

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛО-НАСОСНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ОП «КОПТЕВО»

Источником теплоснабжения и холодоснабжения здания ОП «Коптево» является теплонасосная система теплохладоснабжения (ТСТ).

Структурно теплонасосное оборудование разделено на две группы: обслуживающее систему вентиляции и обслуживающее систему тёплых/холодных полов.

Контур источников низкопотенциального тепла общий и включает грунтовые теплообменники в количестве 58 единиц и глубиной 76 м, а также сухой охладитель (сухую градирню) и вспомогательное оборудование - циркуляционные насосы, расширительный бак, запорную и регулирующую арматуру.

Конструкция термоскважин – вертикальная, двойная U-образная (см. Рис. 1). Материал труб - полиэтилен низкого давления, диаметр труб-0,032 м.

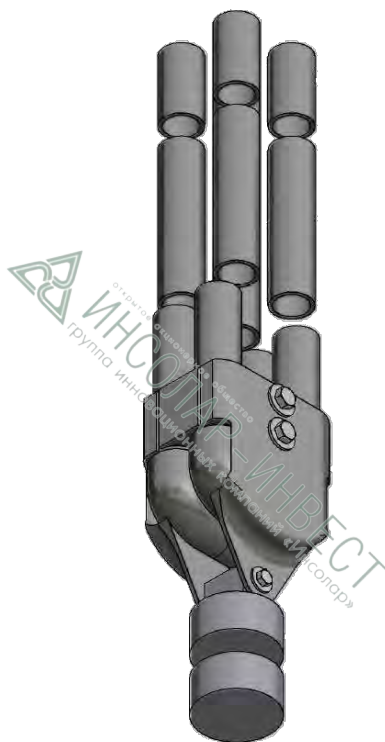


Рисунок 1

Для выбора расстояния между термоскважинами были проведены расчеты по оценке взаимного теплового влияния соседних термоскважин. При проведении расчетов были приняты следующие исходные данные (См. Табл.1).

Основные исходные данные

Обозначение параметра	Единицы измерения	Значение параметра	Расшифровка обозначения
T0	оС	8	начальная температура грунта
alf	Вт/(м <sup>2</sup> *град)	86	коэффициент теплообмена труба-грунт
Rd	м	1000	радиус области расчёта
Ru	м	0.02	радиус трубы U,
du	м	0.11	расстояние между трубами U
H	м	76	длина термоскважины
cg	кДж/(кг.град)	2.7	теплоёмкость грунта
rg	кг/м <sup>3</sup>	2000	плотность грунта
lg	Вт/(м.град)	1.0	теплопроводность грунта

При проведении расчетов рассматривалось поле термоскважин состоящее из 56 термоскважин (4X14). Расчет проводился для трех случаев: расстояния между термоскважинами 2, 3 и 5 м.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты расчетов при расстояниях между термоскважинами равном 2 м. В качестве критерия оценки взаимного влияния термоскважин принимался коэффициент условий работы термоскважины K, представляющий собой отношение «теплопроизводительности» термоскважины (извлекаемого с ее помощью тепла грунта) к теплопроизводительности одиночной термоскважины. На рисунке 2 представлена диаграмма изменения коэффициента условий работы K для ¼ поля термоскважин (остальные четверти поля симметричны).

Поток в скважины. t = 4320 час:  $k_{avg} = 0.43$ ,  $k_{min} = 0.29$ ,  $k_{max} = 0.68$

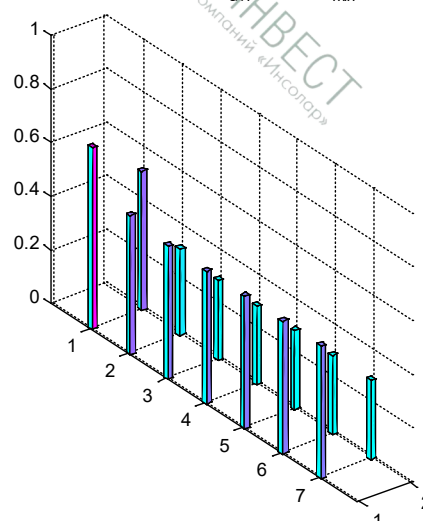


Рисунок 2. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 2,0 м. K- коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку тепла в одиночную

термоскважину ( $K$  avg-среднее значение, размер столбика соответствует интенсивности теплового потока в термоскважину)

На рисунке 3 представлено сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины.  $K$ - коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку в одиночную термоскважину ( $K$  avg-среднее значение).

