

Липецкий государственный технический университет
Физико-технологический факультет
Кафедра промышленной теплоэнергетики



Выпускная квалификационная работа
«Моделирование работы теплообменного аппарата узла
регенерации БКО ВРУ №4 ПАО “НЛМК”»

Выполнил: Нитченко К.А.
Студент группы ТЭ-14-1
Руководитель: Шарапов А.И.

Цель работы

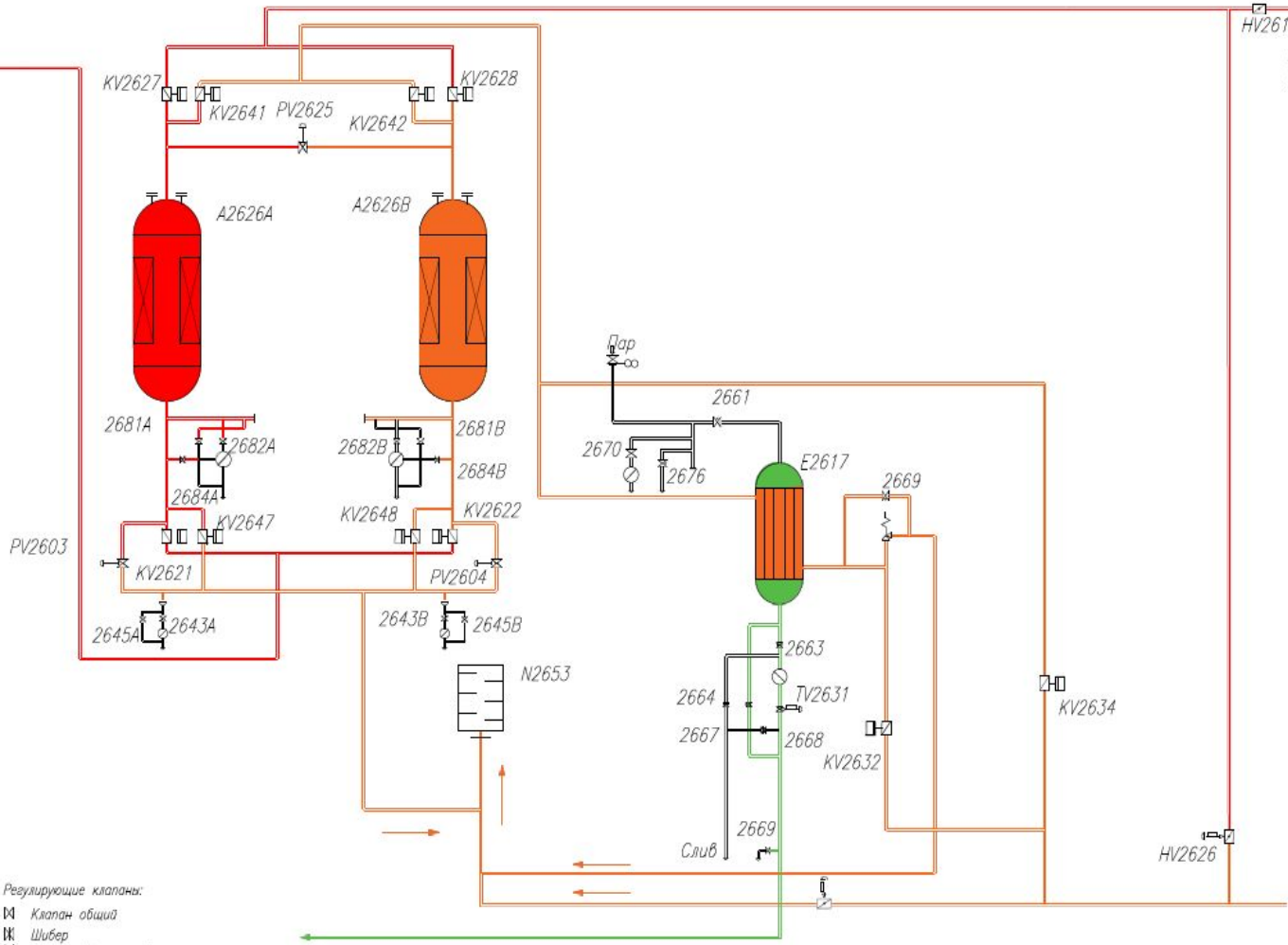


- Рассмотреть режим работы узла блока комплексной очистки ВРУ №4
- Разработка математической модели испарителя
- Сравнительный анализ режимов работы и выбор оптимального

ABO

HV2615
Воздух на разделение

— Вода, конденсат
— Воздух
— Отбросной азот



Название и условные обозначения оборудования:
 A2626B Адсорбер с молекулярным ситом
 A2626A Адсорбер с молекулярным ситом
 J3957 Эжектор
 E2617 Подогреватель регенерир. газа
 S8446 Фильтр побочного потока
 N2653 Шумоглушитель регенерирующего газа

