

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ АЭРОДИНАМИКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МАЛЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН

*М. А. Киркор, А. В. Киркор, Р. А. Бондарев*

*Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Повышение эффективности работы вентиляторных градирен – актуальная инженерная задача. Научное обеспечение для ее решения описано для крупномасштабных башенных градирен. Аппараты, применяемые в пищевой промышленности, существенно отличаются от них по размерам и конструктивным особенностям. Научная задача исследования – оценка влияния внутренней аэродинамики малых вентиляторных градирен на их КПД.

**Материалы и методы.** Эксперимент на лабораторной крупномасштабной модели вентиляторной градирни; математическое моделирование. Варьируемые параметры – температура охлаждаемой воды, средняя скорость воздуха в шахте аппарата. Регистрируемые параметры – глубина охлаждения, температурный перепад.

**Результаты.** Определено, что гидродинамика воздушного потока оказывает прямое влияние на глубину охлаждения по линейному закону. При этом максимальная глубина охлаждения достижима в определенном интервале скорости воздуха и температурного перепада. На основе экспериментальных данных получена комплексная критериальная зависимость КПД градирни от критерия Рейнольдса по условной скорости воздуха в шахте аппарата.

**Выводы.** Критериальная зависимость может быть использована на практике для оценки эффективности существующих аппаратов, автоматизации управления охлаждением воды в замкнутом цикле, а также при проектировании новых конструкций аппаратов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водооборотная система охлаждения; вентиляторная градирня; КПД градирни; глубина охлаждения; температурный перепад.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Киркор, М. А. Влияние внутренней аэродинамики на эффективность работы малых вентиляторных градирен / М. А. Киркор, А. В. Киркор, Р. А. Бондарев // Вестник МГУП. – 2020. – № 2(29). – С. 93–101.

## INFLUENCE OF INTERNAL AERODYNAMICS ON THE OPERATING EFFICIENCY OF SMALL FAN COOLING TOWERS

*M. A. Kirkor, A. V. Kirkor, R. A. Bondarev*

*Mogilev State University of Food Technologies, Republic of Belarus*

### ABSTRACT

**Introduction.** Improving the efficiency of fan cooling towers is an urgent engineering task nowadays. Scientific support of the problem under consideration was given for large-scale chimney-type cooling towers. At the same time, apparatus used in food industry differ significantly from cooling towers both in size and design features. Scientific task of the study is to evaluate the influence of the internal aerodynamics of small fan cooling towers on their efficiency.

**Materials and methods.** Experiments were carried out in a large-scale laboratory apparatus of a fan cooling tower and mathematical modeling was used. The variable parameters were the temperature of the water cooled in the tower and the average air speed in the shaft of the apparatus. The recorded parameters were cooling depth and temperature difference.

**Results.** Hydrodynamics of the air flow was found to affect directly the depth of cooling according to a linear law. In this case, the maximum cooling depth is achieved in a certain range of air speed and temperature difference. On the basis of the experimental data there was obtained a complex criterion dependence of cooling tower efficiency on the Reynolds criterion according to conditional air speed in the apparatus shaft.

**Conclusions.** The obtained criterion dependence can be practically used to assess the effectiveness of existing apparatus, to control automation of closed-loop water cooling as well as to design new types of apparatus design.

**KEY WORDS:** *water circulation cooling system; fan cooling tower; cooling tower efficiency; cooling depth; temperature difference.*

**FOR CITATION:** Kirkor M.A., Kirkor A. V., Bondarev R. A. Influence of internal aerodynamics on the operating efficiency of small fan cooling towers. *Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies.* – 2020. – No. 2(29). – P. 93–101. (in Russian).

