

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

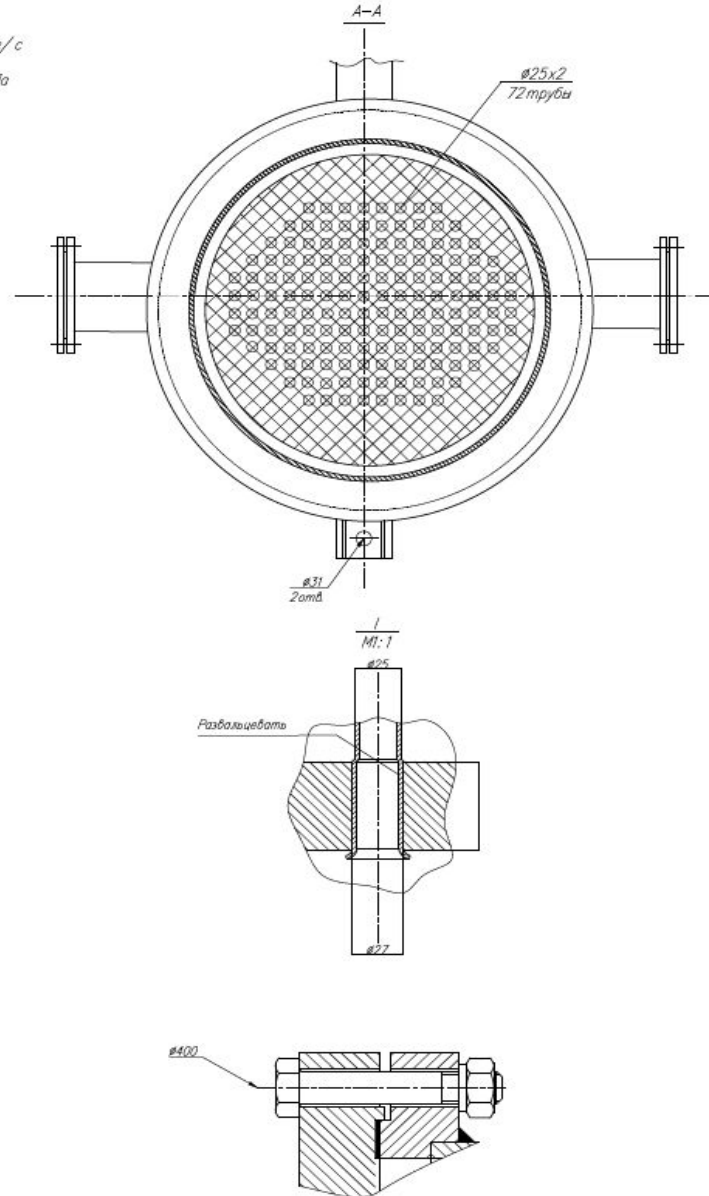
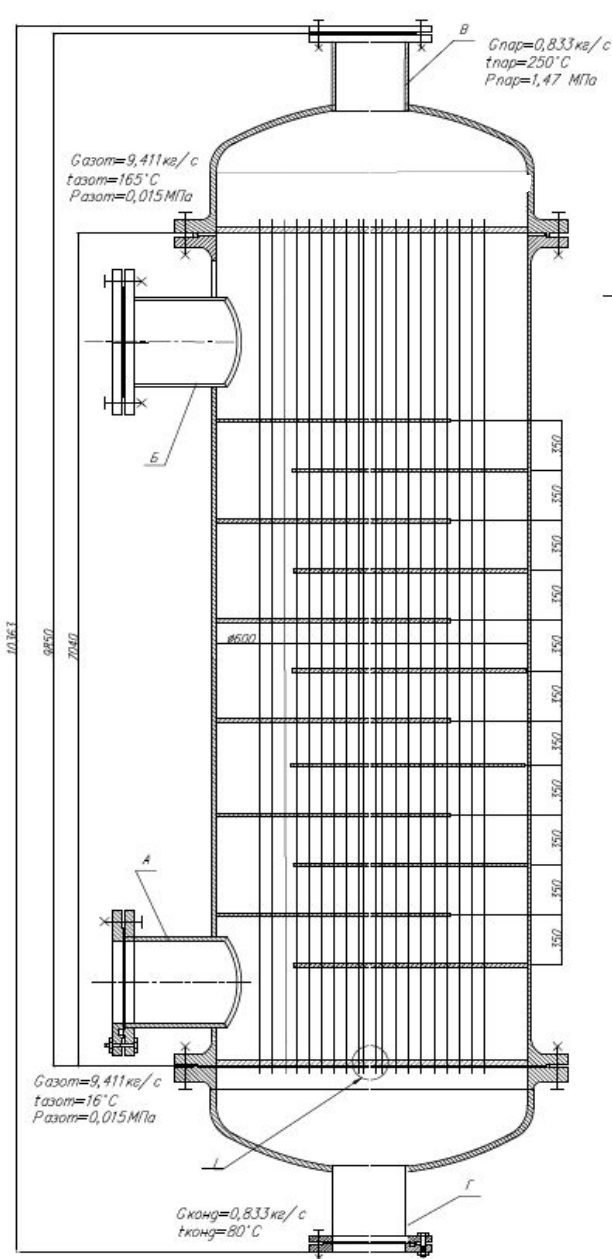


