



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И
ТЕПЛОТЕХНИКЕ"
ДЛЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**КАЗАНЬ
2024**

Долгова А.Н.

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине "Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнике" для заочной формы обучения. - Казань: КГЭУ, 2024. – 28 стр.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Дополнительные расчетные выражения для насадки "Инжехим"	4
2. Расчет экономической эффективности применения энергосберегающего мероприятия	6
3. Задание на курсовую работу	7
4. Требования к оформлению курсовой работы	9
5. Пример расчета курсовой работы " Энергосбережение на абсорбционной установке для улавливания аммиака с расходом исходной смеси 0,4 м ³ /ч" (абсорбция аммиака водой)	10
Список литературы	25
Приложения	26
Макет титульного листа	26
Макет отзыва руководителя	27

КГЭУКАФ.ЭОС

1. Дополнительные расчетные выражения для насадки "Инжехим"

Общий вид нерегулярной насадки "Инжехим" показан на рисунке 1.



Рисунок 6.16 – Нерегулярные насадки «Инжехим»

Основные технические характеристики насадки «Инжехим» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики насадки «Инжехим»

Размер элемента, мм (D)	12		16		24
Толщина материала, мм	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5
Количество элементов в 1 м ³	558000		184000		65000
Удельная поверхность, a _v м ² /м ³	415,92	266,9	270,9	165,8	167,9
Свободный объем, V _{св} , м ³ /м ³	0,94	0,95	0,938	0,968	0,961
Эквивалентный диаметр, d _{экв} мм	9,06	14,2	13,9	23,4	22,9

Коэффициент массоотдачи β_{Γ} в газовой фазе вычисляется на основе средней диссипируемой энергии:

$$\beta_{\Gamma} = A \frac{\left(\varepsilon_{\Gamma-ж} \frac{v_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,25}}{Sc_{\Gamma}^{0,67} q^{0,4}}, \quad (1)$$

$$Sc_{\Gamma} = \frac{v_{\Gamma}}{D_{\Gamma}}, \quad q = \frac{\bar{L}}{S_k \rho_{ж}},$$

где A - коэффициент, который принимается равным 0,013 для колец, седел и регулярных насадок и 0,028 для нерегулярных насадок "Инжехим"; Sc_{Γ} - критерий Шмидта, D_{Γ} - коэффициент диффузии компонента в газовой фазе, м²/с; $\varepsilon_{\Gamma-ж}$ - диссипация энергии, Вт/м³; q - удельная плотность орошения,

$\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ с})$; ν_{Γ} – коэффициент кинематический вязкости газа, $\text{м}^2/\text{с}$. Значения D_{Γ} для некоторых смесей даны в приложении.

Коэффициент массоотдачи в жидкости $\beta_{\text{ж}}$ для насадки "Инжехим":

$$\beta_{\text{ж}} = 1,38 \sqrt{\frac{\pi U_{\text{ср}} \cdot D_{\text{ж}}}{2 l}} \text{Sc}_{\text{ж}}^{-0,5}, \quad (2)$$

где $\text{Sc}_{\text{ж}}$ – критерий Шмидта в жидкой фазе, $\text{Sc}_{\text{ж}} = \frac{\mu_{\text{ж}}}{D_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}}}$; $\mu_{\text{ж}}$ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$; $U_{\text{ср}}$ – средняя скорость жидкости в пленке, $\text{м}/\text{с}$; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для нерегулярных насадок, образованных изогнутыми полосами металлической ленты (типа «Инжехим» и др.) (рисунок 1) в качестве длины пути течения пленки следует принимать ширину или длину полосы элемента (в зависимости от расположения в слое). Если предположить, что часть насадок расположилась вертикально, то $l = h$, а если горизонтально то $l = L$, где h – ширина полосы, L – длина полосы, м. В расчетах в первом приближении можно задать $l = 0,017$.

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе для насадки "Инжехим" рассчитывается по выражению (1) с учетом значения безразмерного коэффициента $A=0,028$.

При расчете сопротивления сухого насадочного слоя $\Delta P'_{\text{сух}}$ в формуле (6.41 [1]) коэффициент гидравлического сопротивления определяется по формуле

$$\lambda = 4,99 \cdot \text{Re}_{\Gamma}^{-0,04}. \quad (3)$$

В формуле (6.45 [1]) коэффициент $b' = 184$ для насадки "Инжехим".

2. Расчет экономической эффективности применения энергосберегающего мероприятия

Определение затрат на электроэнергию $Z_{эл}$, руб/кг:

$$Z_{эл1} = \frac{G_H \cdot H_{ап} \cdot C_{эл}}{3600 \cdot \eta_{эл.двиг}}, \quad (4)$$

где $C_{эл}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; $\eta_{эл.двиг} = 0,85$ – КПД электродвигателя; высота аппарата с учетом днища и крышки колонны $H_{ап}$ (м):

$$H_{ап} = H_H + 0,4. \quad (5)$$

Затраты на электроэнергию $Z_{эл}$, руб/год:

$$Z_{эл2} = \frac{N \cdot 8000 \cdot C_{эл}}{1000 \cdot \eta_{эл.двиг}}, \quad (6)$$

где N – энергия на подачу газа вычисляется по формуле (6.72 [1]):

$$N = \frac{\Delta P_{ор} G}{\rho_{г}} \quad (\text{Вт})$$

где $\Delta P_{ор} = \Delta P'_{ор} H_H$ – гидравлическое сопротивление всей колонны с насадкой (без учета местных сопротивлений оросителей и распределителей жидкости).

