

УДК 661.937.614.83

А.Б. Ленский, А.А. Крикунов

ЗАО «НПП Криосервис», ул. Пушкинская, 7, стр. 1, г. Балашиха Московской обл., РФ, 143900

e-mail: cryoservice@list.ru

И.Р. Бегиев, А.С. Андросов

Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, ул. Б. Галушкина, 4, г. Москва, 129301

КРИОГЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Выбросы в атмосферу паров нефти и нефтепродуктов из надтопливных пространств резервуаров нефтехранилищ и автомобильных заправочных станций загрязняют окружающую среду при их заполнении. Выбросы нефтепродуктов ухудшают экологическую обстановку, могут создавать взрывопожарную опасность. Сообщается о создании установки «Кедр» для улавливания паров бензина и других нефтепродуктов, вытесняющихся из резервуаров нефте- и бензохранилищ при сливе в них нефтепродуктов. Пары конденсируются при температуре ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в специальном теплообменнике за счёт испарения жидкого азота, который после подогрева направляется в надтопливные пространства резервуаров, создавая там безопасную азотнобензиновую среду. Установка позволяет сконденсировать и вернуть в виде товарного топлива 95-98 % выбрасываемых паров бензина. Для уменьшения потребления жидкого азота предусмотрено предварительное охлаждение паров с помощью холодильных машин. В настоящее время в Москве и других городах России функционируют более 10 таких установок, комплексно решающих задачу возврата в оборот дорогостоящего топлива, обеспечения промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: Нефть. Бензин. Пары нефтепродуктов. Жидкий азот. Автомобильные заправочные станции. Конденсация. Установка «Кедр». Улавливание. Безопасность. Экология.

A.B. Lenskiy, A.A. Krikounov, I.R. Begishev, A.S. Androsov

THE CRYOGENIC TECHNOLOGIES OF FIRE, EXPLOSION AND ENVIRONMENTAL SAFETY FOR PETROL AND OIL PRODUCTS STORAGE

The pollutant emission of petrol and oil products vapors to the atmosphere from the volume above the liquid fuel surface in petrol and oil products storage tanks and refueling stations happens during the tanks' refilling. The oil products emissions deteriorate the environmental situation, they may result into explosion and fire danger. The «Kedr» installation intended for benzine and other oil products' vapors catching is described. Such vapors are supplanted and forced out from the tanks during their refilling with oil products. The vapors are condensed at $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ in a specially provided heat exchanger due to evaporation of liquid nitrogen which is directed after its heating into the volume above the fuel surface and thus creates a safe nitrogen-benzine mixture. This installation permits to condense and to get back the merchandise quality of up to 95-98 % of emitted benzine vapors. In order to reduce the liquid nitrogen consumption the installation is able to precool the vapors with refrigerating machines. Actually in the city of Moscow and other Russian cities more that 10 such installations are helping not only to resolve the complexe task of returning and reusing of an expensive fuel, but to assure in the same time the productional safety and the environment protection.

Keywords: Petrol. Benzine. Oil products vapors. Liquid nitrogen. Refueling stations. Condensation. «Kedr» installation. Vapor catching. Safety. Environment protection.

1. ВВЕДЕНИЕ

При заполнении опорожненных (частично или

полностью) резервуаров хранилищ нефтепродуктов из транспортных заправщиков, не оборудованных системой сбора паров, происходит выброс в атмосферу па-

ров нефтепродуктов, образовавшихся в надтопливных пространствах резервуаров при хранении и раздаче нефтепродуктов. Например, при заполнении резервуаров бензозаправочных станций, с каждым кубическим метром воздушнобензиновой смеси в атмосферу выбрасывается от 0,5 до 1,5 кг бензина в зависимости от времени года и температуры окружающей среды. При заполнении только одной цистерны ёмкостью 20 м³ выброс бензина в атмосферу может составить до 30 кг. При очевидных экономических потерях этот процесс наносит существенный ущерб окружающей среде и может вызвать ряд заболеваний дыхательных органов, в том числе и онкологического характера. Несложные расчёты, выполненные для Москвы, где по данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды Правительства Москвы [1] годовой оборот только в 2002 г. моторного топлива составил около 4 млн. т, показывают, что в атмосферу города за указанный год было выброшено не менее 7,5 тыс. т бензина. И это при эксплуатации только АЗС без учёта выбросов из базовых бензохранилищ и нефтеперерабатывающего завода.