## **ВВЕДЕНИЕ**

В пищевой промышленности существует ряд технологических процессов, течение которых сопровождается значительным выделением тепловой энергии. К таким процессам можно отнести конденсацию паров спирта, охлаждение пищевых масс в кондитерских и консервных производствах и т.д. Как правило, данные процессы протекают при высоких производительностях, что делает необходимым оперативную утилизацию большого количества тепловой энергии. Отвод тепловой энергии на практике осуществляется технической водой, являющейся природным ресурсом. Необходимый масштаб использования воды для охлаждения формирует ощутимую экологическую проблему [1]. Специфика данной проблемы заключается не столько в дефиците водных ресурсов, сколько в продолжающейся деградации водных объектов, вызванной попаданием сточных вод в водоемы. Поэтому сокращение объемов стоков за счет исключения из их числа технических вод, получаемых после охлаждения тепловыделяющего оборудования, благоприятно отразится на состоянии водоносного горизонта и на экологической безопасности промышленных объектов в целом.

Сокращение потребления и сброса воды может быть достигнуто благодаря охлаждению теплообменного оборудования не водой, забираемой из природных источников, а водой, циркулирующей по замкнутому контуру, т.е. за счет использования замкнутых систем охлаждения тепловыделяющего оборудования. Кроме решения экологической проблемы, применение замкнутых систем охлаждения положительно отражается также и на материальных затратах предприятий, так как объемы забираемой и сбрасываемой воды нормированы и сопряжены с конкретными материальными затратами. Таким образом, использование замкнутых водооборотных систем на предприятиях пищевой промышленности позволяет решать экологические проблемы и снижать удельные эксплуатационные издержки на производство продукции и тем самым повышать ее конкурентную способность.

Основу большинства замкнутых водооборотных систем составляют вентиляторные градирни. В данных устройствах непосредственно происходит охлаждение технической воды воздухом из окружающей среды. Данные аппараты имеют ряд параметров, которые позволяют регулировать процесс и поддерживать требуемые параметры отвода тепла, и как следствие стабильность работы охлаждаемого оборудования. Основной трудностью при эксплуатации градирен является тот факт, что ее работа напрямую зависит от параметров окружающей среды, которые являются нестационарными и труднопрогнозируемыми. В таких условиях работа замкнутой водооборотной системы и, как следствие, производственной линии, может быть нарушена факторами, не зависящими от заданных технологических параметров, что является недопустимым с точки зрения организации производства. Данное обстоятельство делает весьма актуальным задачу определения комплексных взаимосвязей между регулируемыми и независимыми параметрами, с одной стороны, и эффективностью протекания процесса охлаждения – с другой. Актуальность данной проблемы косвенно подтверждается многочисленными произведенными исследованиями в области повышения эффективности и стабильности работы градирен.

Существуют различные направления совершенствования замкнутых водооборотных систем. Условно их можно разделить на технические и технологические пути. Технические пути совершенствования базируются на различных конструктивных решениях и новых способах организации процесса [2], направленных на получение максимальной площади контакта фаз при минимальных гидравлических сопротивлениях аппаратов. Как правило, это выражается во внесении конструктивных изменений в традиционные конструкции оросителей и

насадок водораспределительных устройств [3–6].

Технологические пути совершенствования аппаратов для охлаждения предусматривают получение оптимальных условий течения процесса охлаждения. Оптимальные условия работы градирни, с одной стороны, формируются ее режимными параметрами, которые могут регулироваться при ее эксплуатации [7, 8]. С другой стороны, на эффективность процесса охлаждения оказывают непосредственное влияние независимые и нестационарные параметры, такие как температура и влажность воздуха окружающей среды, а также направление и сила ветра [9]. Так как нестационарные параметры являются непредсказуемыми, вопрос их оперативного контроля и регулировки параметров работы градирни имеет большое значение для эффективной организации процесса охлаждения в градирне [10, 11].

