

КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫЙ КОНДЕНСАТООТВОДЧИК СИСТЕМ СЖАТЫХ ГАЗОВ

Розроблена конструкція нового конденсатовідвідника з гідравлічним затвором – капілярно-пористого. Він дозволяє здійснювати безперервний відвід рідини з систем газопостачання без втрат енергоносія. Наведені результати експериментального дослідження впливу ступеню стискання кільцевої капілярно- пористої діафрагми і перепаду тиску на її пропускову здатність.

Ключові слова: конденсатовідвідник, газопостачання, капілярно- пориста діафрагма.

Разработана конструкция нового конденсатоотводчика с гидравлическим затвором – капиллярно-пористого. Он позволяет осуществлять непрерывный отвод жидкости из систем газоснабжения без потерь энергоносителя. Приведены результаты экспериментального исследования влияния степени сжатия кольцевой капиллярно-пористой диафрагмы и перепада давления на ее пропускную способность.

Ключевые слова: конденсатоотводчик, газоснабжение, капиллярно-пористая диафрагма.

The construction of a new trap with a hydraulic gate – kipilyarno porous was made. It allows to make a continuous drainage of fluid from the gas supply system, without energy losses. They are given the results of experimental studies of the effect of degree of compression ring capillary-porous diaphragm and the pressure drop on its bandwidth.

Key words: trap with a hydraulic gate, gas supply, capillary-porous diaphragm.

Состояние вопроса. Постановка задач работы.

Сжатые газы (сжатый воздух, технический ацетилен) широко применяются на промышленных предприятиях. Для очистки газов от жидкой составляющей влаги целесообразно использовать высокоэффективные (коэффициент улавливания составляет 98...99 %) и простые, с точки зрения их изготовления, влагоотделители (сепараторы) [5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 16–18].

Отвод жидкости из поддонов влагоотделителей и воздухоохладителей компрессоров осуществляется в основном при помощи дренажных устройств с ручным управлением. Это приводит к нерациональным потерям энергоносителя и снижению энергетической эффективности систем газоснабжения. В системах технического ацетилена утечки газа в атмосферу недопустимы еще и по требованиям техники безопасности. Ацетилен – взрывоопасный газ.

Автоматический отвод конденсата в паровых системах теплоснабжения осуществляется конденсатоотводчиками с механическим затвором (поплавковые, термостатические, термодинамические) [10, 19]. Для систем сжатых газов они непригодны. Конденсатоотводчики конструктивно сложны. Наличие движущихся частей снижает надежность их работы и срок эксплуатации. Пролет энергоносителя при работе поплавковых конденсатоотводчиков может составлять до 5 % от его общего количества. Термостатические конденсатоотводчики (с эффектом памяти формы) [1] более совершенны. Пролет энергоносителя в них отсутствует. Однако в системах

сжатых газов они неработоспособны. Отсутствуют необходимые условия для их работы.

Значение конденсатоотводчиков очень велико. Потери пара только из-за неудачной конструкции конденсатоотводчиков и неправильной их эксплуатации могут достигать в среднем до 25 % от количества потребляемого пара [10, 19].

На основании вышеизложенного целью настоящей работы является решение следующих задач:

разработка принципиально новой конструкции конденсатоотводчика с гидравлическим затвором – капиллярно-пористого (основной элемент – капиллярно-пористая диафрагма), позволяющего осуществлять непрерывный отвод жидкости из элементов систем газоснабжения без потери энергоносителя;

экспериментальное исследование пропускной способности капиллярно-пористой диафрагмы в зависимости от ее степени сжатия и перепада давления.

Разработка конструкции конденсатоотводчика.

Разработан новый конденсатоотводчик с гидравлическим затвором – капиллярно-пористый. Он принципиально отличается от существующих по конструкции по принципу действия и позволяет осуществлять непрерывный отвод жидкости из систем газоснабжения без потерь энергоносителя. Разработано несколько вариантов конструкции конденсатоотводчика [2–4, 7, 15 и др]. Наиболее приемлемой для практического применения, с точки зрения надежности, является конструкция конденсатоотводчика [13], поперечный разрез которого показан на рис. 1.

