

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ УЧАЩИХСЯ
СЕКЦИЯ “Физика”

**Исследование эффективности
использования
термоэлектрических генераторов
в комплексах СПГ**

Выполнил: Пудовкин Леонид Евгеньевич, учащийся 11 «Б» класса ГБОУ СОШ №5 «Образовательный Центр» г.о. Новокуйбышевска Самарской области.

Научный руководитель: Угланов Дмитрий Александрович, доцент, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Энергосберегающие и энергоэффективные технологии» НОЦ ГДИ СГАУ.

Цель работы: оценка перспективы использования термоэлектрического генератора в составе промышленного газификатора сжиженного природного газа.

В ходе выполнения работы передо мной ставились следующие **задачи:**

1. Изучение научной литературы по вопросу использования сжиженного природного газа.
2. Теоретический расчёт и оценка параметров испарителя и ТЭГ.
3. Экспериментальное изучение термоэлектрических свойств ТЭГ в условиях низких температур.
4. Расчёт экономической эффективности использования ТЭГ.

Результаты расчёта параметров испарителя

Параметр	Участок		
	1	2	3
α_1 - коэффициент теплоотдачи от метана к внутренним стенкам труб испарителя, Вт/м ²	539307	48396	266,49
α_2 - коэффициент теплоотдачи от воздуха к оребрению труб испарителя, Вт/м ²	21,22	21,22	21,22
Φ - коэффициент оребрения	25,27	25,27	25,27
K- коэффициент теплопередачи тепла через стенку, Вт/м ² ·K	535,67	530,35	178
Q- тепловой поток, Вт	85707	79553	14865
T _{ct1} - температура внутренней поверхности труб, K	130,17	150,85	247,25
T _{ct2} - температура поверхности оребрения труб, K.	133,3	222,8	285,6

Расчёт параметров ТЭГ

$$P = I \cdot U = \frac{\alpha^2 \cdot (T_{\Gamma} - T_{\times})^2}{R} \cdot \frac{m}{(m + 1)^2}$$

$$\eta = \frac{T_{\Gamma} - T_{\times}}{T_{\Gamma}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{Z \cdot T_{\Gamma}} \cdot \frac{(m + 1)^2}{m} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{\Gamma} - T_{\times}}{T_{\Gamma}} \cdot \frac{1}{m}}$$

Результаты теоретического расчёта и экспериментальной проверки

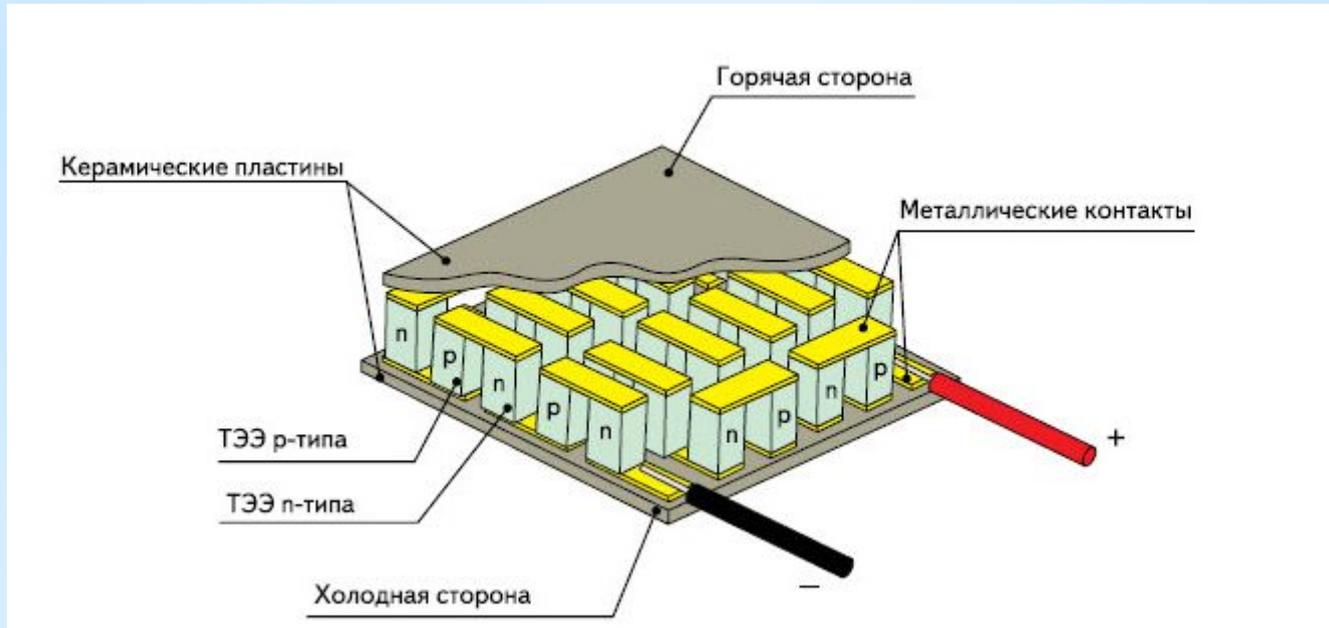
Параметр	Участок		
	1	2	3
n (расч), шт	1305	1162	2116
n (эксп), шт	262	253	248
P (расч) модуля, Вт	0,0115	0,0118	0,003
P (расч) блока, Вт	15	13,7	6,3
P (эксп) модуля, Вт	0,29	0,27	0,25
P (эксп) блока, Вт	76	68,3	61,75