3. Задание на курсовую работу

Рассчитать и спроектировать абсорбционную установку непрерывного действия для улавливания указанного в задании компонента из воздушно – газовой смеси водой.

Исходные данные:

Количество газовой смеси, поступающей на установку V , м³/ч;

Температура газовой смеси $t_{г}$, °С;

Температура газовой смеси, подаваемой в абсорбер $t_{а}$, °С;

Начальная концентрация компонента в газовой фазе $y_{н}$, мольных долей;

Степень извлечения ϕ ;

Начальная концентрация компонента в воде $x_{н}$, мольных долей;

Начальная температура воды, поступающей в абсорбер $t_{в}$, °С;

Начальная температура охлаждающей воды – 15 °С;

Степень насыщения воды распределяемым компонентом η ;

Давление в абсорбере – атмосферное;

Согласно полученного варианта задания, расчет выполняется для колонны сначала с насадкой 1 (кольца Рашига). Затем необходимо рассмотреть энергосберегающую модернизацию внутреннего устройства колонны путем замены насадки 1 на насадку 2 ("Инжехим").

Варианты заданий двухзначные и соответствуют порядковому номеру в ведомости (01, 02, 03 и т.д., 11, 12, 13 и т.д.):

- по первой цифре выбирается поглощаемый компонент и размер насадок для расчета в таблице 2;

- по второй цифре выбираются параметры работы установки в таблице 3.

Например, для номера 01 поглощаемый компонент, согласно таблицы 2 (цифра 0), будет аммиак, насадки кольца Рашига (10×10×1,5 мм) и Инжехим (12 мм). Параметры работы установки, согласно таблицы 3 (цифра 1), составляют: количество газовой смеси 5 м³/ч, температура газовой смеси 450 °С, температура газовой смеси, подаваемой в абсорбер 30 °С, начальная концентрация компонента в газовой фазе 0,12 мольных долей, степень извлечения 0,95, начальная концентрация компонента в воде 0,120 мольных долей, начальная температура воды, поступающей в абсорбер 18 °С, начальная температура охлаждающей воды 15 °С, степень насыщения воды распределяемым компонентом 0,75.

Таблица 25 Наименование поглощаемого вещества (компонента)
(первая цифра варианта задания)

№ варианта	Поглощаемый компонент	Насадка 1 (кольца Рашига)	Насадка 2 ("Инжехим")
0	Аммиак	10×10×1,5 мм неупор.	12 мм
1	Оксид углерода	15×15×2 мм неупор.	16 мм
2	Диоксид углерода	25×25×3 мм неупор.	24 мм
3	Хлористый водород	50×50×5 мм упор.	45 мм

Таблица 26. Варианты заданий
(вторая цифра варианта задания)

№ варианта	V	$t_{Г}$	$y_{Н}$	φ	$x_{Н}$	$t_{В}$	η	$t_{а}$
1	5	450	0,12	0,95	0,120	18	0,75	30
2	8	480	0,1	0,94	0,15	20	0,78	31
3	10	400	0,14	0,96	0,2	22	0,80	31
4	6	410	0,08	0,96	0	21	0,76	28
5	12	425	0,12	0,94	0,13	19	0,77	27
6	9	375	0,11	0,93	0,11	16	0,72	25
7	7	420	0,09	0,97	0,08	20	0,74	32
8	11	415	0,13	0,92	0,07	22	0,82	28
9	13	410	0,12	0,94	0,11	17	0,77	27
0	7,5	460	0,10	0,95	0,1	18	0,80	25

4. Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа выполняется в соответствии с "Положением о курсовой работе и курсовом проекте" (приказ ректора КГЭУ №335 от 31.08.2022)

Структура курсовой работы (проекта) включает в себя следующие основные элементы в порядке их расположения:

- титульный лист;
- содержание (оглавление);
- определения, обозначения и сокращения (при необходимости);
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (в случае необходимости).

Параметры оформления текстовой части соответствуют требованиям методических указаний [3]. В частности включают в себя:

- основной текст должен быть набран на компьютере в текстовом редакторе MicrosoftWord и распечатан на одной стороне листа белой бумаги формата А4 с соблюдением следующих размеров полей: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – 20 мм.

- для набора текста следует использовать: гарнитуру шрифта – Times New Roman, размер шрифта (кегля) основного текста – 14 пт, в таблицах – допускается до 10 пт, цвет шрифта – черный.

- абзацный отступ выполняется одинаковым по всему тексту и равен 1,25 см, межстрочный интервал – полуторный, выравнивание текста – по ширине.

**5. Пример расчета курсовой работы «Энергосбережение на абсорбционной установке для улавливания аммиака с расходом исходной смеси 0,4 м³/ч»
(абсорбция аммиака водой)**

Рассчитать насадочный абсорбер для абсорбции воздушно-аммиачной смеси при $t = 20$ °C и $p = 1$ атм. Начальная концентрация аммиака в воздухе $y_H = 0,15$ мольных долей, массовый расход газовой смеси $G = \frac{0,4 \cdot 1000}{3600} = 0,11$ кг/с. Начальная концентрация аммиака в жидкости (воде) $x_H = 0$. Степень извлечения $\varphi = 0,88$, $m \approx 1$.