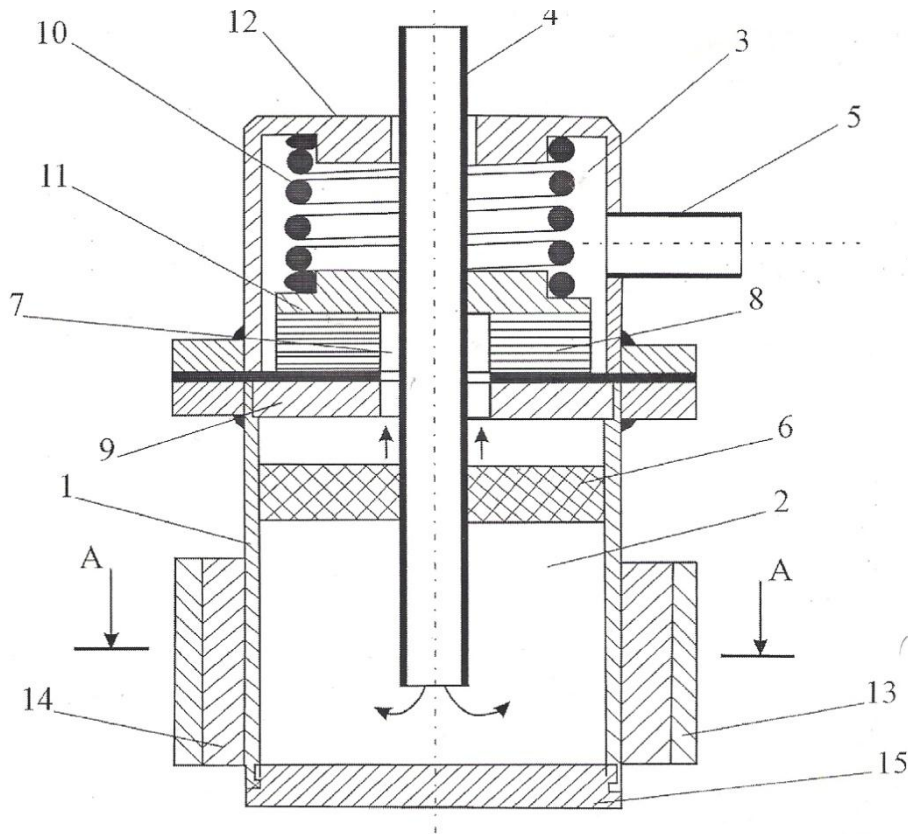


Рис. 1. Капиллярно-пористый конденсатоотводчик:

1 – корпус; 2 – участок подвода; 3 – участок отвода; 4 – патрубок подвода; 5 – патрубок отвода; 6 – фильтр; 7 – камера; 8 – набор кольцевых шайб с рифлением; 9 – перемычка; 10 – пружина сжатия; 11 – заглушка; 12 – днище; 13 – обойма; 14 – постоянные магниты.

Конденсатоотводчик состоит из корпуса 1 с участками подвода 2 и отвода 5 жидкости. Участок подвода содержит патрубок 4, отвода – патрубок 5. Участок подвода является сборником конденсата. Между участками подвода и отвода конденсата установлен фильтр 6, над которым расположено устройство для выпуска конденсата. Оно выполнено в виде камеры 7, образованной кольцевой капиллярно-пористой диафрагмой 8 и заглушкой 11. Диафрагма состоит из набора кольцевых шайб с рифлениями и центральными отверстиями. Между поверхностями шайб при сжатии образуются капиллярные каналы. Набор шайб прижат к перемычке 9, разделяющей участки подвода и отвода конденсата, цилиндрической пружиной сжатия 10. Она установлена между заглушкой 11 и днищем 12 участка отвода. На внешней поверхности корпуса, выполненного из ферромагнитного материала, в нижней части участка подвода закреплена обойма 13 с постоянными магнитами 14. Участок подвода снабжен съемным днищем 15.

Принцип действия конденсатоотводчика заключается в следующем. Конденсат вместе с загрязняющими его примесями (продукты коррозии и эрозии трубопроводов) по трубопроводу 4 поступает в участок подвода 2. Загрязняющие примеси под действием сил тяжести и магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами 14, оседают на днище 15 и стенки корпуса

в нижней части участка подвода. Конденсат под действием силы, вызванной перепадом давления, проходит через фильтр 6 и, очистившись от мелкодисперсных примесей, захваченных потоком жидкости, поступает в камеру 7. Из камеры по капиллярным каналам диафрагмы конденсат поступает в участок отвода 3 и удаляется из него через патрубок 5. Пропускная способность конденсатоотводчика зависит от проходного сечения капиллярных каналов диафрагмы. Размер проходного сечения капиллярных каналов определяется соотношением сил давления рабочей среды на стенки каналов и деформации пружины 10. При заданных геометрических характеристиках сила деформации пружины зависит от ее осадки. Она устанавливается в зависимости от давления в системе.