Учитывая, полученную экспериментальную мощность одного термоэлектрического модуля, потребуется около **18000 модулей**.

Стоимость одного модуля 30x30мм по ценам 2014 года равна **200 руб.** Соответственно, стоимость блока ТЭГ на участке испарителя может составить **3,6 млн руб.**, что при стоимости электроэнергии в **7,5руб/кВт·ч** даёт прямой срок окупаемости в **9-10 лет**.

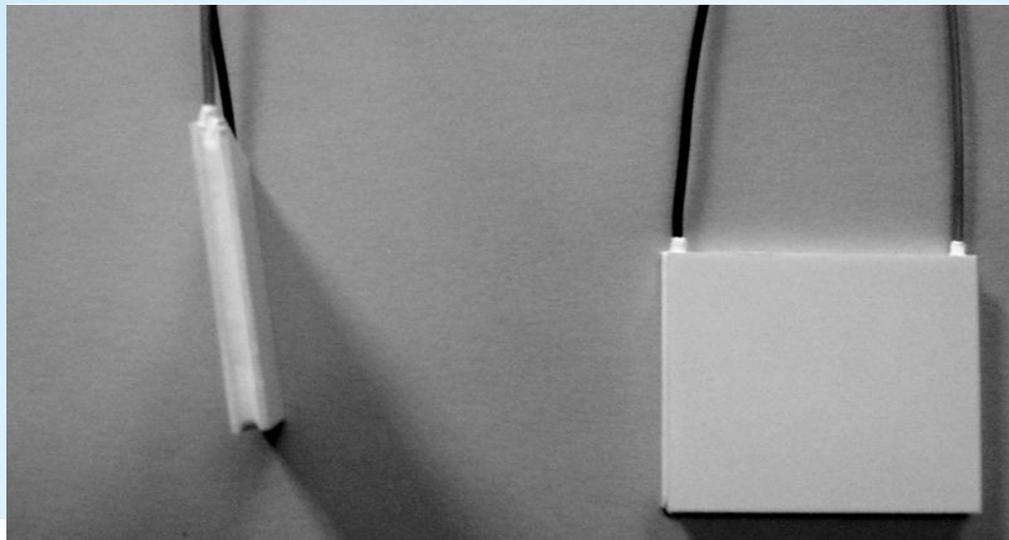
На сжижение 1 кг СПГ затрачено около **0,4 кВт/ч**. Отсюда, мощность энергии на сжижение 1000 кг (расход СПГ в испарителе) составит около **400 кВт/ч**. Суммарная мощность, вырабатываемая ТЭГ около **4,8 кВт/ч.**, следовательно, за счёт использования ТЭГ в промышленных газификаторах возвращается около **1,2%** энергии, затраченной ранее на сжижение газа.

