

Перспективным направлением является использование материалов с памятью формы, которые способны автоматически изменять свою конфигурацию в зависимости от температуры. Такие материалы могут обеспечивать активную компенсацию температурных деформаций без внешнего управления.

Развитие композитных материалов открывает новые возможности создания компенсаторов с улучшенными характеристиками: высокой коррозионной стойкостью, малым весом и возможностью точного подбора коэффициента расширения.

Современные программные комплексы позволяют проводить точное моделирование температурных полей и напряжений в сложных конструкциях. Это обеспечивает опти-

мизацию решений и снижение материалоемкости конструкций.

Тенденции развития решений для компенсации теплового расширения: интеграция датчиков температуры и деформации для мониторинга состояния узлов; использование наноматериалов для повышения долговечности компенсаторов; разработка самодиагностирующихся систем компенсации; применение аддитивных технологий для изготовления сложных компенсаторов.

Будущее компенсации теплового расширения связано с развитием интеллектуальных систем, способных автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и предотвращать аварийные ситуации на ранней стадии их развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таблицы компенсации теплового расширения узлов – Текст: электронный // URL: <https://inner.su/articles/tablitsy-kompensat>

sii-teplovogo-rasshireniya-uzlov/ (дата обращения: 05.11.2025).

УДК 621.039.534

Щербин Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент, декан факультета технической кибернетики,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: dekan_fik@angtu.ru
Гловов Валерий Андреевич,
студент гр. ТМм-24-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: valera.glotov.2002@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ХОЛОДИЛЬНИКА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОИЗВОДСТВЕ ДИХЛОРЕТАНА И ХЛОРИСТОГО ВИНИЛА

Shcherbin S.A., Glotov V.A.

RECONSTRUCTION OF THE WASTEWATER REFRIGERATOR IN THE PRODUCTION OF DICHLOROETHANE AND VINYL CHLORIDE

Аннотация. В статье рассматривается вариант решения проблемы низкой эффективности кожухотрубчатого аппарата для охлаждения сточных вод в производстве дихлорэтана и хлористого винила. Предложен вариант реконструкции теплообменника, позволяющий повысить его эффективность.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, реконструкция теплообменного аппарата, теплопередача, гидравлическое сопротивление.

Abstract. A solution to the problem of low efficiency of a shell-and-tube apparatus for cooling wastewater in the production of dichloroethane and vinyl chloride is being considered. A variant of the heat exchanger reconstruction is proposed, which makes it possible to increase its efficiency.

Keywords: shell-and-tube apparatus, reconstruction of the heat exchanger heat transfer, hydraulic resistance.

Поливинилхлорид (ПВХ) – это универсальный полимер, из которого получают

огромный спектр пластмассовых изделий, как пластифицированных, так и непластифици-

цированных. Большое количество пластифицированного полимера используется для изготовления изоляции и оболочек электропроводов, кабелей, гибких пленок, листов и труб, используемых в строительстве, сельском хозяйстве и других отраслях. Изоляционные материалы на основе ПВХ отличаются малой чувствительностью к действию влаги и высокой стабильностью в условиях эксплуатации.

Цех по производству винилхлорида мощностью около 224 тыс. т/г был запущен на АО «Саянскхимпласт» в 1982 г. на основе комплектной поставки оборудования и технологии фирм "Goodrich" (США) и "Uhde" (ФРГ). Технологическая схема установки выполнена в две производственные нитки, по принципу сбалансированного процесса получения винилхлорида из этилена.

Узел отпарки сточных вод изображен на рисунке 1. Сточные воды узла нейтрализации сточных вод, содержащие дихлорэтан, щелочь, кислоту, керосин и воду насосом P-104 в количестве до 36 м³/ч подаются в выпарную колонну С-102, предназначенную для очистки сточных вод от органических примесей до остаточной массовой доли дихлорэтана в отпаренной воде не более 0,001%.

В качестве горячего теплоносителя в колонне используется «острый» пар низкого

давления, подаваемый в куб колонны противотоком стекающей по тарелкам сточной воде. Температура в кубе колонны составляет 100-112 °С, давление – не более 0,05 МПа.

Поднимающийся пар нагревает воду. При этом происходит практически полное испарение и отгонка растворенного в воде дихлорэтана и легкокипящих компонентов. Парогазовая смесь из головной части колонны поступает в конденсатор E-105, где происходит ее охлаждение и конденсация паров. Отпаренные сточные воды из куба колонны направляются в трубное пространство кожухотрубчатого теплообменника E-112 (рисунок 2), где охлаждаются оборотной водой и далее сбрасываются в канализацию.

Температура охлаждающей оборотной воды зависит от времени года. Например, при средней температуре атмосферного воздуха 23 °С температура оборотной воды на входе в теплообменное оборудование составляет около 28 °С, а при большей температуре воздуха может достигать 32 °С вместо принимаемых при проектных расчетах 20-25 °С. При таких значениях температур движущая сила процесса теплообмена существенно уменьшается и эффективность работы аппарата снижается. Также этому способствует постепенное засорение труб отложениями осадка по причине малой скорости потока сточной воды в трубном пространстве.