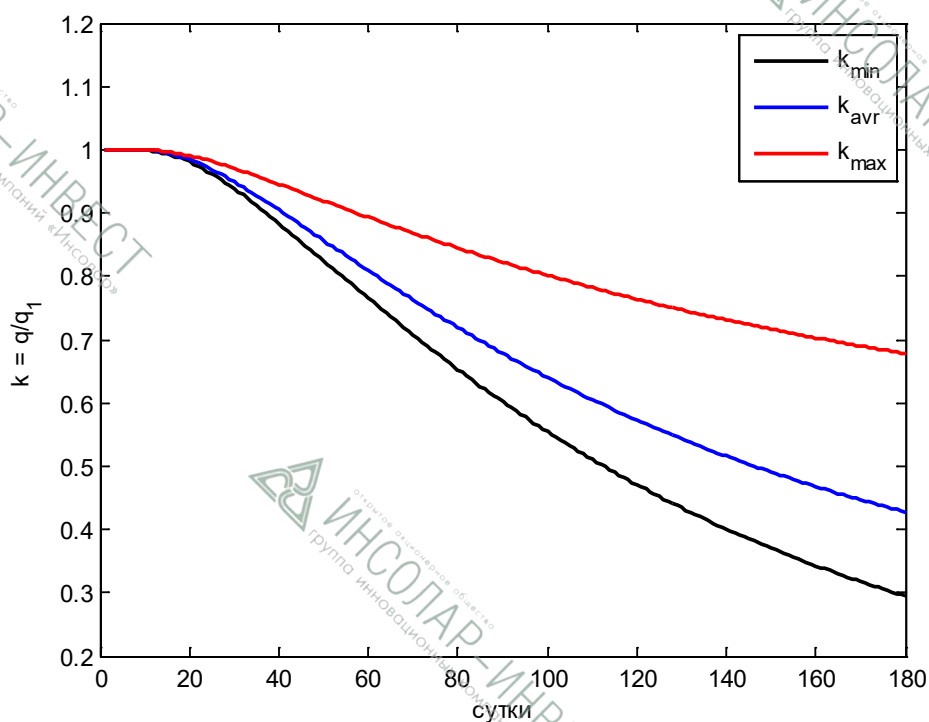


Рисунок 3. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 2,0 м.  $K$ - коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку в одиночную термоскважину ( $K$  avg-среднее значение)

На рисунках 4 и 5 представлены результаты расчетов при расстояниях между термоскважинами равном 3,5 м, а на рисунках 6 и 7 – при расстояниях между термоскважинами равном 5,0 м.

Поток в скважины.  $t = 4320$  час:  $k_{avr} = 0.85$ ,  $k_{min} = 0.82$ ,  $k_{max} = 0.92$

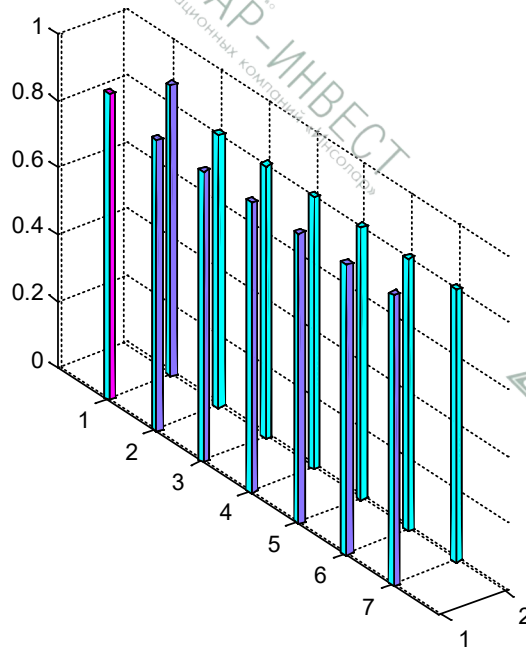


Рисунок 4. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 3,5 м. К- коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку тепла в одиночную термоскважину ( $K_{avr}$ -среднее значение, размер столбика соответствует интенсивности теплового потока в термоскважину)