Термоэлектрический генератор



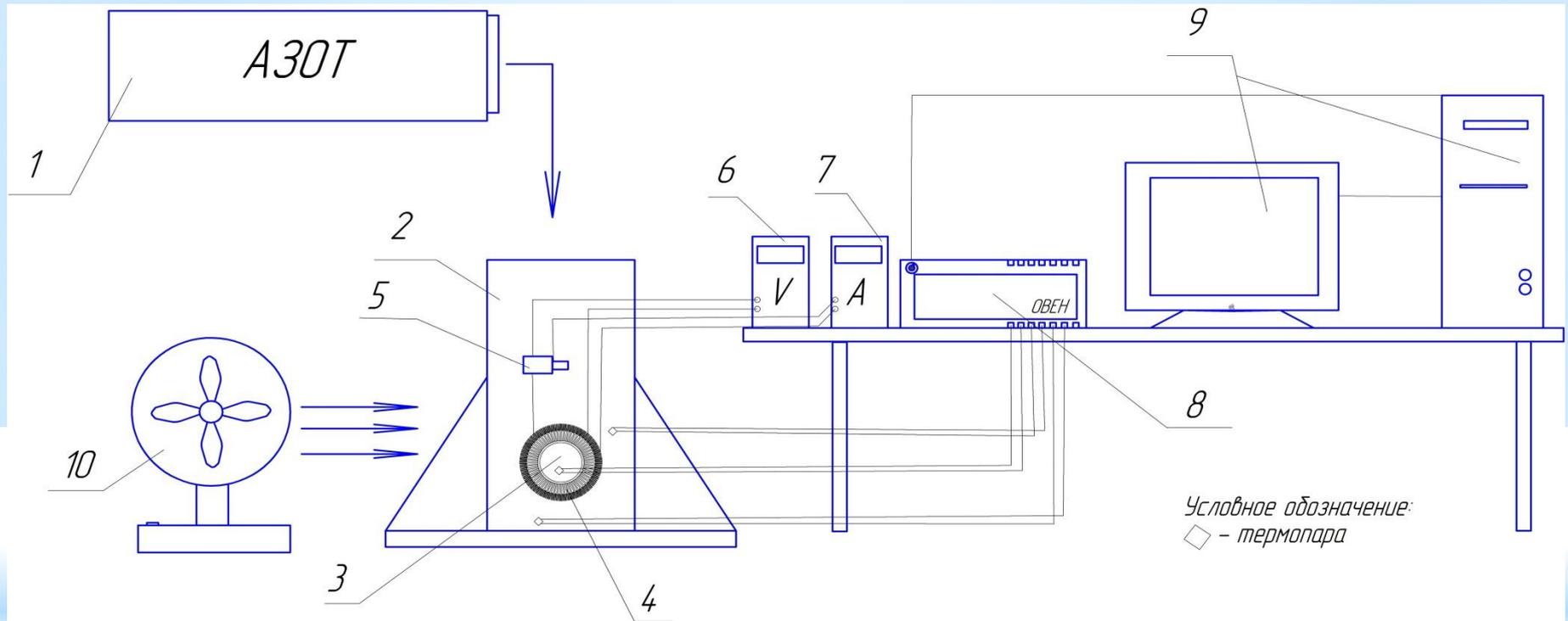
Работа термоэлектрического генератора основана на явлении возникновения термоэлектродвижущей силы в замкнутой цепи, образованной двумя разнородными проводниками за счёт разности температур их спаев.

Параметры термоэлектрического генератора



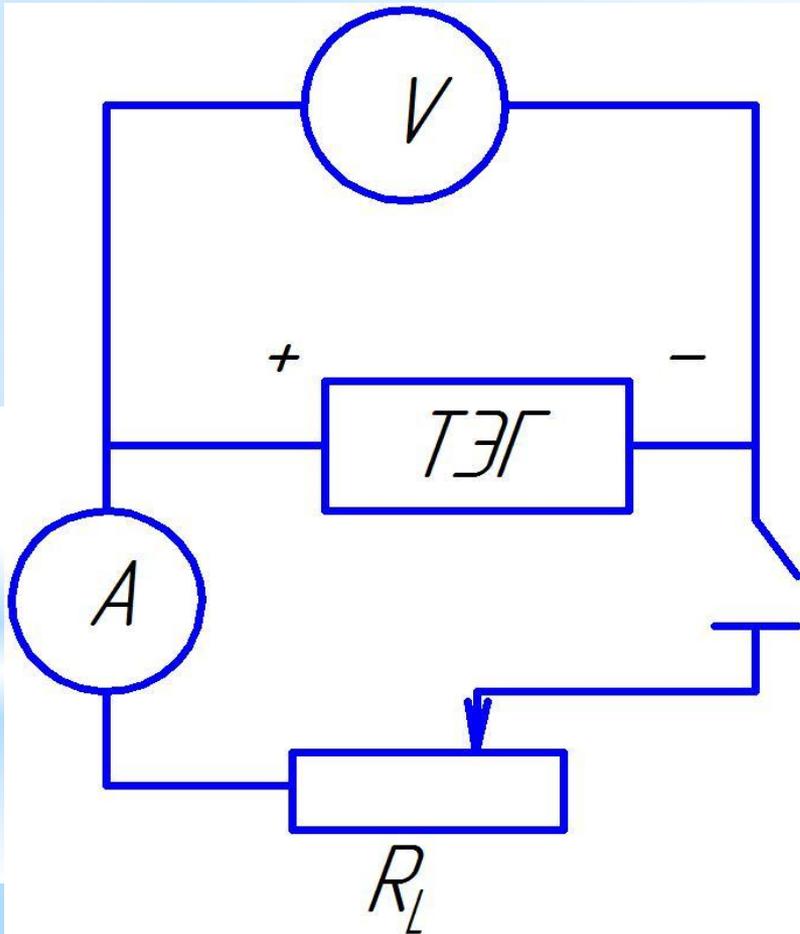
Длина x Ширина x Высота	30x30x3 мм
Внутреннее сопротивление, Ом	1,4 при T=25°C
КПД, %	4,3
Тепловое сопротивление, К/Вт	1,69