Прочее:
 ○ Очковая заглушка открыта
 ⊙ Очковая заглушка закрыта
 ⊕ Конец трубопровода с коллаком
 ⊖ Конец трубопровода с фланцем
 ⊔ Фильтр

Регулирующие клапаны:
 ⊞ Клапан общий
 ⊞ Шливер
 ⊞ Прокладной запорный клапан
 ⊞ Регулирующий клапан

Датчики для измерения расхода:
 ⊞ Диафрагма
 ⊞ Магнитно-индуктивный токомер
 ⊞ Общее обозначение расходомера
 ⊞ Датчик трубы скоростного напора

Арматура:
 ⊞ Запорная арматура общего назначения
 ⊞ Запорная задвижка
 ⊞ Прокладной запорный клапан
 ⊞ Запорный клапан
 ⊞ Запорная арматура с определенным режимом регулирования
 ⊞ Запорный клапан
 ⊞ Обратная заслонка
 ⊞ Арматура с фланцевым соединением

Исполнительные приводы:
 ⊞ Мембрана с позиционером и дополнительным маховиком
 ⊞ Мембрана
 ⊞ Мембрана с позиционером
 ⊞ Двигатель
 ⊞ Поршень

Принципиальная схема работы узла блока комплексной очистки ВРУ «Linde»

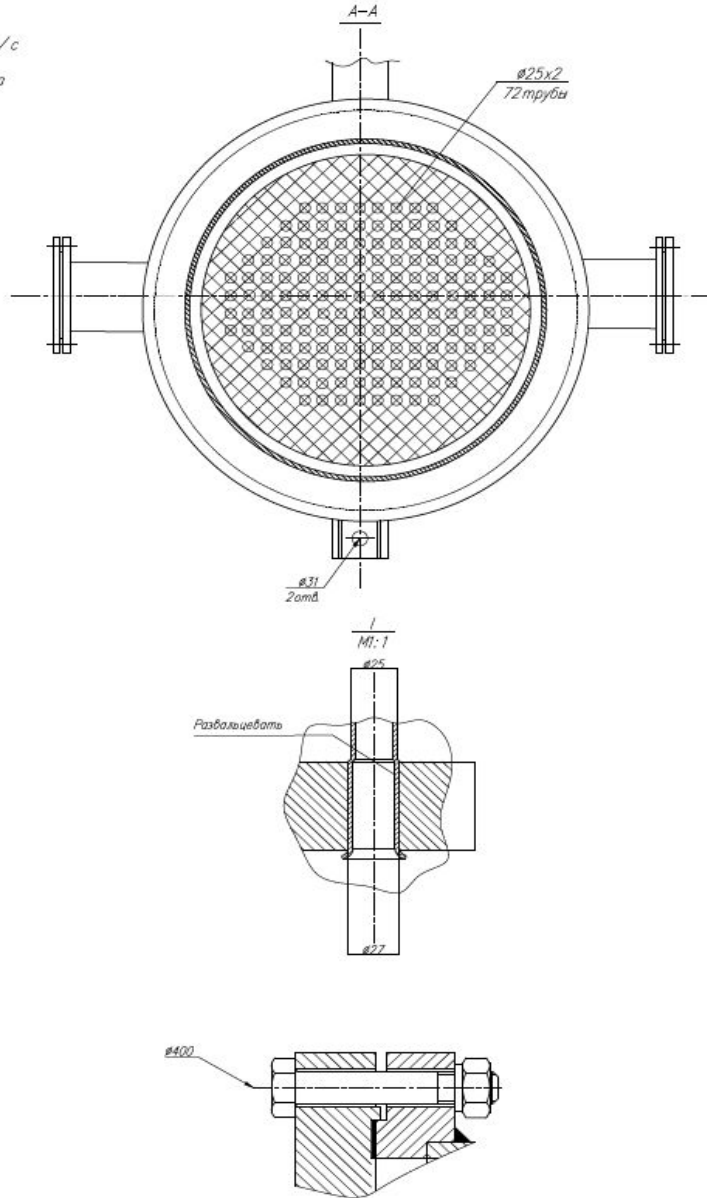
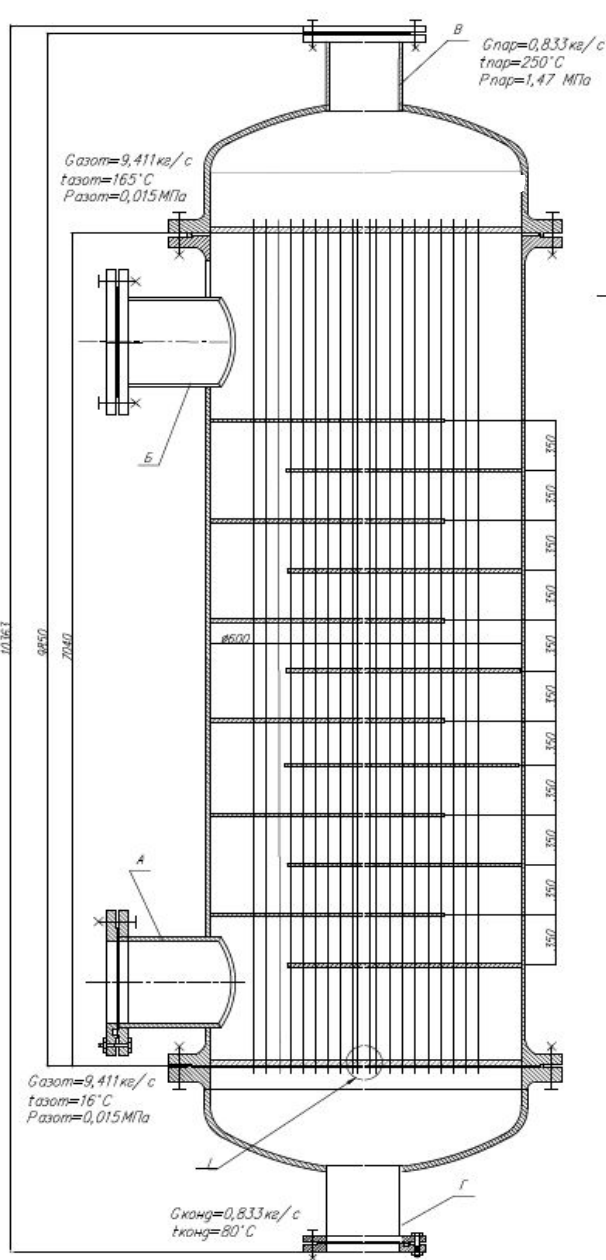