По данным того же Департамента загрязнение атмосферы парами бензина является вторым по значимости источником загрязнения окружающей среды городов. В связи с этим, в августе 2002 г. вышло постановление Правительства Москвы № 663-ПП «О мерах по предотвращению выбросов паров моторного топлива в окружающую среду на объектах топливного рынка г. Москвы на период до 2010 года». Этим постановлением:

1. Утверждены и введены в действие с 01.09.2002 г. «Правила предотвращения выбросов паров моторного топлива в окружающую среду на объектах топливного рынка г. Москвы», а также планы-графики оснащения существующих, планируемых к реконструкции и вновь строящихся АЗС системами улавливания паров моторного топлива за счёт средств их владельцев.

2. Запрещено продление разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферу предприятиям топливного рынка (АЗС, АЗК, нефтяные терминалы) и согласование проектов на строительство и реконструкцию этих объектов без мероприятий по оснащению объектов системами улавливания паров моторного топлива.

Министерством промышленности и энергетики РФ внесены изменения в Правила технической эксплуатации АЗС, которыми вводятся обязательные меры по улавливанию паров моторного топлива [2].

Современная система переработки и доставки потребителю нефтепродуктов, используемая в экономически развитых странах, предусматривает сбор паров нефтепродуктов на всех стадиях их движения от нефтеперерабатывающих заводов до баков автомобилей. В таких странах уже более десяти лет действуют государственные программы по обеспечению экологической безопасности хранения и транспортирования нефтепродуктов. Согласно этим программам пары нефтепродуктов не выбрасываются в атмосферу, а на-

оборот при любой операции перелива забираются (передавливаются) в опорозняющиеся ёмкости. Любая цистерна, привозящая бензин на АЗС, соединяется с хранилищем бензина двумя заправочными шлангами — по жидкости и по газу. В России, Украине и других странах бывшего СССР до сих пор применяются старые бензозаправщики, в которых не предусмотрена возможность улова паров нефтепродуктов.

Реализация подобных мероприятий в России и Украине потребует доработки всего устаревшего парка железнодорожных и автомобильных цистерн для перевозки бензина, базовых бензохранилищ и резервуаров автозаправочных станций. Такая модернизация необходима. Однако, очевидно, что её осуществление потребует масштабного финансирования и значительных затрат времени. Вряд ли такую программу удастся осуществить в ближайшие годы. Проблемой же экологической безопасности нефтехранилищ и при всё более увеличивающемся парке автозаправочных станций необходимо заниматься уже сегодня.

2. СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Разработанная ЗАО «НПП Криосервис» и введенная более 5 лет тому назад установка «Кедр» позволяет решить данную проблему в сжатые сроки. Принцип действия этой установки заключается в отделении нефтепродуктов от воздуха (азота) при заполнении топливных резервуаров или цистерн путём охлаждения паров до их конденсации и в дальнейшем использовании сконденсированных паров в виде товарного топлива.

В настоящее время используются также и адсорбционные установки для улавливания паров нефтепродуктов, где в качестве сорбента применяется активированный уголь. При очевидном их достоинстве — простоте — эти установки обладают рядом недостатков. Среди них — невысокая степень очистки паров нефтепродуктов (не более 60 %) [3], а также невозможность регенерации адсорбента в условиях реальной эксплуатации. На практике адсорбционные патроны, насыщенные нефтепродуктами, попросту сжигают.

Проведённые на этапе разработки конструкторской документации установки «Кедр» теоретические исследования и практические испытания, выполненные НПП «Криосервис», показали, что конденсация паров нефтепродуктов (при извлечении их до 95 % и более) происходит в области температур, лежащих ниже -50°C . Применение жидкого азота для конденсации паров нефтепродуктов позволяет, кроме охлаждения, использовать пары испарившегося азота для заполнения надтопливных пространств резервуаров (цистерн) для создания там инертной взрыво- и пожаробезопасной среды. В основу установки «Кедр» заложена идея известного инженера-конструктора в области криогенной техники В.Н. Криштала.

