УДК 621.175

**методика прямого расчета экономической эффективности реконструкции градирен**

**С.К. Сосновский,**

*НПФ «Пластэнерго»*

**В.П. Кравченко,**

*Одесский национальный политехнический университет*

Рассмотрен механизм поддержания температуры охлажденной воды при ухудшении охлаждающей способности градирен. Предложена методика определения эффективности реконструкции градирен.

Системы оборотного водоснабжения (СОВ) являются важнейшим элементом технологического комплекса предприятий многих отраслей промышленности: теплоэнергетики, нефтехимии, металлургии, машиностроения и др. От качества и эффективности работы СОВ зависят производительность и срок службы оборудования, качество и трудоемкость готовой продукции, удельный расход сырья и энергии [1]. Вместе с тем, рациональное использование водных ресурсов и энергосбережение в самих СОВ, характеризующихся огромными масштабами распространения и объемами капиталовложений,- не менее актуальная задача [2].

Охладители СОВ (в основном вентиляторные и башенные градирни) относятся к объектам длительного срока эксплуатации, и их подавляющее большинство в Украине возводилось еще в советское время. Прошедшая за последние годы широкомасштабная реконструкция морально и физически устаревших градирен, к сожалению, существенно снизила их эффективность. Попытки хаотичной замены оборудования градирен привели к росту затрат на их содержания и эксплуатацию и увеличили энергопотребление в СОВ. Для исправления сложившейся ситуации в дальнейшем реконструировать вентиляторные и башенные градирни необходимо только на основе увеличения термодинамического коэффициента эффективности их работы Кэрг [3]:

$К\_{эрг}$ = $\frac{∆t}{ t\_{2}}$,

где Δ*t* - перепад температур в градирне;

*t* - температура охлажденной воды, ºC, - а также полной ликвидации каплеуноса [4]

Анализ эксплуатации большого количества стандартных градирен («Союзводоканалпроект», Ленинградское отделение «Атомтепло-электропроекта», «Проектстальконструкция» и др.) дает нам основание считать, что полностью исправное оборудование вентиляторных и башенных градирен в теплое время года (5-6 месяцев) обеспечивает требуемый уровень охлаждения:

$t\_{2}$ $=τ+5 ºC$ *-* для вентиляторных градирен;

$t\_{2}$ $=τ+8 ºC$ -для башенных градирен;

где *τ* **-** температура воздуха по смоченному термометру (теоретический предел охлаждения воды в градирне), ºC [5].

Однако сегодня практически невозможно найти ни одной градирни, обеспечивающей такой уровень охлаждения, без многократного (по сравнению с проектным) увеличения водооборота в СОВ. Очевидно, что при этом не выдерживаются такие важнейшие характеристики градирен, как перепад температур **∆***t* и удельная тепловая нагрузка (теплосъем)*q*. Для исправных градирен минимальные экономически целесообразные значения этих параметров должны составлять 9 °С и 80 Мкал/(м2∙ч) соответственно, что практически всегда согласуется с их расчетными значениями [3, 5].

Величина *q* определяется двумя регулярно измеряемыми параметрами: перепадом температур в градирне Δ*t* и удельной гидравлической нагрузкой *g=G/S*, м3/(м2∙ч), где *G* - общая гидравлическая нагрузка, м3/ч, а *S* - охладительная площадь градирни, - по формуле *q* = *c*∙*g*∙∆*t*, где *с* - теплоемкость воды, 1000 ккал/(м3∙град).

Важно отметить, что значения Δ*t* и *g* должны находиться в области вершины гиперболы постоянного удельного теплосъема (рис. 1).



Рис.1. Гиперболы постоянного удельного теплосъёма

Из графиков *q* = constвидно, что отклонение одного из параметров (*g* или **∆***t*) от вершины гиперболы вызывает значительно большее отклонение другого. Так, снижение перепада температур **∆***t*до 4 ºC для *q* =
80 Мкал/($м^{2}∙ч$) (точка А) компенсируется удельной гидравлической нагрузкой *g* = 20 м3/($м^{2}∙ч$), которая значительно выше пропускной способности любых промышленных градирен. С другой стороны, снижение гидравлической нагрузки до 4 $м^{3}$/($м^{2}∙ч$) (точка В) компенсируется перепадом температур **∆***t* = 20 ºC. Однако такой перепад температур может соответствовать только значительному увеличению потенциалов охлажденной и нагретой воды ($t\_{2 }$и *t*1). В обоих вариантах такие отклонения всегда приводят к росту потребности в дополнительных охладительных площадях.

