

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический
университет»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАСАДОЧНОГО АБСОРБЕРА

Методические указания
к курсовому проектированию

Казань
КНИТУ
2014

УДК 66.081.2

Составители:

доц. А.И. Разинов
м.н.с. И.П. Анашкин
доц. Л.Р. Минибаева

Проектирование оптимального насадочного абсорбера: метод.
указания к курсовому проектированию / сост. А.И. Разинов,
И.П. Анашкин, Л.Р. Минибаева / Казан. национ. иссл. технол. ун-т,
Казань, 2014. – 20 с.

В работе изложена методика проектирования оптимального
насадочного абсорбера. В качестве критерия оптимальности выбраны
приведенные затраты, а параметров оптимизации – расход абсорбента,
скорость газа и размер насадок. Составлена компьютерная программа,
позволяющая рассчитать основные размеры насадочного абсорбера и
подобрать оптимальный вариант при постоянном значении
коэффициента распределения.

Методические указания предназначены для студентов всех
направлений и специальностей, выполняющих курсовой проект по
дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии». Могут
быть использованы для курсового и дипломного проектирования на
выпускающих кафедрах.

Подготовлены на кафедре процессов и аппаратов химической
технологии.

Печатаются по решению методической комиссии ИХиНМ по циклу
профессиональных дисциплин.

Рецензенты:

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
ОПП КНИТУ А.Н. Николаев;
к.т.н., доцент кафедры МАХП КНИТУ
А.А. Назаров

ВВЕДЕНИЕ

Абсорбция – это массообменный процесс, заключающийся в избирательном поглощении одного или нескольких компонентов газовой или парогазовой смеси жидким поглотителем.

В данной работе рассмотрен простейший случай абсорбции, когда в массопереносе участвует лишь один компонент и каждая фаза рассматривается как бинарная смесь, состоящая из распределяемого и инертного компонентов. На рис. 1 представлена простейшая схема абсорбционной установки.

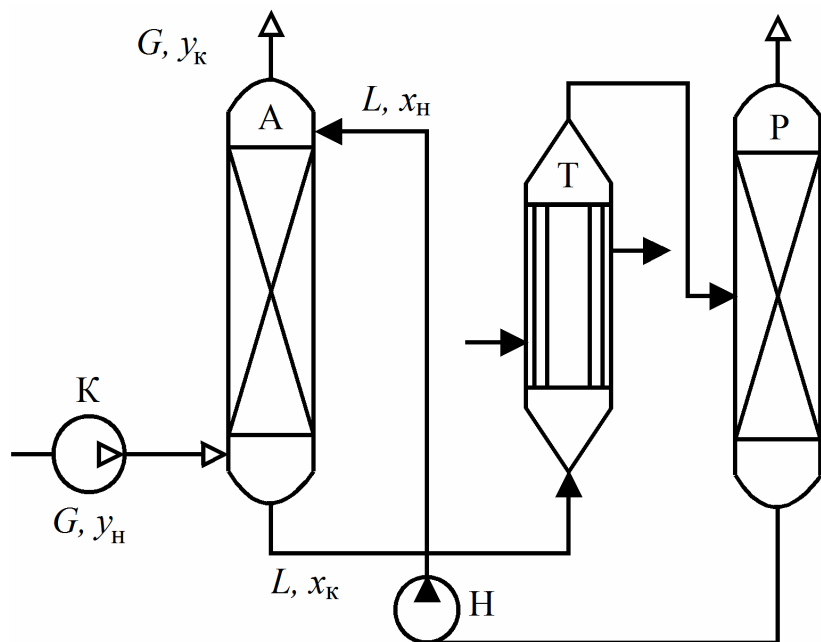


Рис. 1. Схема абсорбционной установки

Исходная газовая смесь состава y_n и с расходом инертного компонента G поступает в нижнюю часть насадочного абсорбера А. В верхнюю часть аппарата подается абсорбент с расходом L и остаточной долей распределяемого компонента (абсорбтива) в нем x_n . В ходе процесса при взаимодействии фаз на элементах насадки часть абсорбтива переходит из газовой фазы в жидкую, в результате чего

концентрация его в газе уменьшается $y_k < y_n$, а в жидкости увеличивается $x_k > x_n$. Абсорбент, обогащенный абсорбтивом, подогревается в теплообменнике Т и подается в регенератор Р, где происходит их разделение, вследствие чего концентрация абсорбтива уменьшается с x_k до x_n , и абсорбент вновь направляется в абсорбер. Процесс регенераций осуществляется, как правило, за счет десорбции или ректификации. Прокачка газа через абсорбер происходит с помощью компрессорной машины К, а подача абсорбента – насосом Н.

