

УДК 621.565.93

## СПОСОБИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГРАДИРЕНЬ

ЛЯХОВЕЦЬКА-ТОКАРЄВА М. М.<sup>1\*</sup>, *к. т. н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-00, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0338-4930

**Анотація. Постановка проблеми.** Градирня, що експлуатується, повинна відповідати низці вимог – технічних, експлуатаційних і економічних. У технологічних циклах, де охолоджена вода використовується для одержання кінцевих продуктів, наприклад, хімічне і нафтохімічне виробництво, отримання мінеральних добрив, молочна промисловість, неправильно підібраний спосіб охолодження або неправильно спроектована градирня можуть знизити вихід кінцевого продукту в 1,5 – 2 рази, ще й одночасно погіршити якість продукції. Особливої гостроти ця проблема набуває в літній час, тому що ефективність виробничого процесу залежить від температури охолодженої води. **Мета статті.** Розглянути основні критерії, якими необхідно керуватися, вибираючи спосіб реконструкції градирень з метою підвищення ефективності та раціональності їх експлуатації. **Висновок.** Проаналізувавши різні способи раціонального використання градирень, визначити коефіцієнт ефективності охолодження води як відношення величини охолодження води до її теоретичної межі охолодження. Енергоефективність можлива тільки в системі градирня – охолоджуваний об'єкт, тому правильність підбору обладнання та узгоджена їх робота є запорукою зниження експлуатаційних витрат. У той час тільки правильний вибір типу градирні, зрошувача і вентилятора дозволить отримати працездатну систему, яка буде гнучко реагувати на зміни як зовнішніх умов, так і теплового навантаження виробничого процесу.

**Ключові слова:** градирня, раціональний вибір типу градирні, реконструкція градирні; технічне обслуговування градирні, типи градирень.

## СПОСОБЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАДИРЕН

ЛЯХОВЕЦКАЯ-ТОКАРЕВА М. М.<sup>1\*</sup>, *к. т. н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-00, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0338-4930

**Аннотация. Постановка проблемы.** Эксплуатируемая градирня должна отвечать ряду требований – технических, эксплуатационных и экономических. В технологических циклах, где охлажденная вода используется для получения конечных продуктов, например химическое и нефтехимическое производство, получение минеральных удобрений, молочная промышленность, неправильно подобранный способ охлаждения или неверно спроектированная градирня могут снизить выход конечного продукта в 1,5 – 2 раза при одновременном ухудшении качества продукции. Особенно остро эта проблема приобретает в летнее время, так как эффективность производственного процесса напрямую зависит от температуры охлажденной воды. **Цель статьи.** Рассмотреть основные критерии, которыми необходимо руководствоваться при выборе способа реконструкции градирен с целью повышения эффективности и рациональности их эксплуатации. **Вывод.** Проанализировав различные способы рационального использования градирен, определить коэффициент эффективности охлаждения воды как отношение величины охлаждения воды к ее теоретическому пределу охлаждения. Энергоэффективность возможна только в системе градирня – охлаждаемый объект, поэтому правильность подбора оборудования и согласованная их работа являются залогом снижения эксплуатационных расходов. В то же время только правильный выбор типа градирни, оросителя и вентилятора позволит получить работоспособную систему, которая будет гибко реагировать на изменения как внешних условий, так и тепловой нагрузки производственного процесса.

**Ключевые слова:** градирня, рациональный выбор типа градирни, реконструкция градирни; техническое обслуживание градирни, типы градирен.

## THE WAYS OF RATIONAL USE OF COOLING TOWERS

LYACHOVETSKAYA-TOKAREVA M. M., <sup>1\*</sup>, *Ph. D. (Tech.)*

<sup>1\*</sup> Department of heating, ventilation and quality of air environment, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-00, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0338-4930