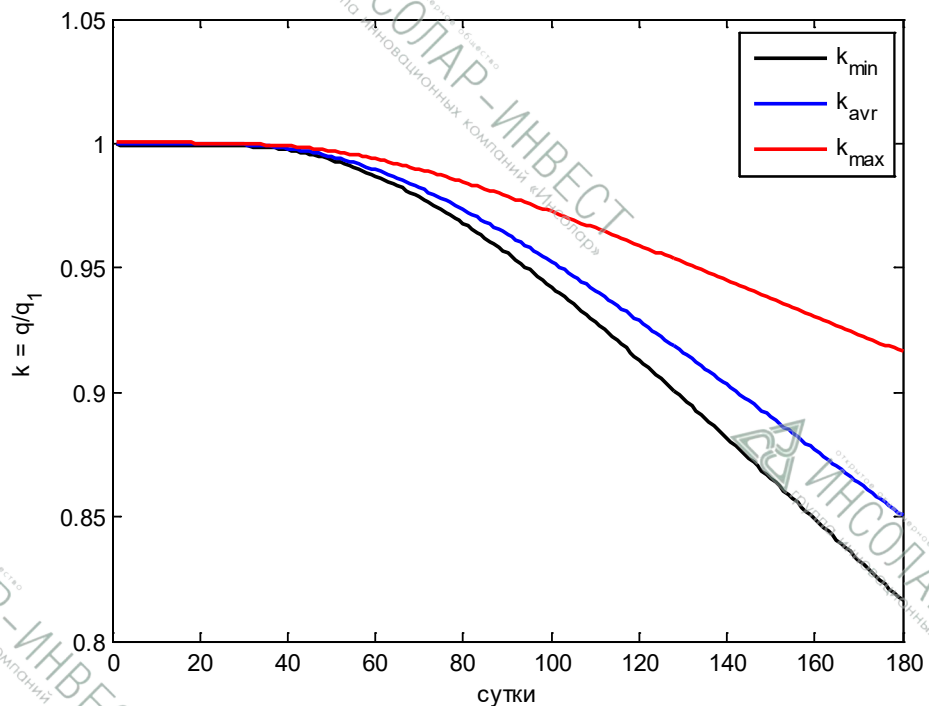


Рисунок 5. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 3,5 м. К- коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку в одиночную термоскважину ( $K_{avr}$ -среднее значение)

Поток в скважины.  $t = 4320$  час;  $K_{avr} = 0.97$ ,  $K_{min} = 0.96$ ,  $K_{max} = 0.98$

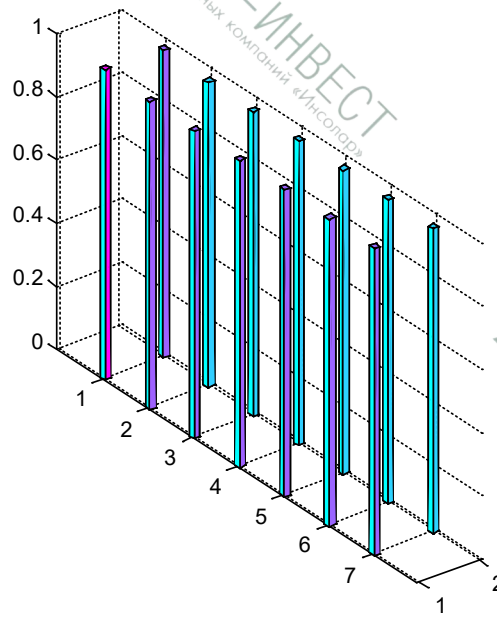


Рисунок 6. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 5,0 м. К- коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку тепла в одиночную термоскважину ( $K_{avr}$ -среднее значение, размер столбика соответствует интенсивности теплового потока в термоскважину)