Примечание 1: в установке может применяться не один абсорбер, а ряд последовательно и параллельно соединенных аппаратов.

Порядок выполнения курсового проекта по теме «Проектирование оптимального насадочного абсорбера» следующий:

- 1) получение задания на проектирование с указанием абсорбтива, его начальной и конечной концентрации в инертном газе и начальной концентрации в абсорбенте, расхода газовой смеси, давления и температуры в колонне, типа насадки;
- 2) выполнение технологического расчета по методике, изложенной в [1], изучение студентом данных методических указаний, заполнение таблицы исходных данных для оптимизации на компьютере в соответствии с рис. 3;
- 3) проверка руководителем проекта проведенного технологического расчета, допуск к выполнению оптимизации на компьютере;
- 4) проведение оптимизации в вычислительной лаборатории кафедры ПАХТ, распечатка результатов компьютерного расчета для выбранных студентом $L/L_{\min}$, $w/w_{\text{пред}}$ и размера насадки, а также результатов оптимизации, их анализ и осмысление;
- 5) окончательный выбор размеров насадочного абсорбера по итогам оптимизации, согласование с руководителем проекта;
- 6) выполнение механического и конструктивного расчетов, графической части курсового проекта для оптимального насадочного абсорбера.

Примечание 2: Коэффициент распределения m при умеренном давлении [2] для систем газ – жидкость определяется по закону Генри:

$$m = \frac{E}{p},$$

где E - коэффициент Генри, зависящий от температуры и характеризующий растворимость газа в жидкости, значения которого приводятся в справочной литературе [3], p - давление в абсорбере; для систем пар - жидкость по следующему выражению:

$$m = \frac{\gamma^0 p^H}{p},$$

где γ^0 - коэффициент активности при бесконечном разбавлении абсорбтива в абсорбенте, значения которого приведены в справочной литературе [4], p^H - давление насыщенного пара чистого абсорбтива при температуре в абсорбере [5, 6].

Отличие пара от газа заключается в следующем: если температура, при которой находится вещество, выше критической - это газ, если ниже - пар. Данные по критическим температурам приведены в справочной литературе [5, 6].

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСАДОЧНОГО АБСОРБЕРА

При проектировании насадочного абсорбера имеется несколько параметров, выбор значений которых требует решения задачи оптимизации. В традиционной методике расчета эти значения принимаются исходя из практических рекомендаций [1].

Оптимизация заключается в получении наилучших результатов при соответствующих условиях. Постановка задачи оптимизации предполагает: 1) существование конкурирующих свойств объекта (в нашем случае «размер аппарата - эксплуатационные расходы») и необходимость выбора компромиссного решения; 2) возможность количественной оценки оптимизируемого качества объекта (критерий оптимальности); 3) наличие свободы выбора значений некоторых независимых характеристик объекта, влияющих на интересующее нас качество (параметры оптимизации).

В качестве первого параметра оптимизации выбрано отношение расхода абсорбента L к минимальному $L_{\min}$. При его увеличении возрастают движущая сила процесса, доля активной поверхности насадки, коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, что приводит к

уменьшению размера аппарата, но при этом возрастает гидравлическое сопротивление аппарата и затраты на прокачку газа и жидкости, а также регенерацию абсорбента.

Второй параметр - отношение рабочей скорости газа w к предельной $w_{\text{пред}}$. При его увеличении возрастает коэффициент массоотдачи в газовой фазе, уменьшается размер аппарата, но растет гидравлическое сопротивление и расход энергии на прокачку газа через насадку. Используемые для определения коэффициентов массоотдачи критериальные уравнения работают при условии $w < 0,5w_{\text{пред}}$, исходя из которого определяется минимальный допустимый диаметр колонны $D_{\min}$. Далее перебираются все стандартные диаметры D_j до $D_{\max}$ и определяется оптимальный диаметр. Если требуется диаметр больше $D_{\max}$, то выбирается несколько параллельно соединенных абсорберов.