**Summary. Problem statement.** Operated the cooling tower must meet a number of requirements - technical, operational and economic. In the technological cycles, where chilled water is used to produce final products, such as chemical and petrochemical production, production of mineral fertilizers, dairy, incorrectly selected cooling method or incorrectly designed cooling tower can reduce the yield of the final product in 1.5 - 2 times with a simultaneous deterioration of product quality. Special poignancy this problem gets in the summer, as the efficiency of the production process depends on the temperature of the chilled water. **Purpose.** To consider the main criteria that should be guided with the choice of method for reconstruction of cooling towers with the purpose of increasing the efficiency and effectiveness of their operation. **Conclusion.** After analyzing the different ways of rational use of cooling towers, the coefficient of efficiency of water cooling as the ratio of the amount of cooling water to its theoretical limit cooling was presented. Energy efficiency is only possible in the system of the cooling tower is cooled object, so the correct selection of equipment and coordinated their work is the key to lower operating costs. At the same time only the correct choice type cooling towers, sprinkler and fan will allow you to get a workable system that will be flexible to respond to changes both external conditions, and the thermal load of the production process.

**Keywords:** *cooling tower, rational choice of type cooling tower, the renovation of the cooling tower; the maintenance of a cooling tower, cooling tower types.*

**Постановка проблемы.** Градирня – теплообменный аппарат для отвода в окружающую среду тепла от различных производственных процессов за счет испарения части проходящей через нее воды. Доля испаряемой воды обычно не превышает 1,5 %. Большая часть используемых градирен сооружены 30 – 50 лет назад. Практически все эти установки морально и физически устарели.

Эксплуатируемая градирня должна отвечать ряду требований – технических, эксплуатационных и экономических. В технологических циклах, где охлажденная вода используется для получения конечных продуктов, например химическое и нефтехимическое производство, получение минеральных удобрений, молочная промышленность, неправильно подобранный способ охлаждения или неверно спроектированная градирня могут снизить выход конечного продукта в 1,5 – 2 раза при одновременном ухудшении качества продукции. Особенную остроту эта проблема приобретает в летнее время, так как эффективность производственного процесса напрямую зависит от температуры охлажденной воды. [2].

**Анализ публикаций.** Существует ошибочное мнение, что любая градирня окажет-

ся оптимальной или хотя бы обеспечивающей потребности конкретного производственного процесса. Известно, что эксплуатационные расходы за время существования системы охлаждения (обычно этот срок составляет 15 – 25 лет) во много раз превышают капитальные затраты на её создание. [2;3].

Обычно высокая температура охлажденной воды связана либо с неправильным выбором градирни, либо с её плохим техническим состоянием [1; 4].

Вопрос энергосбережения в системах оборотного водоснабжения можно рассматривать в рамках следующих разделов:

- рациональный выбор типа градирни;
- соответствие градирни охлаждаемому объекту;
- техническое обслуживание градирни;
- реконструкция градирни.

**Цель статьи.** Рассмотреть основные критерии, которыми необходимо руководствоваться при выборе способа реконструкции градирен с целью повышения эффективности и рациональности их эксплуатации.

**Материалы исследования.** Основным критерием, которым необходимо руководствоваться при выборе способа реконст-

рукции градирни, является рациональный выбор ее типа.

Выбор типа и размера градирни влияет на эффективность работы системы охлаждения и, следовательно, на её энергопотребление.

Использование градирен с противоточной схемой подачи воды и воздуха позволяет минимизировать энергопотребление в комплексе градирня – насосная станция.

Серьезной проблемой при эксплуатации градирни является рециркуляция воздуха, когда теплый и влажный воздух, выходящий из градирни, практически не способный к охлаждению воды, вновь попадает во входные окна градирни. Это явление значительно ухудшает, а то и практически прекращает охлаждение оборотной воды.

Температура воды на выходе из градирни, при прочих равных условиях, для градирен с противоточной схемой приблизительно на 2 °С ниже, чем для градирен с поперечной схемой подачи воды и воздуха. Аналогично и недоохлаждение, т. е. разность температуры воды на выходе из градирни и температуры мокрого термометра – физического предела охлаждения.

Градирни с противоточной схемой подачи воды и воздуха имеют большую эффективность охлаждения и меньшее энергопотребление, чем градирни с поперечным током.

Приведем три основных элемента, которые определяют эффективное охлаждение воды в градирне:

- 1) равномерное распределение воды по поверхности оросителя градирни;
- 2) равномерный и достаточный по количеству поток воздуха;
- 3) высокоэффективный ороситель и каплеотделитель.