Концентрация компонента в газовой фазе на выходе из аппарата (6.10 [1])

$$y_K = 1 - \varphi y_H = 1 - 0,88 \cdot 0,15 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ мольн. дол.}$$

Относительная массовая концентрация (6.8 [1])

$$\bar{Y}_H = \frac{M_a y_H}{M_b (1 - y_H)} = \frac{17 \cdot 0,15}{29(1 - 0,15)} = 0,1034 \frac{\text{кг} \cdot \text{NH}_3}{\text{кг} \cdot \text{возд}},$$

$$\bar{Y}_K = \frac{M_a y_K}{M_b (1 - y_K)} = \frac{17 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2}}{29(1 - 1,8 \cdot 10^{-2})} = 1,075 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{NH}_3}{\text{кг} \cdot \text{возд}},$$

где $M_a = 17$ – молекулярная масса аммиака (табл. 1 прил. [1]), $M = 29$ – молекулярная масса воздуха.

Количество переданной массы M (6.9 [1]):

$$M = \bar{G}(\bar{Y}_H - \bar{Y}_K) = 0,0997 \cdot (0,1034 - 1,075 \cdot 10^{-2}) = 9,24 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с},$$

где $\bar{G} = G_H \left(1 - \frac{M_a y_H}{M_{\text{смг}}} \right) = 0,11 \left(1 - \frac{17 \cdot 0,15}{27,2} \right) = 0,0997 \text{ кг/с}.$

Молекулярная масса смеси газов $M_{смг}$:

$$M_{смг} = (M_a y_H + M_b (1 - y_H)) = 17 \cdot 0,15 + 29(1 - 0,15) = 27,2 \text{ кмоль/кг.}$$

Коэффициент распределения m , \bar{m} (6.4 [1]), (6.5 [1]) (для аммиака в воздухе $m \approx 1$):

$$m \approx 1 \left(\frac{\text{МОЛЬН. Д.}}{\text{МОЛЬН. Д.}} \right), \quad \bar{m} = m \frac{M_{смж}}{M_{смг}} = 1 \frac{18}{27,2} = 0,66 \frac{\text{масс. д.}}{\text{масс. д.}}$$

Минимальный расход жидкого поглотителя \bar{L}_{\min} (6.17 [1]):

$$\bar{L}_{\min} = \frac{M}{\bar{X}_k^* - \bar{X}_H} = \frac{9,24 \cdot 10^{-3}}{0,1567 - 0} = 5,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с,}$$

где $\bar{X}_k^* = \bar{Y}_H / \bar{m} = \frac{0,1034}{0,66} = 0,1567 \text{ кг NH}_3/\text{кг H}_2\text{O.}$

Рабочий расход поглотителя \bar{L} (6.18 [1]):

$$\bar{L} = \phi \bar{L}_{\min} = 1,5 \cdot 5,9 \cdot 10^{-2} = 8,85 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с.}$$

Концентрация поглотителя в жидкости на выходе \bar{X}_k :

$$\bar{X}_k = \bar{X}_H + \frac{M}{\bar{L}} = 0 + \frac{9,24 \cdot 10^{-3}}{8,85 \cdot 10^{-2}} = 0,1044 \text{ кг NH}_3/\text{кг H}_2\text{O.}$$

Расчет аппарата с насадкой из Колец Рашига

Для данной насадки – кольца Рашига в навал с параметрами (табл. 22 прил. с учетом табл. 4 [1]) $V_{св} = 0,7 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $a_v = 440 \text{ м}^2/\text{м}^3$ – уравнение (6.23 [1]) примет вид:

$$\lg \left(\frac{W_3^2 a_v \rho_{\Gamma} \mu_{\text{ж}}^{0,16}}{g V_{св}^3 \rho_{\text{ж}}} \right) = A - B \left(\frac{\bar{L}}{\bar{G}} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,125},$$

$$\lg\left(\frac{W_3^2 \cdot 440 \cdot 1,2 \cdot 1^{0,16}}{9,81 \cdot 0,7^3 \cdot 1000}\right) = -0,073 - 1,75 \cdot \left(\frac{8,85 \cdot 10^{-2}}{0,0997}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{1,2}{1000}\right)^{0,125}.$$

или после вычислений

$$\lg(0,1569W_3^2) = -0,806,$$

Из данного выражения получим:

$$W_3 = \sqrt{\frac{10^{-0,806}}{0,1569}} = 0,998 \text{ м/с};$$

где $\rho_{\text{ж}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{г}} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\mu_{\text{ж}} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ (табл. 3, 7, 8 прил.).

Рабочая скорость газа W (6.24 [1]):

$$W = bW_3 = 0,75 \cdot 0,998 = 0,7485 \text{ м/с}.$$

Диаметр колонны $D_{\text{к}}$ (6.25 [1]):

$$D_{\text{к}} = \sqrt{\frac{G}{\rho_{\text{г}} \cdot 0,785W}} = \sqrt{\frac{0,11}{1,2 \cdot 0,785 \cdot 0,7485}} = 0,395 \text{ м}.$$

Из табл. 6.4, 6.5 [1] выбираем колонну диаметром $D_{\text{ст}} = 0,4 \text{ м}$. Тогда площадь колонны:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi D_{\text{гост}}^2}{4} = \frac{\pi 0,4^2}{4} = 0,1257 \text{ м}^2.$$

Уточняем скорость газа $W = G / (\rho_{\text{г}} S_{\text{к}})$ ($W = 0,73 \text{ м/с}$).

Коэффициент растекания жидкости \tilde{D} (6.27 [1]):

$$\tilde{D} = a_1 + b_1 \lg d_{\text{нас}} = 0,135 + 0,572 \lg 1 = 0,135 \text{ см}.$$

По рис. 6.10 [1] для $\tilde{D}=0,135$ см число точек орошения $n=40$ при высоте растекания $h=1$ м.