При отложении мелкодисперсных загрязнений, не уловленных фильтром, в капиллярных каналах диафрагмы пропускная способность конденсатоотводчика снижается. Повышение пропускной способности осуществляется путем очистки капиллярных каналов от загрязнений. Это достигается путем повышения давления в системе выше рабочего. Силы давления, действуя на стенки капиллярных каналов, вызывают поджатие пружины. Это приводит к увеличению размеров капиллярных каналов и удалению загрязнений потоком жидкости. Пропускная способность конденсатоотводчика повышается.

Колебания давления особенно свойственны для систем сжатого воздуха промышленных предприятий вследствие периодичности и неодновременности работы потребителей воздуха. В связи с этим очистка капиллярных каналов диафрагмы осуществляется самопроизвольно. Она может производиться также принудительно путем отключения потребителей воздуха.

При прекращении поступления жидкости в конденсатоотводчик выходу газа в окружающую среду препятствует водяной затвор. Его роль выполняет жидкость, находящаяся в капиллярных каналах диафрагмы и удерживаемая в них силами капиллярного давления.

Предложенная конструкция конденсатоотводчика позволяет поддерживать пропускную способность по конденсату на необходимом уровне и снизить эксплуатационные затраты. Отвод конденсата непрерывный. Потери энергоносителя отсутствуют.

Материал капиллярно-пористой диафрагмы должен отвечать двум основным требованиям: обеспечить отвод необходимого количества жидкости из системы; иметь высокую химическую и механическую стойкость (не разрушаться) во влажной среде. Этим требованиям отвечают микропористые диафрагмы, выполненные из нетканого полипропилена и металлических кольцевых шайб.

Результаты экспериментального исследования пропускной способности капиллярно-пористых диафрагм. Исследование пропускной способности диафрагм производилось на экспериментальной установке, представленной в [15]. При испытаниях разного типа диафрагм отличались только конструкции рабочих участков.

Выполнены исследования влияния на расход жидкости через кольцевую капиллярно-пористую диафрагму из нетканого полипропилена ее степени сжатия и перепада давления. Исследования проводились при изменении давления сжатого воздуха до 1,0 МПа и температуре отводимой жидкости 17...18 °С. Степень сжатия материала диафрагмы (δ_H/δ), представляющая

собой отношение толщин материала до и после сжатия, изменялась от 1,5 до 2,0.

Начальная толщина материала диафрагмы $\delta_H = 9 \cdot 10^{-3}$ м. Внутренний диаметр диафрагмы составлял $d_1 = 0,032$ м, наружный – $d_2 = 0,064$ м.

На основании закона Дарси, описывающего перенос массы в капиллярно-пористых телах, получена зависимость для определения расхода жидкости через кольцевую капиллярно-пористую диафрагму

$$G = \frac{K_\phi}{\mu} \frac{\rho \pi \delta}{\ell_n \frac{d_2}{d_1}} (p_c - p_a), \quad (1)$$

где K_ϕ – коэффициент проницаемости; μ – кинематический коэффициент вязкости жидкости; ρ – плотность жидкости; δ – толщина материала диафрагмы; p_c – давление сжатого воздуха (газа); p_a – давление атмосферного воздуха.

В выражении (1) неизвестной величиной является коэффициент проницаемости (K_ϕ). Он является макроскопической характеристикой материала, зависящей от относительного объема и формы пор и определяется экспериментально.

Экспериментальные данные с отклонением, не превышающим $\pm 15\%$, аппроксимируются зависимостью (рис. 2)

$$Re = A \Delta \bar{p}, \quad (2)$$

где $Re = \frac{u_1 d}{\nu} = \frac{4G}{\pi d \mu}$ – число Рейнольдса;

$\Delta \bar{p} = \frac{p_c - p_a}{p_a}$ – безразмерное избыточное давление сжатого воздуха; A – безразмерный комплекс, зависящий от степени сжатия материала диафрагмы; u_1 – линейная скорость фильтрации во входном сечении диафрагмы; $d_s = 4 \delta$ – эквивалентный диаметр; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

При $1,50 \leq \delta_H/\delta \leq 1,82$ $A = e^{[21,466 - 10,386 (\delta_H/\delta)]}$;
при $1,82 \leq \delta_H/\delta \leq 2,00$ $A = e^{[31,862 - 16,107 (\delta_H/\delta)]}$.