Установка состоит из следующих частей (см. рис. 1):

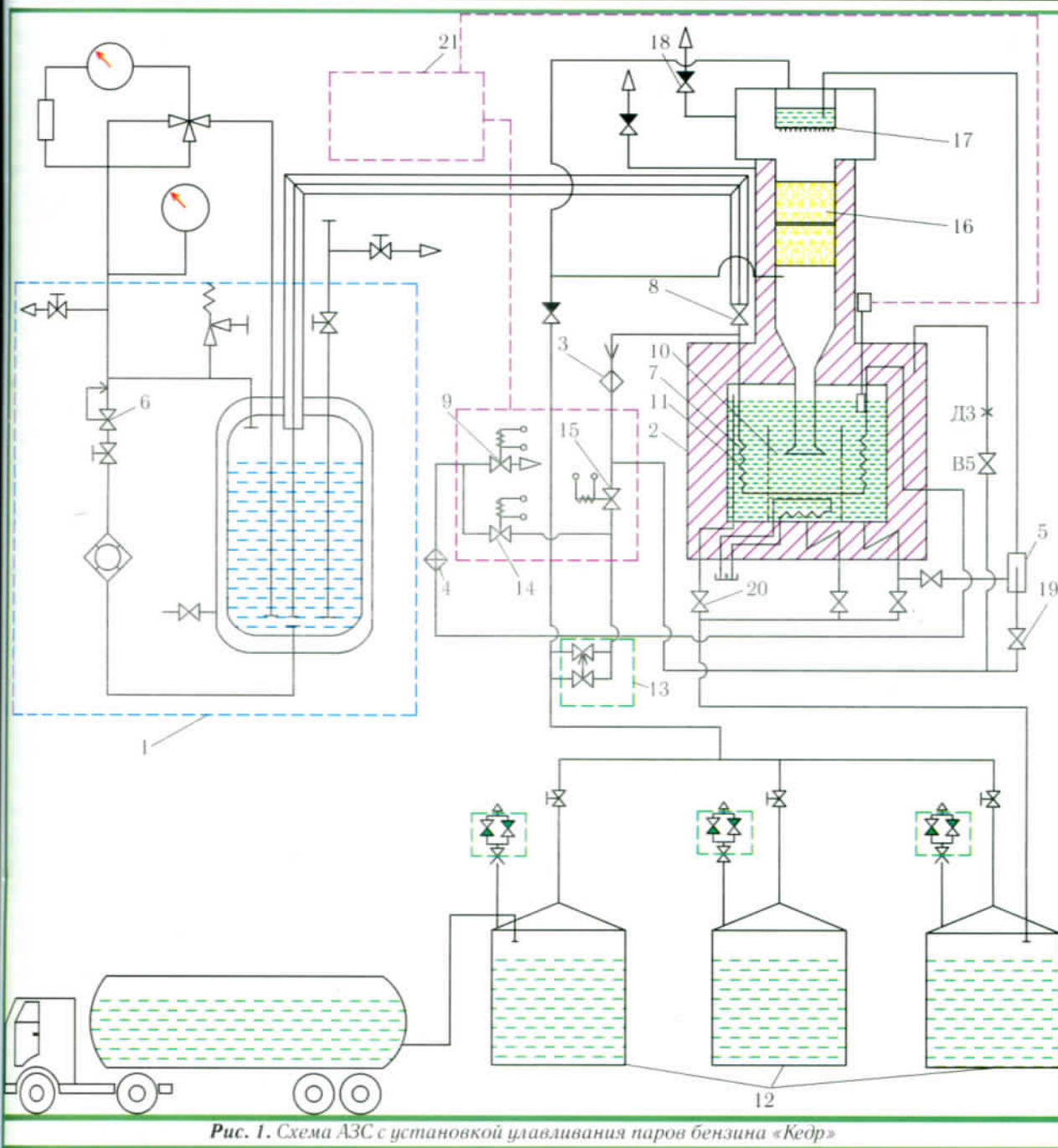


Рис. 1. Схема АЗС с установкой улавливания паров бензина «Кедр»

- цистерна 1 с жидким азотом;
- конденсатор паров нефтепродуктов 2;
- атмосферные испарители 3,4;
- газлифтное устройство 5;
- шкаф управления 21;
- запорная, регулирующая и предохранительная арматура.

В цистерне 1, заполненной жидким азотом, устанавливается рабочее давление $P_{зад} = 0,5 \pm 0,15$ бар, которое автоматически поддерживается с помощью регулятора давления 6.