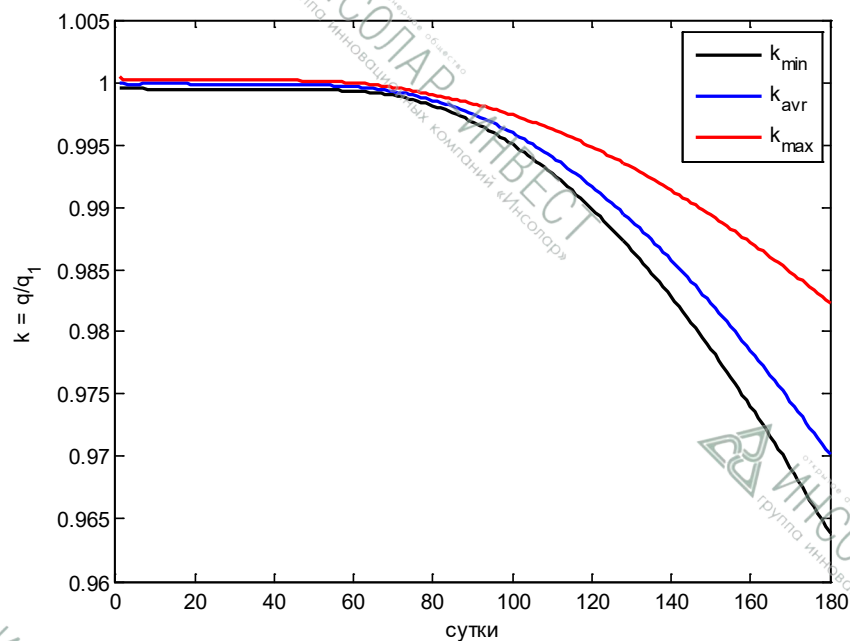


Рисунок 7. Сравнение интенсивности потоков тепла в термоскважины при расстоянии и между термоскважинами 5, м. К- коэффициенты условий работы термоскважины в поле, численно равные отношению потоков тепла в термоскважину к потоку в одиночную термоскважину ( $K_{avr}$ -среднее значение)

Из сравнения представленных на рисунках кривых видно, что при расстоянии между термоскважинами равном 5м (Рис. 7) на протяжении первых 2,5 месяцев эксплуатации кривые имеют для  $K_{min}, K_{max}, K_{avg}$  имеют горизонтальную площадку и практически совпадают, затем они начинают расходиться. При расстоянии между скважинами 1 м (Рис.3) горизонтальной площадки практически нет (она составляет меньше 20 суток) и кривые начинают расходиться практически сразу. Этот факт, как раз и объясняется взаимным тепловым влиянием термоскважин. Горизонтальная площадка в начале эксплуатации-это то время, в течение которого скважины в поле фактически работают как одиночные и не влияют на тепловой режим друг друга, а начиная с некоторого момента взаимное влияние термоскважин начинает сказываться.

В итоге расстояние между термоскважинами было выбрано равным 5,0 м, а расчетное значение коэффициента условий работы термоскважин  $K$  для проведения дальнейших расчетов было выбрано равным  $K_{min} = 0,962$ .

С помощью разработанного в ГК «ИНСОЛАР» программного комплекса «HEATPUMP» и в соответствии с Национальным стандартом РФ ГОСТ Р 54865-2011 «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами» были проведены численные эксперименты по моделированию теплового режима термоскважин, в результате которых были определены температуры теплоносителя в системе сбора низкопотенциального тепла грунта и ожидаемые коэффициенты преобразования энергии в ТСТ, ожидаемые на 5-ый год эксплуатации. Результаты численных экспериментов представлены на рисунках 8 и 9.