Существуют различные методы оценки эффективности работы замкнутых водооборотных систем и вентиляторных градирен в частности. Традиционно можно выделить аналитические исследования [12–15], базирующиеся на математическом анализе гидромеханических и тепловых процессов, протекающих в рабочей зоне градирни. В научной литературе также представлено значительное количество экспериментальных исследований [16,17], в которых опытным путем определяется влияние различных технологических параметров на качественные показатели работы градирни. Относительно новым является метод изучения гидромеханических процессов в вентиляторной градирне с использованием современных компьютерных средств CFD моделирования [18], который раскрывает новые пути совершенствования конструктивных и технологических параметров данных аппаратов.

Стоит отметить, что большинство исследований [1–3, 9–11, 13, 15, 16] направлены на совершенствование крупных водоохлаждающих комплексов, применяемых в основном в энергетике. В то же время анализ результатов анкетирования, проведенного среди предприятий пищевой промышленности Республики Беларусь, показал, что абсолютное большинство водооборотных систем, применяемых на них, можно отнести к классу «маломасштабных». Различия данных классов аппаратов заключаются не только в способе организации процесса замкнутого охлаждения воды, но и в глубоких конструктивных отличиях. Следовательно, данные, полученные для крупномасштабных аппаратов, не могут быть использованы для градирен, применяемых на пищевых предприятиях, и актуальным является исследование аэродинамики малых водооборотных систем охлаждения.

Цель исследования – максимизация эффективности действующих и проектируемых малых водооборотных систем охлаждения для нужд пищевой промышленности.

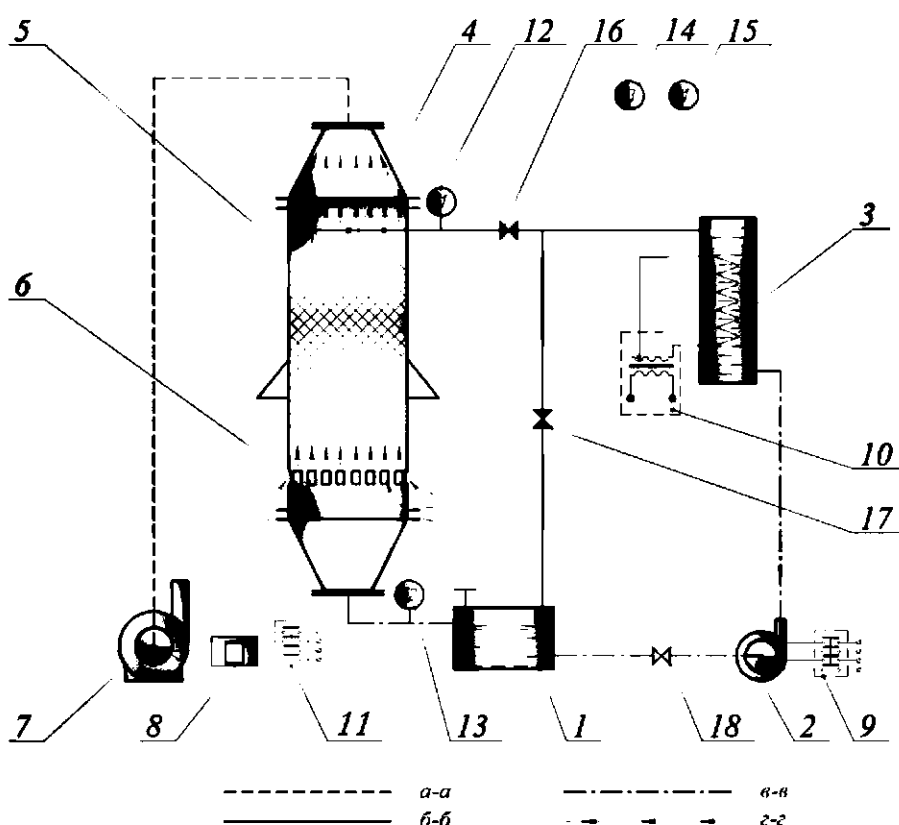
Научная задача – оценка влияния внутренней аэродинамики малых вентиляторных градирен на их КПД.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Был исследован процесс охлаждения оборотной воды на лабораторной установке, представляющей собой крупномасштабную модель (с размером поперечного сечения 0,5×0,5 м и высотой шахты 2,4 м) противоточной вентиляторной градирни. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Процесс охлаждения исследовался следующим образом. Вода подавалась из расходного бака 1 циркуляционным насосом 2 в электрический нагреватель 3, где она доводилась до заданной температуры, имитируя отвод тепловой энергии от технологического оборудования. Температура воды устанавливалась с помощью регулировочного устройства 10. Далее горячая вода по трубопроводу подавалась в вентиляторную градирню 5, где распылялась через водораспределительное устройство с форсунками 4. Циркуляция воды по трубопроводу и ее последующее распыление осуществлялось с помощью центробежного насоса 2, который был подключён в сеть электропитания через пусковое устройство 9. Трубопровод снабжен регулировочными вентилями 16,17,18, что позволяло установить необходимый расход воды и стабильность давления при распылении. В противоточном направлении в камере аппарата двигался воздух, который всасывался через решетку 6 центробежным вентилятором 7. Вентилятор подключен в сеть электропитания через пусковое устройство 11. Кроме этого

