

УДК 665.521.004.17 + 536.423.4

В.Ф. Греков¹, А.А. Пьянков¹, А.В. Кузнецов², Н.И. Яловой³¹ Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков² НППК «Зірка», Запорожье³ Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск

ВОЗМОЖНОСТЬ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ КОМПРЕССОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Приведен разработанный авторами способ, позволяющий практически полностью сконденсировать пары нефтепродуктов из паро-воздушных смесей.

Ключевые слова: пары нефтепродуктов, улавливание, регенерация, парогазовая смесь.

Введение

Статья содержит некоторые результаты исследований, которые ведутся в соответствии с планом мероприятий Кабинета Министров Украины и общегосударственной программой защиты атмосферного воздуха от выбросов углеводородов на 2003-2010 годы [2]. Цель исследований: внедрение технологий улавливания и регенерации паров углеводородов на объектах нефтегазового комплекса.

Анализ литературы [2 – 7] показывает, что на предприятиях нефтегазового комплекса наибольшее распространение получили системы улавливания и регенерации паров нефтепродуктов, основанные на принципах адсорбции, абсорбции, криогенного охлаждения и мембранных технологий. Системы сложны и дорогостоящи. **Целью статьи** является изложение существа способа улавливания и регенерации паров нефтепродуктов, основанного на охлаждении сжатой парогазовой смеси.

Основная часть

Состояние паро-воздушной смеси, находящейся в контакте с жидкой фазой бензина (в дальнейшем – продуктом) определяется следующими параметрами: температурой t , массой воздуха m_v и пара m_p в единице объема, полным давлением смеси P и продукто-содержанием d . Полное давление смеси равно сумме парциальных давлений воздуха P_v и пара P_p :

$$P = P_v + P_p.$$

Масса m единицы объема смеси равна сумме масс воздуха m_v и пара m_p , находящихся в этом объеме

$$m = m_v + m_p.$$

Продуктосодержание d – это отношение массы пара к массе воздуха при парциальном давлении насыщенного пара, соответствующем температуре поверхностного слоя жидкого продукта.

$$d = \left(R_v / R_p \right) \cdot \left(P_p(t) / P - P_p(t) \right),$$

где $R_p(t)$ – давление насыщенного пара при температуре t поверхностного слоя жидкого продукта; R_v и R_p – газовые постоянные воздуха и пара соответственно.

Сожмем парогазовую смесь в ε_1 раз. Давление воздуха, пара и смеси вырастет в ε_1 раз. Продуктосодержание смеси останется неизменным. Охладим эту смесь до температуры предшествующей сжатию. Продуктосодержание d_1 , которое соответствует давлению насыщенного пара, может быть определено как

$$d_1(\varepsilon_1) = \left(R_v / R_p \right) \cdot \left(P_p(t) / (P \cdot \varepsilon_1 - P_p(t)) \right).$$

Так как ε_1 больше 1, то $d_1(\varepsilon_1)$ меньше $d_1(\varepsilon_1 = 1)$. Это говорит о том, что парциальное давление пара сжатой смеси больше парциального давления пара, насыщающего данную смесь при повышенном давлении. Пар в смеси является переохлажденным, и будет выпадать в виде конденсата до тех пор, пока его продуктосодержание не сравняется с продуктосодержанием $d_1(\varepsilon_1 = 1)$.

Таким образом, сжатие паро-воздушной смеси с ее последующим охлаждением в сжатом состоянии приводит к конденсации паров продукта в газовой смеси. Это явление можно использовать для очистки парогазовой смеси от паров продукта с их возвратом в виде жидкой фазы, что приведет к уменьшению потерь продукта и загрязнения атмосферы при выбросах паро-воздушной смеси. Оценим возможности использования компрессора с этой целью.

Масса воздуха в объеме V равна

$$m_v = V \cdot (P - ps(t)) / (R_v T_n),$$

где P – давление газа до начала сжатия; $ps(t)$ – парциальное давление насыщенного пара продукта при температуре точки росы паро-воздушной смеси t ; T_n – температура газа до начала сжатия.

Масса пара m_p , оставшаяся в паровоздушной смеси после сжатия и конденсации переохлажденного пара составит

$$m_p(\varepsilon_1) = m_v d_1(\varepsilon_1).$$

Концентрация паров продукта C_p определяется как отношение количества паров продукта в кг к объему паро-воздушной смеси, приведенному к нормальному давлению

$$C_p(\varepsilon_1) = m_p(\varepsilon_1) / V,$$

где m_p – масса паров продукта; V – объем парогазовой смеси.