Схема установки испытания

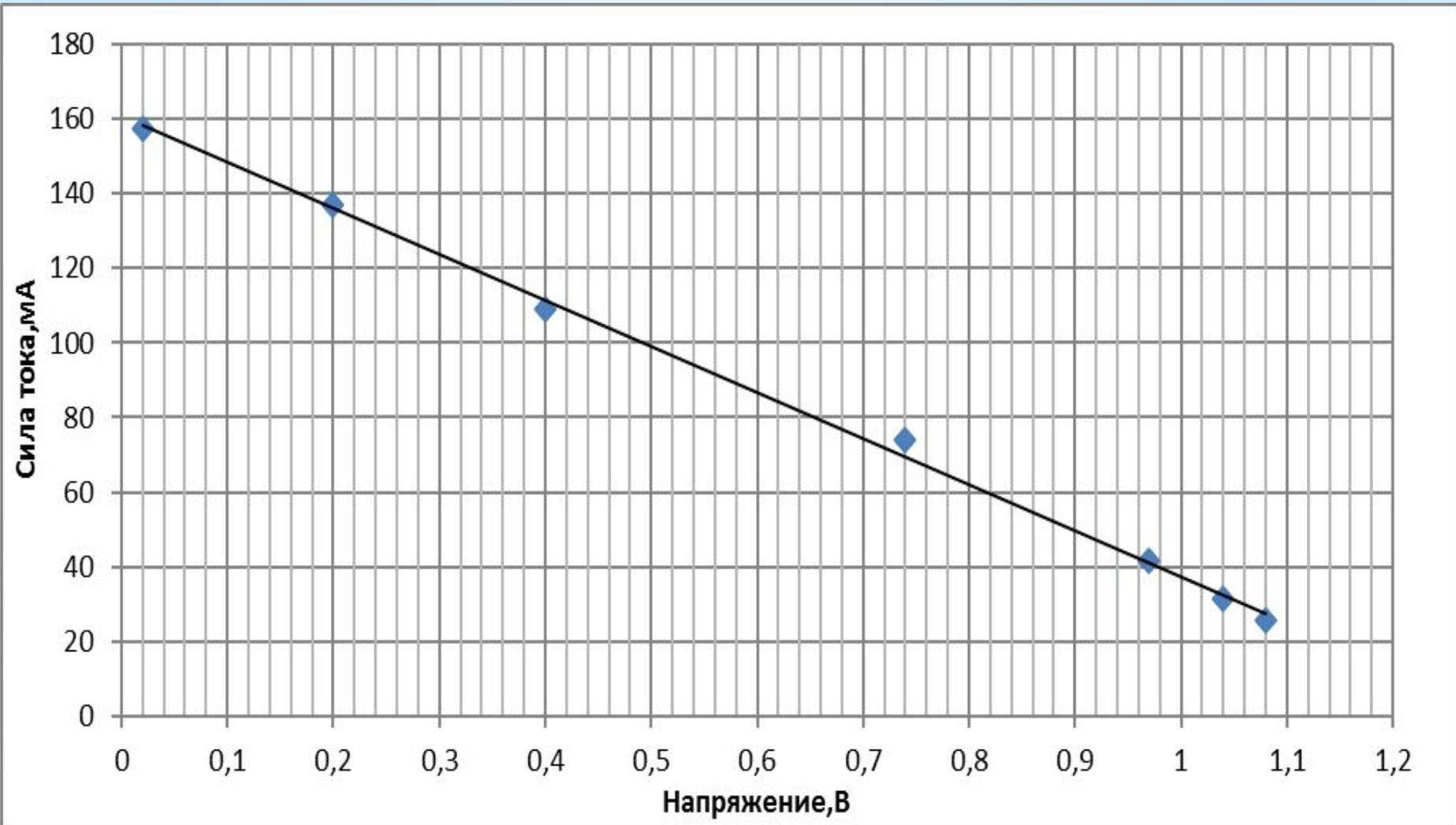


**1- термос с жидким азотом; 2 - алюминиевая труба; 3 - ТЭГ; 4- радиатор;
5- резистор; 6 – вольтметр; 7 – амперметр; 8 – ОБЕИ; 9- компьютер;
10 – вентилятор.**