Таблица штуцеров

Обозначения	Наименование	Кол.	Продолж. условного D _к , мм	Давление P _к , МПа
А	Вход отбросного азота	1	300	1,5
Б	Выход 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 правил Госгортехнадзора РФ.
- При изготовлении, испытании и поставке аппарата должны выполняться требования:
 - ГОСТ 12.2.003-74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности";
 - ОСТ 26-291-79 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования."
- Аппарат испытывать на прочность и плотность гидравлически в вертикальном положении под давлением:
 - межтрубное пространство - 0,1 МПа;
 - трубное пространство - 3 МПа.
- Сварные соединения 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

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

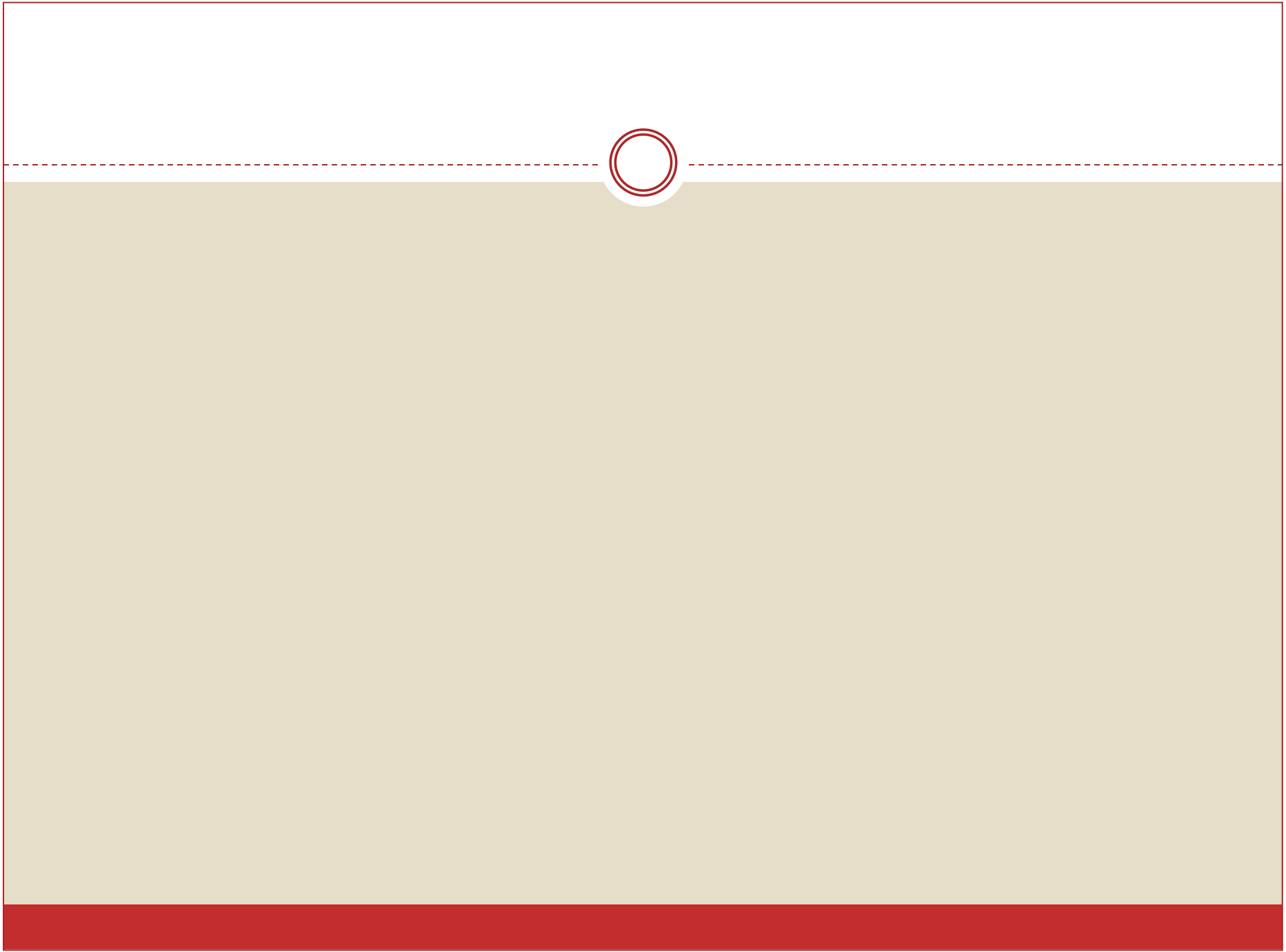
Участок FII

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

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
	l _{пар} , КДж/кг	l _s , 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
	l _{пар} , КДж/кг	l _s , 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
	l _{пар} , КДж/кг	l _s , 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			
Трубное пространство									