Таблица штуцеров

Обозначения	Наименование	Кол.	Давления условные	
			$P_{\text{к}}$, МПа	$P_{\text{н}}$, МПа
А	Вход отбросного азота	1	300	1,5
Б	Вход отбросного азота	1	300	1,5
В	Вход пара	1	200	0,1
Г	Выход конденсата	1	200	0,1

Техническая характеристика

Показатели		Трубное пространство	Межтрубное пространство
Среда	Наименование	Пар-конденсат	Азот
	Токсичность	Нетоксична	Токсична
	Взрывоопасность	Невзрывоопасна	Невзрывоопасна
	Агрессивность	Неагрессивна	Неагрессивна
	Температура, °С	80 (на входе)	165 (на входе)
Рабочее давление, МПа		1,5	0,015
Поверхность теплообмена, м ²		494,316	

Технические требования

- Аппарат подлежит действию пробной газоплотности РВ.
- При изготовлении, испытании и поставке аппарата должны выполняться требования:
 - ГОСТ 12.2.003-74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности";
 - ОСТ 26-291-79 "Сварки и аппараты стальные сварные. Технические требования."
- Аппарат испытывать на прочность и плотность гидравлически в вертикальном положении по давлению:
 - межтрубное пространство - 0,1 МПа;
 - трубное пространство - 3 МПа.
- Сварные швы должны соответствовать требованиям ОСТ 26-01-82-77 "Сварка в химическом машиностроении".
- Сварные швы в объеме 100% контролировать рентгеновским методом.
- Размеры для справок.
- Чертеж разработан на основании ГОСТ 15122-79.

Многоходовой теплообменный аппарат и его основные элементы

Тепловой баланс азотного испарителя.

Греющий теплоноситель

Участок FI

$$Q_I = D_{\text{пар}} \cdot (h_{\text{п.п}} - h_s) \quad (1)$$

Участок FII

$$Q_{II} = D_{\text{пар}} \cdot r \quad (2)$$

r - скрытая теплота парообразования [кДж/кг]

Участок FIII

$$Q_{III} = D_{\text{пар}} \cdot c_{\text{конд}} \cdot (T_s - T_{\text{конд}}) \quad (3)$$

$$\Sigma Q = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \quad (4)$$

Нагреваемый теплоноситель

Участок FI

$$Q_I = D_{N_2} \cdot c_{N_2} \cdot (T_1 - T'_{N_2}) \quad (5)$$

Участок FII

$$Q_{II} = D_{N_2} \cdot c_{N_2} \cdot (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Участок FIII

$$Q_{III} = D_{N_2} \cdot c_{N_2} \cdot (T''_{N_2} - T_2) \quad (7)$$

$$\Sigma Q_{N_2} = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \quad (8)$$



