
УДК 620.97

М.Д. КОЗЫРЕВ, магистр, машинист паровых турбин
АО «Красноярская ТЭЦ-1»
г.Красноярск

РЕАЛИЗАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА НА ТЭС

Потребление энергии в мире ежегодно увеличивается, при этом значительную часть ее составляет тепловая энергия. К сожалению, значительная часть тепловой энергии вообще не используется, либо используется крайне неэффективно, неконтролируемо выбрасываясь.

Одним из способов восстановления сбросного тепла является применение энергетических установок, работающих по циклу Ренкина с альтернативными рабочими телами, в качестве которых обычно используются органические вещества, с более низкой, чем у воды, температурой кипения. Благодаря этому эффекту появляется возможность реализации скрытой теплоты тепловым насосом, а также с помощью органического цикла Ренкина. [1]

Если углубиться в понятие низкопотенциального тепла, то можно выделить довольно большое количество потоков, участвующих в производственном процессе выработки электроэнергии традиционным способом.

К ним можно отнести:

- Использование теплоты уходящих газов котельного агрегата
- Использование теплоты паровых отборов турбины
- Использование теплоты пара с противодавления турбины
- Использование теплоты циркуляционной воды

Проанализировав потенциал циркуляционной воды можно сделать вывод, что это довольно неплохой источник со скрытой теплотой, поскольку за счет высокого расхода через конденсатор, обеспечивается стабильный вакуум в межтрубном пространстве, в следствии чего на выходе не должна достигаться высокая температура сливной воды. Обычно этот показатель находится на уровне 15 - 35°C. Уходящие газы в свою очередь, как и циркуляционная вода, также являются неиспользуемым низкопотенциальным источником теплоты, поскольку температуры обычно находятся в пределах 220-140°C.[2]

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

112-2

Таблица 1

Маркировка Турины	Температура цирк.воды из конденсатора, °C	Расход цирк. воды, Т/ч	Количество сбрасываемого тепла, МВт	Маркировка котла	Расход условного топлива, Т/ч	Количество сбрасываемого тепла, МВт
ПТ-25/90-10	26,9	2500	71,6	БКЗ-320/140	27,4	4,4
ПТ-60-90/13	19	2700	52	БКЗ-420/140	36,1	5,8
Р-85-8,8/1,2	20	2700	56	БКЗ-500/140	42,879	6,9
К-800/240-5	20	73000	1505	П-67	190,9	31,097

Получив результаты сравнительных анализов можно убедиться, что весьма неплохая часть тепловой энергии теряется в виде сброса в окружающую среду из-за несовершенства и особенностей производства электроэнергии. Но если вернуть его обратно в цикл, что можно добиться улучшенной экономичности, о которой велась речь в начале.

И на этапе выбора технологий стоит логичный вопрос о выборе оптимальной технологии. Диапазоны температур использования низкопотенциального тепла представлены на рис. 1.

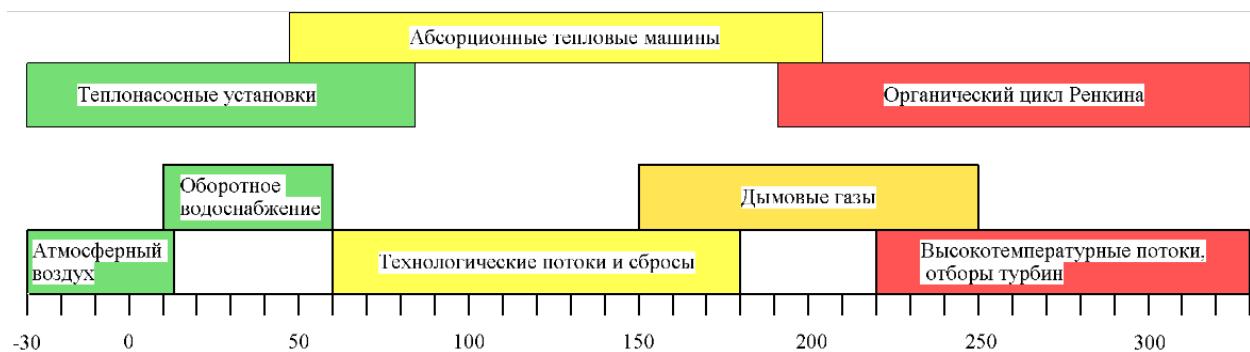


Рис. 1. Диапазоны температур.