Средняя движущая сила массопередачи $\Delta \bar{Y}_{\text{cp}}$ (6.20 [1]):

$$\Delta Y_{\text{cp}} = \frac{\Delta \bar{Y}_{\text{H}} - \Delta \bar{Y}_{\text{K}}}{\ln \frac{\Delta \bar{Y}_{\text{H}}}{\Delta \bar{Y}_{\text{K}}}} = \frac{3,45 \cdot 10^{-2} - 1,075 \cdot 10^{-2}}{\ln \frac{3,45 \cdot 10^{-2}}{1,075 \cdot 10^{-2}}} =$$

$$= 2,0367 \cdot 10^{-2} \text{ кг NH}_3/\text{кг возд.},$$

где $\Delta \bar{Y}_{\text{H}} = \bar{Y}_{\text{H}} - \bar{Y}_{\text{H}}^* = 0,1034 - 6,89 \cdot 10^{-2} = 3,45 \cdot 10^{-2}$ кг NH₃/кг возд.,

$\Delta \bar{Y}_{\text{K}} = \bar{Y}_{\text{K}} - \bar{Y}_{\text{K}}^* = 1,075 \cdot 10^{-2} - 0 = 1,075 \cdot 10^{-2}$ кг NH₃/кг возд.,

$$\bar{Y}_{\text{H}}^* = \bar{m} \bar{X}_{\text{K}} = 0,66 \cdot 0,1044 = 6,89 \cdot 10^{-2}, \quad \bar{Y}_{\text{K}}^* = \bar{m} \bar{X}_{\text{H}} = 0,66 \cdot 0 = 0.$$

Число единиц переноса $n_{\text{ог}}$ (6.22 [1]):

$$n_{\text{ог}} = \frac{\bar{Y}_{\text{H}} - \bar{Y}_{\text{K}}}{\Delta \bar{Y}_{\text{cp}}} = \frac{0,1034 - 1,075 \cdot 10^{-2}}{2,0367 \cdot 10^{-2}} = 4,55.$$

Критерий Рейнольдса газа Re_{Γ} (6.44 [1]):

$$\text{Re}_{\Gamma} = \frac{4W \rho_{\Gamma}}{a_{\nu} \mu_{\Gamma}} = \frac{4 \cdot 0,73 \cdot 1,2}{440 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = 453,$$

где $\mu_{\Gamma} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Па·с (табл. 8 прил. [1]).

Коэффициент гидравлического сопротивления λ (6.43 [1]):

$$\lambda = \frac{16}{\text{Re}_{\Gamma}^{0,2}} = \frac{16}{453,64^{0,2}} = 4,71.$$

Сопротивление сухого насадочного слоя $\Delta \bar{P}'_{\text{сух}}$ (6.41 [1]):

$$\Delta P'_{\text{сух}} = \lambda \frac{1}{d_{\text{ЭКВ}}} \frac{\rho_{\Gamma} \left(\frac{W}{V_{\text{СВ}}} \right)^2}{2} = 4,71 \cdot \frac{1}{6,36 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,2 \cdot \left(\frac{0,73}{0,7} \right)^2}{2} = 508 \text{ Па/м},$$

где $d_{\text{ЭКВ}} = \frac{4V_{\text{СВ}}}{a_{\nu}} = \frac{4 \cdot 0,7}{440} = 6,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$

Сопротивление орошаемого насадочного слоя $\Delta P'_{\text{ор}}$ (6.45 [1]):

$$\Delta P'_{\text{ор}} = \Delta P'_{\text{сух}} 10^{b'q} = 508 \cdot 10^{184 \cdot 7,04 \cdot 10^{-4}} = 684 \text{ Па/м},$$

где $q = \frac{\bar{L}}{S_{\text{к}} \rho_{\text{ж}}} = \frac{8,85 \cdot 10^{-2}}{0,1257 \cdot 1000} = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}.$

Коэффициент смачиваемости ψ (6.38 [1]):

$$\psi = 1 - \exp\left(-0,16 \cdot 6,4^{0,4}\right) = 0,286,$$

где $\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{4q\rho_{\text{ж}}}{a_{\nu}\mu_{\text{ж}}} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{440 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 6,4.$

Диссипация энергии газового потока $\epsilon_{\Gamma-\text{ж}}$ (6.36 [1]):

$$\epsilon_{\Gamma-\text{ж}} = \frac{\Delta P'_{\Gamma-\text{ж}} W}{V_{\text{СВ}} - \delta_{\text{ж}}} = \frac{321,86 \cdot 0,73}{0,7 - 2,299 \cdot 10^{-2}} = 355,8 \text{ Вт/м}^3,$$

где

$$\Delta P'_{\Gamma-\text{ж}} = \Delta P'_{\text{ор}} - \Delta P'_{\text{сух}} (1 - \psi_{\text{м}}) = 684,61 - 508,05 \cdot (1 - 0,286) = 321,86 \text{ Па/м},$$

$$\delta_{\text{ж}} = \delta_{\text{жст}} + \delta_{\text{жд}} = 2,34 \cdot 10^{-5} + 2,296 \cdot 10^{-2} = 2,299 \cdot 10^{-2},$$

$$\delta_{\text{жст}} = b_2 d_{\text{ш}}^{-p} \mu_{\text{ж}}^m \sigma^n \rho_{\text{ж}}^{-0,37} =$$

$$= 0,00005 \cdot (2,37 \cdot 10^{-2})^{-1,21} (1 \cdot 10^{-3})^{0,02} (0,0728)^{0,99} (1000)^{-0,37} = 2,34 \cdot 10^{-5},$$

$$d_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{a_v}{\pi N}} = \sqrt{\frac{440}{3,14 \cdot 250000}} = 2,37 \cdot 10^{-2} \text{ м, } \sigma_{\text{ж}} = 0,0728 \text{ Н/м,}$$

$$\delta_{\text{жд}} = 0,38 \text{Re}_{\text{ж}}^{0,56} \text{Ga}^{-0,33} = 0,38 \cdot 6,4^{0,56} \cdot 115162,47^{-0,33} = 2,296 \cdot 10^{-2}.$$