Третий параметр - размер насадки, и, следовательно, её параметры. При увеличении размера насадки уменьшается гидравлическое сопротивление и затраты на прокачку газа, но уменьшается удельная поверхность и коэффициент массоотдачи, а следовательно, увеличивается размер аппарата. Программа также позволяет менять и тип насадки. От правильности выбора насадки зависят стоимость колонны и эффективность ее работы. Прежде всего, выбор насадки должен определяться технологическим назначением аппарата и условиями проведения процесса. Варьируемыми параметрами насадки являются материал изготовления, размер (удельная поверхность, свободный объем, эквивалентный диаметр), способ загрузки в аппарат и др. Подробнее выбор насадки рассмотрен в [7].

В качестве критерия оптимизации выбраны годовые затраты на функционирование абсорбционной установки, которые складываются из амортизационных отчислений и эксплуатационных затрат на регенерацию абсорбента и электроэнергию, необходимую для прокачки газа и жидкости:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (1)$$

$$C_1 = \Gamma A R K_{\text{общ}} / 100 = \Gamma A (B_0 + B_1 V + B_2 FO) K_{\text{общ}}, \quad (2)$$

$$C_2 = 0,1 \Delta P G Z \Pi K_{\text{посл}} / (K \Gamma p_y), \quad (3)$$

$$C_3 = (0,1 g H \Pi / K H + 3600 \Pi_1) L Z, \quad (4)$$

где C - годовые затраты на функционирование установки, у.е./год;

C_1 - амортизационные отчисления, у.е./год;

C_2 - затраты на прокачку газа, у.е./год;

C_3 - затраты на перекачку и регенерацию абсорбента;

ρ_y – плотность газа, кг/м³;

ГА – доля годовых амортизационных отчислений, %;

R – стоимость аппарата, у.е.;

B2, B1, B0 – коэффициенты, учитывающие стоимость материала обечайки, внутренних устройств (насадки, опорно-распределительных решеток и др.) и монтажа аппарата;

V – объем аппарата, м³;

FO – поверхность обечайки, м²;

ΔP – гидравлическое сопротивление, Па;

G – массовый расход газа, кг/с;

КГ – к.п.д. газодувки, %;

КН – к.п.д. насоса, %;

Z – число часов работы аппарата в году;

Ц – цена 1 кВт·часа электроэнергии, у.е./кВт·ч;

K_{общ} – общее количество аппаратов в установке;

K_{посл} – количество аппаратов, соединенных последовательно;

L – массовый расход жидкости, кг/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота аппарата, м;

Ц1 – стоимость регенерации 1 кг абсорбента, у.е./кг.

Таким образом, задача оптимизации в данном случае заключается в разработке аппарата, обеспечивающего минимум годовых затрат на функционирование установки.

При этом варьируемыми параметрами являются отношение расхода абсорбента к минимальному $L/L_{\min}$, скорости газа к предельной $w/w_{\text{пред}}$, а также размер (типоразмер) насадки.

ПРОГРАММА КОМПЬЮТЕРНОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО НАСАДОЧНОГО АБСОРБЕРА

Программное обеспечение реализует алгоритм проектного расчета насадочного абсорбера из [1] и его оптимизацию.

Начальные данные для расчета вводятся пользователем: начальная и конечная концентрация абсорбтива в инертном газе, теплофизические свойства компонентов, объемный расход газовой смеси, $L/L_{\min}$, давление и температура в колонне, $w/w_{\text{пред}}$,

максимальные диаметр и высота колонны, размер (типоразмер) насадки, показатели для технико-экономического расчета.

Для технико-экономического расчета, заключающегося в определении годовых затрат на функционирование установки по формулам (1) – (4), используются данные о доле годовых отчислений, стоимости материала и монтажа аппарата, 1 кВт·часа электроэнергии, регенерации 1 кг абсорбента, представленные (рекомендованные для курсового проекта) в таблице 1 или в соответствующей литературе [7].