При открытии вентиля 8 жидкий азот из цистерны 1 поступает в теплообменник 7 конденсатора паров нефтепродуктов 2, заранее заполненного бензином. В теплообменнике 7 жидкий азот испаряется, охлаждая бензин. Образовавшийся газообразный азот подогревается в испарителе 4 до температуры не ниже

-30 °С и через электромагнитный клапан 9 выбрасывается в атмосферу.

При охлаждении бензина до -50 °С в полостях 10 и 11 конденсатора электромагнитный клапан 9 закрывается.

При принудительной выдаче бензина из резервуаров 12 в баки автомобилей и при понижении в них давления автоматически открывается регулятор давления 13. После этого газообразный азот из испарителя 4 через открытый электромагнитный клапан 14 поступает в газовую полость резервуаров 12, компенсируя объём выданного бензина и создавая в резервуаре пожаро-взрывобезопасную газовую смесь.

При охлаждении бензина в полостях 10 и 11 до температуры -55 °С с целью предотвращения его замерзания в конденсаторе, электромагнитный клапан 14 закрывается. Затем открывается электромагнит-

ный клапан 15, и жидкий азот поступает в атмосферный испаритель 3, где подогревается до температуры -30°C и через регулятор давления 13 подаётся в полость резервуаров 12.

При сливе бензина из автозаправщиков в резервуары 12 пары бензина в смеси с другими газами (парами) из резервуаров 12 попадают под насадку регенератора 16. Проходя через насадку, которая орошается охлажденным бензином, поступающим струйками из душирующего устройства 17, пары бензина конденсируются и стекают вниз во внутренний сосуд блока теплообменников. Содержащиеся в газовой смеси пары воды проходят через насадку регенератора, где охлаждаются, конденсируются, кристаллизуются и вместе с потоком бензина также поступают во внутренний сосуд. Очищенная от паров бензина газовая смесь через обратный клапан 18 сбрасывается в атмосферу.

Охлажденный бензин циркулирует внутри блока теплообменников с помощью газлифтного устройства с газовым насосом, который включается в работу при открытии вентиля 19 за 1-2 мин. до начала слива бензина из автозаправщика в резервуары АЗС 12. При этом газообразный азот, поступающий из испарителя 3 в газлифт 5 под избыточным давлением, устремляется вверх в душирующее устройство 17, увлекая за собой холодный бензин из внутреннего сосуда блока теплообменников. По окончании слива бензина вентиль 19 закрывается. При повышении уровня бензина в блоке теплообменников бензин через переливное устройство и открытый вентиль 20 сливается в один из резервуаров 12.

Обеспечение взрывопожарной безопасности хранилищ нефти и нефтепродуктов является приоритетным направлением в области промышленной безопасности производственных объектов. Особую опасность представляют резервуары, в которых хранятся нефть и нефтепродукты с повышенным содержанием сернистых соединений. В результате коррозии резервуарной стали в присутствии сероводорода на внутренней поверхности стенок резервуаров образуются так называемые пирофорные соединения, способные к самовозгоранию в газовой среде, содержащей кислород. Самовозгорание пирофорных отложений в резервуарах довольно часто приводит к пожару.

Одним из способов обеспечения взрывопожаробезопасности технологических процессов добычи и хранения нефти и нефтепродуктов является введение в парогазовоздушную среду инертных разбавителей-флегматизаторов, которые препятствуют образованию взрывопожароопасных смесей.

Нами был проведен подробный технико-экономический анализ различных способов создания инертной среды с оценкой капитальных и эксплуатационных затрат. На основании сравнительного анализа был сделан вывод о том, что наиболее предпочтительным для обеспечения взрывопожарной безопасности является способ с использованием газообразного азота, получаемого либо газификацией жидкого азота, либо с помощью установок короткоциклового адсорбции или мембранных установок.

Взрывопожароопасная ситуация может возникнуть в паровоздушной среде при определенной концентрации горючего вещества и наличии инициатора горения [4]. В хранилищах нефтепродуктов горючей средой являются пары нефтепродуктов, которые всегда присутствуют над зеркалом жидкости в определенной концентрации, зависящей от природы жидкости и её температуры. Основными же инициаторами пламени, как известно, могут служить удары молнии, накопленные статические заряды, открытые источники пламени, самовозгораемые в воздушной среде пирофорные соединения и др.