Критерий Галилея Ga (6.40 [1]):

$$\text{Ga} = \frac{g \rho_{\text{ж}}^2}{\mu_{\text{ж}}^2 a_v^3} = \frac{9,81 \cdot 1000^2}{(1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 440^3} = 115162,47.$$

Коэффициент массоотдачи в газе β_{Γ} (6.35 [1]):

$$\beta_{\Gamma} = 0,013 \frac{\left(\varepsilon_{\Gamma-\text{ж}} \frac{v_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,25}}{\text{Sc}_{\Gamma}^{\frac{2}{3}} q^{0,4}} = 0,013 \frac{\left(355,85 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{1,2} \right)^{0,25}}{0,84^{0,6} (7,04 \cdot 10^{-4})^{0,4}} = 6,88 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\text{при } \text{Sc}_{\Gamma} = \frac{v_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{1,79 \cdot 10^{-5}} = 0,84, \quad v_{\Gamma} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{1,2} = 1,5 \cdot 10^{-5},$$

где

$$D_{\Gamma} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{P \left(v_A^{\frac{3}{2}} + v_B^{\frac{3}{2}} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} =$$

$$= \frac{4,3 \cdot 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{p \left(v_A^{\frac{3}{2}} + v_B^{\frac{3}{2}} \right)} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} 293^{\frac{3}{2}}}{1 \left(25,8^{\frac{3}{2}} + 29,9^{\frac{3}{2}} \right)} \sqrt{\frac{1}{17} + \frac{1}{29}} = 1,79 \cdot 10^{-5}.$$

Коэффициент массоотдачи в жидкости $\beta_{\text{ж}}$ (6.46 [1]):

$$\beta_{\text{ж}} = 0,93 \sqrt{\frac{q a_v \psi_M D_{\text{ж}}}{\pi V_{\text{св}} \delta_{\text{жд}}}} = 0,93 \cdot \sqrt{\frac{7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 440 \cdot 0,286 \cdot 1,8 \cdot 10^{-9}}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 2,296 \cdot 10^{-2}}} = 5,23 \cdot 10^{-5},$$

$$D_{\text{ж}} = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с} \text{ (табл. 19 прил. [1]).}$$

Коэффициент массопередачи $K_{\text{ог}}$ (6.34 [1]):

$$K_{\text{ог}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{\bar{m} \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}} \right)}{\beta_{\text{ж}}}} = \left[\left(\frac{1}{6,88 \cdot 10^{-2}} \right) + \left(\frac{0,66 \cdot \frac{1,2}{1000}}{5,23 \cdot 10^{-5}} \right) \right]^{-1} = 3,37 \cdot 10^{-2} \text{ м/с.}$$

Высота единиц переноса $h_{\text{ог}}$ (6.47 [1]):

$$h_{\text{ог}} = \frac{\bar{G}}{\rho_{\Gamma} K_{\text{ог}} S_{\text{к}} a_v \psi_a} = \frac{0,0997}{1,2 \cdot 3,37 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1257 \cdot 440 \cdot 0,0549} = 0,806,$$

$$\text{где } \psi_a = A_3 W_{\text{ж}}^{0,455} (\sigma)^{-m_3} = 2,26 \cdot 0,704^{0,455} \cdot (0,0728 \cdot 10^3)^{-0,83} = 0,0549,$$

$$\text{при } W_{\text{ж}} = q \rho_{\text{ж}} = 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 0,704 \text{ и}$$

$$m_3 = b_3 d_{\text{нас}}^{-p_3} = 0,83 \cdot 1^{-0,48} = 0,83.$$

Высота слоя насадки H_n (6.48 [1]):

$$H_n = h_{ог} n_{ог} = 0,806 \cdot 4,55 = 3,67 \text{ м.}$$

Поверхность массопередачи F (6.49 [1]) и (6.50 [1]):

$$F = a_v \psi_a S_k H = 440 \cdot 0,0549 \cdot 0,1257 \cdot 3,67 = 11,15,$$

$$F = \frac{M}{K_{ог} \Delta \bar{Y}_{cp} \rho_r} = \frac{9,24 \cdot 10^{-3}}{3,37 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0367 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2} = 11,23.$$

Поверхности массопередачи F , рассчитанные по формулам (6.49 [1]) и (6.50 [1]), согласуются с погрешностью около 1 %, следовательно, расчет выполнен правильно.

Высота секции насадки в абсорбере:

$$H_{сек} = 4D_k = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ м.}$$

Число секций $n = H_n / H_{сек} = 3,67 / 1,6 = 2,3$, т.е. принимается $n=3$, $H_{сек}=1,23$ м.

Затраты на электроэнергию колонны с насадкой из колец Рашига $Z_{эл}$ составляют:

$$Z_{эл2} = \frac{N \cdot 8000 \cdot C_{эл}}{1000 \cdot \eta_{эл.двиг}} = \frac{905,16 \cdot 8000 \cdot 5,09}{1000 \cdot 0,85} = 43383,56 \text{ руб/год,}$$

где - энергия на подачу газа вычисляется по формуле:

$$N = \frac{\Delta P_{op} G}{\rho_r} = \frac{2715,48 \cdot 0,4}{1,2} = 905,16 \text{ Вт.}$$

$$\Delta P_{op} = \Delta P'_{op} H_n = 684 \cdot (3,57 + 0,4) = 2715,48 \text{ Па.}$$

Расчет аппарата с насадкой "Инжехим"

Для насадки возьмем данные из таблицы 1: $V_{св}=0,94 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $a_v=415 \text{ м}^2/\text{м}^3$,
 $d_{эКВ} = 9,06 \text{ мм}$ [2].