Исходные данные для моделирования азотного испарителя



Режим №1

ПАР	D кг/час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₁ , °C	t _s , °C	t ₂ , °C	АЗОТ	D м ³ /час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₂ , °C
	3000	0,833	15	1,47	250	200,5231	80		31000	9,411	0,153	0,015	165
Ипар, КДж/кг	Is, КДж/кг	C, КДж/кг·°C	w(I), м/с	ρ(пар), кг/м ³	w(II), м/с	r, КДж/кг	w(I), м/с	w(II), м/с	w(III), м/с	t ₁ , °C			
2920,377	2791,702	4,266	30	11,164	0,2	1936,921	16	9	6	16			

Режим №2

ПАР	D кг/час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₁ , °C	t _s , °C	t ₂ , °C	АЗОТ	D м ³ /час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₂ , °C
	3000	0,833	10	0,98	200	183,3216	50		31000	9,411	0,12	0,012	170
Ипар, КДж/кг	Is, КДж/кг	C, КДж/кг·°C	w(I), м/с	ρ(пар), кг/м ³	w(II), м/с	r, КДж/кг	w(I), м/с	w(II), м/с	w(III), м/с	t ₁ , °C			
2822,220	2779,788	4,266	30	7,898	0,2	2001,965	16	6	4	30			

Режим ПАО "НЛМК"

ПАР	D кг/час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₁ , °C	t _s , °C	t ₂ , °C	АЗОТ	D м ³ /час	D кг/с	P, кгс/см ²	P, Мпа	t ₂ , °C
	3000	0,833	13	1,274	230	194,2352	60		31000	9,411	0,16	0,016	165
Ипар, КДж/кг	Is, КДж/кг	C, КДж/кг·°C	w(I), м/с	ρ(пар), кг/м ³	w(II), м/с	r, КДж/кг	w(I), м/с	w(II), м/с	w(III), м/с	t ₁ , °C			
2880,445	2787,876	4,266	30	9,937	0,2	1961,395	16	7	4	30			

Расчет

Q(I) = 107,229 кВт	Q(II) = 1614,101 кВт	Q(III) = 428,409 кВт
<i>Трубное пространство</i>		
Участок(I)	Участок(II)	Участок(III)
а) Критерий Рейнольдса	Критерий Рейнольдса	а) Критерий Рейнольдса
Re = 262500	Re = 26923,077	Re = 47857,794
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = 0,021·Re ^{0,8} ·Pr ^{0,43}	Nu = 0,021·Re ^{0,8} ·Pr ^{0,43}	Nu = 0,021·Re ^{0,8} ·Pr ^{0,43}
Nu = 454,488	Nu = 70,751	Nu = 129,373
в) Коэффициент теплопередачи	коэффициент теплопередачи промежуточный	в) Коэффициент теплопередачи
$\alpha^*(I) = Nu \cdot \lambda_{\text{пар}} / d_{\text{вн}}$	$\alpha' = Nu \cdot \lambda_{\text{конд}} / d_{\text{вн}}$	$\alpha^*(III) = Nu \cdot \lambda_{\text{пар}} / d_{\text{вн}}$
$\alpha^*(I) = \mathbf{844,050}$ Вт/м ² ·К	$\alpha' = \mathbf{2238,751}$	$\alpha^*(III) = \mathbf{4208,934}$ Вт/м ² ·К
г) Коэффициент теплопередачи	$\alpha^*(II) = 7 \cdot \alpha' \cdot (\nu_{\text{пар}} / \nu_{\text{жидк}} - 1)^{0,5}$	
	$\alpha^*(II) = \mathbf{15567,740}$	
<i>Межтрубное пространство</i>		
Участок(I)	Участок(II)	Участок(III)
а) Критерий Рейнольдса	а) Критерий Рейнольдса	а) Критерий Рейнольдса
Re = 15625,000	Re = 16328,012	Re = 14018,692
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = 0,41·Re ^{0,6} ·Pr ^{0,36} · ξ	Nu = 0,41·Re ^{0,6} ·Pr ^{0,36} · ξ	Nu = 0,41·Re ^{0,6} ·Pr ^{0,36} · ξ
Nu = 69,922	Nu = 57,407	Nu = 67,570
в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи
$\alpha(I) = Nu \cdot \lambda_{\text{пар}} / d_{\text{эк}}$	$\alpha(II) = Nu \cdot \lambda_{\text{пар}} / d_{\text{вн}}$	$\alpha(III) = Nu \cdot \lambda_{\text{пар}} / d_{\text{вн}}$
$\alpha(I) = \mathbf{88,102}$ Вт/м ² ·К	$\alpha(II) = \mathbf{55,799}$	$\alpha(III) = \mathbf{53,164}$ Вт/м ² ·К
k(I) = 65,807 Вт/м ² ·К	<u>коэффициент теплопередачи</u>	k(III) = 46,452 Вт/м ² ·К
F(I) = 25,631 м ²	<u>площадь поверхности теплообмена</u>	F(III) = 82,236 м ²
h(I) = 0,357 м	<u>высота каждой зоны аппарата</u>	h(III) = 1,309 м
k(II) = 48,941 Вт/м ² ·К	F(II) = 386,450 м ²	
	h(II) = 5,377 м	