Рассмотрим возможности ожижения паров продукта в компрессоре, температура в холодильниках ступеней которого имеет недоохлаждение равное 10°C .

Расчет зависимости концентрации пара в паровоздушной смеси от степени сжатия выполнен для бензинов А-80, А-92, А-95 (ТУ У 00149943.501-98). Результаты расчета приведены на рис. 1 для различных начальных состояний паровоздушной смеси.

Как видно из рис. 1, концентрация пара в смеси резко уменьшается при ее сжатии. Концентрация продукта в парогазовой смеси зависит от температуры жидкого продукта и возрастает с увеличением его температуры. Это видно из рис. 1. Если сжимается парогазовая смесь при температуре продукта $+30^{\circ}\text{C}$, то до начала сжатия концентрация паров продукта в ней $C_{pk}(\varepsilon_1=1)$ составляет $1,3\text{ кг/м}^3$, то при $C_{pk}(\varepsilon_1=10) = 0,2\text{ кг/м}^3$ и при $C_{pk}(\varepsilon_1=70) = 0,03\text{ кг/м}^3$. Для достижения санитарной нормы содержания паров продукта в очищенной парогазовой смеси равной $0,03\text{ кг/м}^3$ необходимо давление после последней ступени компрессора, равное 70 ата .

Если сжимается парогазовая смесь при температуре продукта -15°C , то до начала сжатия концентрация паров продукта в ней $C_{pk1}(\varepsilon_1=1)$ составляет $0,37\text{ кг/м}^3$, то при $C_{pk1}(\varepsilon_1=10) = 0,05\text{ кг/м}^3$ и при $C_{pk1}(\varepsilon_1=16) = 0,03\text{ кг/м}^3$. Санитарная норма содержания паров продукта в очищенной парогазовой смеси достигается при давлении после последней ступени компрессора равном 16 ата . Для достижения европейских норм концентрации паров продукта после их улавливания из паровоздушной смеси даже для температуры жидкого продукта $+20^{\circ}\text{C}$ требуется компрессор, обеспечивающий давление на выходе более 50 ата . Снижение необходимого давления на выходе компрессора можно достичь путем снижения температуры сжатой парогазовой смеси. Оценим требуемую степень сжатия парогазовой смеси при интенсивном ее охлаждении.

Расчет зависимости концентрации пара в паровоздушной смеси от степени сжатия выполнен для бензинов А-80, А-92, А-95 (ТУ У 00149943.501-98). Результаты расчета приведены на рис. 2

для различных начальных состояний паровоздушной смеси.

При температуре в холодильнике -15°C требуемое давление для достижения санитарной нормы составляет 17 ата .

При температуре в холодильнике -40°C требуемое давление для достижения санитарной нормы составляет $6,8\text{ ата}$.

При температуре в холодильнике -60°C требуемое давление для достижения санитарной нормы составляет $3,6\text{ ата}$.

Охлаждение сжатой парогазовой смеси до -40°C дает возможность снизить степень сжатия до 7 ата . Это позволит использовать одноступенчатый компрессор. Ограничение максимальной температуры сжатой парогазовой смеси может быть достигнуто путем применения винтового компрессора, термодинамические процессы в котором смещаются к изотермическим.

Выводы

1. Конденсацию пара продукта из газовой смеси можно достаточно эффективно осуществить путем его последовательного сжатия в ступенях компрессора с последующим охлаждением в холодильниках ступеней.

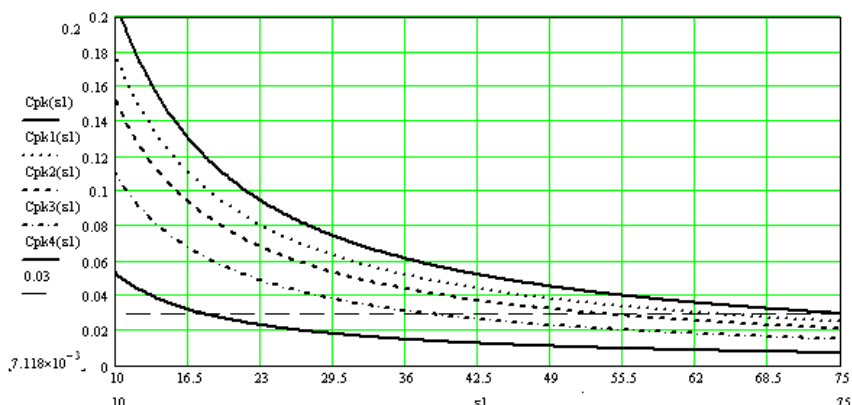


Рис. 1. Изменение концентрации пара в паровоздушной смеси в зависимости от степени сжатия ($C_{pk}(\varepsilon_1)$, при $t=30$; $C_{pk1}(\varepsilon_1)$, при $t=25$; $C_{pk2}(\varepsilon_1)$, при $t=20$; $C_{pk3}(\varepsilon_1)$, при $t=10$; $C_{pk4}(\varepsilon_1)$, при $t=-15$); горизонтальная штриховая линия соответствует концентрации $0,03\text{ кг/м}^3$