вентилятор был снабжен транзисторным преобразователем частоты 8, который позволял производить регулировку объемного расхода воздуха, продуваемого через аппарат, то есть позволял добиваться фиксированного значения средней скорости движения воздуха в рабочей зоне градирни.



*a-a* – нагретый воздух; *б-б* – вода горячая; *в-в* – вода холодная; *з-з* – воздух

- 1 – бак напорный; 2 – насос центробежный; 3 – нагреватель электрический; 4 – устройство водо-распределительное; 5 – аппарат; 6 – заслонки жалюзийные; 7 – машина воздуходувная; 8 – частотный преобразователь; 9, 11 – устройства включения; 10 – устройство регулировки температуры; 12, 13, 14 – устройства контроля температуры; 15 – прибор контроля влажности; 16, 17, 18 – регулирующие вентили

Рис.1. Схема экспериментальной установки

Fig. 1. Experimental apparatus diagram

Рабочая камера аппарата содержала блок оросителей, обеспечивающих контакт охлаждаемой воды и забираемого воздуха. В результате тепловая энергия переходила от воды к охлаждающему воздуху за счет испарения и конвекции. Охлажденная вода самотеком возвращалась в расходный бак 1. Нагретый воздух выбрасывается в атмосферу. В лабораторной установке были предусмотрены точки контроля температуры воды 12, 13. Кроме того, при выполнении серий опытов производился контроль температуры окружающей среды по сухому 14 и мокрому термометру 15.

Были произведены серии опытов, в которых варьируемыми параметрами были температура горячей воды  $t_{w1}$  (°C), средняя скорость движения воздуха в шахте аппарата  $v$  (м/с). В качестве регистрируемых параметров были приняты: температура охлажденной воды  $t_{w2}$  (°C), температура воздуха, покидающего градирню, измеряемая по мокрому термометру  $t_{LM}$  (°C).

Полученные данные обработаны, что позволило выразить ряд параметров, характеризующих процесс охлаждения. В частности, по выражению (1) рассчитана глубина охлаждения градирни  $t_w$  (°C):

$$t_w = t_{w1} - t_{w2}, \quad (1)$$

Кроме того, по формуле (2) был определен температурный максимально возможный перепад  $\Delta t$  (°C).

$$\Delta t = t_{w1} - t_{LM} \quad (2)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Математический анализ данных, полученных на экспериментальной установке, позволил установить зависимость глубины охлаждения вентиляторной градирни от параметров окружающей среды.

Графическая интерпретация полученной зависимости показана на рис. 2.