*Равномерное распределение воды по поверхности оросителя градирни*

Для решения указанной задачи более всего подходят так называемые цельнофакельные сопла-форсунки, создающие при распылении воды полностью заполненный каплями факел, что позволяет уменьшить количество сопел-форсунок на градирне и

упростить систему трубопроводов в раздающей сети.

*Равномерный и достаточный по количеству поток воздуха*

Большое количество воздуха, подаваемого в градирню, позволит надежно охладить воду, но неминуемо приведет к увеличению затрат энергии на привод вентилятора и росту капельного уноса за счет возрастания скорости воздуха на выходе из градирни. При малом количестве воздуха серьезной проблемой станет обеспечение равномерного распределения воздуха по всем ячейкам оросителя и, как следствие, возможность обеспечить требуемую степень охлаждения воды. Основным способом решения этих проблем является тщательная аэродинамическая проработка деталей корпуса градирни с целью снижения сопротивления и уменьшения вихреобразования.

*Высокоэффективный ороситель и каплеотделитель*

Ороситель – основной элемент современной градирни, обеспечивающий охлаждение оборотной воды. Каплеотделитель представляет собой второй по значимости элемент градирни, т. к. унос капель воды при его отсутствии может достигать до 5 % от объема поступающей в градирню воды. При разрушении оросителя часть воздуха, минуя оставшиеся ячейки, не охлаждая воду, выносится из градирни, как следствие, уменьшается степень охлаждения воды. При разрушении каплеотделителя увеличиваются потери за счет уноса капель, так как в месте разрушения каплеотделителя уменьшается аэродинамическое сопротивление, и воздух с большой скоростью выходит из градирни вместе с капельной влагой.

Следующий критерий рационального выбора градирни – соответствие градирни охлаждаемому объекту.

Градирня, выбираемая для охлаждения воды любого промышленного объекта, должна обеспечивать охлаждение воды при номинальной или даже максимальной тепловой нагрузке в самых неблагоприятных условиях окружающей среды, определяемых по климатическим данным данного региона. Здесь необходимо указать, что тепловой по-

ток, который требуется отводить в окружающую среду, желательно делить между 2 – 3 однотипными градирнями, что обеспечит возможность регулирования работы градирни.

Экономия энергоресурсов возможна в системе градирня – охлаждаемый объект при условии правильности подбора оборудования, а согласованная их работа является залогом снижения эксплуатационных расхо-

дов. В то же время только правильный выбор типа градирни, оросителя и вентилятора позволит получить работоспособную систему, которая будет гибко реагировать на изменения, как внешних условий, так и тепловой нагрузки от производственного процесса.

При соблюдении указанных методов возможны следующие показатели различных способов охлаждения воды (табл.).

Таблица

Показатели различных способов охлаждения воды

| Охладитель                   | Область применения охладителя воды                 |                             |  |
|------------------------------|--|-----------------------------|--|
|                              | Удельная тепловая нагрузка, тыс. Вт/м <sup>2</sup> | Перепад температур воды, °С | Разность температуры охлажденной воды и температуры атмосферного воздуха по мокрому термометру, °С |
| Вентиляторные градирни       | (80 – 100)×1,163 и более                           | 3 – 20                      | 4 – 5  |
| Башенные градирни            | (60 – 100)×1,163                                   | 5 – 15                      | 8 – 10   |
| Брызгальные бассейны         | (5 – 20)×1,163                                     | 5 – 10                      | 10 – 12  |
| Водохранилища-охладители     | (0,2 – 0,4)×1,163                                  | 5 – 10                      | 6 – 8  |
| Радиаторные (сухие) градирни | —  | 5 – 10                      | 20 – 35  |
| Открытый способ              | (7 – 15)×1,163                                     | 5 – 10                      | 10 – 12  |