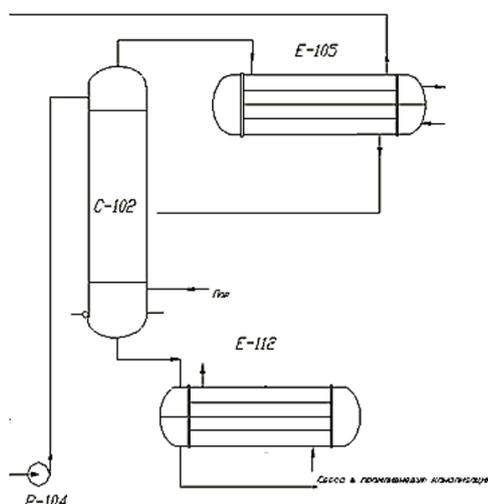


Рисунок 1 – Узел отпарки сточных вод

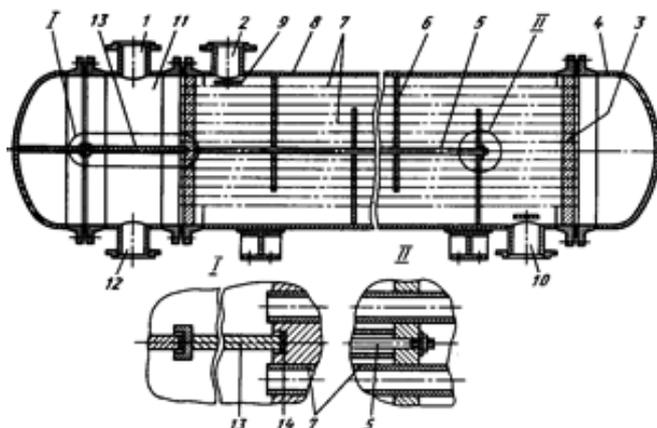


Рисунок 2 – Кожухотрубчатый теплообменный аппарат:

1, 2 – штуцера для ввода сточной и охлаждающей воды; 3 – трубная решетка; 4 – крышка; 5 – стяжка; 6 – сегментная перегородка; 7 – трубы; 8 – кожух; 9 – отбойник; 10, 12 – штуцера для отвода охлаждающей и сточной воды; 11 – распределительная камера; 13 – перегородка; 14 – прокладка

Зачастую эта проблема решается за счет существенного увеличения расхода охлаждающей воды. Очевидно, что такой подход приводит к значительному увеличению затрат электроэнергии на работу насосов [1].

После модернизации, связанной с увеличением производительности установки, тепловая нагрузка на теплообменный аппарат возросла. Это привело к снижению его эффективности.

С целью устранения выявленных проблем и обоснованного выбора варианта реконструкции холодильника, был выполнен поверочный технологический расчет аппарата.

В результате расчета общая площадь поверхности теплообмена, необходимая для охлаждения сточной воды в одноходовом аппарате, составила $F_1 = 570 \text{ м}^2$. При этом фактическая площадь поверхности $F_{\text{факт}} = 469 \text{ м}^2$, т.е. существует значительный дефицит теплообменной поверхности.

Предложено увеличить число ходов для сточной воды по трубам до 2. Это позволит увеличить скорость потока в трубах и повысит эффективность теплопередачи.

Однако, как известно из гидравлики, увеличение скорости потока приводит к повышению затрат энергии на перекачивание среды, что проявляется в уменьшении ее давления. Величина, на которую уменьшается давление среды, пропорциональна квадрату скорости потока и называется гидравлическим сопротивлением:

$$\Delta p = \left(\Sigma \zeta + \lambda_T \frac{l_T}{d} \right) \frac{\rho W^2}{2}, \text{ Па,}$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местного сопротивления; λ_T – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси); l_T , d – соответственно длина и внутренний диаметр теплообменной трубки, м; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3 ; W – скорость потока, м/с.

Поэтому увеличение скорости потока теплоносителя, с одной стороны, повышает эффективность теплопередачи, но, в то же время, увеличивает гидравлическое сопротивление аппарата и затраты на работу насосно-компрессорного оборудования [1].

Соответственно, при проектировании теплообменных аппаратов важной задачей является определение оптимальных скоростей потоков теплоносителей, обеспечивающих эффективный теплообмен при приемлемом значении гидравлического сопротивления.

Расчеты показали, что при двухходовом исполнении аппарата коэффициент теплопередачи увеличится в 1,27 раза и расчетная поверхность теплообмена составит $F_2 = 448 \text{ м}^2$, фактическая – 451 м^2 , запас поверхности $\Delta F = 3 \text{ м}^2$ или около 1 %. Гидравлическое сопротивление трубного пространства в результате увеличения скорости потока возрастает несущественно (менее чем на 5 %).

Широко применяемый интегральный метод расчета тепловых и гидравлических характеристик не учитывает особенностей сложной гидродинамической обстановки в

реальном аппарате, поэтому может привести к значительным погрешностям [2]. Поэтому запас поверхности теплообмена в 1 % может оказаться недостаточным. Для обеспечения большего запаса следует увеличить число ходов по трубам до 4.

В этом случае запас площади поверхности теплообмена достаточный и составляет 8 %.

Сравнение основных результатов расчета для разного числа ходов по трубам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета кожухотрубчатого холодильника

Расчетный параметр	Число ходов по трубам		
	1	2	4
Скорость потока сточной воды в трубах, м/с	0,145	0,29	0,58
Коэффициент теплоотдачи от сточной воды к стенке трубы, Вт/(м ² К)	1125	2106	3665
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² К)	518	659	760
Расчетная поверхность теплообмена, м ²	570	448	388
Гидравлическое сопротивление трубного пространства, Па	17300	18045	24491

По результатам расчетов можно сделать вывод, что изменение числа ходов для сточной воды по трубному пространству до 4

является рациональным вариантом реконструкции аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербин, С.А. Определение эксплуатационных затрат на кожухотрубчатый теплообменник / С.А. Щербин, А.А. Готов // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2020. – № 17. – С. 140-144.

2. Ульянов, Б.А. Расчет теплообменных аппаратов / Б.А. Ульянов, В.Я. Бадеников, Б.И. Щелкунов, К.Ю. Патрушев. – Ангарск : АГТА, 2001. – 220 с.