Уходящие газы и циркуляционная вода отлично подойдут для использования тепловых насосов, которыми в свою очередь можно заместить отопительную нагрузку, и тем самым снизить затраты пара на производство

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

112-3

горячей воды со станции. Термовые насосы находят широкое применение не только для обеспечения автономного энергоснабжения объектов, относящихся к коммунально-бытовому сектору, но и для повышения эффективности работы целых энергокомплексов. Обеспечение экономичности и надежности работы оборудования энергоблоков современных электростанций является одной из важнейших задач. Изношенность основного и вспомогательного оборудования энергоблоков не позволяет электростанциям длительно обеспечивать номинальную электрическую мощность. Уменьшение тепловой нагрузки на основное оборудование энергоблоков приводит к снижению рабочих параметров пара, что влечет за собой падение единичной электрической мощности энергоблоков и экономичности электростанции в целом. В настоящее время предлагаются различные способы применения и подключения термовых насосов, обеспечивающих оптимизацию сетевых установок и систем технического водоснабжения ТЭС. [5,6]

Схема с замещением тепловой нагрузки термовым насосом представлена на рис. 2.

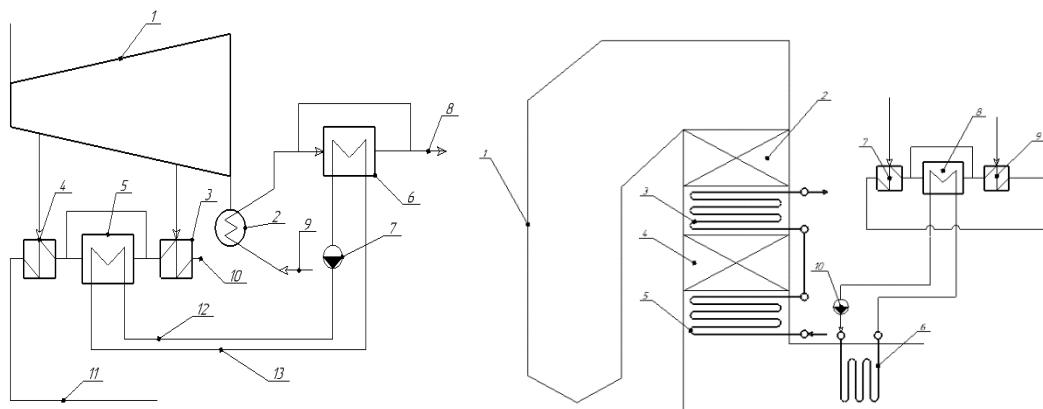


Рис. 2. – Схемы с замещением тепловой нагрузки термовым насосом

Главным положительным эффектом замещения отопительной нагрузки станет экономия пара, а значит и экономия топлива. На рис. 3 изображена диаграмма экономии топлива при различных вариантах использования источников низкопотенциального тепла.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