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса			Участок(II) ерий 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·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			лопередачи промежуточный			в) Коэффициент теплопередачи			
α*(I)	=	Nu·λпар/двн	α'	=	Nu·λконд/двн	α*(III)	=	Nu·λпар/двн	
α*(I)	=	844,050 Вт/м^2·K	α'	=	2238,751	α*(III)	=	4208,934 Вт/м^2·K	
г) Коэффициент теплопередачи									
			α*(II)	=	7·α'·(νпар/νжидк-1)^0,5				
			α*(II)	=	15567,740				
Межтрубное пространство									
Участок(I) а) Критерий Рейнольдса			Участок(II) а) Критерий Рейнольдса			Участок(III) 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			
α(I)	=	Nu·λпар/дэк	α(II)	=	Nu·λпар/двн	α(III)	=	Nu·λпар/двн	
α(I)	=	88,102 Вт/м^2·K	α(II)	=	55,799	α(III)	=	53,164 Вт/м^2·K	
коэффициент теплопередачи			коэффициент теплопередачи			коэффициент теплопередачи			
k(I)	=	65,807 Вт/м^2·K	k(II)	=	48,941 Вт/м^2·K	k(III)	=	46,452 Вт/м^2·K	
площадь поверхности теплообмена			площадь поверхности теплообмена			площадь поверхности теплообмена			
F(I)	=	25,631 м^2	F(II)	=	386,450 м^2	F(III)	=	82,236 м^2	
высота каждой зоны аппарата			высота каждой зоны аппарата			высота каждой зоны аппарата			
h (I)	=	0,357 м	h (II)	=	5,377	h (III)	=	1,309 м	
Результаты расчета программой основных характеристик испарителя при режиме работы №1									
8									