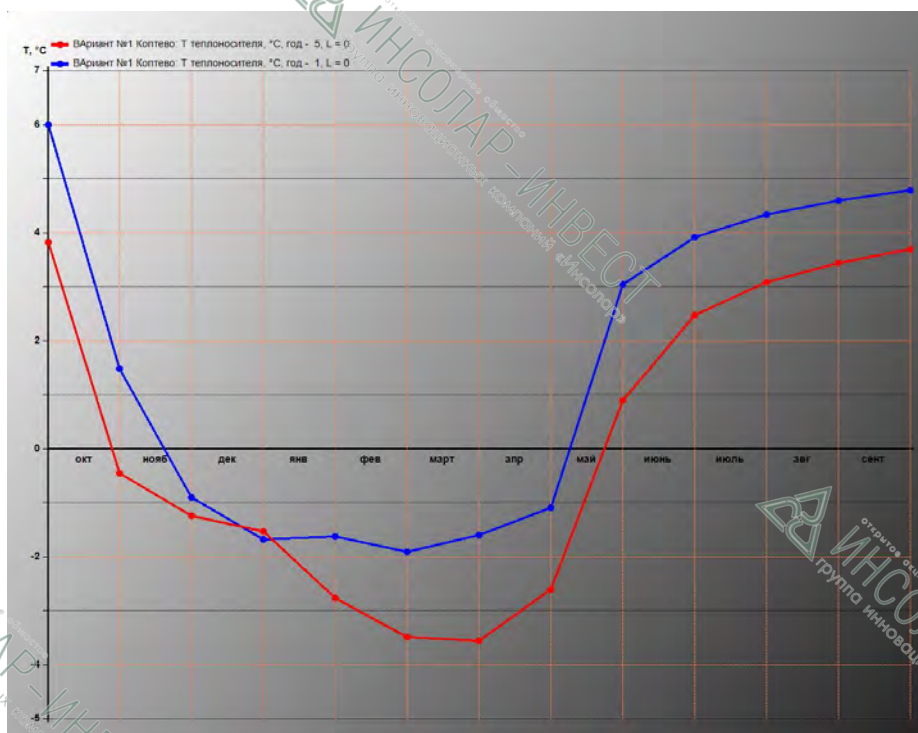


Рисунок 8. Изменение температуры теплоносителя на входе в систему сбора низкопотенциального тепла грунта в 1-ый и 5-ый годы эксплуатации