112-4

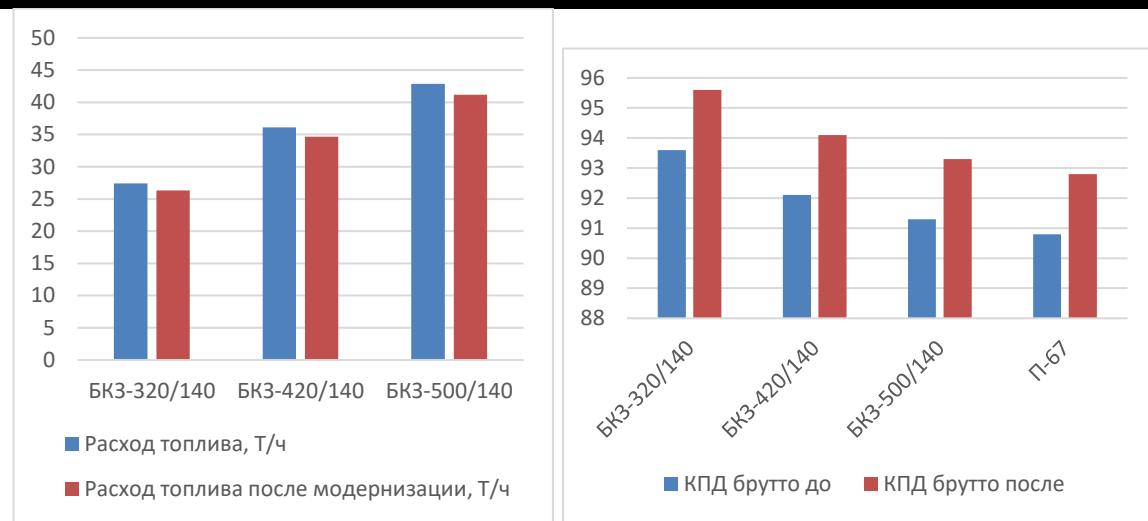


Рис. 3. Гистограмма сравнения эффективности котельных агрегатов

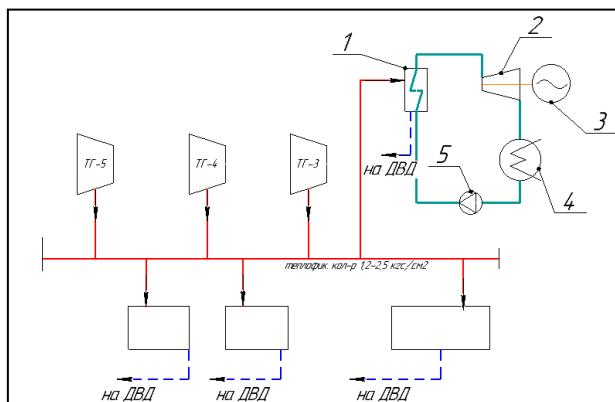


Рис. 4. ПТС ОЦР на теплофикационном паре.

1 – Испаритель, 2 – ОЦР-турбина, 3 – Электрогенератор,
4 – Конденсатор,
5 – Питательный насос.

Таблица 2
Параметры низкопотенциального источника тепла

Расход теплоф.пара, кг/с	Температура конденсации на входе, °С	Температура конденсата на выходе, °С
27,7	140	30

После проведения расчетов были сравнены между собой полученные результаты и выбран наиболее целесообразный вариант.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

112-5

Таблица 3
Сравнение технологий

Основное оборудование	Поток тепла	Температура потока	Снимаемое тепло, МВт	КПД цикла, %	Электрическая мощность, МВт
ПТ-25/90	Теплофикационный пар	140	59,9	19,5	11,5
P-100/140	Производственный пар	293	86	21	18
ПК-10Ш	Уходящие газы	168	45,6	23	10,4
ПК-10Ш2		168	47,5	23	10,9
БКЗ-320/140		140	38,078	19,5	7,4

По проведенным расчетам можно сделать вывод, что производственный пар турбин P-100/140 имеет максимальный эффект по производству электроэнергии по сравнению с другими потоками. Однако в ходе работы значимость потенциала увеличилась поскольку при данных параметрах КПД цикла на паре выше чем на фреоне, что говорит о нецелесообразности его использования в ОЦР. Логичнее было использовать этот пар, помимо теплоснабжения, для работы приключенной турбины.

Далее по рассмотрению можно обратить внимание на уходящие газы и их высокий КПД и возможность снизить температуру уходящих газов, что в свою очередь увеличит КПД котельного агрегата. Но одним внедрение ОЦР-модуля не обойтись, поскольку придется ещё учесть способы борьбы с низкотемпературной сернокислотной коррозией поверхностей нагрева, что в свою очередь приведет к существенному удорожанию всей модернизации в целом.

Из всех потоков самым целесообразным решением будет использование теплофикационного пара турбин. Поскольку его параметры в виде температуры 140-180°C и давления 1,2-2,5 кгс/см², делают его невозможным для производства электроэнергии с высоким КПД. Однако для ОЦР цикла является из всех представленных потоков самым эффективным.

III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года

112-6

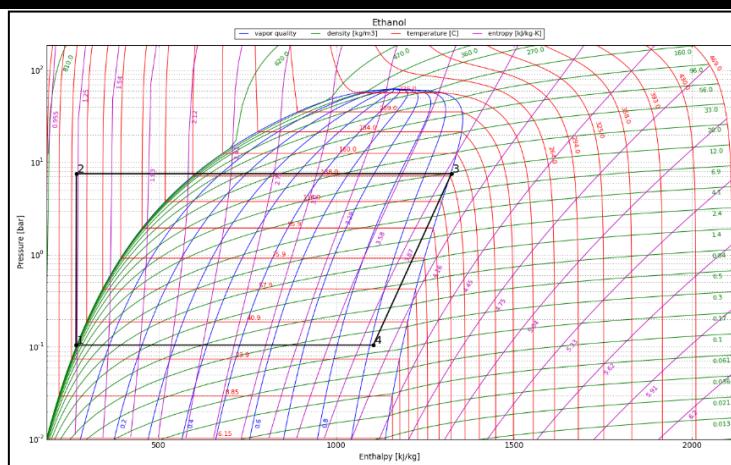


Рис.5. Р-С диаграмма органического цикла Ренкина на Этаноле при температуре испарения 130°С

