

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 потребную 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 потребное давление для достижения санитарной нормы составляет 17 ата.

При температуре в холодильнике -40°C потребное давление для достижения санитарной нормы составляет 6,8 ата.

При температуре в холодильнике -60°C потребное давление для достижения санитарной нормы составляет 3,6 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.

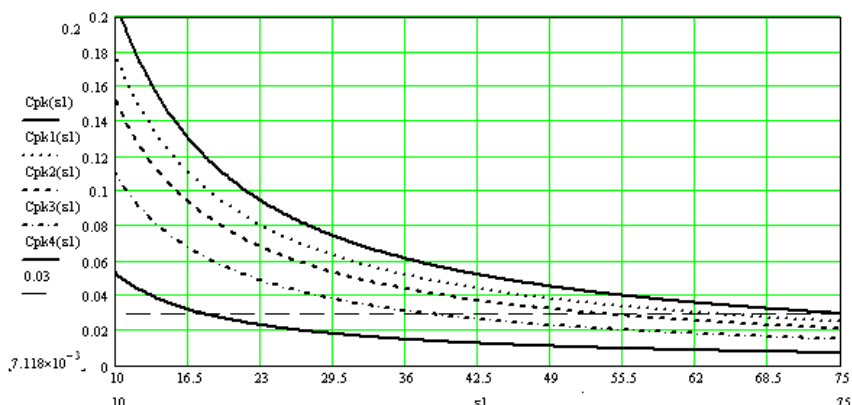


Рис. 1. Изменение концентрации пара в паровоздушной смеси в зависимости от степени сжатия ($C_{pk}(\varepsilon_1)$, при $t=30$; $C_{pk1}(\varepsilon_1)$, при $t=25$; $C_{pk2}(\varepsilon_1)$, при $t=20$; $C_{pk3}(\varepsilon_1)$, при $t=10$; $C_{pk4}(\varepsilon_1)$, при $t=-15$); горизонтальная штриховая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

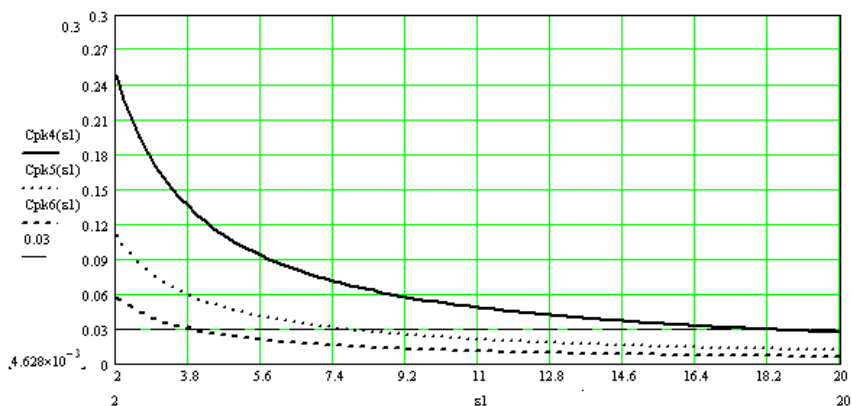


Рис. 2. Изменение концентрации пара в паровоздушной смеси в зависимости от степени сжатия и температуры холодильника ($C_{pk4}(\varepsilon_1)$, при $t=-15$; $C_{pk5}(\varepsilon_1)$, при $t=-40$; $C_{pk6}(\varepsilon_1)$, при $t=-60$)

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.