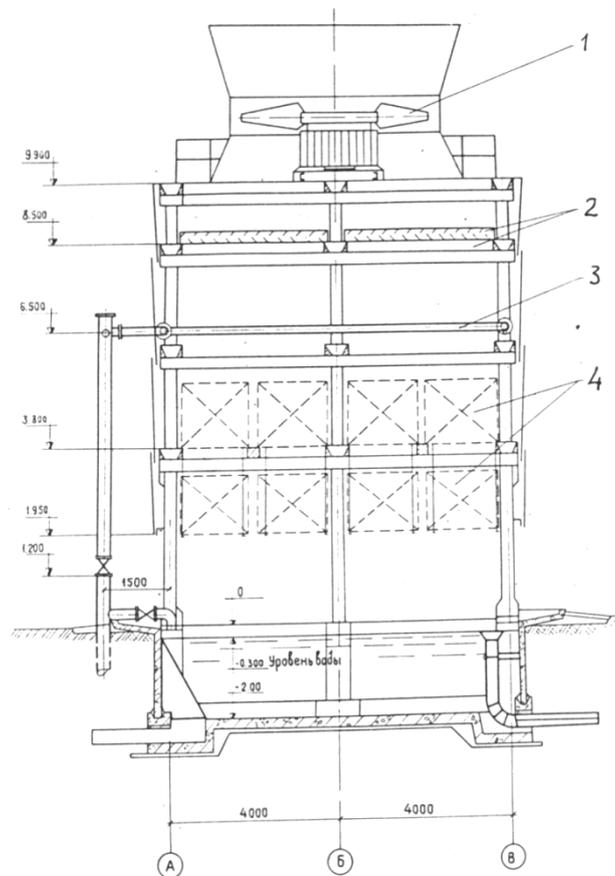


Рис.1. Секция вентиляторной градирни (площадь 64 м<sup>2</sup>):  
1 – вентилятор; 2 – каплеуловитель; 3 – водораспределительная система; 4 – ороситель

Холодильные установки комплектуются секционными вентиляционными градирнями. Градирня состоит из нескольких одинаковых секций и имеет общий резервуар охлажденной воды. Каркас выполнен из железобетонных элементов, резервуар – из монолитного железобетона. Наружная и межсекционные обшивки изготовлены из асбоцементных волнистых листов усиленного профиля.

Каждая секция градирни (рис. 1) снабжена панельным или пленочным оросителем, водораспределительной системой, водоулавливающими решетками и вентилятором, установленным на верхнем перекрытии.

Согласно типовому проекту, секции площадью 64 м<sup>2</sup> имеют следующую характеристику:

- площадь пленки (для пленочного оросителя) – 9 730 м<sup>2</sup>;

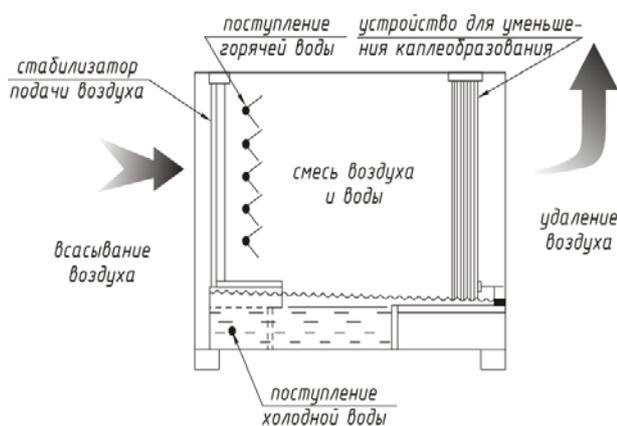


Рис. 2. Система испарительного охлаждения с параллельным потоком

Этот тип градирни (рис. 2) функционирует без вентилятора, без дерева или лестничной площадки, без площади потока, без электрической прокладки кабеля или электрического присоединения движущей силы. Принцип прост: вода, которую необходимо охладить, впрыскивается в градирню пульверизаторами, провоцирующими индукцию воздуха в контейнер смеси, тепло воды передается воздухом под воздействием охлаждения испарителем. Так охлажденная вода

- высота щитов оросителя – 3,5 м;
- толщина элементов оросителя – 0,008 м;
- величина зазора между элементами оросителя – 0,02 м;
- скорость воздуха в секции:
  - с пленочным оросителем – 3,0 м/с;
  - с капельным оросителем – 2,4 м/с;
- скорость движения водяной пленки на элементах пленочного оросителя – 0,25 м/с.