Таблица 1
Ориентировочные значения экономических показателей

ГА, %	КГ, %	КН, %	Ц, у.е./кВт·ч	Z, ч	B0, у.е.	B1, у.е./м ³	B2, у.е./м ²	Ц1, у.е./кг
10	50	50	0,01	8000	2000	300	50	0,0006/ <i>m</i> *

* *m* – коэффициент распределения, кг/кг.

Используемая математическая модель процесса абсорбции не требует высоких вычислительных затрат, поэтому для оптимизации используется алгоритм перебора. Блок-схема алгоритма оптимизации приведена на рис.2. Три цикла, представленных на схеме, соответствуют трем параметрам оптимизации. Внутренний цикл осуществляет перебор рабочей скорости в диапазоне до $0,5w_{\text{пред}}$. В связи с постоянством расхода изменение рабочей скорости производится перебором стандартных диаметров абсорберов [8]. Перебор расхода абсорбента осуществляется в диапазоне от $L_{\min}$ до $100L_{\min}$ с шагом $0,01L_{\min}$. Внешний цикл соответствует перебору различных размеров (типоразмеров) насадки. В процессе перебора рассчитываются технологические параметры и экономические показатели. Для каждого размера насадки вычисляется вариант, обеспечивающий минимум суммарных приведенных затрат.

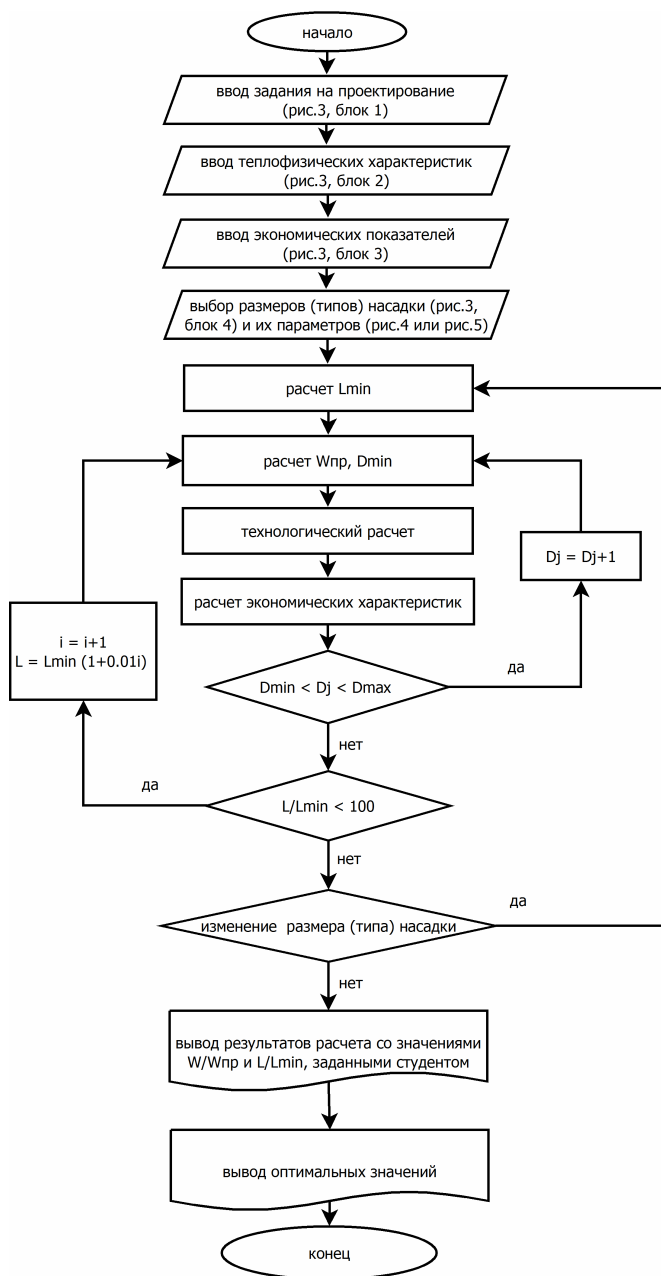


Рис.2. Блок-схема алгоритма оптимизации

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для запуска программы необходимо открыть папку «Учебная», размещенную на рабочем столе монитора, далее папку «Курсовой проект», а затем «Проектирование насадочного абсорбера», внутри которой находится запускающий файл «Оптимизация абсорбера». При запуске данного файла открывается диалоговое окно, изображенное на рис.3. Пользователь осуществляет ввод данных.