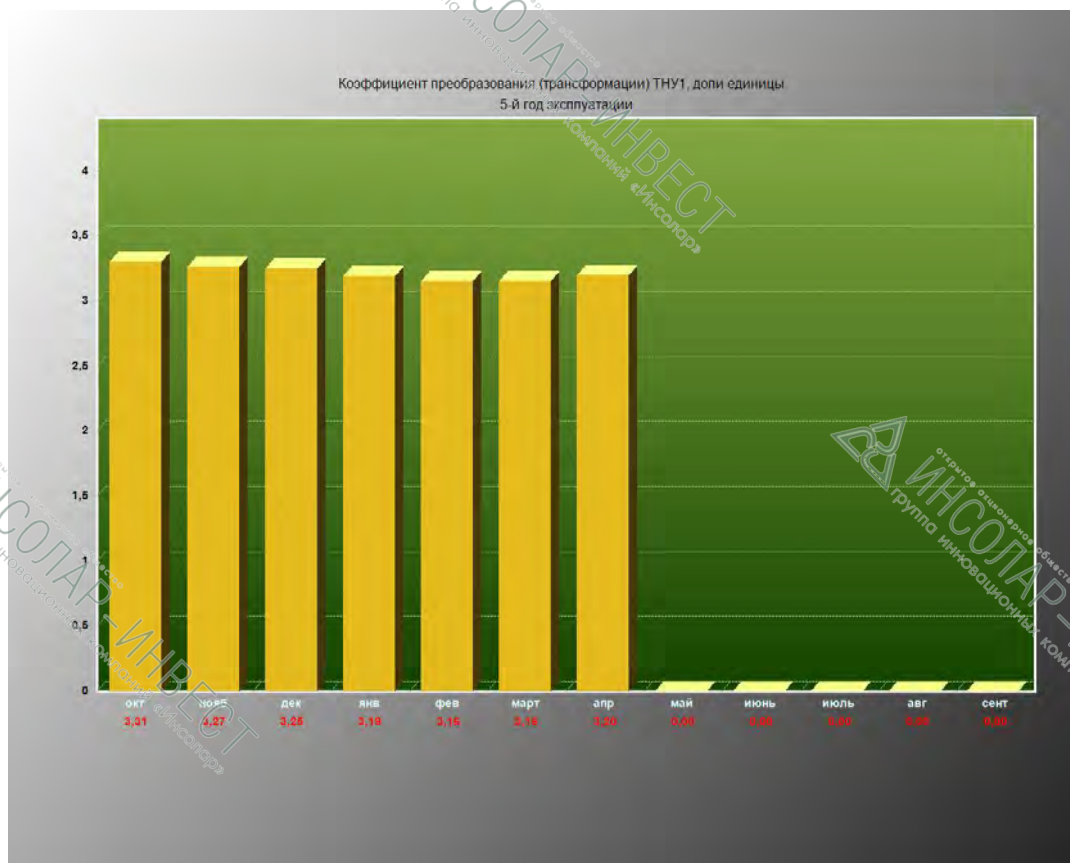


Рисунок 9. Ожидаемые коэффициенты преобразования энергии в ТСТ на 5-ый год эксплуатации

### Технико-экономическое сравнение вариантов теплоснабжения остановочного пункта «Коптево»

На основании определенных при проведении расчетов основных показателей ТСТ ОП «Коптево» было выполнено технико-экономическое сравнение вариантов его теплоснабжения. При проведении расчетов теплонасосная система теплохладоснабжения сравнивалась с двумя «традиционными» вариантами: вариантом теплоснабжения от централизованных городских тепловых сетей и с вариантом теплоснабжения от объектной электростанции. В обоих «традиционных» вариантах холодоснабжение здания осуществляется от парокомпрессионных чиллеров, обеспечивающих покрытие холодильной нагрузки в полном объеме. При проведении сравнения были использованы следующие основные исходные данные и допущения.

1. Капиталовложения в теплонасосное оборудование приняты в размере 8430 руб./кВт тепловой мощности.

2. Капиталовложения в холодильное оборудование (чиллеры «вода-вода») приняты в размере 11500 руб./кВт холодильной мощности.
3. Затраты на градирни и вспомогательное оборудование будут близки в обоих случаях.
4. Среднегодовой коэффициент преобразования энергии в тепловых насосах был принят равным 3,1.
5. Тариф на электрическую энергию, используемую для электродвигательной, привода тепловых насосов и чиллеров принят равным 3,21 руб./кВт\*ч.
6. Тариф на тепловую энергию от городских сетей централизованного теплоснабжения был принят равным 1,5 руб./кВт\*ч.
7. Удельная стоимость сооружения системы сбора тепла грунта, включая термоскважины, циркуляционные насосы, расширительные баки и арматуру системы сбора низкопотенциального тепла грунта, приведённая к 1 погонному метру термоскважины, составит 1400 руб./м.
8. Стоимость подключения к городским тепловым сетям централизованного теплоснабжения составляют 13419877,91 руб./Гкал/ч) без НДС или 13616,04 руб./кВт тепловой мощности с НДС.
9. Стоимость подключения к городским электрическим сетям не учитывалась, поскольку данное подключение уже оплачено.
10. Стоимость электрических котлов 1730 руб./кВт.

Результаты технико-экономического сравнения вариантов теплоснабжения остановочного пункта приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты технико-экономического сравнения вариантов теплоснабжения остановочного пункта «Коптево»

Наименование показателя	Ед. изм.	ТСТ	ЦТ	Э
<b>Нагрузки</b>				
Отопление (тёплые полы)	кВт		230,0	
Подогрев приточного воздуха	кВт		142,0	
Охлаждение (холодные полы)	кВт		143,0	
Охлаждение приточного воздуха	кВт		44,0	
Тепловая мощность тепловых насосов - зима	кВт	287,0	-	
Мощность электродвигателей	кВт	96,0	-	372,0
Холодильная мощность тепловых насосов - лето	кВт	207,8	-	-
Холодильная мощность чиллеров - лето	кВт	-	187,0	187,0
Количество термоскважин	шт.	58,0	-	-