Целью настоящего исследования является разработка прямого метода расчёта экономии затрат предприятия при реконструкции вентиляторных и башенных градирен. Сложность подобного расчета заключается в том, что из-за большого количества взаимосвязанных и зачастую противоречивых параметров работы вентиляторных и башенных градирен [3], до сих пор не удавалось увязать их изменения в процессе реконструкции СОВ с конкретными экономическими показателями. Это порождало появление большого количества спекуляций, когда например, вентиляторные и башенные градирни с уровнем теплосъёма брызгальных бассейнов, или с охладительной площадью как у радиаторных градирен, выдавались за эффективно работающие охладители.

Рассмотрим пример работы СОВ (рис. 2), проектные параметры которой имеют следующие значения:

1. Охладительная площадь градирни (поз. 2) – *S*=200$ м^{2}$.
2. Общая и удельная тепловые нагрузки –

*Q*=16 Гкал/ч; *q*=16000 Мкал/ч / 200 $м^{2}$=80 Мкал/($м^{2}∙ч$).

1. Перепад температур при расчетных погодных условиях -

∆*t* =$ t\_{1}$-$ t \_{2}$= 35 - 26 = 9 ºC.

1. Термодинамический показатель эффективности работы градирен -

$K\_{эрг}$ = Δ*t*/*t*2 =9/26 = 0,346.

1. Общая и удельная гидравлические нагрузки –

*G* = 1780$ м^{3}$/ч; *g* = 1780/200 = 8,9 $м^{3}$/($м^{2}∙ч$).

Предположим, что вследствие неисправности оборудования градирни, удельный теплосъём в ней снижается до *q* = 40 Мкал/($м^{2}∙ч$) (*Q*=8 Гкал/ч)и начинает расти температура охлажденной воды $t\_{2}$. Для сохранения прежнего теплосъема (*Q*=16 Гкал/ч) подключается такая же вторая градирня и общая охладительная площадь становится 400 м2. Однако удельная гидравлическая нагрузка при этом падает в два раза **–** *g’=*1780/400$=4,45 $м3/(м2∙ч). Одновременно уменьшаются радиус и высота факела водоразбрызгивающих форсунок, а также снижается уровень диспергирования воды и время контакта её с воздухом. Теплосъём в градирнях опять падает на величину, которая зависит от конкретных погодных условий. В результате этого, вернуться к первоначальному значению температуры t2 не удаётся. Поэтому для возврата к прежней удельной гидравлической нагрузке *g* объём водооборота увеличивается в два раза – *G*’=1780∙2=3560 м3/ч и общий теплосъём в СОВ восстанавливается.



Рис. 2. Схема СОВ: 1 - потребители охлажденной оборотной воды; 2 - градирня; 3- насосная станция

Однако, несмотря на то, что и охладительная площадь, и водооборот в СОВ были увеличены в два раза, новая система по своим технологическим параметрам всё же не адекватна исходной. Дело в том, что в полном соответствии с законом сохранения энергии перепад температур в градирнях **∆***t* с восстановлением удельной гидравлической нагрузки [8,9$м^{3}$/($м^{2}∙ч$)]уменьшится в два раза:

 ºC.

Поступая к потребителям (поз. 3), удвоенное количество охлажденной воды нагревается тем же количеством тепла уже до гораздо меньшей температуры $t\_{1}$ и, возвращаясь с этой температурой на градирни, опять приводит к снижению в них теплосьёма, поскольку более низкопотенциальное тепло отводится хуже. Температура охлажденной воды поднимается, вызывая рост$ t\_{1}$ после оборудования потребителей. Увеличение температур $t\_{1}$ и $t\_{2}$ продолжается до тех пор, пока их уменьшенный вдвое перепад не установится на более высоком потенциальном уровне: например,

∆t´=35,5 - 31,0 , ºC.