Результаты расчета программой основных характеристик испарителя при режиме работы №1

Расчет

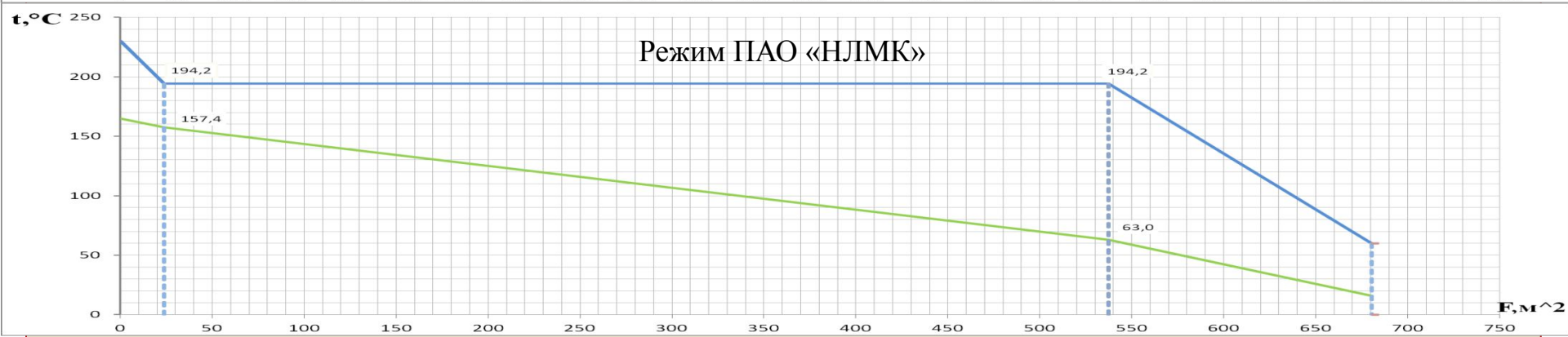
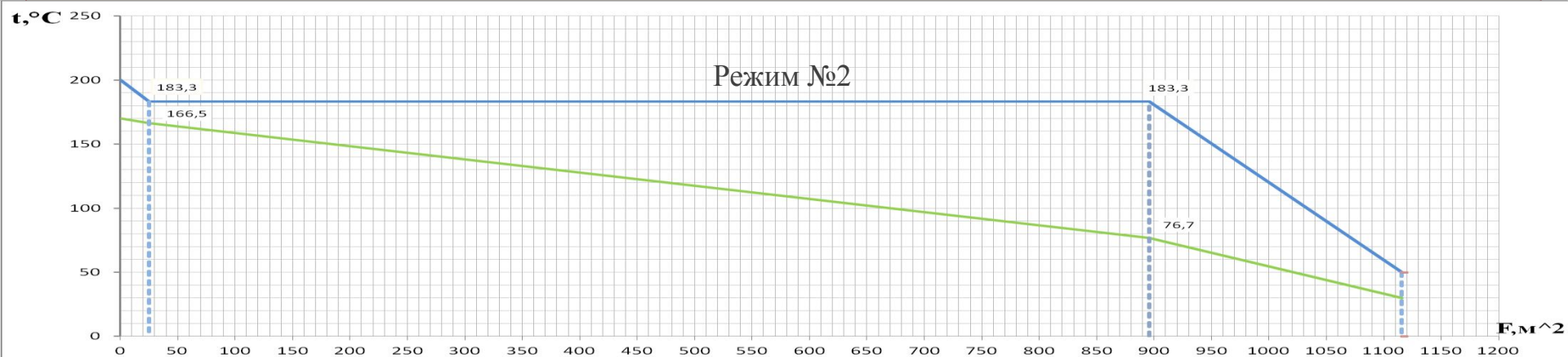
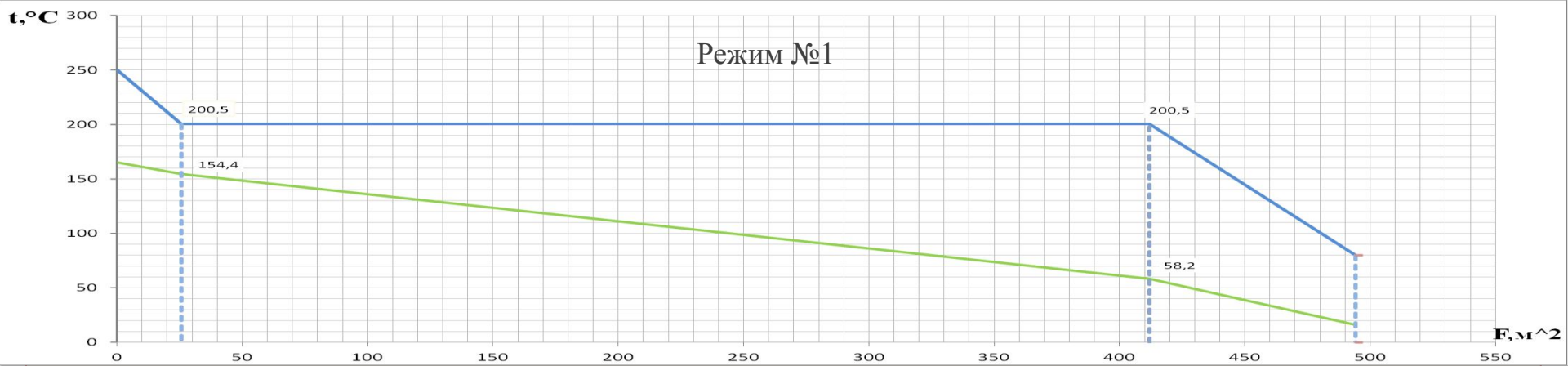
Q(I) = 35,360 кВт	Q(II) = 1668,305 кВт	Q(III) = 473,903 кВт
<i>Трубное пространство</i>		
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса	Участок(II) Критерий Рейнольдса	Участок(III) а) Критерий Рейнольдса
Re = 262500	Re = 26923,077	Re = 47857,794
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$	Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$	Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$
Nu = 454,488	Nu = 70,751	Nu = 129,373
в) Коэффициент теплопередачи	коэффициент теплопередачи промежуточный	в) Коэффициент теплопередачи
$\alpha^*(I) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	$\alpha' = Nu \cdot \lambda_{конд} / d_{вн}$	$\alpha^*(III) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$
$\alpha^*(I) = 844,050 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$\alpha' = 2238,751$	$\alpha^*(III) = 4208,934 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
	г) Коэффициент теплопередачи	
	$\alpha^*(II) = 7 \cdot \alpha' \cdot (v_{пар} / v_{жидк} - 1)^{0,5}$	
	$\alpha^*(II) = 18869,748$	
<i>Межтрубное пространство</i>		
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса	Участок(II) а) Критерий Рейнольдса	Участок(III) а) Критерий Рейнольдса
Re = 13392,857	Re = 10885,341	Re = 9345,794
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$	Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$	Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$
Nu = 63,745	Nu = 45,010	Nu = 52,979
в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи
$\alpha(I) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{эк}$	$\alpha(II) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	$\alpha(III) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$
$\alpha(I) = 80,319 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$\alpha(II) = 43,750$	$\alpha(III) = 41,684 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
$k(I) = 61,365 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$k(II) = 39,439 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	$k(III) = 37,442 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
$F(I) = 25,306 \text{ м}^2$	$F(II) = 870,188 \text{ м}^2$	$F(III) = 219,669 \text{ м}^2$
$h(I) = 0,249 \text{ м}$	$h(II) = 8,565 \text{ м}$	$h(III) = 2,407 \text{ м}$