Расчёт удельного содержания насыщенных паров бензина в газовых пространствах резервуаров применительно к климатическим условиям Москвы и Московской области в зависимости от температуры окружающей среды показывает, что содержание паров бензина может изменяться в пределах от 0,5 до 1,5 кг/т продукта, а среднее значение достигать 0,9 кг/т. При этом, по высоте газовых пространств резервуаров концентрация паров бензина может изменяться от нуля до равновесных значений в зависимости от скорости диффузии молекул бензина в воздух.

Источником кислорода в резервуарах-хранилищах нефтепродуктов является воздух, поступающий в них через дыхательные клапаны, которые согласно [5] должны обязательно быть установлены на всех резервуарах с нефтепродуктами. На рис. 2 показана диаграмма зависимости концентрационных пределов воспламенения паров бензина от содержания инертного газа в смеси. Как видно, при отсутствии инертного газа область взрывоопасных концентраций находится в пределах от 1,4 % до 7,5 %. Сопоставление возможных концентраций паров бензина в широком диапазоне со значениями пределов воспламенения показывает, что надтопливные пространства резервуаров с нефтью и нефтепродуктами при поступлении воздуха в них через дыхательные клапаны являются пожароопасными. Из данных по возможным и предельным концентрациям паров бензина следует, что без применения специальных мер в хранилищах и резервуарах с нефтью и нефтепродуктами вероятность создания взрывопожарной ситуации достаточно высока.

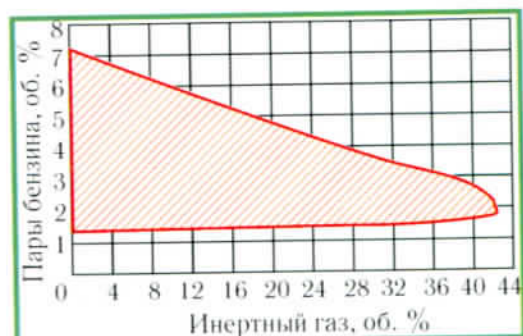


Рис. 2. Пределы воспламенения (по Джонсу и Джиллиланду) паров бензина в смеси «воздух-инертный газ» [4]: заштрихованный участок — область воспламенения

Установка «Кедр» позволяет конденсировать пары топлива (выбрасываемые при работе по традиционной схеме в атмосферу) и возвращать их в оборот. Одновременно с этим обеспечивается взрывопожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами за счёт создания негорючей азотнобензиновой смеси в надтопливных пространствах.

3. СОЗДАНИЕ УСТАНОВОК «КЕДР» И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основное технологическое оборудование, комплектующее установку, выпускается отечественной промышленностью серийно (криогенные ёмкости, запорная и предохранительная арматура). Система функционирует в автоматическом режиме и не требует постоянного обслуживания, кроме периодической заправки криогенной цистерны жидким азотом, осуществляемой 1-2 раза в месяц. Это первая отечественная технологическая система, которая, реализуя требования НПБ 111-98 [6], позволяет сокращать до 25 % нормативные расстояния до соседних гражданских объектов. Установка «Кедр» отвечает требованиям Федерального закона РФ № 7 от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды по внедрению малоотходных и безотходных технологий в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, а также планированию и осуществлению мероприятий по улавливанию, утилизации, обезвреживанию выбросов вредных веществ в атмосферный воздух».

Новизна и оригинальность использованных при создании установки «Кедр» решений была защищена двумя патентами Российской Федерации.

Установка «Кедр» представлялась на таких международных конференциях как «Безопасность крупных городов», «Экологическая защита городов», а также на международных выставках, посвящённых проблемам промышленной безопасности в 2000-2003 гг. За разработку установок «Кедр» ЗАО «НПП Криосервис» в 2001 г. было награждено памятной медалью Госгортехнадзора России.

Экономический эффект от реализации бензина, конденсируемого из паров, позволяет не только компенсировать эксплуатационные расходы, но и обеспечить окупаемость капитальных затрат. Срок окупаемости зависит от объёмов продаж моторного топлива на АЗС. При суточной реализации бензина на АЗС около 20 т окупаемость составляет около 3-х лет, а при реализации 30-35 т в сутки — до 1,5 лет.