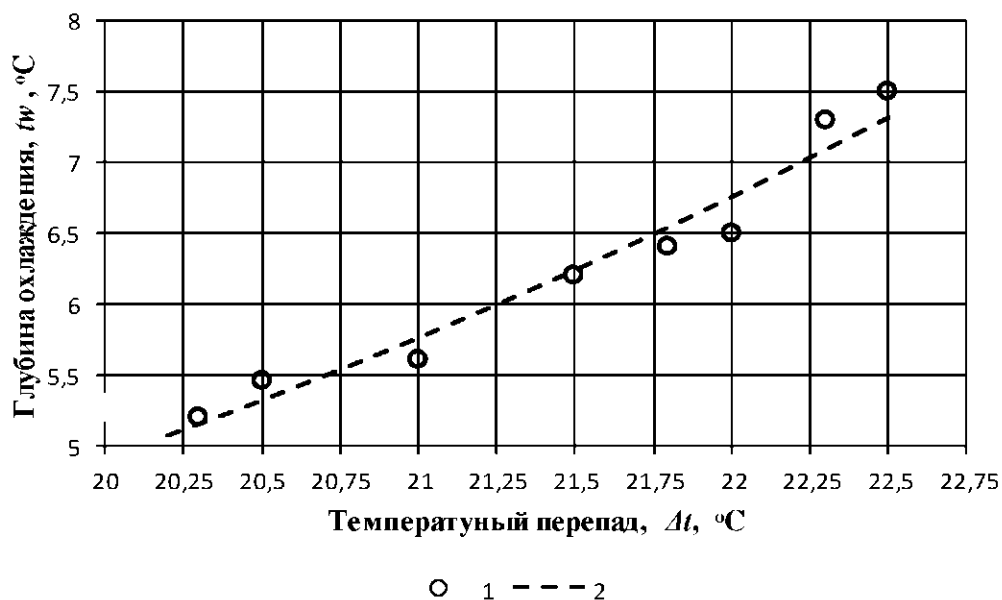


Рис. 2. Зависимость глубины охлаждения от температурного перепада

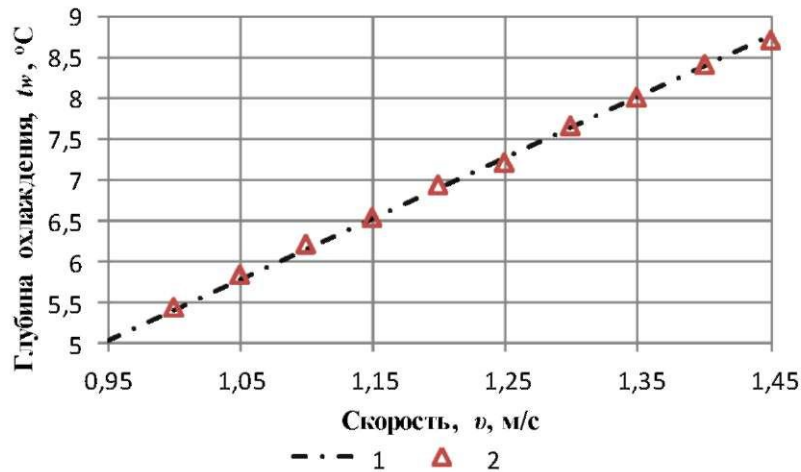
Fig. 2. Dependence of cooling depth on the temperature difference

Анализ зависимости показал, что практически на всем протяжении интервала варьирования глубина охлаждения возрастает линейно с увеличением температурного перепада. Однако, в области наибольших значений  $\Delta t$ , характер зависимости меняется на экспоненциальный, что может объясняться интенсификацией процесса испарения воды, и, как следствие, большим количеством тепла, отводимого за счет самоиспарения.

На следующем этапе исследования проведена обработка данных, полученных при фиксированном значении температурного перепада, но с изменяемой скоростью движения воздуха в рабочей камере. В результате обработки получена зависимость, представленная на рис. 3.

Анализ зависимости указал на линейное увеличение глубины охлаждения с увеличением скорости охлаждающего воздуха, что также объясняется интенсификацией процесса теплообмена. Стоит отметить, что при больших значениях скорости воздуха, выходящих за интер-

вал варьирования, глубина охлаждения резко падает, а течение процесса охлаждения сбивается. Визуально нарушение нормального течения процесса сопровождается значительным уносом капель охлаждаемой воды с отводимым воздухом.