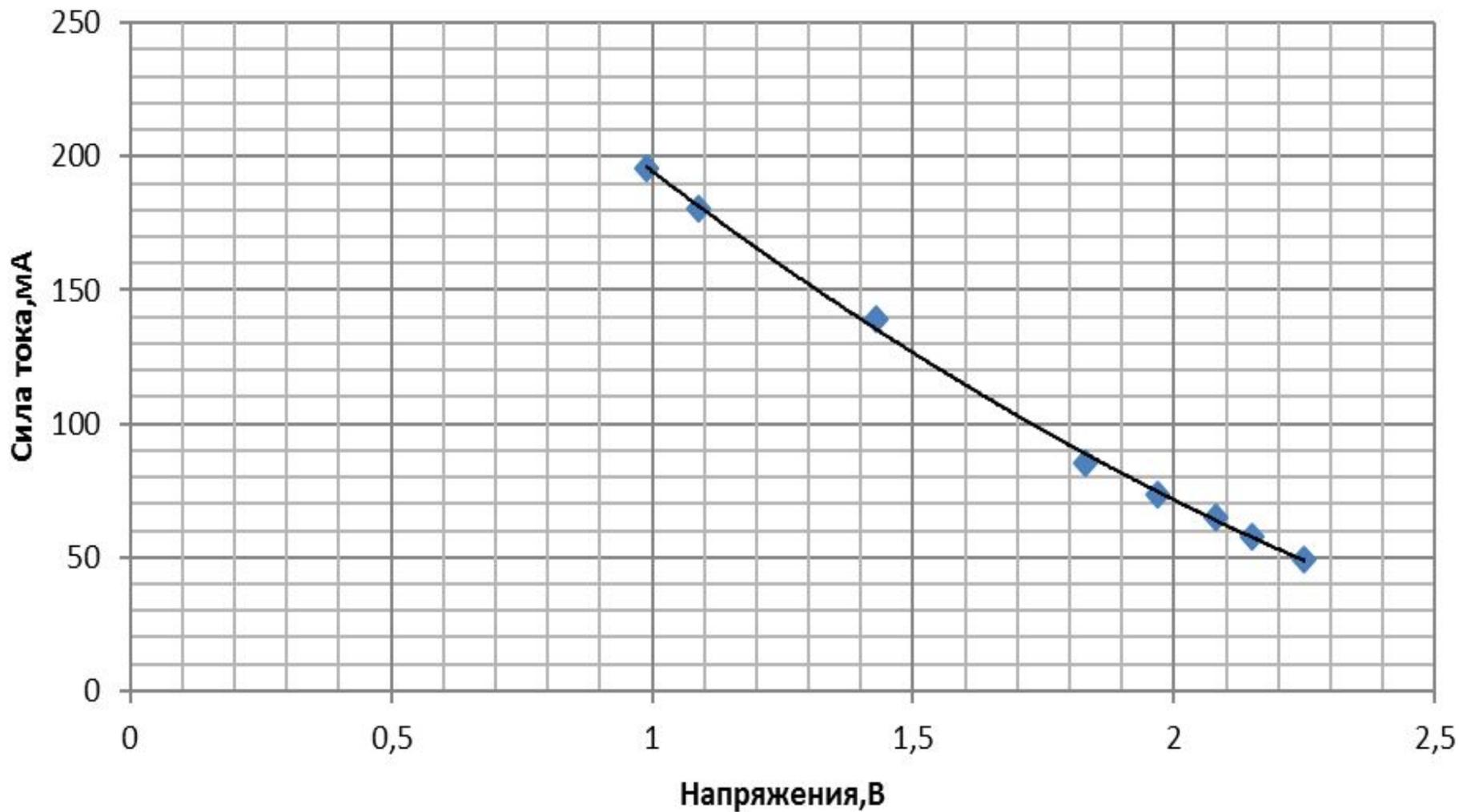
Схема установки испытания. Вольтметр и амперметр