Новые параметры работы СОВ примут следующие значения:

**1.** Охладительная площадь **-** *S*´= 200∙2 = 400$ м^{2}$.

**2.** Общая и удельная тепловые нагрузки -

*Q*’=16 Гкал/ч; *q* = 16000/400 = 40 Мкал/(м2∙ч).

**3.** Перепад температур при тех же погодных условиях –

35,5 °С- 31,0 °С=4,5 °С.

**4.** Термодинамический показатель эффективности работы градирен -

.

1. Общая и удельная гидравлические нагрузки –

*G*’=3560 м3/ч; *q*’ = 3560/400= 8,9 м3/(м2∙ч).

 Следовательно, при падении удельного теплосъёма в градирне в два раза, ни двукратное увеличение охладительной площади (*S*’), ни двойной водооборот (*G*’) не обеспечивают возврат охлажденной воды на первоначальный потенциальный уровень (*t*2 =26 °С). Для того, чтобы снизить  требуются еще дополнительныеохладительные площади и водооборот. Практически расходы на содержание и эксплуатацию СОВ возрастают при этом многократно.

 Единственной разумной альтернативой вышеуказанному регулированию параметров СОВ является поддержание охлаждающей способности вентиляторных и башенных градирен на расчетном (проектном) уровне.

 Таким образом, до и после реконструкции градирен требуется проведение следующих расчетов и измерений:

1. Охладительная площадь – *S*, м2.
2. Общая и удельная тепловые нагрузки – *Q*, Гкал/ч; *q*, Мкал/(м2∙ч).
3. Перепад температур – Δ*t* = *t*1 - *t*2 , ˚С.
4. Термодинамический показатель эффективности работы градирни –

.

1. Общая и удельная гидравлические нагрузки – *G*, м3/ч; *g*,м3/(м2∙ч).
2. Процент каплеуноса – *р*, %;
3. Расчётные погодные условия (температура воздуха tсух, °С; относительная влажность $φ$, %; скорость и направление ветра , м/с; барометрическое давление Р, мм рт. ст.).

Термодинамическая эффективность реконструкции определяется при погодных условиях, близких к расчётным, по формуле:

 (1)

где Кэрг*,*1 и Кэрг,2 – показатели эффективности до и после реконструкции.

Отрицательное значение *ЭT* свидетельствует о снижении термодинамической эффективности в результате реконструкции.

Экономический эффект рассчитывается по разности следующих параметров работы градирни до и после их реконструкции:

1.Экономия/перерасход охладительной площади – Δ*S*=*S*нач - *S*кон, м2, где *S*нач и *S*кон – охладительные площади до и после реконструкции; или в сравнении с расчетным значением *S*р -



Окончательно

, (2)

где *Qфакт.*, *Sфакт*., Δ*tфакт*.  и *Gфакт*. – фактические теплосъем, Гкал/ч; площадь, м2; перепад температур, °С, и гидравлическая нагрузка, м3/ч, соответственно.

Величина коэффициента пропорциональности *K*1 = 0,0125 ч/(м∙град) соответствует минимальному расчётному теплосъему в вентиляторных и башенных градирнях и в дальнейшем должна пересматриваться в сторону уменьшения. Отрицательное значение Δ*S* (перерасход) означает, что имеет место нерациональная загрузка охладительных площадей.

2. Экономия/перерасход водооборота –

Δ*G*=*G*нач. - *G*кон , м3/ч, где *G*нач. и *G*кон. – общие гидравлические нагрузки до и после реконструкции; или в сравнении с расчетными значениями Gр. **-** .

Окончательно

. (3)

Величина коэффициента пропорциональности *K*2 =0,111 соответствует минимальному расчетному перепаду температур в вентиляторных и башенных градирнях (9 ˚С).

Отрицательное значение Δ*G* (перерасход) означает, что водооборот в СОВ увеличился.

3.Экономия/перерасход подпиточной воды –

Δр = рнач. - ркон.., %, где рнач. и ркон**.**– проценты каплеуноса (от водооборота) до и после реконструкции. Отрицательное значение Δр свидетельствует об увеличении каплеуноса.

4. Экономия/перерасход сырья, материалов, энергоресурсов и трудозатрат в основном производстве, увеличение производительности оборудования и улучшение качества выпускаемой продукции при дополнительном снижении/увеличении температуры охлажденной *t*2/ нагретой *t*1 воды –

Δ*t* = *t*нач. - *t*кон., где *t*нач. и *t*кон. - температуры охлажденной *t*2  или нагретой *t*1  воды до и после реконструкции градирни.