На Р-С-диаграмме цикл протекает следующим образом:

2-3 подвод тепла к Этанолу в испарителе

3-4 расширение Этанола в турбине

4-1 конденсация Этанола в конденсаторе

1-2 повышение давления в питательном насосе

По результатам расчетов всех схем, было произведено сравнение, дающее понять, что теплофикационный пар турбин имеет предпочтительный приоритет

Так как предварительный расчет выполнялся на неуточненном рабочем теле, то далее необходимо было выяснить, какому рабочему телу отдать предпочтение. Главнейший критерий был – КПД цикла.

Из известных низкокипящих рабочих тел, отлично подошел Этанол, поскольку, из всех приводимых в расчете рабочих тел, на нём КАП цикла оказался максимальным.

Таблица 4
 Результаты подбора рабочего тела

Т.исп	h`3	h`4	h`1	Рабо- чее тело	Rs	Rl	PREDICTOR	КПД
150	1099,9	1333,3	268,4	Этанол	233,4	831,5	-156,5	21,9%
140	1104,3	1324,2	268,4		219,9	835,9	-141,6	20,8%
130	1108,8	1314,2	268,4		205,4	840,4	-126,9	19,6%
120	1113,5	1303,4	268,4		189,9	845,1	-112,5	18,3%
110	1118,6	1292,0	268,4		173,4	850,2	-98,4	16,9%
100	1124,2	1280,0	268,4		155,9	855,8	-84,6	15,4%

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
112-7**
12-14 ноября 2020 года

1. Проведено исследование выбора технологии утилизации низкопотенциального тепла на ТЭС, с последующей проработкой наиболее эффективного решения. Так же разработана методика расчета, которую можно применить для дальнейших модернизаций, связанных с необходимостью утилизации низкопотенциального тепла.

2. Выполнены расчеты спроектированных схем утилизации тепла, выделенных потоков, которые дают понимание, о применимости технологий по утилизации тепла.

3. Детальный расчет с исследованием выбора рабочего тела, позволит на его основе выполнять аналогичные подборы рабочих тел в зависимости от особенностей утилизируемого источника.

4. Как видно из выполненной работы, низкопотенциальные источники имеют свой верхний предел, выше которого нетрадиционные способы его использования становятся нецелесообразными. В конкретном случае верхний предел был достигнут параметрами производственного пара. Что позволяет отчетливо разделить границу по температурному диапазону применимости органического цикла Ренкина.

Список литературы:

1. Мижинский М.Ю., Сигутова М.А. //Инновации. 2008. №4(114). С.84-86.
2. Ибатуллин О.У., Ибатуллин У.Г. // Экономика природопользования. 2008. №1. С.13-20.
3. Актуальность использования тепловых насосов, история развития / По материалам компании ООО "СУ-25". ГАЗинформ. Ежеквартальный журнал. 2008. №1/20.
4. Ефимов, Н. Н. Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях / Н. Н. Ефимов, В. В. Папин, П. А. Малышев, Р. В. Безуглов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – № 4. – С. 35-39.
5. Пат. 2269013 Российская Федерация, МПК⁷ F01 K 17/02. Способ работы тепловой электрической станции / В. И. Шарапов, М. Е. Орлов, Н. С. Подстрешная; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – № 2004106653/06; заявл. 05.03.2004; опубл. 27.01.2006. Бюл.№ 3. – 3 с.
6. Пат. 2269015 Российская Федерация, МПК⁷ F01 K 17/02. Тепловая электрическая станция / В.И. Шарапов, М.Е. Орлов, Н.С. Подстрешная; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – № 2004107523/06; заявл. 12.03.2004; опубл. 27.01.2006. Бюл. № 3. – 3 с.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

112-8

Информация об авторах:

Козырев Михаил Дмитриевич, магистр , г.Красноярск,
misha_434@mail.ru