1 – установленная зависимость; 2 – опытные данные

Рис. 3. Зависимость глубины охлаждения от скорости движения охлаждающего воздуха

Fig. 3. Dependence of cooling depth on the speed of movement of cooling air

Совместный анализ зависимостей (рис. 2, 3) показал, что и скорость движения воздуха, и его температура в равной степени оказывают влияние на глубину охлаждения в вентиляторной градирне. Для удобства использования полученных данных их объединили в единую комплексную зависимость, которая представлена на рис. 4.

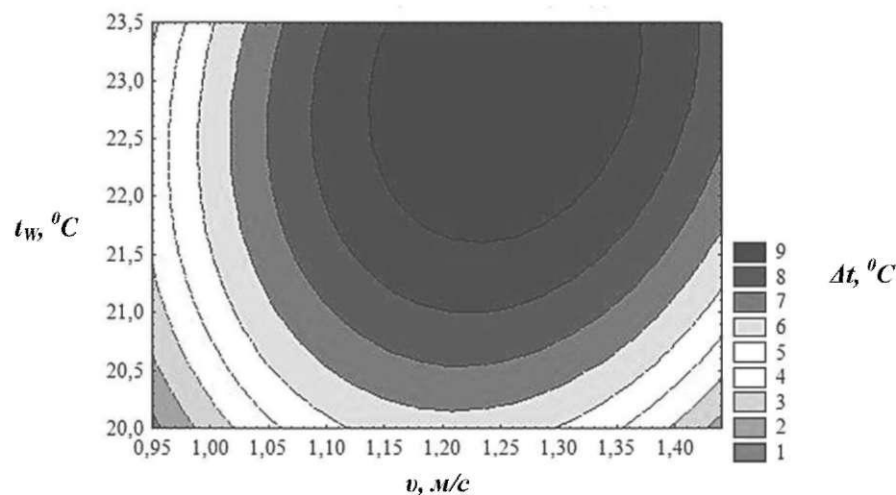


Рис.4. Зависимость глубины охлаждения градирни от температурного перепада и скорости движения воздуха в рабочей камере аппарата

Fig. 4. Dependence of cooling depth of the cooling tower on the temperature difference and the speed of air movement in the working chamber of the apparatus

Из рис. 4 видно, что существуют области, в которых глубина охлаждения градирни достигает максимальных значений. Данные области лежат в конкретных интервалах температурного перепада и скорости движения воздуха в рабочей камере. Следовательно, при изменении температурного перепада имеется возможность корректировки технологического параметра – средней скорости воздуха.

Данный принцип может быть использован для более тонкой настройки вентиляторной градирни в изменяющихся условиях окружающей среды, при поддержании заданного значения глубины охлаждения. Очевидно, что температура и влажность охлаждающего воздуха меняется не только в зависимости от поры года, но и в течение суток, а также от меняющейся ветровой обстановки. Поддержание в данных условиях стабильной глубины охлаждения градирни позволит повысить эффективность использования водооборотной системы в целом.

Комплексная зависимость (рис. 4) имеет конкретное практическое применение, однако она ограничена в использовании, так как полученные данные справедливы лишь для лабораторной установки. Основная ценность полученных данных заключается в формировании принципа поддержания постоянной глубины охлаждения за счет оперативной регулировки технологических параметров. Промышленное применение данного принципа возможно, однако вызывает ряд трудностей, главной из которых является необходимость проведения серий экспериментов на каждом конкретном аппарате, что снижает практическую значимость полученных результатов.

Для расширения спектра использования представленных результатов исследований было принято решение об их дальнейшей обработке с целью получения универсальной зависимости в безразмерном виде, базирующейся на принципах гидромеханического подобия.