Результаты расчета программой основных характеристик испарителя при режиме работы №2

Расчет

Q(I) = 77,141 кВт	Q(II) = 1634,496 кВт	Q(III) = 477,150 кВт
<i>Трубное пространство</i>		
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса	Участок(II) Критерий Рейнольдса	Участок(III) а) Критерий Рейнольдса
Re = 262500	Re = 26923,077	Re = 47857,794
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$	Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$	Nu = $0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$
Nu = 454,488	Nu = 70,751	Nu = 129,373
в) Коэффициент теплопередачи	Коэффициент теплопередачи промежуточный	в) Коэффициент теплопередачи
$\alpha^*(I) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	$\alpha' = Nu \cdot \lambda_{конд} / d_{вн}$	$\alpha^*(III) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$
$\alpha^*(I) = 844,050 Вт/м^2 \cdot К$	$\alpha' = 2238,751$	$\alpha^*(III) = 4208,934 Вт/м^2 \cdot К$
	г) Коэффициент теплопередачи	
	$\alpha^*(II) = 0,7 \cdot \alpha' \cdot (v_{пар} / v_{жидк} - 1)^{0,5}$	
	$\alpha^*(II) = 16682,149$	
<i>Межтрубное пространство</i>		
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса	Участок(II) а) Критерий Рейнольдса	Участок(III) а) Критерий Рейнольдса
Re = 15625,000	Re = 12699,565	Re = 9345,794
б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение	б) Критериальное уравнение
Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$	Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$	Nu = $0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \xi$
Nu = 69,922	Nu = 49,372	Nu = 52,979
в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи	в) Коэффициент теплоотдачи
$\alpha(I) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	$\alpha(II) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	$\alpha(III) = Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$
$\alpha(I) = 88,102 Вт/м^2 \cdot К$	$\alpha(II) = 47,989$	$\alpha(III) = 41,684 Вт/м^2 \cdot К$
$k(I) = 65,807 Вт/м^2 \cdot К$	<u>коэффициент теплопередачи</u> $k(II) = 42,837 Вт/м^2 \cdot К$	$k(III) = 37,442 Вт/м^2 \cdot К$
$F(I) = 23,636 м^2$	<u>площадь поверхности теплообмена</u> $F(II) = 513,605 м^2$	$F(III) = 143,418 м^2$
$h(I) = 0,292 м$	<u>высота каждой зоны аппарата</u> $h(II) = 6,352 м$	$h(III) = 1,975 м$

