точках жилой застройки в пределах границы СЗЗ предпочтительнее принимать высоту источника $H = 3$ м (фактическую). Для определения величин концентраций тяжелых углеводородов в контрольных точках на границе СЗЗ (50 м и более) для получения более точных, совпадающих с данными натурных измерений, предпочтительнее принимать высоту источника $H = 5$ м.

По результатам математической обработки данных экспериментальных исследований по оценке характеристик предложенного абсорбционного аппарата в рабочих режимах получены уравнения регрессии:

- при использовании мазута в качестве жидкого сорбента

$$\eta = 0,8 + 0,028\bar{v}_k(1 - 0,1\bar{v}_k) + 0,14\bar{h}_3(2,16\bar{h}_3 - 1) + 0,148\bar{h}_ж(\bar{h}_ж - 0,15); \quad (10)$$

- при использовании керосина в качестве жидкого сорбента

$$\eta = 0,798 + 0,028\bar{v}_k(1 - 0,1\bar{v}_k) + 0,14\bar{h}_3(2,16\bar{h}_3 - 1) + 0,148\bar{h}_ж(\bar{h}_ж - 0,15). \quad (11)$$

2. При средней эффективности улавливания в 90 % достигается соответствующее значение снижения выбросов. При этом концентрации ингредиентов, в т. ч. бензола (602) и ксилола (С616), в контрольных точках на границе жилой застройки и СЗЗ при расчетном и натурном мониторинге также соответственно уменьшались. Данная опытно-промышленная установка прошла успешное испытание на одной из АЗС Ставрополя.

Заключение

1. Наличие жилой застройки в пределах границы СЗЗ, превышение в контрольных точках на границе застройки значений $C_{пдк}$ для концентраций тяжелых

углеводородов предполагает проведение на АЗС комплекса природоохранных мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Технологические мероприятия, например, исключение одновременного слива топлива из двух автоцистерн-заправщиков, не обеспечивают снижения концентраций углеводородов бензина на границе СЗЗ (см. рис.1 и 2). При этом для АЗС, в пределах границы СЗЗ которых расположена жилая застройка, целесообразно устанавливать системы улавливания паров углеводородов, в частности с использованием предложенного устройства. При этом существенно снижаются выбросы загрязняющих веществ АЗС в атмосферу в среднем на 90 %.

2. Вместе с тем при разработке методической литературы и программ расчета («Эколог», «Эко-Центр» и т.п.) следовало бы вводить коэффициент, интегрально учитывающий влияние плотности стратифицирующихся веществ, таких как тяжелые углеводороды выбросов АЗС. Кроме того, целесообразно реализовать возможность аппроксимации неорганизованных источников выбросов более сложными геометрическими примитивами, более точно повторяющими, например, границы территории АЗС. Это особенно актуально для случая нахождения жилой застройки в пределах границы СЗЗ АЗС и тому подобных объектов.

Список литературы

1. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. СПб: Интеграл, 1997.
2. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. Дополнение. НИИ «Атмосфера», СПб: «Интеграл», 2002.
3. Соколова Е.В. Повышение экологической безопасности городских автозаправочных станций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.19. Волгоград, 2013.
4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: ГГО им. Воейкова, Гидрометеиздат, 1987.
5. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: НИИ «Атмосфера». 2012. Строительная климатология. СНИП 23-01-99 г. М.: 2000.
6. Кошкарев С.А., Соколова Е.В. Анализ эффективности методов снижения выбросов паров тяжелых углеводородов АЗС с использованием результатов моделирования их рассеивания в атмосфере // Международный научный журнал «Альтернативная



энергетика и экология» (ISJAEE). 2013. № 11(133). С. 52–55.

7. Кошкарев С.А. Непрерывная сушка дисперсных материалов в аппаратах лотковой и цилиндрической формы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. СПб., 1992. 20 с.

8. Мишина Л.А. Методы химического, физико-механического и метрологического контроля. Л.: Недра, 1998. 192 с.