Расчет

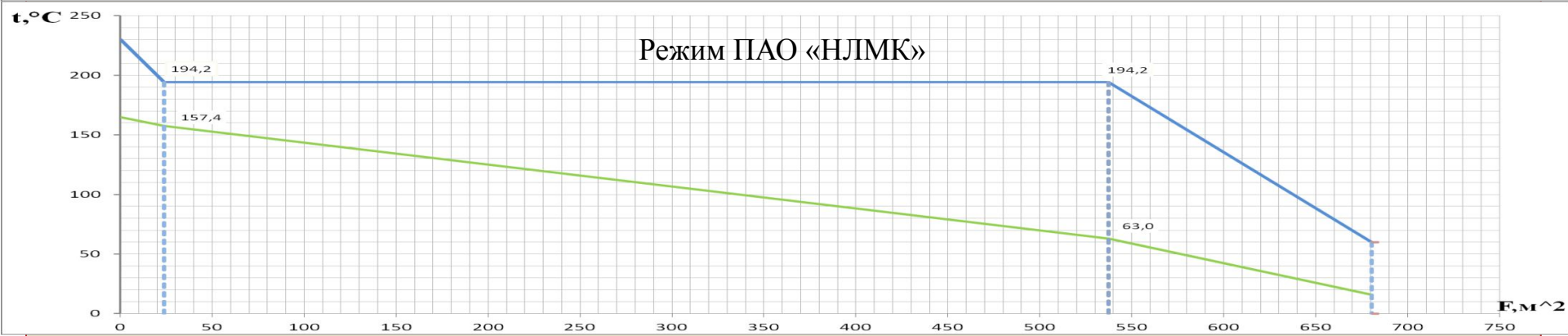
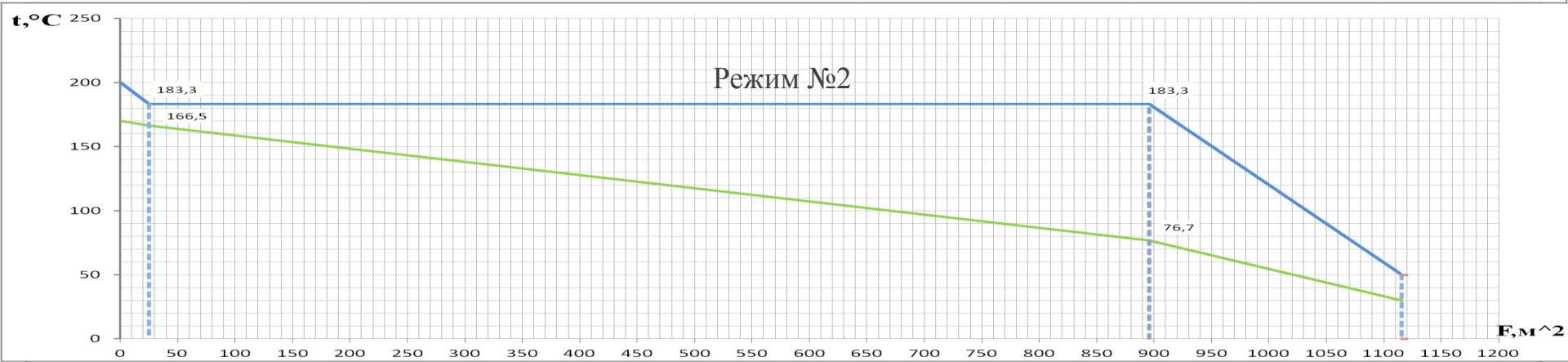
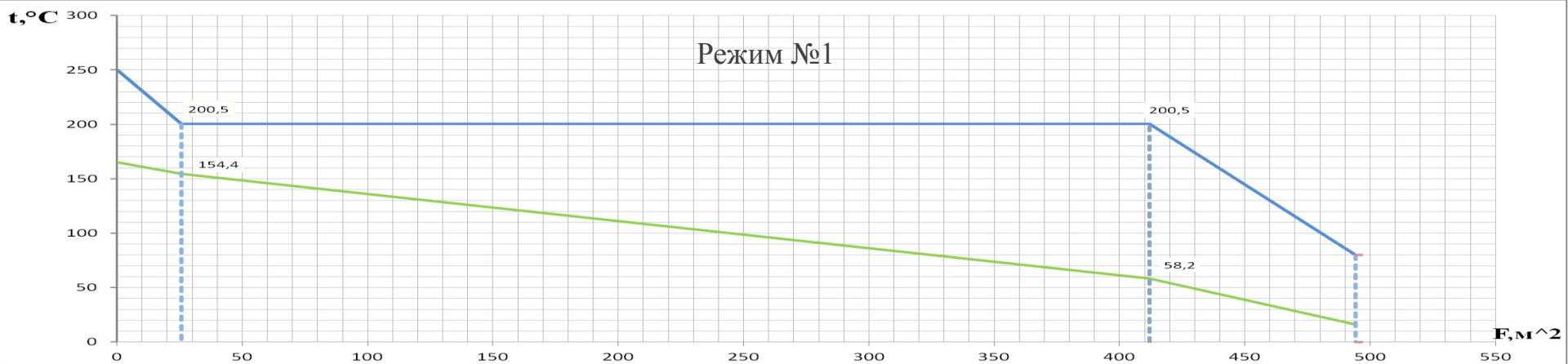
Q(I)	=	35,360	КВт	Q(II)	=	1668,305	КВт	Q(III)	=	473,903	КВт
<i>Трубное пространство</i>											
Участок(I)				Участок(II)				Участок(III)			
а) Критерий Рейнольдса				а) Критерий Рейнольдса				а) Критерий Рейнольдса			
Re	=	262500		Re	=	26923,077		Re	=	47857,794	
б) Критериальное уравнение				б) Критериальное уравнение				б) Критериальное уравнение			
Nu	=	$0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$		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				в) Коэффициент теплопередачи				в) Коэффициент теплопередачи			
$\alpha^*(I)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$		α^*	=	$Nu \cdot \lambda_{конд} / d_{вн}$		$\alpha^*(III)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	
$\alpha^*(I)$	=	844,050	Вт/м ² ·К	α^*	=	2238,751		$\alpha^*(III)$	=	4208,934	Вт/м ² ·К
г) Коэффициент теплопередачи				г) Коэффициент теплопередачи				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)				Участок(II)				Участок(III)			
а) Критерий Рейнольдса				а) Критерий Рейнольдса				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	Вт/м ² ·К	$\alpha(II)$	=	43,750		$\alpha(III)$	=	41,684	Вт/м ² ·К
<u>коэффициент теплопередачи</u>				<u>коэффициент теплопередачи</u>				<u>коэффициент теплопередачи</u>			
k(I)	=	61,365	Вт/м ² ·К	k(II)	=	39,439	Вт/м ² ·К	k(III)	=	37,442	Вт/м ² ·К
<u>площадь поверхности теплообмена</u>				<u>площадь поверхности теплообмена</u>				<u>площадь поверхности теплообмена</u>			
F(I)	=	25,306	м ²	F(II)	=	870,188	м ²	F(III)	=	219,669	м ²