Вводимые данные условно разбиты на 4 блока:

- 1) в блоке 1 (рис.3, блок 1) вводится задание на проектирование: расход газовой смеси; начальная и конечная относительные массовые концентрации абсорбтива в газе; начальная относительная массовая концентрация абсорбтива в абсорбенте; температура и давление газа на входе в абсорбер; максимальные диаметр (вводится любой желаемый диаметр до 8 м, т.к. диаметр стандартного колонного аппарата не превышает 8 м [8]) и высота насадочной части аппарата (не более 40 м, т.к. высота стандартного абсорбера обычно не превышает 50 м [8]);
- 2) в блоке 2 вводятся теплофизические характеристики компонентов: плотность и коэффициент поверхностного натяжения жидкого абсорбента; молярные массы; молярные объемы при нормальной температуре кипения; коэффициенты вязкости абсорбтива* (* - в паровом или газовом состоянии), инертного газа и абсорбента; коэффициент распределения; параметр, учитывающий ассоциацию молекул абсорбента;
- 3) в блоке 3 вводятся экономические показатели, необходимые для оптимизации абсорбера: годовые отчисления от стоимости аппарата, коэффициенты полезного действия газодувки и насоса; цена электроэнергии; количество часов работы абсорбера в год; коэффициенты стоимости монтажа и материала аппарата; затраты на регенерацию абсорбента;
- 4) в блоке 4 выбираются насадки. В качестве «Насадки 1» необходимо выбрать типоразмер насадки, с использованием которого проводился расчет студентом. Остальные насадки выбираются того же типа, но других размеров, имеющих в

Оптимизация насадочного абсорбера 1.10

блок 1

Задание на проектирование

Расход газовой смеси, куб.м/с (н.у.)

Концентрация абсорбтива в газе, кг/кг_г

начальная, ун

конечная, ук

Концентрация абсорбтива в жидкости, кг/кг_ж

начальная, хн

Температура газа на входе, С

Давление газа на входе, МПа

Максимальная высота насадочной части, аппарата, м

блок 2

Термодинамические характеристики компонентов

Плотность, кг/куб.м

ин. газа

абсорбтива

Молярные массы, г/моль

ин. газа

абсорбтива

Молярные объемы, куб.см/моль

ин. газа

абсорбтива

Коэффициенты вязкости, мПа·с

ин. газа

абсорбтива

Коэффициент распределения, кг/кг

Коэффициент поверхностного натяжения абсорбента, Н/м

Параметр, учитывающий ассоциацию молекул, b

блок 3

Экономические показатели

Годовые отчисления от стоимости аппарата, %, ГА

Коэффициент полезного действия газодвиг., %, КГ

Коэффициент полезного действия насоса, %, КН

Цена электроэнергии, у.е./кВт·ч, Ц

Количество часов работы абсорбера в год

Коэффициенты стоимости аппарата:

стоимость монтажа, В0, у.е.

стоимость материала, В1, у.е./куб.м.

стоимость материала, В2, у.е./кг. м

Затраты на регенерацию абсорбента, у.е./кг. Ц1

блок 4

Характеристики насадки

Насадка 1

Насадка 2

Насадка 3

Насадка 4

Насадка 5

Насадка 6

Насадка 7

Насадка 8

Насадка 9

Отношение L/L_{мин}

Отношение w/w_{пред}

Рассчитать

Рис.3. Интерфейс программы

базе данных программы. Есть возможность выбора других типоразмеров насадки (на усмотрение руководителя проекта и студента). Возможные варианты типоразмеров насадок представлены в приложении, параметры которых можно просмотреть, нажав кнопку , которая появляется справа после выбора насадки (рис.4).