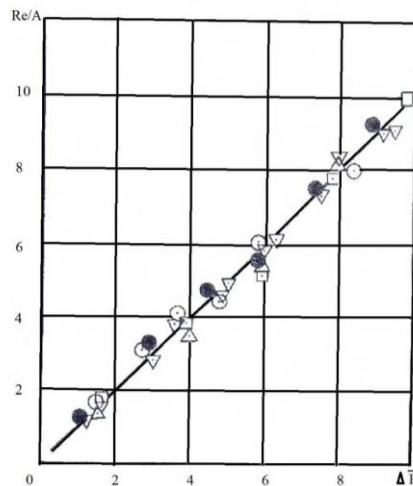


Рис. 2 Аппроксимация экспериментальных данных по выражению (2) при значениях δ_H/δ :
о – 1,5; • – 1,636; ▽ – 1,8; Δ – 1,894; 2,0

Совместное решение выражений (1) и (2) относительно коэффициента проницаемости позволило получить

$$K_{\phi} = A \frac{d_1 \ln \frac{d_2}{d_1}}{4\delta} \frac{\mu^2}{\rho p_a}. \quad (3)$$

С учетом выражения (3) выражение (1) примет вид $G = 0,25 A \pi d_1 \mu \Delta p$. (4)

Выполнены экспериментальные исследования влияния на пропускную способность капиллярно-пористой диафрагмы, состоящей из набора кольцевых шайб с центральными отверстиями, давления энергоносителя (газа), давления сжатия кольцевых шайб и их количества.

Шайбы изготавливались из медной фольги толщиной $0,2 \cdot 10^{-3}$ м и имели естественную шероховатость. Наружный и внутренний диаметры шайб составляли 0,057 м и 0,030 м, соответственно.

Исследования проводились при давлении энергоносителя до 0,8 МПа. Это позволило охватить диапазон рабочих давлений в системах сжатого воздуха и технического ацетилена. Давление сжатия кольцевых шайб составляло 292,3...558,2 кПа. Температура воды изменялась от 19,0 до 25,8 °С, количество шайб – от 5 до 20.

Установлено, что с ростом избыточного давления энергоносителя пропорционально увеличивается. Повышение давления энергоносителя в 3 раза (от 0,1 до 0,3 мПа) при постоянном давлении сжатия шайб вызывает увеличение расхода жидкости в 3 раза.

Давление сжатия кольцевых шайб оказывает существенное влияние на пропускную способность диафрагмы. Так, при давлении газа 0,3 МПа при повышении давления сжатия шайб от 343,4 кПа до 500,3 кПа (в 1,46 раза) приводит к понижению расхода жидкости в 17,4 раза (от 7,85 кг/ч до 0,45 кг/ч). Диафрагма состоит из пяти шайб (рис. 3).

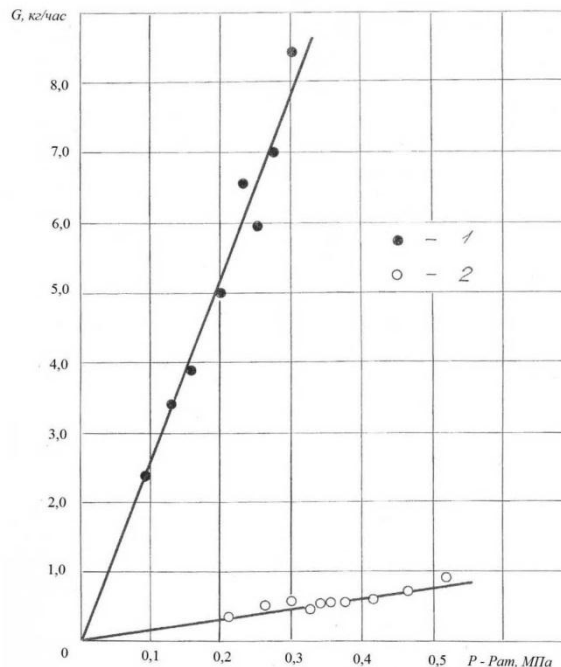


Рис. 3 Расхождение расходных характеристик капиллярно-пористой диафрагмы с пятью кольцевыми шайбами при повышении давления их сжатия-1-343,3 кПа; 2- 500,3 кПа

Исследовано изменение пропускной способности диафрагмы с пятью шайбами при уменьшении давления их сжатия от 500,3 кПа до 263,9 кПа. В этом случае при избыточном давлении газа 0,2 МПа установлено незначительное увеличение пропускной способности диафрагмы от 0,29 кг/ч до 0,43 кг/ч (в 1,48 раза).