<u>высота каждой зоны аппарата</u>				<u>высота каждой зоны аппарата</u>				<u>высота каждой зоны аппарата</u>			
h(I)	=	0,249	м	h(II)	=	8,565	м	h(III)	=	2,407	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)				Участок(II)				Участок(III)			
а) Критерий Рейнольдса				ерий Рейнольдса				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				лопередачи промежуточный				в) Коэффициент теплопередачи			
$\alpha^*(I)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$		α'	=	$Nu \cdot \lambda_{конд} / d_{вн}$		$\alpha^*(III)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	
$\alpha^*(I)$	=	844,050	Вт/м ² ·К	α'	=	2238,751		$\alpha^*(III)$	=	4208,934	Вт/м ² ·К
г) Коэффициент теплопередачи											
				$\alpha^*(II)$	=	$7 \cdot \alpha' \cdot (v_{пар} / v_{жидк} - 1)^{0,5}$					
				$\alpha^*(II)$	=	16682,149					
<i>Межтрубное пространство</i>											
Участок(I)				Участок(II)				Участок(III)			
а) Критерий Рейнольдса				а) Критерий Рейнольдса				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			
$\alpha(I)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{эк}$		$\alpha(II)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$		$\alpha(III)$	=	$Nu \cdot \lambda_{пар} / d_{вн}$	
$\alpha(I)$	=	88,102	Вт/м ² ·К	$\alpha(II)$	=	47,989		$\alpha(III)$	=	41,684	Вт/м ² ·К
				<u>коэффициент теплопередачи</u>							
k(I)	=	65,807	Вт/м ² ·К	k(II)	=	42,837	Вт/м ² ·К	k(III)	=	37,442	Вт/м ² ·К
				<u>площадь поверхности теплообмена</u>							
F(I)	=	23,636	м ²	F(II)	=	513,605	м ²	F(III)	=	143,418	м ²
				<u>высота каждой зоны аппарата</u>							
h(I)	=	0,292	м	h(II)	=	6,352		h(III)	=	1,975	м