9. Патент №139122 Россия МКИ В 01 Д 47/02. Устройство для очистки газов / Кошкарев С.А., Азаров В. Н. и др. // Заявка № 2013138200/05; Заявлено 15.08.2013. Оpubл. бюллетень № 10, 10.04.2014.

10. Другов Ю.С. Березин В.Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха. М.: Химия, 1981. 265 с.

11. Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 2007. 320 с.

12. Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента. Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. 60 с.

13. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента. М.: Мир, 1981. 520 с.

References

1. Metodické ukazaniá po opredelení vybrosov zagrâznâših vešestv v atmosferu iz rezervuarov [Methodological guidelines for calculation emissions of pollutants into the atmosphere from tanks]. St. Petersburg: Integral Publ., 1997.

2. Metodické ukazaniá po opredelení vybrosov zagrâznâših vešestv v atmosferu iz rezervuarov [Methodological guidelines for calculation emissions of pollutants into the atmosphere from tanks]. Addition. NII «Atmosfera» Publ., St. Petersburg: «Integral» Publ., 2002.

3. Sokolova E.V. Povyšenie êkologičeskoj bezopasnosti gorodskih avtozapravočnyh stancij [Increasing greening safety the city's gas stations]: PhD thesis abstract (techniques): 05.23.19: Volgograd, 2013.

4. OND-86. Metodika raščeta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh vešestv, soderžaših v vybrozah predpriátij [Method of calculating the concentration in the air of harmful substances in industrial emissions]. Leningrad: GGO im. Voejkova, Gidrometeoizdat, 1987.

5. Metodické posobie po raščetu, normirovaniú i kontrolú vybrosov zagrâznâših vešestv v atmosferyj vozduh [Guidelines on the calculation, regulation and control of emissions of pollutants into the air]. St. Petersburg: NII «Atmosfera» Publ., 2012. Stroitel'naja klimatologija. SNIp 23-01-99. Moscow: 2000.

6. Koshkarev S.A., Sokolova E.V. Analiz êffektivnosti metodov sniženiá vybrosov parov tâželyh uglevodorodov AZS s ispol'zovaniem rezul'tatov modelirovaniá ih rassevaniá v atmosfere [Analysis of the effectiveness of methods to reduce vapor emissions of heavy hydrocarbon gas stations using results of atmospheric stratification dispersion modeling]. *International Scientific Journal "Alternative Energy and Ecology" (ISJAEE)*, 2013, no. 11(133), pp. 52–55.

7. Koshkarev S.A. Npreryvnaâ suška dispersnyh materialov v apparatah lotkovej i cilindričeskoj formy [Continuous drying of dispersed materials in the device tray and cylindrical shape]: PhD thesis abstract (techniques): 05.17.08. SPb., 1992. 20 p.

8. Mishina L.A. Metody himičeskogo, fiziko-mehaničeskogo i metrologičeskogo kontrolâ [Methods of chemical, physical, mechanical and metrological control]. L.: Nedra Publ., 1998. 192 p.

9. Koshkarev S.A., Azarov V.N., et al. Ustrojstvo dlâ očiŝtki gazov. Patent №139122 RF, MКИ V 01 D 47/02. Zajavka № 2013138200/05. Opubl. bjulleten' № 10 10.04.2014.

10. Drugov Ju.S. Berезin V.G. Gazohromatografičeskij analiz zagrâznennogo vozduha [Gas chromatographic analysis of air pollution]. Moscow: Himija Publ., 1981. 265 p.

11. Ermakov S.M. Matematičeskaâ teoriâ optimal'nogo êksperimenta [Mathematical theory of optimal experiment]. Moscow: Nauka Publ., 2007. 320 p.

12. Batrak A.P. Планирование и организация эксперимента [Planning and organization of the experiment]. Krasnoyarsk: IPC SFU Publ., 2007. 60 p.

13. Dzhonson N. [Johnson N.]. Statistika i planirovanie êksperimenta v tehnikе i nauke. Metody planirovaniá êksperimenta [Statistics and experimental design in engineering and science. Methods of planning design' experiments]. Moscow: Mir Publ., 1981. 520 p.

Транслитерация по ISO 9:1995