Сопоставление пропускной способности диафрагмы при давлении газа 0,2 МПа при повышении и понижении давления сжатия до 343,4 кПа свидетельствует о их существенном отличии. В первом случае расход жидкости составляет 5,15 кг/ч, во втором – 0,40 кг/ч (в 12,9 раза меньше).

Полученные результаты объясняются влиянием давления сжатия на структуру шероховатости поверхности кольцевых шайб. При сжатии происходит смятие выступов шероховатости. Количество сминаемых выступов определяется величиной нагрузки, приложенной к поверхности шайб. Уменьшение нагрузки не приводит к восстановлению высоты выступов вследствие пластической деформации. Указанное определяет проходное сечение капиллярных каналов, образующихся между поверхностями кольцевых шайб.

Пропускная способность диафрагмы увеличивается пропорционально количеству кольцевых шайб (рис. 4).

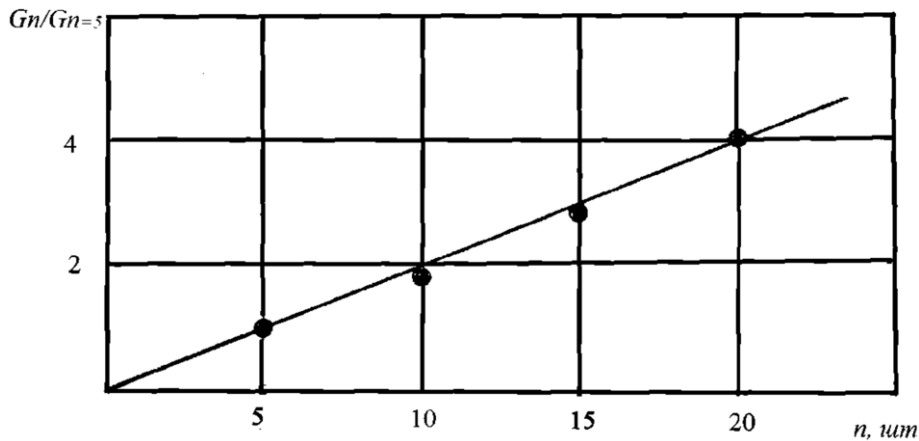


Рис. 4 Залежність відносного витрату гладкості через капілярно-пористу діафрагму від кількості шайб.

Підбір кількості шайб для конденсато-отводчиків здійснюється наступним чином:

1. Визначають кількість рідини, утворюється в системі

$$G_b = V_r \Delta d,$$

де V_r – витрату газу в системі; Δd – максимально можливе вологовипадіння.

2. Використовуючи результати експериментального дослідження залежності пропускної здатності діафрагми від надлишкового тиску і сили тиску, діючої на неї, визначають кількість шайб.

Експериментальні зразки конденсатоотводчиків з капілярно-пористою діафрагмою з кільцевих шайб з центральними отворами пройшли промислові випробування на Балтійському суднобудівному заводі (Росія). Результати випробування позитивні. Кількість рідини, відводимої з елементів системи при відсутності і наявності конденсато-отводчика, практично не змінюється. Це дозволяє рекомендувати його для впровадження в системи газопостачання промислових підприємств.

Висновки:

1. Розроблена нова конструкція конденсато-отводника з гідравлічним затвором – капілярно-пористого. Відвод конденсату неперервний, безшумний без втрат енергоносія. Очищення діафрагми від механічних забруднень самопрозвольна при коливаннях тиску енергоносія в системі.

2. Проведені експериментальні дослідження пропускної здатності капілярно-пористих діафрагм, виконаних з нетканого поліпропілену і набору кільцевих шайб з центральним отвором і природньої шорсткатою, в залежності від ступеня стиснення, тиску стиснення і перепаду тиску.

3. Дані рекомендації по підбору кількості кільцевих шайб капілярно-пористою діафрагми.