Результаты расчета программой основных характеристик испарителя при режиме работы ПАО «НЛМК»



Характеристика изменения температур рабочих сред

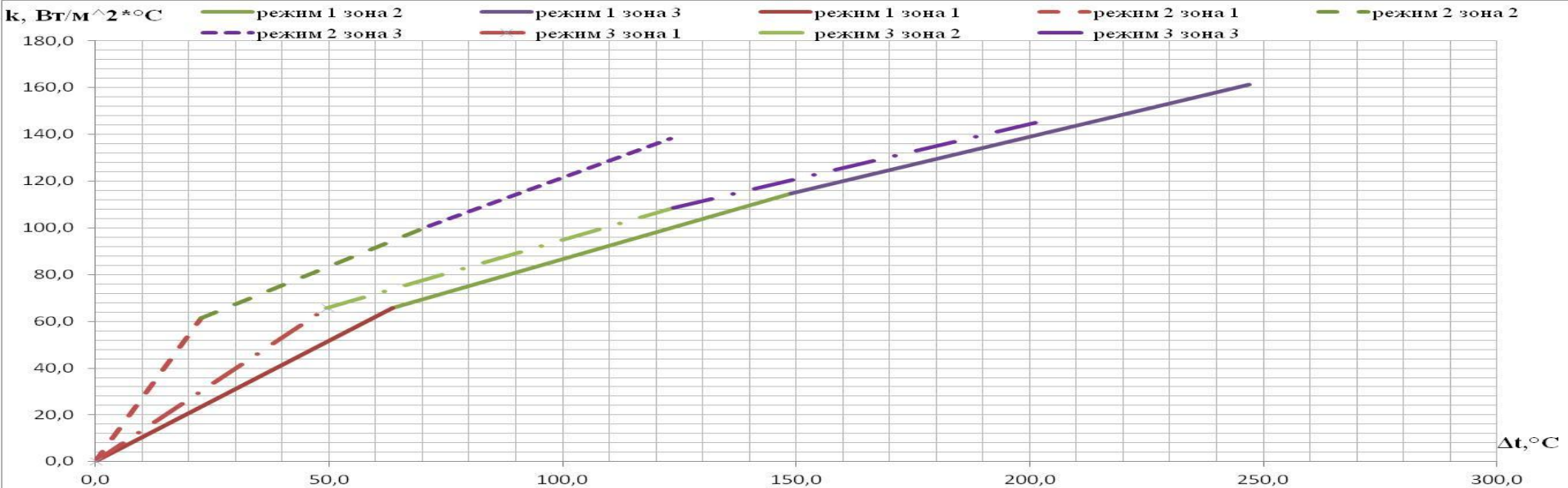


График зависимости коэффициента теплопередачи от логарифмического напора

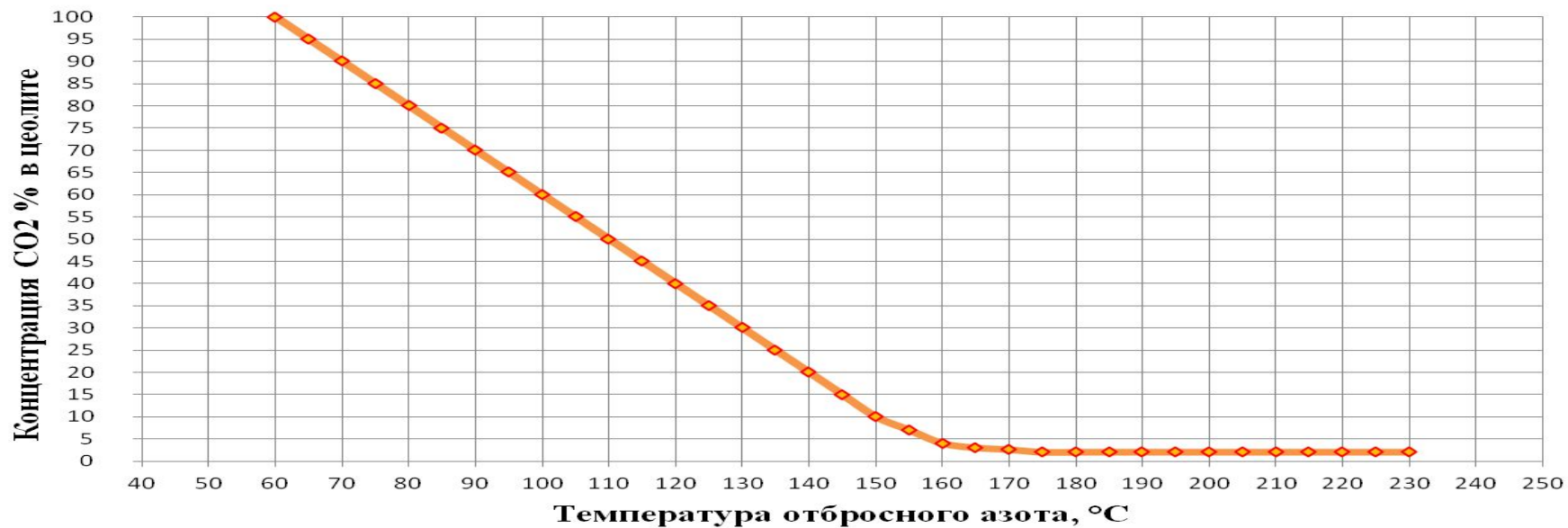
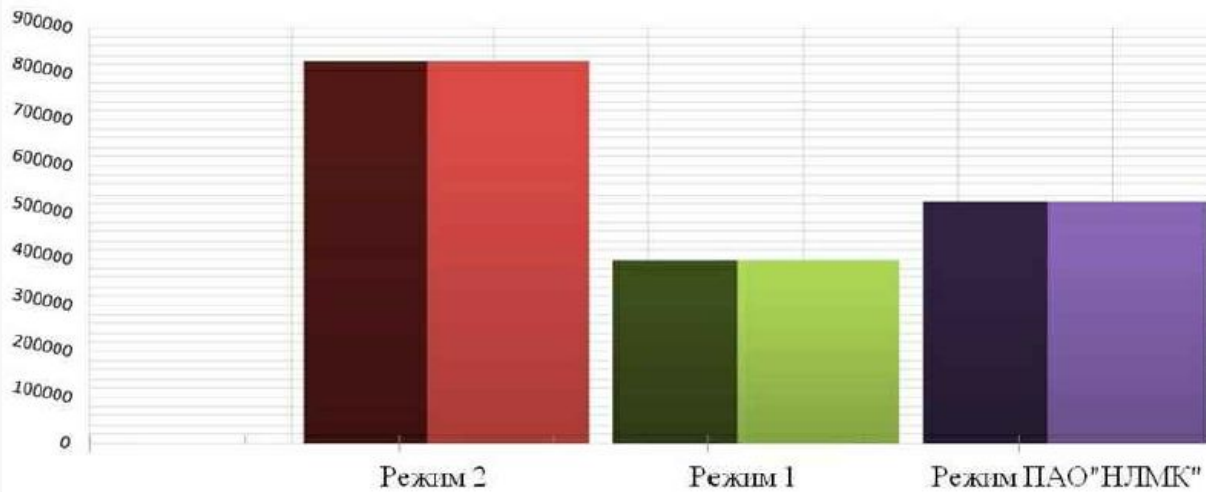


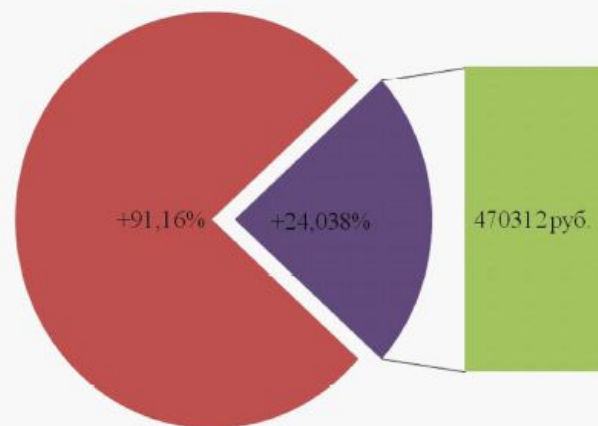
График зависимости остаточной концентрации углекислоты от температуры азота

Сравнительный анализ приведенных затрат

Ц,руб



Процентное соотношение выгоды



Режим	Металлоемкость, кв	Эксплуатационные затраты, тыс.руб.	Капитальные затраты, тыс.руб.	Приведенные затраты, тыс.руб.
1	578,343	123306	347006	470312
2	1307,550	114502	784528	899030
НЛМК	797,731	104726	478638	583364

Выводы



- Были произведены расчеты режимов работы азотного испарителя E2617, в результате которых мы определили основные термодинамические и конструктивные параметры. В результате технического и экономического анализа было доказано, что первый режим более эффективен для технологического производства.