Начиная с 2000 г., были изготовлены, смонтированы и находятся в опытно-промышленной эксплуатации 11 установок «Кедр» на АЗС Москвы и по одной установке в городах Волгограде и Чебоксарах.

Используемая нами в установке «Кедр» технологическая схема успешно прошла опытную эксплуатацию.

Основным заказчиком является в настоящее время ЗАО «ТрансАЗС» (г. Москва). На 6 автозаправочных станциях этой фирмы эксплуатируются установки

нашей конструкции (см. фото 3).



а)



б)

Фото 3. Установки «Кедр» в составе автомобильных заправочных станций ЗАО «ТрансАЗС» в г. Москве: а — в районе Электрозаводского моста; б — на Ломоносовском проспекте

Установка, разработанная по заданию «Лукойл-Москва», была дополнительно оснащена системой улова паров бензина из баков автомобилей, что позволило согласовать с Главным управлением Государственной противопожарной службы (ГУГПС) МВД РФ и Санэпиднадзором Москвы размещение АЗС этой фирмы непосредственно перед многофункциональным гаражом-стоянкой на ул. Б. Екатерининская (см. фото 4).

Проведённые в 2003 г. Департаментом природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы и независимой экспертной организацией АНО «Инженерный центр экологии» [7] испытания установок «Кедр» подтвердили основные их показатели. В ходе испытаний было установлено, что суммарная концентрация загрязняющих атмосферу веществ не превышает ПДК.

Предложенная конструкция установок позволяет применять их как при строительстве новых автозаправочных станций и базовых хранилищ, так и при модернизации действующих. Установки компактны, занимают площадь от 4 до 15 м² и могут быть использованы в составе АЗС и базовых бензиновых и нефтехранилищ как с наземным, так и с подземным расположением бензиновых резервуаров.

На новую технологическую систему в соответствии с требованиями [7] разработана и согласована с

ГУПС МВД РФ типовая «Технико-эксплуатационная документация» для автозаправочных станций (АЗС), выпущены и зарегистрированы ТУ 4575-001-47-416966-01 на модификации установок «Кедр».



а)



б)

Фото 4. Внешний вид установки «Кедр» (а) в составе АЗС «Лукойл-Москва», размещённой перед многофункциональным гаражом-стоянкой (б)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установка «Кедр» одобрена и рекомендована к применению: ГУПС МВД РФ; Научно-техническим советом Госгортехнадзора РФ; Академией Государственной противопожарной службы МЧС РФ, Всероссийским НИИ охраны природы и другими проектными организациями.

В рамках совершенствования конструкции установки «Кедр» с целью экономии жидкого азота в её состав был введён холодильный агрегат, выполненный на базе компрессора фирмы «Bitzer» с холодопроизводительностью 1,8 кВт на температурном уровне -60°C . Такая усовершенствованная установка была изготовлена и смонтирована в г. Чебоксары для бензохранилища общим объёмом 2200 м^3 , включающим в себя три резервуара для разных марок бензина, железнодорожную эстакаду и эстакаду слива-налива бензина в автобензовозы.

Опыт эксплуатации созданных установок, использующих азотные технологии, позволяет рекомендовать их к дальнейшему применению для обеспечения взрывопожарной и экологической безопасности резервуарных парков АЗС, крупных нефтебаз и нефтехранилищ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое задание на разработку: «Программа предотвращения выбросов паров бензина в окружающую среду на объектах топливного рынка Московского региона». — М.: Правительство Москвы, 2002. — 3 с.
2. РД 153-39.2-080-01. Правила технической эксплуатации автозаправочных станций. — М.: ДЕАН, 2001. — 26 с.
3. Заключение № 12105-2115/396 от 13.04.2000 г. Института физической химии РАН на документацию «Установка улавливания паров топлива БА-01М для АЗС». — М.: ИФХ РАН, 2000. — 4 с.
4. **Льюис Б., Эльбе Г.** Горение, пламя и взрывы в газах. — М.: Издательство «Мир», 1968. — 640 с.
5. ПБ 09-560-03. Правила промышленной безопасности нефтебаз и складов нефтепродуктов. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 72 с.
6. НПБ 111-98, Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности. — М.: ГУПС МВД РФ, 2001.
7. Технический отчет: «Установки обеспечения экологической и пожарной безопасности УОЭПБ-«Кедр»». — М.: АНО «Инженерный центр экология», 2003. — 30 с.