4. Позитивні результати промислових випробувань конденсатоотводника дозволяють рекомендувати його для впровадження в системи газопостачання промислових підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. № 176593. ССРСР. Устрій для неперервного відводу конденсату / С. К. Бычковский, Ю. М. Морозенко (ССРСР). – Заявлено 18.01.1965. Опубліковано 17.09.1965. Бюл. № 23.
2. А.с. № 850970 ССРСР. Конденсатоотводчик / Б. И. Чернов, В. Д. Медведев, Б. Д. Вовченко, В. И. Пилипчак (ССРСР). – Заявлено 13.11.1979. Опубліковано 30.07.81. Бюл. № 28.
3. А.с. № 901701. ССРСР. Конденсатоотводчик / В. И. Пилипчак, А. К. Албантов, Е. Н. Луцок, Б. И. Чернов, В. Д. Медведев (ССРСР). – Заявлено 15.04.1980. Опубліковано 30.01.1982. Бюл. № 4.
4. А.с. № 987274. ССРСР. Конденсатоотводчик / С. В. Рыжков, А. К. Албантов, В. И. Пилипчак, В. Д. Медведев, Е. Н. Луцок (ССРСР). – Заявлено 03.07.1981. Опубліковано 07.01.1983. Бюл. № 1.
5. А.с. № 992989. ССРСР. Теплообмінник / С. В. Рыжков, В. А. Жуков, А. К. Албантов, Е. Н. Логвиненко, В. И. Пилипчак (ССРСР). – Заявлено 05.08.1981. Опубліковано 30.01.1983. Бюл. № 4.
6. А.с. № 1107888А. ССРСР. Сепаратор / С. В. Рыжков, А. К. Албантов, В. И. Пилипчак, В. Д. Медведев, Б. Д. Вовченко, В. Я. Суворов (ССРСР). – Заявлено 25.04.1983. Опубліковано 15.08.1984. Бюл. № 30.
7. А.с. № 1545022. ССРСР. Конденсатоотводчик / А. К. Албантов, С. В. Рыжков, Е. Н. Луцок, В. И. Пилипчак (ССРСР). – Заявлено 26.10.1987. Опубліковано 23.02.1990. Бюл. № 7.
8. Деклараційний патент на винахід № 44140А. Україна. Сепаратор / В. И. Пилипчак, В. В. Єршов (Україна). – Заявлено 25.05.2001. Опубліковано 15.01.2002. Бюл. № 1.
9. Деклараційний патент на корисну модель № 10356. Україна. Сепаратор / В. И. Пилипчак (Україна). – Заявлено 18.04.2005. Опубліковано 15.11.2005. Бюл. № 11.
10. Димо Б. В., Пилипчак В. И. Основи енергетичного аудиту: [навчальний посібник]. – Миколаїв : НУК, 2007. – 128 с.
11. Патент на корисну модель № 18532. Україна. Сепаратор / В. И. Пилипчак (Україна). – Заявлено 03.05.2006. Опубліковано 05.11.2006. Бюл. № 11.

12. Патент на корисну модель № 26515. Україна. Сепаратор / В. І. Пилипчак, В. В. Пилипчак (Україна). – Заявлено 15.05.2007. Опубліковано 25.09.2007. Бюл. № 15.
13. Патент на корисну модель № 43343. Україна. Конденсатовідвідник / В. І. Пилипчак, В. В. Пилипчак (Україна). – Заявлено 30.03.2009. Опубліковано 10.08.2009. Бюл. № 15.
14. Пилипчак В. І., Половец Ю. А., Ершов В. В. Исследование эффективности обогреваемых водоотделителей систем сжатого воздуха // Тр. НКИ. – 1982. – Вип. 187.
15. Пилипчак В. І., Албантов А. К. Капиллярно-пористый конденсатоотводчик заводских пневмосистем // Судостроительная промышленность. Серия «Промышленная энергетика, охрана окружающей среды и энергоснабжение судов». – 1986. Вип. 1. – С. 24–28.
16. Пилипчак В. І., Ершов В. В. Повышение энергетической эффективности систем сжатого воздуха путем применения высокоэффективных сепарирующих устройств // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 61, вип. 48. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – С. 184–186.
17. Пилипчак В. І., Ершов В. В. Повышение энергетической эффективности систем технического ацетилена путем их модернизации // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 49, Вип. 36. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – С. 195–196.
18. Повышение эффективности и надежности заводских энергосистем / А. К. Албантов, М. И. Кальмац, И. В. Лобов, В. И. Пилипчак, В. В. Судиловский // Судостроительная промышленность. Серия «Промышленная энергетика, охрана окружающей среды и энергоснабжение судов». – 1991. – Вип. 17. – С. 3–5.
19. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б. Н. Голубков, О. Л. Данилов, И. В. Зосимовский и др. – М.: Энергия, 1979. – 544 с.

Рецензенти: д.т.н., проф. Радченко М. І.,
к.т.н., доц. Сирота О. А.

© Пилипчак В. І., 2011

© Пилипчак В. В., 2011

Стаття надійшла до редакції 11.05.2011 р.