Обычно градирни из этого типа секций состоят из 4 – 8 секций, минимальное количество секций 2.

Выбор типа и размера градирни имеет очень большое влияние на эффективность работы системы охлаждения и, следовательно, на её энергопотребление. Рассмотрим несколько наиболее распространенных типов градирен (рис. 2 – 5).

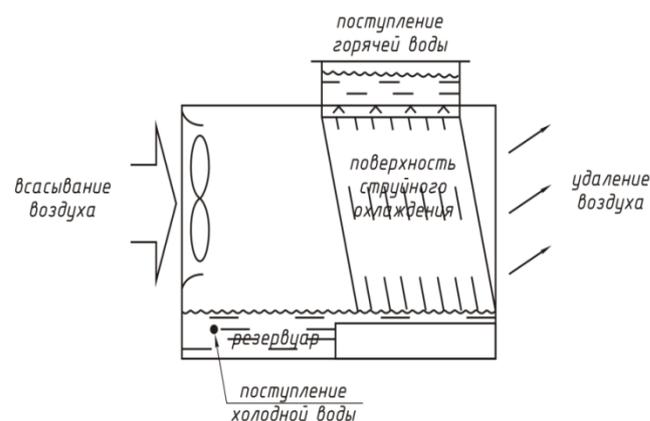


Рис. 3. Система с перекрестным (смешанным) потоком

попадает в бассейн рекуперации, воздух удаляется устройством для уменьшения каплеобразования.

Градирни с перекрестным (смешанным) потоком используют тот же принцип охлаждения испарением небольшого количества воды. Вода распределяется по поверхности струйного охлаждения. Воздух удаляется конвекцией, проходя через площадь обмена (рис. 3), так охлажденная вода попадает в бассейн рекуперации.

Эти градирни вполне могут быть применены к установкам с небольшим потребле-

нием энергии, так же как в решении проблем с высотой.

Вода, нагретая в течение цикла, вводится в градирню по верхней эстакаде распределения, снабженной пульверизаторами (рис. 4). Вода единообразно рассеивается

тонкими капельками, затем она стекает на площадь обмена. Всасывание воздуха в градирне происходит вынужденно. В результате частичного испарения и конвекции температура воды падает. В конце охлажденная вода попадает в бассейн рекуперации.

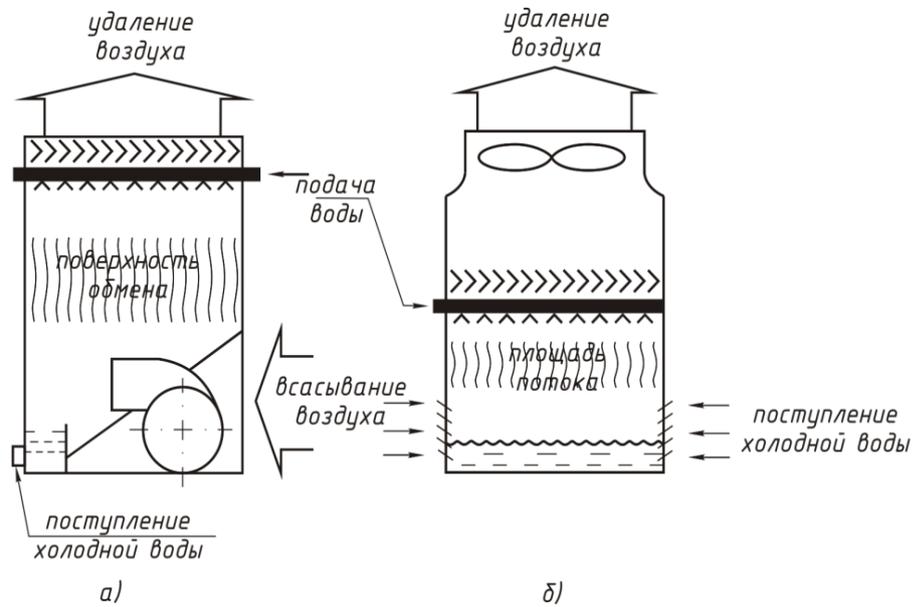


Рис. 4. Система с центробежным вентилятором – а); система с винтовым вентилятором (винтообразным, спиральным) – б)

Жидкое тело, которое надо охладить, циркулирует внутри теплообменника, по-

мещенного в большую часть градирни (рис. 5).