В качестве критерия подобия принят критерий Рейнольдса, который в общем виде определяется по выражению (3) [19]:

$$Re = \frac{vL}{\nu}, \quad (3)$$

где  $v$  – условная скорость, м/с;

$L$  – характерный размер, м;

$\nu$  – кинематическая вязкость среды, м<sup>2</sup>/с.

При обработке за условную скорость принята скорость, отнесенная ко всему поперечному сечению шахты аппарата. С учетом того, что движение воздушного потока рассматривалось как внутренняя аэромеханическая задача, в качестве характерного размера принят эквивалентный диаметр поперечного сечения шахты аппарата. Кроме этого, учитывалось, что вязкость воздушной среды изменяется при различной температуре, поэтому ее значения принимались при замеряемых значениях температуры.

Эффективность протекания процесса охлаждения охарактеризована параметром, называемым КПД градирни  $\varepsilon$ , который определяется по выражению (4) и представляет соотношение между достигаемым положительным эффектом и максимально возможным:

$$\varepsilon = \frac{Q_w}{Q_{II}} = \frac{\Delta t_w}{\Delta t}, \quad (4)$$

где  $Q_w$  – тепловая нагрузка аппарата, кВт;

$Q_{II}$  – количество тепла, отведенное за счет испарения воды, кВт.

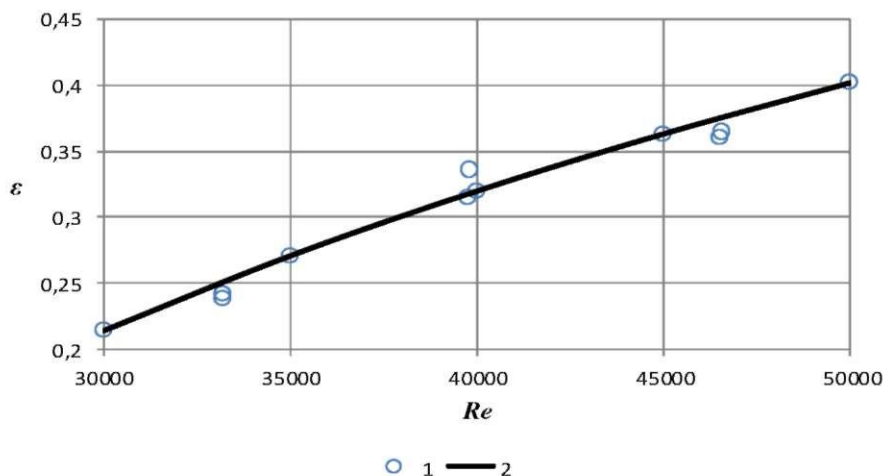
Результат последующей математической обработки позволил преобразовать полученные ранее данные (рис. 4) и привести их к безразмерному виду.

Получено уравнение (5) графическая интерпретация которого представлена на рис. 5.

$$\varepsilon = 0,368 \ln(Re) - 3,58. \quad (5)$$

Анализ рис. 5 указывает на логарифмически возрастающий КПД вентиляторной градирни при увеличении числа Рейнольдса, что хорошо объясняется интенсификацией локальных

турбулизаций при прохождении воздушного потока через шахту аппарата, а также дроблением капель воды за счет возрастающего динамического взаимодействия с потоком воздуха. Все эти процессы, в конечном счете, приводят к росту удельной поверхности контакта фаз и ее более интенсивному обновлению.



1 – опытные данные; 2 – установленная зависимость

Рис. 5. Зависимость глубины охлаждения от критерия подобия Рейнольдса

Fig. 5. Dependence of the cooling depth on the Reynolds similarity criterion

Зависимость (5) за счет своего безразмерного вида может быть использована на практике для оценки эффективности работы существующих промышленных аппаратов. Кроме этого, полученное уравнение является основой принципа оперативного регулирования параметров работы вентиляторной градирни в постоянно меняющихся условиях окружающей среды. Также уравнение 5 может найти применение при проектировании новых аппаратов, в частности для определения их характерных геометрических размеров при заданной производительности и эффективности охлаждения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс охлаждения тепловыделяющего оборудования с использованием замкнутых водооборотных систем, основывающихся на использовании вентиляторных градирен, является весьма важным и актуальным процессом, что обусловлено, с одной стороны, сокращением эксплуатационных затрат предприятий, с другой стороны, снижением экологической нагрузки на окружающую среду в зоне их расположения.