Кроме заложенных в базу программы типоразмеров насадки можно выбрать в спадающем списке «Другая (ввести параметры вручную)» и, нажав кнопку  напротив насадки, заполнить все необходимые параметры и нажать кнопку «Сохранить» (рис.5), тем самым задав свою насадку.

Параметры насадки

Керамические кольца Рашига (регулярная) 50x50x5

Удельная поверхность кв.м/куб.м: 110

Свободный объем, куб.м/куб.м: 0.735

Эквивалентный диаметр, м: 0.027

Высота элемента, м: 0.05

Коэффициенты в уравнении расчета предельной скорости:

A: 0.073

B: 1.75

Эффективная линейная плотность орошения кв.м/с: 2.2E-5

Тип насадки: Регулярная

Коэффициенты в уравнении расчета доли активной поверхности насадки:

p: 0.0194

q: 0.0086

Коэффициент в уравнении расчета гидравлического сопротивления:

b: 173

Сохранить

Рис.4. Параметры насадки

Кроме блоков 1 - 4 вводятся значения параметров оптимизации $L/L_{\min}$, $w/w_{\text{пред}}$, с использованием которых был выполнен расчет студентом вручную, для сравнения с компьютерным расчетом.

По окончании ввода данных необходимо нажать кнопку «Рассчитать». После окончания расчета на печать выводится ряд исходных данных и результатов расчета. На первой странице

выводятся исходные данные, теплофизические свойства, экономические показатели, результаты технологического расчета и экономики насадочного абсорбера с заданными студентом значениями $L/L_{\min}$, $w/w_{\text{пред}}$. На второй странице выводятся результаты оптимизации по всем выбранным размерам (типоразмерам) насадки с оптимальными соотношениями $L/L_{\min}$ и $w/w_{\text{пред}}$. Причем, во втором столбце приводятся результаты оптимизации с насадкой по заданию студента. После завершения печати программа автоматически закрывается.

Рис.5. Задание параметров насадки вручную

Далее студент осуществляет выбор оптимального варианта абсорбера по годовым затратам на функционирование установки. Студент проверяет правильность выполненных вручную расчетов с начальными значениями параметров оптимизации $L/L_{\min}$, $w/w_{\text{пред}}$. Проводится оценка экономического эффекта при сравнении оптимального и первоначального вариантов. Проводится анализ

влияния параметров оптимизации на геометрические размеры аппарата и годовые затраты.

Найденный оптимальный вариант технологического расчета служит в дальнейшем основой для механического и конструктивного расчетов и выполнения графической части курсового проекта.

ПРИМЕР ВЫВОДА РЕЗУЛЬТАТОВ НА ПЕЧАТЬ

(для примера используем данные из [1])

1 страница:

Версия программы: 1.10

Исходные данные:

Расход газовой смеси (н.у.): 13,9 м³/с (Массовый расход: 7,002 кг/с)

Концентрации абсорбтива в газе, кгА/кгУ:

начальная (y_n): 0,0864 (мольных %: 1,081) (массовых %: 7,952)

конечная (y_k): 0,0045 (мольных %: 0,056) (массовых %: 0,447)

Концентрации абсорбтива в абсорбенте, кгА/кгУ

начальная (x_n): 0,0015 (мольных %: 0,306) (массовых %: 0,149)

Температура в аппарате: 30 °С

Давление в аппарате: 0,119 МПа

Максимальный диаметр аппарата: 8 м

Максимальная высота аппарата: 40 м

Теплофизические свойства:

Плотность абсорбента: 1060 кг/м³

Молярная масса инертного газа: 10,5 г/моль Молярный объем

инертного газа: 21,6 см³/моль

Молярная масса абсорбтива: 83 г/моль Молярный объем

абсорбтива: 96 см³/моль

Молярная масса абсорбента: 170 г/моль

Коэффициент вязкости инертного газа: 0,01272 мПа·с

Коэффициент вязкости абсорбтива: 0,007 мПа·с

Коэффициент вязкости абсорбента: 16,5 мПа·с

Коэффициент вязкости газовой смеси: 0,01263 мПа·с

Коэффициент распределения: 2 кг/кг

Коэффициент поверхностного натяжения: 0,02 Н/м

Параметр, учитывающий ассоциацию молекул: 1

Экономические показатели:

Годовые амортизационные отчисления от стоимости аппарата: 10 %

КПД газодувки: 50 %

КПД насоса: 50 %

Цена электроэнергии: 0,01 у.е./кВт·ч

Работа абсорбера в год: 8000 часов

Коэффициент стоимости монтажа аппарата B_0 : 2000 у.е.