Расчет экономии /перерасхода в стоимостном выражении:

1. Затраты на 1 м2 охладительной площади Ц1 определяются на основании локальной сметы на содержание и эксплуатацию СОВ или по годовой норме амортизации стоимости градирни на момент ее реконструкции А. Экономия/перерасход –

Э1=Ц1(А)∙Δ*S*. (4)

1. Стоимость 1 м3 оборотной воды Ц2 обычно калькулируется на предприятиях. Упрощенно она может быть рассчитана по стоимости электроэнергии, необходимой для перекачки 1 м3/ч оборотной воды насосами установленной мощности. Экономия/перерасход –

Э2 = Ц2 ∙ Δ*G*∙τ, (5)

где τ- годовой фонд рабочего времени градирни, ч.

1. Экономия/перерасход подпиточной воды –

Э3 = Ц3 ∙ Δ*р* ∙ *G*р∙τ /100, (6)

где Ц3 –стоимость 1 м3  подпиточной воды.

1. Экономия/перерасход статей затрат основного производства Э4 определяется на основании их пересчета в связи с изменением температуры оборотной воды. Например, из расчета тепловой схемы конденсационной турбоустановки следует, что при снижении *t1* на 1 °С её мощность вырастет на 0,34 % за счет роста КПД. В этом случае Э4 приравнивается к стоимости дополнительно выработанной электроэнергии в течение годового фонда рабочего времени турбоустановки.

Экономическая эффективность реконструкции рассчитывается по коэффициенту ε:

, (7)

где ∑3 – суммарные затраты на проведение реконструкции.

Срок окупаемости затрат:

 - составляет в настоящее время, как правило, всего несколько суток, что свидетельствует о высокой эффективности и экономической целесообразности реконструкции вентиляторных и башенных градирен.

Выводы

1. В результате исследования взаимосвязи основных параметров эксплуатации промышленных вентиляторных и башенных градирен установлено, что снижение их удельного теплосъёма приводит к многократному увеличению охладительных площадей и водооборота.

2. Предложены формулы расчета изменения термодинамической эффективности, гидравлической нагрузки и охладительной площади при реконструкции градирен.

3. Разработана методика прямого расчета экономической эффективности реконструкции градирен.

**Список использованных источников**

1. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Оборотное водоснабжение: (Системы водяного охлаждения ). - М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.

2. Системы водяного оборотного водоснабжения промышленных предприятий (обзор). /Сост. П.П. Марков, Н.А. Маркова, А.В.Чапковский. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1976. – 71 с.

3.Сосновский С.К., Кравченко В.П. Определение эффективности охлаждения циркуляционной воды в вентиляторных и башенных градирнях //Энергетика и электрификация. – 2008. - № 3. – С.37-41.

4. Сосновский С.К., Кравченко В.П. Капельный унос в вентиляторных градирнях // Энергетика и электрификация. – 2001. - № 9. – С.24-28.

5. Пособие по проектированию градирен к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». – М.: ЦИТП. – 1989. -192 с.

Аннотации

**методика прямого рОЗРАХУНКУ ЕкономІчНОЇ ЕфективностІ реконструкцІЇ градирен. *Сосновський С.К., Кравченко В.П.*** Розглянуто механізм підтримки температури охолодженої води при погіршенні здібності градирен до охолодження. Запропонована методика визначення ефективності реконструкції градирен.

**METHODOLOGY OF ECONOMIC EFFICIENCY DIRECT CALCULATION FOR COOLING TOWERS RECONSTRUCTION**. ***Sosnovsky S., Kravchenko V****.* The mechanism of temperature maintenance of the chilled water at worsening of cooling ability of cooling towers is considered. Methodology of efficiency determination at reconstruction of cooling towers offers.

**Сосновский Сергей Константинович**

Инженер

Директор Научно производственной фирмы «Пластэнерго»

Т. 050-550-35-52

**Кравченко Владимир Петрович**

Профессор каф. Атомных электростанций Одесского національного политехнического университета

Доктор технических наук

Т. 050-390-17-92

Mail: vpkrav@rambler.ru