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



Характеристика изменения температур рабочих сред

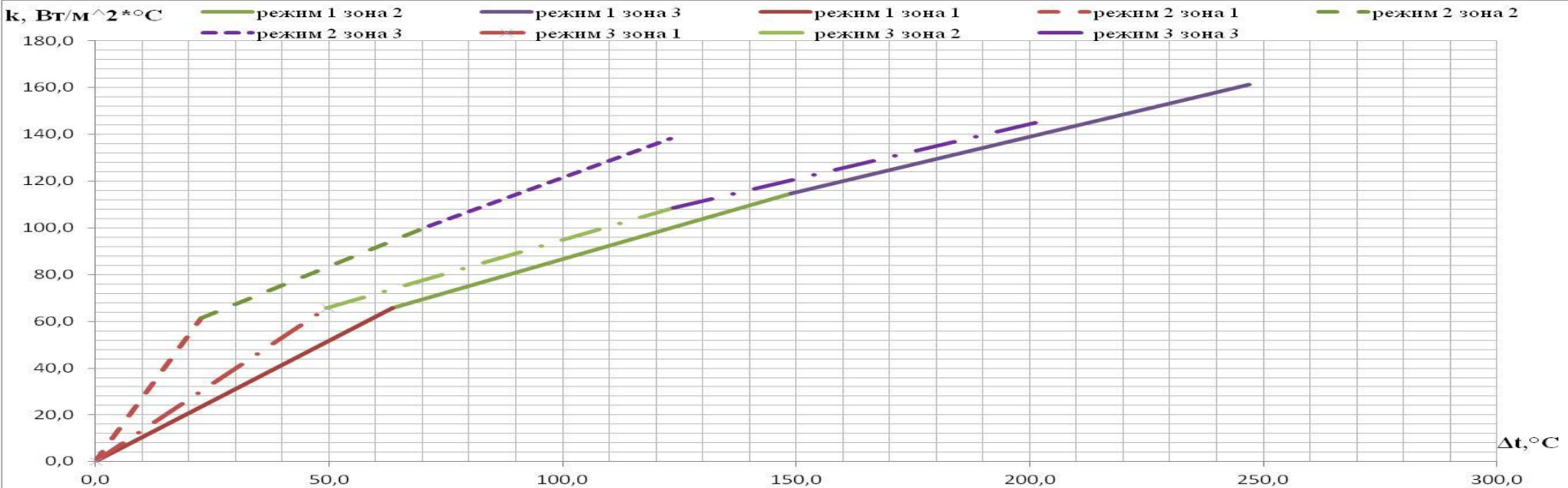


График зависимости коэффициента теплопередачи от логарифмического напора