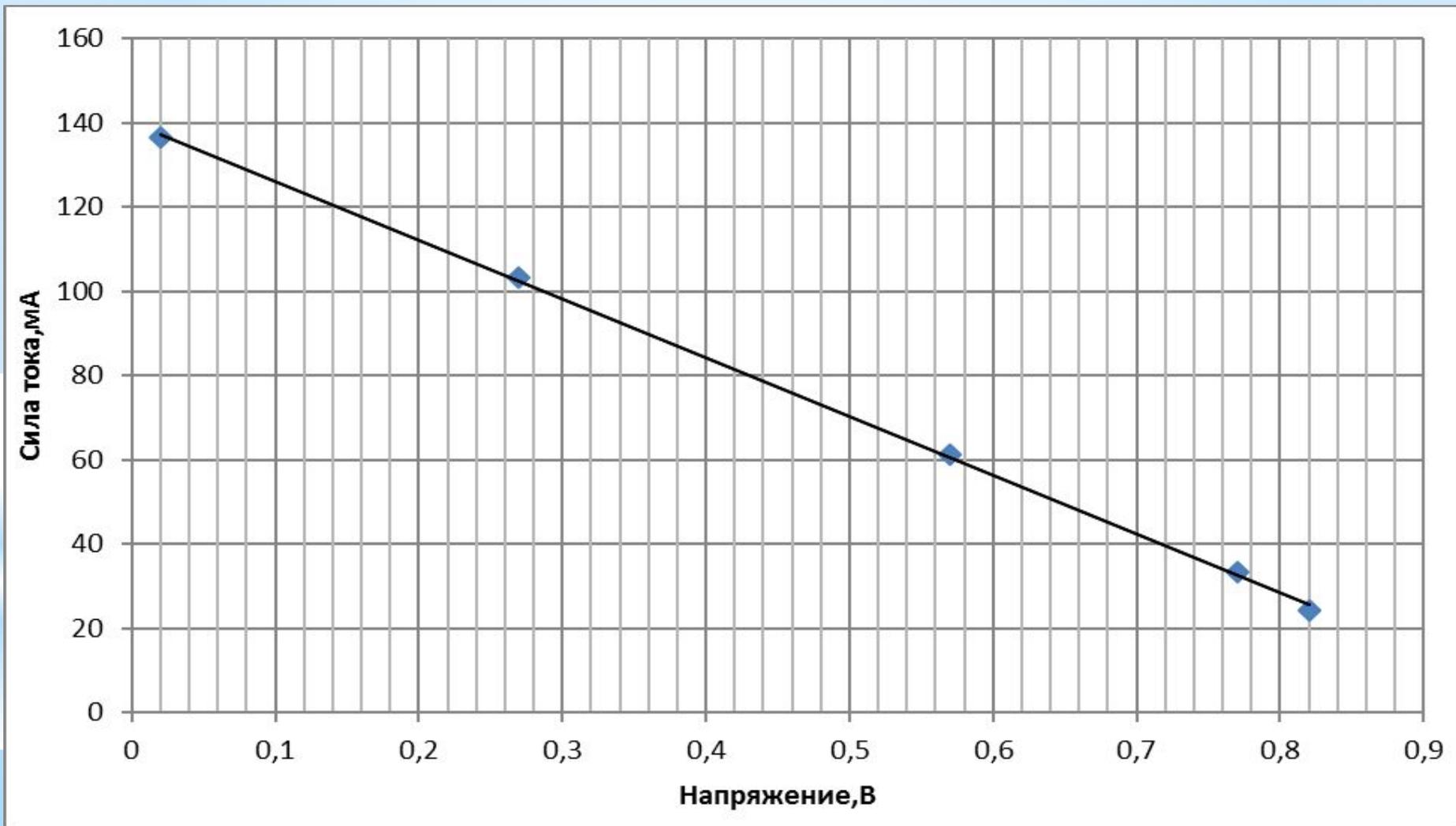
Вольтамперная характеристика на первом участке



Вольтамперная характеристика на втором участке



Вольтамперная характеристика на третьем участке



Этап пересчёта характеристик ТЭГ на первом участке испарителя

$$B_{oc} = 1,2 \quad BV_{oc} - nRI = 220 \quad , \quad RL = mnR$$

$$Z = \frac{\alpha^2}{\Lambda R} \quad , \quad \Lambda R = \left[\sqrt{\lambda_A \rho_A} + \sqrt{\lambda_B \rho_B} \right]^2 = \left[\sqrt{0,0075 \cdot 0,002} + \sqrt{0,01 \cdot 0,003} \right]^2 = 88,36 \cdot 10^{-6} \frac{B^2}{K}$$

$$Z = \frac{0,0015^2}{88,36 \cdot 10^{-6}} = 25464 \cdot 10^{-6} K^{-1} \quad , \quad \langle T \rangle = \frac{247 + 133,3}{2} = 190,15 K$$

$$m = \sqrt{1 + \langle T \rangle Z} = \sqrt{1 + 190,15 \cdot 25464 \cdot 10^{-6}} = 2,31$$

$$I = 0,166 A \quad , \quad R_L = \frac{220 B}{0,166 A} = 1325 \quad , \quad nR = \frac{R_L}{m} = \frac{1325}{2,31} = 573$$