Коэффициент стоимости материала внутренних устройств B_1 : 300 у.е./м³

Коэффициент стоимости материала обечайки B_2 : 50 у.е./м²

Затраты на регенерацию абсорбента: 0,0003 у.е./кг

Технологический расчет варианта студента

Отношение $L/L_{\min}$: 1,5

Отношение $W/W_{\text{пр}}$: 0,4

Параметры насадки:

a : 65 м²/м³

e : 0,68 м³/м³

A : 0

B : 1,75

p : 0,0078

q : 0,0146

b : 119

Расчет:

Расход газовой смеси на параллельное подключение (н.у.): 13,9 м³/с

Расход абсорбента: 18,9877 кг/с

(Минимальный расход абсорбента: 12,6585 кг/с)

Конечная концентрация в абсорбенте (x_k): 0,0293 кгА/кгУ

Средняя движущая сила: 0,009008 кгА/кгУ

Предельная скорость газа: 2,794436 м/с

Диаметр абсорбера: 4 м

Рабочая скорость газа: 1,045074 м/с

Плотность орошения: 0,001425 м³/(м²·с)

($U < U_{\min}$) Коэффициент смачиваемости насадки: 1

Доля активной поверхности насадки: 0,954382

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе: 0,006605 кг/(м²·с)

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе: 0,00118 кг/(м²·с)

Коэффициент массопередачи: 0,000541 кг/(м²·с)

Поверхность массопередачи: 108172,41 м

Требуемая высота насадочной части: 138,76 м

Количество абсорберов установленных последовательно: 4

Количество абсорберов установленных параллельно: 1

Высота насадочной части одного абсорбера: 34,69 м

Высота одного абсорбера: 42,38 м

Гидравлическое сопротивление: 1051,44 Па

Амортизационные отчисления: 73696,75 у.е./год

Затраты на прокачку газа: 4337,08 у.е./год

Затраты на перекачку и регенерацию абсорбента: 165316,08 у.е./год

Суммарные затраты: 243349,92 у.е./год

2 страница:

Оптимизация

Параметры используемой насадки	Деревянная хордовая 10x100 мм с шагом в свету 20 мм	Деревянная хордовая 10x100 мм с шагом в свету 10 мм	Деревянная хордовая 10x100 мм с шагом в свету 30 мм
Диаметр абсорбера, м	3,6	3,4	3
Количество абсорберов соединенных параллельно	1	2	1
Количество абсорберов соединенных последовательно	4	3	4
Общее количество абсорберов	4	6	4
Высота насадочной части одного абсорбера, м	39,4315	39,9066	39,5496
Высота одного абсорбера, м	46,8888	47,1729	46,3816
Расход абсорбента, кг/с	18,2282	11,6458	17,2155

L/Lmin	1,4399	1,84	1,36
Рабочая фиктивная скорость, м/с	1,2902	0,7232	1,8579
W/Wпр	0,4569	0,4655	0,4625
Плотность орошения, куб.м/(кв.м с)	0,001689	0,00121	0,002297
Смачиваемость насадки	1	1	1
Доля активной поверхности насадки	0,96865	0,6101	1,34036
Коэффициент массоотдачи в газовой фазе, кг/(кв.м с)	0,0077198	0,005138	0,0100754
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, кг/(кв.м с)	0,0013405	0,0007555	0,0021193
Коэффициент массопередачи, кг/(кв.м с)	0,0006167	0,0003519	0,0009588
Гидравлическое сопротивление, Па	1809,42	1614,86	1775,43
Амортизационные отчисления, у.е./год	67280,53	91495,82	47838,91
Затраты на прокачку газа, у.е./год	7463,73	4995,89	7323,51
Затраты на перекачку и регенерацию абсорбента, у.е./год	158832,36	202962,84	149994,65
Суммарные затраты, у.е./год	233576,63	299454,56	205157,08