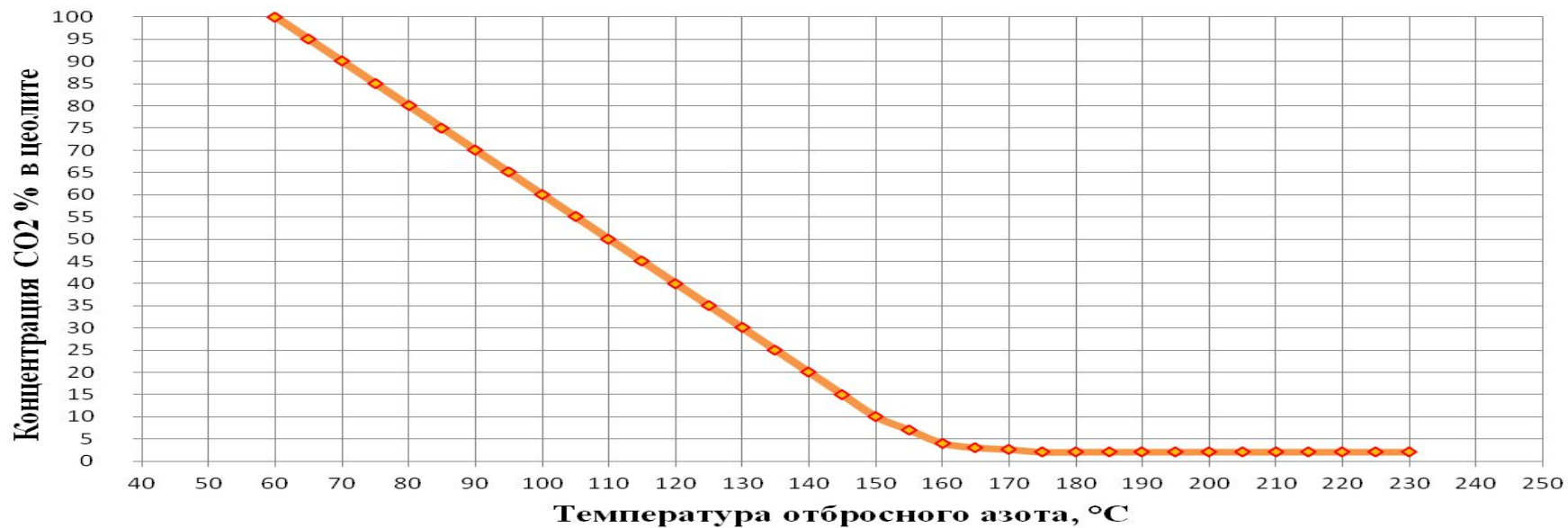
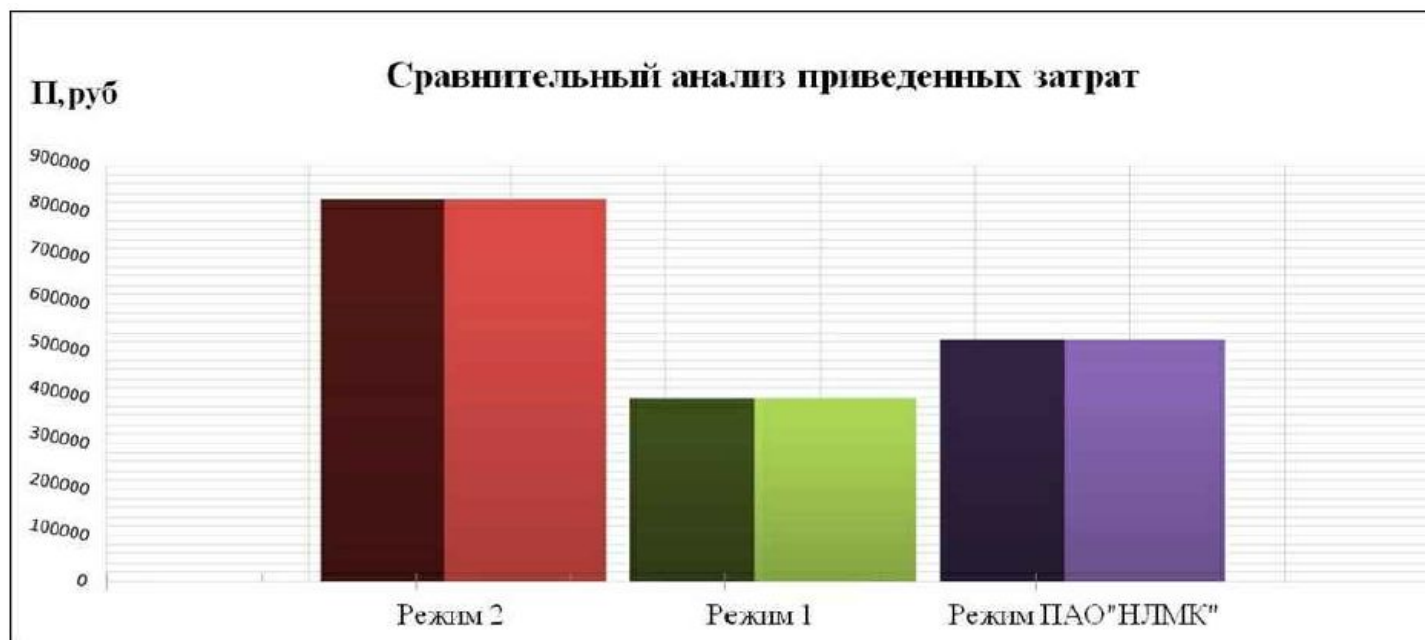
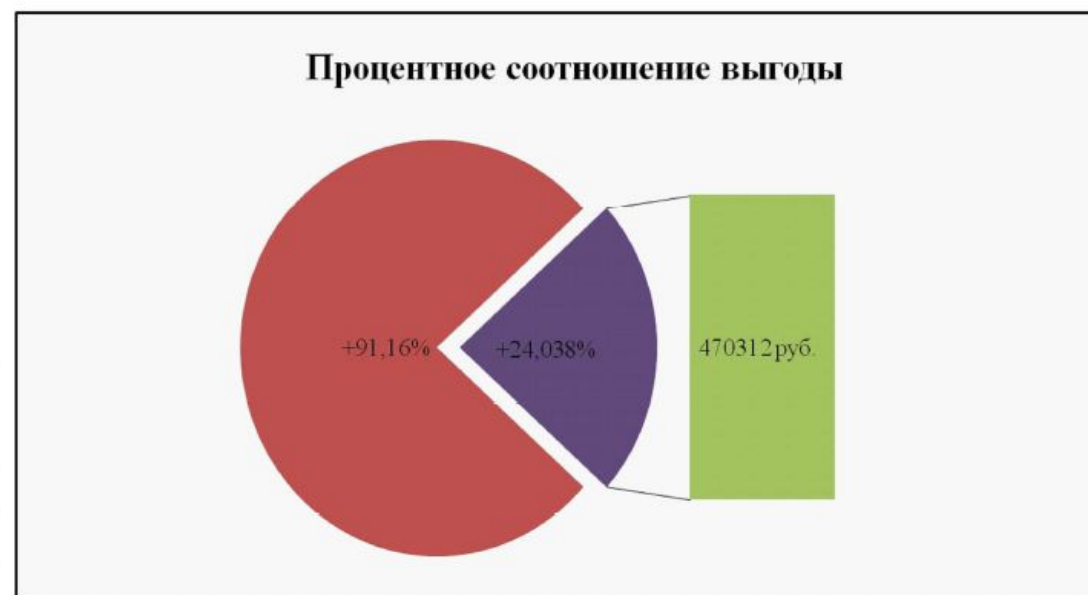


График зависимости остаточной концентрации углекислоты от температуры азота



Режим	Металлоемкость, кг	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



Экономический анализ

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.