Таблица 1. Основные технические характеристики насадки «Инжехим»

Размер элемента, мм (D)	12	16		24	
Толщина материала, мм	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5
Количество элементов в 1, N м ³	558000	184000		65000	
Удельная поверхность, a _v м ² /м ³	415,92	266,9	270,9	165,8	167,9
Свободный объем, V _{св} , м ³ /м ³	0,94	0,95	0,938	0,968	0,961
Эквивалентный диаметр, d _{эКВ} мм	9,06	14,2	13,9	23,4	22,9

$$\lg \left(\frac{W_3^2 a_v \rho_{\Gamma} \mu_{\text{ж}}^{0,16}}{g V_{св}^3 \rho_{\text{ж}}} \right) = A - B \left(\frac{\bar{L}}{\bar{G}} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,125},$$

$$\lg \left(\frac{W_3^2 \cdot 415 \cdot 1,2 \cdot 1^{0,16}}{9,81 \cdot 0,94^3 \cdot 1000} \right) = -0,073 - 1,75 \cdot \left(\frac{8,85 \cdot 10^{-2}}{0,0997} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{1,2}{1000} \right)^{0,125}.$$

$$\lg(0,0243 \cdot W_3^2) = -0,806,$$

Из данного выражения получим:

$$W_3 = \sqrt{\frac{10^{-0,806}}{0,0243}} = 2,536 \text{ м/с};$$

где $\rho_{\text{ж}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\Gamma} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\mu_{\text{ж}} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ (табл. 3, 7, 8 прил. [1]).

Рабочая скорость газа W :

$$W = b W_3 = 0,75 \cdot 2,536 = 1,9 \text{ м/с}.$$

Диаметр колонны D_k :

$$D_{\kappa} = \sqrt{\frac{G}{\rho_2 \cdot 0,785W}} = \sqrt{\frac{0,11}{1,2 \cdot 0,785 \cdot 1,9}} = 0,248 \text{ м.}$$

Из табл. 6.4, 6.5 [1] выбираем колонну диаметром $D_{\text{ст}}=0,4$ м. Тогда площадь колонны:

$$S_{\kappa} = \frac{\pi D_{\text{гост}}^2}{4} = \frac{\pi 0,4^2}{4} = 0,1257 \text{ м}^2.$$

Уточняем скорость газа $W = G / (\rho_{\Gamma} S_{\kappa})$ ($W = 0,73$ м/с).

Коэффициент растекания жидкости \tilde{D} :

$$\tilde{D} = a_1 + b_1 \lg d_{\text{нас}} = 0,135 + 0,572 \lg 1 = 0,135 \text{ см.}$$

По рис. 6.10 [1] для $\tilde{D}=0,135$ см число точек орошения $n=40$ при высоте растекания $h=1$ м.

Средняя движущая сила массопередачи $\Delta \bar{Y}_{\text{ср}}$:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{\text{ср}} &= \frac{\Delta \bar{Y}_{\text{H}} - \Delta \bar{Y}_{\text{K}}}{\ln \frac{\Delta \bar{Y}_{\text{H}}}{\Delta \bar{Y}_{\text{K}}}} = \frac{3,45 \cdot 10^{-2} - 1,075 \cdot 10^{-2}}{\ln \frac{3,45 \cdot 10^{-2}}{1,075 \cdot 10^{-2}}} = \\ &= 2,0367 \cdot 10^{-2} \text{ кг NH}_3/\text{кг возд.}, \end{aligned}$$

где $\Delta \bar{Y}_{\text{H}} = \bar{Y}_{\text{H}} - \bar{Y}_{\text{H}}^* = 0,1034 - 6,89 \cdot 10^{-2} = 3,45 \cdot 10^{-2}$ кг NH₃/кг возд.,

$\Delta \bar{Y}_{\text{K}} = \bar{Y}_{\text{K}} - \bar{Y}_{\text{K}}^* = 1,075 \cdot 10^{-2} - 0 = 1,075 \cdot 10^{-2}$ кг NH₃/кг возд.,

$$\bar{Y}_{\text{H}}^* = \bar{m} \bar{X}_{\text{K}} = 0,66 \cdot 0,1044 = 6,89 \cdot 10^{-2}, \quad \bar{Y}_{\text{K}}^* = \bar{m} \bar{X}_{\text{H}} = 0,66 \cdot 0 = 0.$$

Число единиц переноса $n_{\text{ог}}$:

$$n_{\text{ог}} = \frac{\bar{Y}_{\text{H}} - \bar{Y}_{\text{K}}}{\Delta \bar{Y}_{\text{ср}}} = \frac{0,1034 - 1,075 \cdot 10^{-2}}{2,0367 \cdot 10^{-2}} = 4,55.$$

Критерий Рейнольдса газа Re_r :

$$Re_r = \frac{4W\rho_r}{a_v\mu_r} = \frac{4 \cdot 0,73 \cdot 1,2}{415 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = 469,$$

где $\mu_r = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Па·с (табл. 8 прил. [1]).