Глубина термоскважин	м	76,0	-	-
Установленная электрическая мощность (зима)	кВт	215,7	-	372,0
Установленная электрическая мощность (лето)	кВт	99,5	71,4	71,4
<b>Капитальные вложения</b>				
Теплонасосное оборудование	тыс. руб.	2419,4	-	-
Чиллеры	тыс. руб.	-	2150,5	2150,5
Электродкотлы	тыс. руб.	166,1	-	643,6
Подключение к городским тепловым сетям	тыс. руб.	-	5065,2	-
Система сбора тепла грунта	тыс. руб.	6171,2	-	-
<b>Всего</b>	тыс. руб.	<b>8756,7</b>	<b>7215,7</b>	<b>2794,1</b>
<b>Дополнительные капитальные вложения по сравнению с вариантом</b>	тыс. руб.	-	<b>1541,0</b>	<b>5962,6</b>
	тыс. руб./м <sup>2</sup>	-	<b>0,335</b>	<b>1,296</b>
<b>Затраты энергии</b>				
Электрической энергии на отопление и вентиляцию	МВт*ч/год	288,9	-	876,4
Электрической энергии на холодоснабжение	МВт*ч/год	77,6	77,6	77,6
Тепловой энергии от городских тепловых сетей на отопление	МВт*ч/год	-	876,4	-
<b>Годовые расходы энергоресурсов</b>	<b>МВт*ч/год</b>	<b>366,5</b>	<b>954,0</b>	<b>954,0</b>
Экономия энергоресурсов	МВт*ч/год	<b>587,5</b>	-	-
	%	<b>61,6</b>	-	-
Годовая стоимость потребляемых энергоресурсов	тыс. руб./год	<b>1176,5</b>	<b>1563,7</b>	<b>3062,3</b>
Дополнительные затраты на энергоресурсы	тыс. руб./год	-	<b>387,2</b>	<b>1885,8</b>
<b>Срок окупаемости ТСТ по сравнению с вариантом</b>	<b>лет</b>	-	<b>4,0</b>	<b>3,2</b>

Таким образом, при действующих на 01.08.2013 г тарифах на энергоресурсы **срок окупаемости** теплонасосной системы по сравнению с системой на базе централизованного теплоснабжения составляет **4,0 года**, а по сравнению с системой электрического отопления – **3,2 года**. При этом экономия энергии в случае применения теплонасосного варианта составит 234 МВт\*ч в год или 62 %. **Экономия финансовых средств** в процессе эксплуатации составит 387 000 руб. в год по сравнению с централизованным теплоснабжением и **1885 000 руб. в год** по сравнению с электроотоплением.

## Оценка чистого дисконтированного дохода от применения теплонасосной системы теплоснабжения ОП «Коптево»

Оценка чистого дисконтированного дохода от применения ТСТ на ОП «Коптево» проводилась при тех же исходных данных и допущениях, что и предыдущие расчеты в соответствии с требованиями «Методики комплексной оценки экономической и экологической эффективности применения энергосберегающих мероприятий и технологий при проектировании и строительстве на территории города Москвы», утвержденной заместителем Мэра Москвы в Правительстве Москвы М.Ш. Хуснуллиным и рекомендованной к применению протоколом №1/2012 от 12 июля 2012 г. заседания секции «Энергоэффективное домостроение» Объединённого научно-технического совета по вопросам градостроительной политики и строительства города Москвы.

Чистый дисконтированный доход от применения ТСТ в расчете на 1 кв. метр площади остановочного пункта за жизненный цикл здания определялся по формуле

$$\text{ЧДД} = \frac{-\sum_{i=1}^T \frac{dK(t)}{(1+r)^t} + \sum_{i=1}^T \frac{dЭ(t)}{(1+r)^t}}{S} \quad [\text{руб./м}^2] \quad (1)$$

где:

$dK$  - увеличение капитальных вложений в сравнении с базовым вариантом (без ТСТ – с электротепловой), руб.;

$dЭ$  - экономия эксплуатационных расходов в сравнении с базовым вариантом, руб.;

$t$  - номер шага расчетного периода. Для единовременных капитальных вложений в «нулевой» момент времени  $t$  в показателе степени знаменателя первого члена в числителе формулы (1) равно «0», а знаменатель превращается в единицу;

$S$  – площадь остановочного пункта, кв. м;

$r$  - норма дисконта, в расчетах принята ставка рефинансирования ЦБ РФ;

$T$  – расчетный период (жизненный цикл), в расчетах принят равным 30 лет.