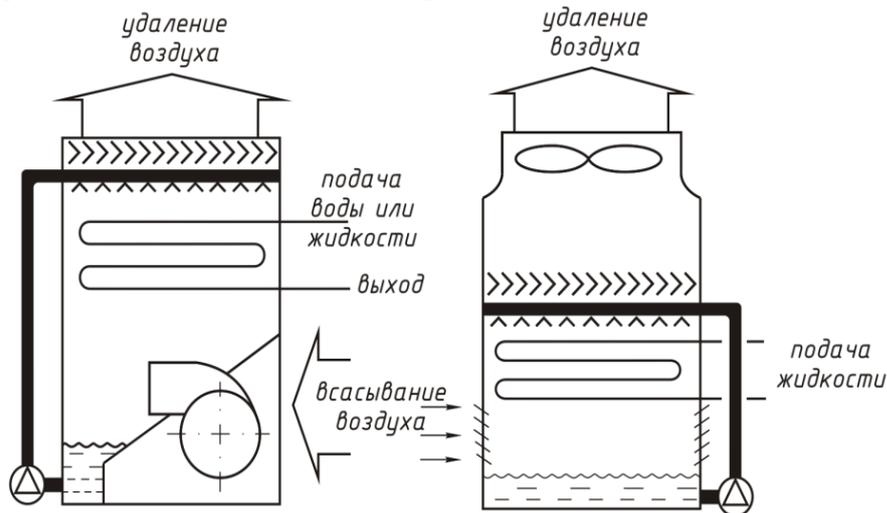


Рис. 5. Система охлаждения с закрытым циклом

Эстакада пульверизаторов, расположенная выше теплообменника, позволяет воде в потоке падать под своей тяжестью и охлаждает таким образом трубы. Тепло жидкого тела, которое надо охладить, переносится на поток воды через перегородки труб. Воз-

дух поступает вынужденным распределением, провоцирующим испарение небольшого процента воды, потока, забирая, таким образом, скрытую теплоту испарения. Вода в потоке попадает в бассейн рекуперации и повторно циркулирует по эстакаде пульвери-

заторов с помощью насоса. Капли воды, вовлеченные паритетом, останавливаются переключателями капелек, помещенными на вершине аппарата, и снова падают в бассейн. Водопотребление ограничивается испаренным количеством, намного меньшим объемом, который очищается для того, чтобы ограничивать концентрацию примесей в бассейне.

Для пленочной градирни минимальная удельная гидравлическая нагрузка на 1 погонный метр щита оросителя ( $g_w$ ), обеспечивающая создание устойчивой водяной пленки, равна  $0,12 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$ . Наиболее эффективное охлаждение воды достигается при соблюдении условия:

$$\Delta t = t_{w2} - t_{m1} = 0, \quad (1)$$

где  $t_{w2}$  – конечная температура охлаждаемой воды, °С;

$t_{m1}$  – температура атмосферного воздуха по мокрому термометру, °С.

Удельная гидравлическая нагрузка на 1 погонный метр щита оросителя:

$$g_w = \frac{G_w H}{F_{пл}}, \quad (2)$$

где  $G_w$  – расход охлаждаемой воды, кг/ч;

$H$  – высота оросителя, м;

$F_{пл}$  – площадь водяной пленки,  $\text{м}^2$ .

Из уравнения (2) можно определить минимально допустимый расход охлаждаемой воды.

Максимальный удельный расход воздуха:

$$\lambda_{max} = \frac{V_b \cdot \rho}{G_w \cdot 10^3}, \quad (3)$$

где  $V_b$  – производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\rho = 1,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  – средняя плотность воздуха.