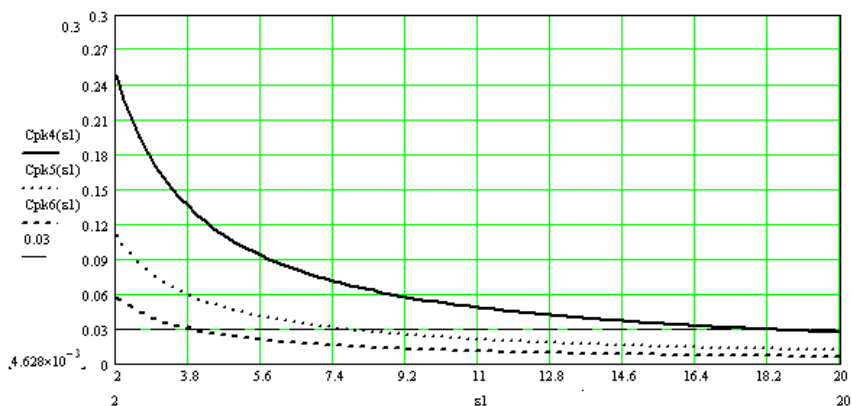


Рис. 2. Изменение концентрации пара в паровоздушной смеси в зависимости от степени сжатия и температуры холодильника ($C_{pk4}(\varepsilon_1)$, при $t = -15$; $C_{pk5}(\varepsilon_1)$, при $t=-40$; $C_{pk6}(\varepsilon_1)$, при $t=-60$)

2. Обеспечить конденсацию 97% и более исходного продукта в парогазовой смеси можно при сжатии паро-воздушной смеси до 50 ата и недоохлаждении в холодильниках ступеней около 10-15° С.

3. Обеспечить конденсацию 97% и более исходного продукта в парогазовой смеси можно при сжатии паро-воздушной смеси до 6-7 ата и охлаждении холодильников до -40° С.

4. Для охлаждения холодильников возможно использование детандера.

4. Константинов Н.Н. Борьба с потерями от испарения нефтепродуктов. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. Москва 1961.

5. Второй международный конгресс «Транзит и переработка нефти в странах СНГ и Балтии». – Одесса, 2005. – 300 с.

6. Membranowy system odzysku par benzyn na stacjach paliw. Katalog wyrobów i usług. – Krakow, 2004. – 80 с.

7. Краткий информационный отчет «Средства сокращения выбросов углеводородов из резервуаров» №01-02/1-06 от 20.03.2004. – К., 26 с.

Список литературы

1. Розпорядження Президента України. Київ. 12 червня 2002 р. №188/2002- рп.

2. Общегосударственная программа защиты атмосферного воздуха от выбросов углеводородов и диоксида серы «Чистый воздух» на 2003-2010 годы.

3. ТУ У 00149943.501-98 бензин автомобильный с повышенным концом кипения А-80, А-92, А-95.

Поступила в редколлегию 27.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Водушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МОЖЛИВІСТЬ КОНДЕНСАЦІЇ ПАРИ ВУГЛЕВОДНІВ З ПАРО-ПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ КОМПРЕСОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

В.Ф. Греков, А.А. Пьянков, А.В. Кузнецов, Н.И. Яловой

Приведений розроблений авторами спосіб, що дозволяє практично повністю сконденсувати пари нафтопродуктів з паро-повітряних сумішей.

Ключові слова: пари нафтопродуктів, уловлювання, регенерація, парогазова суміш.

POSSIBILITY OF DEVAPOARATION HYDROCARBONS FROM AIR-VAPOR MIXTURES BY OPTIONS OF COMPRESSORS

V.F. Grekov, A.A. P'yankov, A.V. Kuznetsov, N.I. Yalovoj

The method allowing practically fully to condense the fume of oil products from air-vapor mixtures developed authors is resulted.

Keywords: fume of oil products, catching, regeneration, gas-vapor mixture.