В данном случае оптимальным является вариант насадочного абсорбера с деревянной хордовой насадкой 10×100 мм с шагом в свету 30мм, т.к. обеспечивает минимум суммарных затрат.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом влияют выбранные параметры оптимизации на характеристики процесса и геометрические размеры аппарата?
2. Из чего складываются годовые затраты на функционирование абсорбционной установки и их зависимость от параметров оптимизации?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского. - 3-е изд., стереотип. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 496 с.
2. Разинов, А.И. Теоретические основы процессов химической технологии: учебное пособие / А.И.Разинов, О.В.Маминов, Г.С.Дьяконов. – Казань: Изд-во КГТУ, 2005. – 362с.
3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г. Романков, А.А.Носков. –14-е изд., стереотип. – М.: Альянс, 2007. – 575 с.
4. Коган, В.Б. Равновесие между жидкостью и паром: справочное пособие: в 2 т. / В.Б. Коган, В.М. Фридман, В.В. Кафаров. – М. – Л.: Наука, 1966.
5. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие: пер. с англ. / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; под ред. Б.И. Соколова - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1982г. - 592с.
6. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / под ред. Н.Б. Варгафтика. - М.: Физико-математическая литература, 1963. - 708 с.
7. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов / А.М. Каган [и др.]; общ. ред. А.Г. Лаптева. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.
8. Колонные аппараты: каталог. - М., ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978, - 31 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Возможные варианты типоразмеров насадки, заложенные в базу данных программы:

Керамические кольца Рашига (регулярная) 50х50х5
Керамические кольца Рашига (регулярная) 80х80х8
Керамические кольца Рашига (регулярная) 100х100х10
Керамические кольца Рашига (неупорядоченная) 10х10х1,5
Керамические кольца Рашига (неупорядоченная) 15х15х2
Керамические кольца Рашига (неупорядоченная) 25х25х3
Керамические кольца Рашига (неупорядоченная) 35х35х4
Керамические кольца Рашига (неупорядоченная) 50х50х5
Стальные кольца Рашига (неупорядоченная) 10х10х0,5
Стальные кольца Рашига (неупорядоченная) 15х15х0,5
Стальные кольца Рашига (неупорядоченная) 25х25х0,8
Стальные кольца Рашига (неупорядоченная) 50х50х1
Керамические кольца Палля (неупорядоченная) 25х25х3
Керамические кольца Палля (неупорядоченная) 35х35х4
Керамические кольца Палля (неупорядоченная) 50х50х5
Керамические кольца Палля (неупорядоченная) 60х60х6
Стальные кольца Палля (неупорядоченная) 15х15х0,4
Стальные кольца Палля (неупорядоченная) 25х25х0,6
Стальные кольца Палля (неупорядоченная) 35х35х0,8
Стальные кольца Палля (неупорядоченная) 50х50х1,0
Керамические седла Берля (неупорядоченная) 12,5
Керамические седла Берля (неупорядоченная) 25
Керамические седла Берля (неупорядоченная) 38
Керамические седла "Инталокс" (неупорядоченная) 12,5
Керамические седла "Инталокс" (неупорядоченная) 19
Керамические седла "Инталокс" (неупорядоченная) 25
Керамические седла "Инталокс" (неупорядоченная) 38
Керамические седла "Инталокс" (неупорядоченная) 50
Деревянная хордовая 10×100 мм с шагом в свету 10 мм
Деревянная хордовая 10×100 мм с шагом в свету 20 мм
Деревянная хордовая 10×100 мм с шагом в свету 30 мм

Ответственный за выпуск А.В. Малыгин

Лицензия №020404 от 06.03.97 г.

Подписано в печать 12.02.14.	Формат 60х84 1/16
Бумага офсетная.	Печать Riso.
1,44 уч.-изд.л.	Тираж 200 экз. Заказ
	усл.печ.л. «С»

Издательство Казанского национального исследовательского
технологического университета
Офсетная лаборатория Казанского национального
исследовательского технологического университета

420015, Казань, К.Маркса, 68