Минимальный удельный расход воды (коэффициент орошения):

$$\mu_{min} = \frac{1}{\lambda_{max}}. \quad (4)$$

Коэффициент эффективности охлаждения воды определяли как отношение величины ее охлаждения к теоретическому пределу охлаждения:

$$\eta_A = E = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{t_{w1} - t_{m1}}. \quad (5)$$

**Выводы.** 1. Проанализировав различные способы рационального использования градирен, определили коэффициент эффективности охлаждения воды как отношение величины охлаждения воды к ее теоретическому пределу охлаждения.

2. Энергоэффективность возможна только в системе градирня – охлаждаемый объект, поэтому правильность подбора оборудования и согласованная их работа являются залогом снижения эксплуатационных расходов. В то же время только правильный выбор типа градирни, оросителя и вентилятора позволит получить работоспособную систему, которая будет гибко реагировать на изменения как внешних условий, так и тепловой нагрузки производственного процесса.

3. Техническое обслуживание предусматривает ряд мероприятий, основные из которых включают методы по очистке от загрязнений всех элементов градирни. Засорение сопел форсунок, поверхности оросителя, водораспределяющих трубопроводов приводит к снижению эффективности охлаждающих процессов.

4. Выполнение реконструкционных работ целесообразно, если градирня сможет просуществовать еще не менее 10–15 лет, в противном же случае проще ее заменить на новым устройством. Перед началом реконструкции необходимо убедиться в том, что по завершению запланированных мероприятий градирня будет соответствовать тому оборудованию, которое нуждается в охлаждении.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков В. А. Вентиляторные градирни /В. А. Гладков, Ю. Н. Арефьев, В. С. Пономаренко. – Москва : Стройиздат, 1976. – С. 43 – 48.
2. Иванов В. Б. Новые технологии охлаждения жидкостей в безнасадочных градирнях /Иванов В. Б. // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2009. – № 2. – С. 25 – 28.

3. Зусманович Л. М. Анализ современных методов расчета оросительных воздухоохладителей. /Зусманович Л. М. // Вопросы обработки воздуха в контактных аппаратах /ЦИНИС Госстроя СССР. – Москва, 1970. – С. 38 – 40.
4. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02–84) : [утв. 20 марта 1985 г. № 27] / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – Москва : Центр. ин-т типового проектирования, 1989. – 166 с.
5. Parizet B. Les Tours De Refroidissement /Béatrice Parizet // Revue pratique du froid et du conditionnement d'air. – 1987. – № 640. – P. 65 – 69.

## REFERENCES

1. Gladkov V. A. *Ventilyatornye gradirni* [Cooling towers]. Moscow, Stroyizdat, 1976, pp. 43 – 48. (in Russian).
2. Ivanov V. B. *Novye tekhnologii okhlazhdeniya zhidkostey v beznasadochnykh gradirnyakh* [New technologies cooling fluids in packed towers ]. *Energobezopastnost' i energosberezhenie* - Energy security and energy efficiency. Moscow, 2009, no 2, pp. 25 – 28. (in Russian).
3. Zusmanovich L. M. *Analiz sovremennykh metodov rascheta prpsitelnykh vozdukhookhladiteley* [The analysis of modern methods of calculation of irrigation air coolers]. *Voprosy obrabotki vozdukh v kontaknykh aparatakh* -The processing of the air in contact apparatus, TsINIS Gosstroya SSSR. Moscow, 1970, pp. 38 – 40. (in Russian).
4. *Posobie po proektirovaniyu gradiren . (k SNiP 2.04.02 – 84.utv. 20. 03. 1985 № 27), VNII VODGEO Gosstroya SSSR* [Manual for the design of cooling towers]. [dated 20.03. 1985]. – Moscow, Tsentr. Institut tipovogo proektirovaniya,1985. 166 p. (in Russian).
5. Béatrice Parizet. *Les Tours De Refroidissement. / Béatrice Parizet. // Revue pratique du froid et du conditionnement d'air*, 1987. – P. 65 – 69.

*Статья рекомендована к публикации 17.03.2015 г. Рецензент: д. т. н., проф. Полищук С. З.  
Поступила в редколлегию 24.03.2015 г. Принята к печати 27.03.2015 г.*