Коэффициент гидравлического сопротивления λ :

$$\lambda = 4,99 \cdot Re_r^{0,04} = 4,99 \cdot 469^{-0,04} = 3,9.$$

Сопротивление сухого насадочного слоя $\Delta\bar{P}'_{\text{сух}}$:

$$\Delta P'_{\text{сух}} = \lambda \frac{1}{d_{\text{экв}}} \frac{\rho_r \left(\frac{W}{V_{\text{св}}} \right)^2}{2} = 3,9 \cdot \frac{1}{9,06 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,2 \cdot \left(\frac{0,73}{0,94} \right)^2}{2} = 146,9 \text{ Па/м},$$

Сопротивление орошаемого насадочного слоя $\Delta P'_{\text{ор}}$:

$$\Delta P'_{\text{ор}} = \Delta P'_{\text{сух}} 10^{b'q} = 146,9 \cdot 10^{184 \cdot 7,04 \cdot 10^{-4}} = 197,7 \text{ Па/м},$$

$$\text{где } q = \frac{\bar{L}}{S_k \rho_{\text{ж}}} = \frac{8,85 \cdot 10^{-2}}{0,1257 \cdot 1000} = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}.$$

Коэффициент смачиваемости ψ :

$$\psi = 1 - \exp\left(-0,16 \cdot 6,4^{0,4}\right) = 0,286,$$

$$\text{где } Re_{\text{ж}} = \frac{4q\rho_{\text{ж}}}{a_v\mu_{\text{ж}}} = \frac{4 \cdot 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{440 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 6,4.$$

Диссипация энергии газового потока $\varepsilon_{\Gamma-\text{ж}}$:

$$\varepsilon_{\Gamma-\text{ж}} = \frac{\Delta P'_{\Gamma-\text{ж}} W}{V_{\text{св}} - \delta_{\text{ж}}} = \frac{92,81 \cdot 0,73}{0,94 - 1,93 \cdot 10^{-2}} = 73,58 \text{ Вт/м}^3,$$

где $\Delta P'_{\Gamma-ж} = \Delta P'_{op} - \Delta P'_{cух} (1 - \psi_M) = 197,7 - 146,9 \cdot (1 - 0,286) = 92,81$ Па/м,

$$\delta_{ж} = \delta_{жст} + \delta_{жд} = 9,93 \cdot 10^{-6} + 1,93 \cdot 10^{-2} = 1,93 \cdot 10^{-2},$$

$$\delta_{жст} = b_2 d_{ш}^{-p} \mu_{ж}^m \sigma^n \rho_{ж}^{-0,37} =$$

$$= 0,00005 \cdot (4,8 \cdot 10^{-2})^{-1,21} (1 \cdot 10^{-3})^{0,02} (0,0728)^{0,99} (1000)^{-0,37} = 9,93 \cdot 10^{-6},$$

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{a_v}{\pi N}} = \sqrt{\frac{415}{3,14 \cdot 558000}} = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м, } \sigma_{ж} = 0,0728 \text{ Н/м,}$$

$$\delta_{жд} = 0,38 \text{Re}_{ж}^{0,56} \text{Ga}^{-0,33} = 0,38 \cdot 6,4^{0,56} \cdot 137254,62^{-0,33} = 1,93 \cdot 10^{-2}.$$

Критерий Галилея Ga:

$$\text{Ga} = \frac{g \rho_{ж}^2}{\mu_{ж}^2 a_v^3} = \frac{9,81 \cdot 1000^2}{(1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 415^3} = 137254,62.$$

Коэффициент массоотдачи в газе β_{Γ} :

$$\beta_{\Gamma} = A \frac{\left(\varepsilon_{\Gamma-ж} \frac{v_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,25}}{\text{Sc}_{\Gamma}^{\frac{2}{3}} q^{0,4}} = 0,028 \frac{\left(73,58 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{1,2} \right)^{0,25}}{0,84^{0,6} (7,04 \cdot 10^{-4})^{0,4}} = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\text{при } \text{Sc}_{\Gamma} = \frac{v_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{1,79 \cdot 10^{-5}} = 0,84, \quad v_{\Gamma} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{1,2} = 1,5 \cdot 10^{-5},$$

где

$$D_{\Gamma} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{P \left(v_A^{\frac{3}{2}} + v_B^{\frac{3}{2}} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} =$$

$$= \frac{4,3 \cdot 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{P \left(v_A^{\frac{3}{2}} + v_B^{\frac{3}{2}} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} 293^{\frac{3}{2}}}{1 \left(25,8^{\frac{3}{2}} + 29,9^{\frac{3}{2}} \right)} \sqrt{\frac{1}{17} + \frac{1}{29}} = 1,79 \cdot 10^{-5}.$$

Коэффициент массоотдачи в жидкости $\beta_{ж}$:

$$\beta_{ж} = 0,38 \sqrt{\frac{q \cdot V_{ж}}{\pi \delta_{жд} l}} Sc_{ж}^{-0,5} = 1,38 \sqrt{\frac{7,04 \cdot 10^{-4}}{2} \frac{1 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1,93 \cdot 10^{-2} \cdot 0,017}} 555,5^{-0,5} = 1,07 \cdot 10^{-4},$$

$$V_{ж} = \frac{\mu_{ж}}{\rho_{ж}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1000} = 1 \cdot 10^{-6}, Sc_{ж} = \frac{\mu_{ж}}{D_{ж} \cdot \rho_{ж}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 10^{-9} \cdot 1000} = 555,5$$

$D_{ж} = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ (табл. 19 прил. [1]),