$$um = \frac{220 + 573 \cdot 0,166}{0,166} = 262 \quad .$$

Этап пересчёта характеристик ТЭГ на первом участке испарителя

$$B_{\text{т}} \frac{V_{oc}^2 \cdot m}{R_{ac} \cdot (1+m)^2} = \frac{1,2^2 \cdot 2,31}{1,05 \cdot (1+2,31)^2} = 0,29$$

$$V_{OCbat} = nV_{oc} = 262 \cdot 1,2 = 314,4B$$

$$B_{\text{пересчет}}^{bat1} = nP = 262 \cdot 0,29 = 76B$$

$$\frac{P_{\text{пересчет}}^{bat1}}{P_{bat1}} = \frac{73}{15} = 4,8$$

Этап пересчёта характеристик ТЭГ на втором участке испарителя

$$B_{oc} = 1,2$$

$$BV_{oc} - nRI = 220 \quad , \quad RL = mnR$$

$$Z = \frac{\alpha^2}{\Lambda R} \quad , \quad \Lambda R = \left[\sqrt{\lambda_A \rho_A} + \sqrt{\lambda_B \rho_B} \right]^2 = \left[\sqrt{0,0075 \cdot 0,002} + \sqrt{0,01 \cdot 0,003} \right]^2 = 88,36 \cdot 10^{-6} \frac{B^2}{K}$$

$$Z = \frac{0,0017^2}{88,36 \cdot 10^{-6}} = 32707 \cdot 10^{-6} K^{-1} \quad , \quad \langle T \rangle = \frac{218 + 153}{2} = 185,5 K$$

$$m = \sqrt{1 + \langle T \rangle Z} = \sqrt{1 + 185,5 \cdot 32707 \cdot 10^{-6}} = 2,65$$

$$I = 0,133 A$$

$$R_L = \frac{220 B}{0,133 A} = 1654$$

$$nR = \frac{R_L}{m} = \frac{1654}{2,65} = 624,2$$

$$um = \frac{220 + 624,2 \cdot 0,133}{1,2} = 252,5 \approx 253 \quad .$$

Этап пересчёта характеристик ТЭГ на втором участке испарителя

$$\eta_{\text{ТЭГ}} = \frac{V_{oc}^2 \cdot m}{R_{ac} \cdot (1+m)^2} = \frac{1,2^2 \cdot 2,65}{1,05 \cdot (1+2,65)^2} = 0,27$$

$$V_{OCbat} = nV_{oc} = 253 \cdot 1,2 = 303,6B$$

$$P_{bat} = nP = 253 \cdot 0,27 = 68,3B$$

$$\frac{P_{\text{пересчет}}}{P_{bat2}} = \frac{68,3}{13,7} = 4,96$$

Этап пересчёта характеристик ТЭГ на третьем участке испарителя

$$B_{oc} = 1,2$$

$$BV_{oc} - nRI = 220 \quad , \quad RL = mnR$$

$$Z = \frac{\alpha^2}{\Lambda R} \quad \Lambda R = \left[\sqrt{\lambda_A \rho_A} + \sqrt{\lambda_B \rho_B} \right]^2 = \left[\sqrt{0,0075 \cdot 0,002} + \sqrt{0,01 \cdot 0,003} \right]^2 = 88,36 \cdot 10^{-6} \frac{B^2}{K}$$

$$Z = \frac{0,002^2}{88,36 \cdot 10^{-6}} = 45269 \cdot 10^{-6} K^{-1} \quad , \quad \langle T \rangle = \frac{193 + 250,7}{2} = 221,9 K$$

$$m = \sqrt{1 + \langle T \rangle Z} = \sqrt{1 + 221,9 \cdot 32707 \cdot 10^{-6}} = 2,87$$

$$I = 0,12 A$$

$$R_L = \frac{220 B}{0,12 A} = 1833,3$$

$$nR = \frac{R_L}{m} = \frac{1833,3}{2,87} = 638,8$$

$$um = \frac{220 + 638,8 \cdot 0,12}{1,2} = 247,2 \approx 248 \quad .$$

Этап пересчёта характеристик ТЭГ на третьем участке испарителя

$$Bm \frac{V_{oc}^2 \cdot m}{R_{ac} \cdot (1+m)^2} = \frac{1,2^2 \cdot 2,87}{1,1 \cdot (1+2,87)^2} = 0,25$$