Соответственно:

-если  $\text{ЧДД} \geq 0$ , применение ТСТ является эффективным.

-если  $\text{ЧДД} < 0$ , применение ТСТ неэффективно.

Технико-экономическое сравнение проводилось для расчетного периода 30 лет.

Существенным фактором, влияющим на экономическую эффективность внедрения энергосберегающих мероприятий, являются темпы изменения стоимости энергоресурсов. В таблице 3 приведены данные об изменении тарифов на энергоресурсы в Москве за 2000-2013 годы, а на рисунке 10 график их изменения.

Темпы изменения тарифов на энергоресурсы в Москве за период с 01.01.2000 г. по 01.07.2013 г. (население и приравненные к ним потребители)

Дата	Электроэнергия руб./кВт*ч		Отопление руб./м <sup>2</sup> общей площади	Горячее водо-снабжение руб./чел.
	газовые плиты	электрич. плиты		
01.01.00	0,35	0,28	1,60	29,4,20
01.01.05	153	108	6,70	123,80
01.07.13	-	315	25,12	596

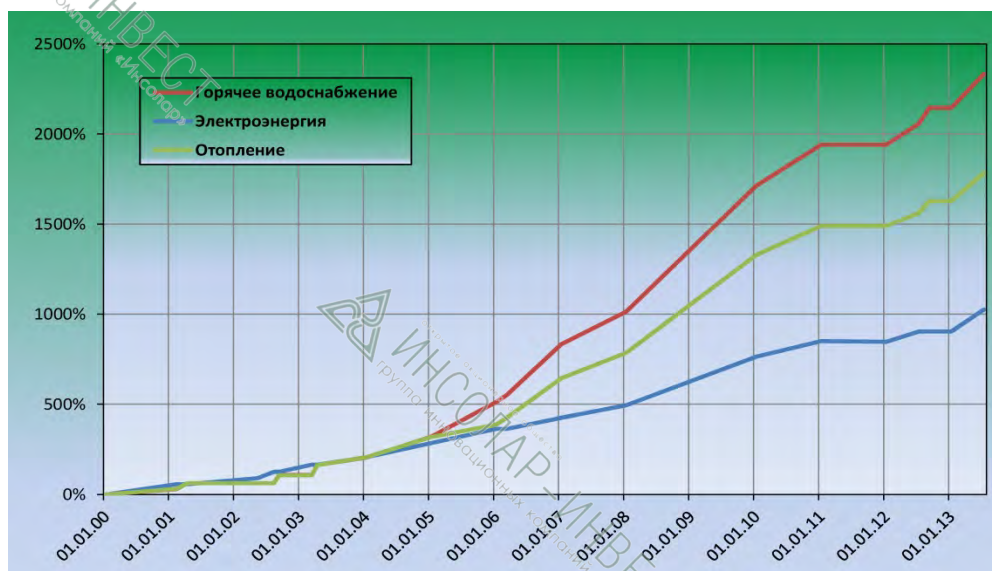


Рисунок 10. График роста тарифов на энергоресурсы в Москве

На основе анализа данных, представленных в таблице 3 и на рисунке 10, при проведении расчётов были приняты темпы роста тарифов на энергоресурсы в размере 5 % в год. Эта цифра представляется достаточно обоснованной и, скорее всего, весьма оптимистичной. В действительности, учитывая характер изменения цен, представленный в таблице 2, а также вступление России в ВТО, рост мировых цен на энергоносители, ожидаемое снижение доли атомной энергетики в энергобалансе развитых стран реальные темпы роста тарифов, скорее всего, будут значительно превышать эту цифру.

В таблице 3 представлены результаты технико-экономического сравнения чистых дисконтированных доходов от применения рассматриваемых вариантов теплоснабжения ОП «Коптево».

Таблица 3

Наименование варианта теплоснабжения	Суммарный чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб./м <sup>2</sup>
Электроотопление	0
ТЭЦ	3150
ТСТ	6854

Таким образом, чистый дисконтированный доход, полученный от применения ТСТ за жизненный цикл здания, составит 5180 рублей на 1 кв. метр площади.