Коэффициент массопередачи $K_{ог}$:

$$K_{ог} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{1}{\beta_{ж}}} = \left[\left(\frac{1}{9,8 \cdot 10^{-2}} \right) + \left(\frac{0,66 \cdot \frac{1,2}{1000}}{1,07 \cdot 10^{-4}} \right) \right]^{-1} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}.$$

Высота единиц переноса $h_{ог}$:

$$h_{ог} = \frac{\bar{G}}{\rho_{\Gamma} K_{ог} S_K a_v \psi_a} = \frac{0,0997}{1,2 \cdot 5,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1257 \cdot 415 \cdot 0,0549} = 0,51,$$

где $\psi_a = A_3 W_{\text{ж}}^{0,455} (\sigma)^{-m_3} = 2,26 \cdot 0,704^{0,455} \cdot (0,0728 \cdot 10^3)^{-0,83} = 0,0549$,

при $W_{\text{ж}} = q \rho_{\text{ж}} = 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 0,704$ и

$m_3 = b_3 d_{\text{нас}}^{-p_3} = 0,83 \cdot 1^{-0,48} = 0,83$.

Высота слоя насадки $H_{\text{н}}$:

$$H_{\text{н}} = h_{\text{ог}} n_{\text{ог}} = 0,51 \cdot 4,55 = 2,32 \text{ м.}$$

Поверхность массопередачи F :

$$F = a_v \psi_a S_{\text{к}} H = 415 \cdot 0,0549 \cdot 0,1257 \cdot 2,32 = 6,64,$$

$$F = \frac{M}{K_{\text{ог}} \Delta \bar{Y}_{\text{ср}} \rho_{\text{г}}} = \frac{9,24 \cdot 10^{-3}}{5,6 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0367 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2} = 6,75$$

Поверхности массопередачи F , рассчитанные по формулам, согласуются с погрешностью около 1 %, следовательно, расчет выполнен правильно.

Высота секции насадки в абсорбере:

$$H_{\text{сек}} = 4D_{\text{к}} = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ м.}$$

Число секций $n = H_{\text{н}} / H_{\text{сек}} = 3,67 / 1,6 = 1,45$, т.е. принимается $n=2$, $H_{\text{сек}}=1,16$ м.

Затраты на электроэнергию колонны с насадкой из колец Рашига $Z_{\text{эл}}$ составляют:

$$Z_{\text{эл2}} = \frac{N \cdot 8000 \cdot C_{\text{эл}}}{1000 \cdot \eta_{\text{эл.двиг}}} = \frac{179,25 \cdot 8000 \cdot 5,09}{1000 \cdot 0,85} = 8587,03 \text{ руб/год,}$$

где - энергия на подачу газа вычисляется по формуле:

$$N = \frac{\Delta P_{\text{оп}} G}{\rho_r} = \frac{537,74 \cdot 0,4}{1,2} = 179,25 \text{ Вт.}$$

$$\Delta P_{\text{оп}} = \Delta P'_{\text{оп}} H_{\text{н}} = 197,7 \cdot (2,32 + 0,4) = 537,74 \text{ Па.}$$

Выводы: Энергосбережение на абсорбционной установке для улавливания аммиака достигается путем замены контактных устройств внутри колонного аппарата на насадку "Инжехим". Снижаются затраты на электрическую энергию на 34796,52 руб/год.

Список литературы

1. Лаптев А.Г., Конахин А.М., Минеев Н.Г. Теоретические основы и расчет аппаратов разделения гомогенных смесей: учеб. пособие. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2007. – 426 стр.

2. А.М. Каган, А.Г. Лаптев, А.С. Пушнов, М.И. Фарахов Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов. Монография. Под ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013, - 454 с.

3. Выпускная квалификационная работа бакалавра по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника: метод. указания / сост.: И.А. Закирова, Ю.В. Абасев, И.Г. Ахметова, Д.В. Рыжков, Ш.Г. Зиганшин. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 41с.

КГЭУКАФ.ЭЭ

Приложение

Макет титульного листа



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

_____ (полное название института)

_____ (полное название кафедры)

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнике»,

тема « _____ »

Выполнил:

_____ (Ф.И.О.)

обучающийся _____ курса
группы _____

_____ (подпись)

Руководитель работы:

Долгова А.Н., доц.каф. ЭОС

(ФИО, должность, кафедра)

Работа выполнена и
защищена с оценкой _____

Дата защиты _____

_____ (подпись руководителя)

Члены комиссии:

_____ (должность)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (должность)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (должность)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

Казань, 20__ г.



Макет отзыва руководителя

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

Институт теплоэнергетики

(полное название института)

Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений

(полное название кафедры)

Отзыв руководителя на курсовую работу

Обучающегося (ейся) _____

(фамилия, имя, отчество)

Группа _____

На тему: Проект тепловой сети района, вариант

Показатели	Критерии оценивания	Рейтинговая оценка (от 0 до 100 баллов)
1. Самостоятельность выполнения работы	Работа написана самостоятельно	
	Работа носит частично самостоятельный характер	
	Работа носит не самостоятельный характер	
2. Содержание работы	Полностью соответствует выбранной теме	
	Частично соответствует выбранной теме	
	Не соответствует теме	
3. Элементы исследования	Определены цели и задачи исследования, сформулированы объект и предмет исследования, показана история и теория вопроса	
	Определены цели и задачи исследования, не четко определены объект и предмет исследования, частично показана история и теория вопроса	
	Не определены цели и задачи исследования, не сформулированы объект и предмет исследования, не показана история и теория вопроса	
4. Цитирование и наличие ссылочного материала	Достаточно	
5. Наличие собственных выводов, рекомендаций и предложений, собственной позиции и	Да	
	Нет	