$$V_{OCbat} = nV_{oc} = 247 \cdot 1,2 = 296,4B$$

$$P_{bat} = nP = 247 \cdot 0,25 = 61,75B$$

$$\frac{P^{пересчет}{}_{bat1}}{P_{bat1}} = \frac{61,75}{6,3} = 9,8$$

Расчёт экономической эффективности

$$N = m_i \cdot n$$

$$P_{\text{бам}} = \sum_i P_i$$

1) ~~N~~ $228 \cdot 16 = 3648$

1) $B_{\text{бам}1} = 0,29 \cdot 3648 = 1058$

2) ~~N~~ $457 \cdot 16 = 7312$

2) $B_{\text{бам}2} = 0,27 \cdot 7312 = 1974,5$

3) ~~N~~ $457 \cdot 16 = 7312$

3) $B_{\text{бам}3} = 0,25 \cdot 7312 = 1828$

$$B_{\text{бам}} = P_{\text{бам}1} + P_{\text{бам}2} + P_{\text{бам}3} = 1058 + 1974,5 + 1828 = 4830,5$$

Расчёт экономической эффективности

1. Стоимость блока ТЭГ на первом участке по ценам 2013-2014г составляет 2 188 800 руб.

(стоимость одного модуля 30х30мм равна 600 руб.)

2. Стоимость блока ТЭГ на втором участке по ценам 2013-2014г составляет 4 387 200 руб.

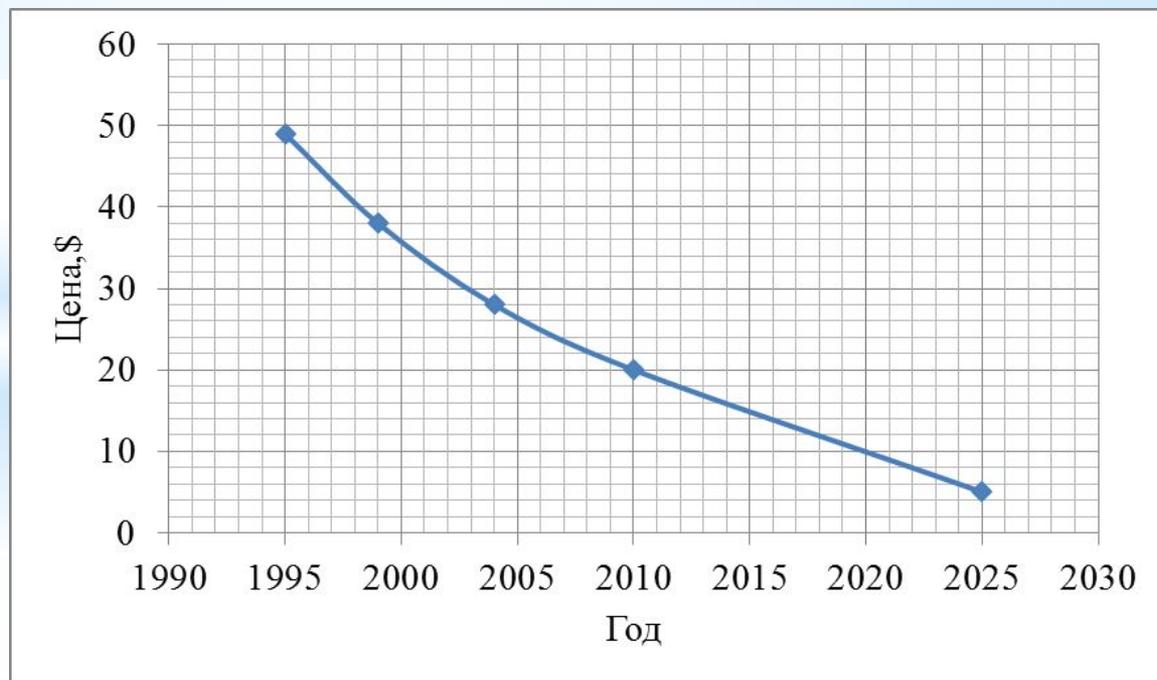
3. Стоимость блока ТЭГ на третьем участке по ценам 2013-2014г составляет 4 387 200 руб.

Общая стоимость на испаритель составит 10 963 200 руб.

При средней стоимости электроэнергии для промышленных предприятий 6,5 кВт/ч прямой срок окупаемости составит 39,9 лет.

Расчёт экономической эффективности

С учетом снижения стоимости ТЭГ в течение последних 15 лет, по прогнозам к 2025 году стоимость одного модуля ТЭГ составит 100 руб., тогда, при той же средней стоимости электроэнергии для предприятий, прямой срок окупаемости уменьшится до 6,6 лет.



Вывод

В результате выполнения работы:

1. Были исследованы экспериментальным путём характеристики ТЭГ в условиях криогенных температур.
2. Было определено необходимое количество ТЭГ для получения дополнительной электроэнергии.
3. Был подобран оптимальный режим его работы.

Спасибо за внимание!