Большинство исследований в данной области касаются организации процесса охлаждения в башенных крупномасштабных градирнях, которые применяются в теплоэнергетике. Данные, полученные для башенных градирен, не могут быть перенесены на аппараты, используемые в пищевой промышленности. Данное обстоятельство обусловлено не только масштабным фактором, но и значительными конструктивными отличиями.

На величину глубины охлаждения градирни оказывают влияние как технологические (регулируемые) параметры, так и независимые (труднопрогнозируемые). Последнее негативно сказывается на стабильной работе градирни не только в масштабе рассмотрения пор года, но и в течение суток.

Установлено, что взаимное сочетание технологических и независимых параметров позволяет поддерживать стабильность работы водоохладителя за счет использования комплексной зависимости и оперативного регулирования на основе комплексной зависимости (5).

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что они позволяют давать оценку эффективности существующих и проектируемых аппаратов, а также автоматизировать управление охлаждением воды в замкнутых водооборотных системах.



## ЛИТЕРАТУРА

- 1 P. Sellamuthu, Dr. C Manoharan, Dr R Senthilkumar, JOURNAL OF ADVANCES IN CHEMISTRY, 2017, Volume13, Number 10. – P. 5892–5898, DOI:10.24297/jac.v13i10.5870.
- 2 Иванов, В. Б. Новые технологии охлаждения жидкостей в безнасадочных градирнях / В. Б. Иванов // Энергоресурсосбережение и энергоэффективность. – 2009. – № 2(26). – С. 25–28.
- 3 Лаптева, Е.А. Сравнительные гидравлические и тепломассообменные характеристики пленочных регулярных насадок в градирнях / Е. А. Лаптева, М. И. Фарахов, А. Г. Лаптев // Вестник технологического университета. – 2017. – № 18. – С. 71–74.
- 4 Киркор, А. В. Аэродинамическое сопротивление оросителя вентиляторных градирен / А. В. Киркор, А. А. Носиков // Вестник Международной Академии холода. – 2007. – № 4. – С. 27–29.
- 5 Вентиляторная градирня: пат. № RU 2562343, Российская Федерация / Б. Т. Маринюк, А. С. Пушнов, С. В. Спритнюк; дата публ. 10.09.2015.
- 6 Вентиляторная градирня Кочетова: пат. № RU 2455603, Российская Федерация / О. С. Кочетов, М. О. Старцева; дата публ. 10.07.2012.
- 7 Сосновский, С. К. Оптимальные параметры работы градирен / С. К. Сосновский // Энергетика и энергосбережение. – 2012. – № 5(7). – С. 5–6.
- 8 Аверкин, А. Г. Оценка эффективности работы градирни / А. Г. Аверкин // Журнал СОК. – 2012. – № 12. – С. 1–8.
- 9 Ющенко, В. Д. Анализ эффективности работы градирен с распылителями воды / В. Д. Ющенко, Е. В. Лесович, А. В. Зыков // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – № 2. – С. 1–7.
- 10 Marques, C. A. X. & Fontes, Cristiano & Embiruçu, Marcelo & Kalid, Ricardo, Efficiency control in a commercial counter flow wet cooling tower, Energy Conversion and Management. – 2009. – P. 2843–2855, DOI: 10.1016/j.enconman.2009.07.006.
- 11 Jr, Malcolm & Leach, James, Cooling Tower Fan Control for Energy Efficiency, Energy Engineering, 2002. – P. 7–31, DOI:10.1080/01998590209509336.
- 12 Федяев, В. Л. Эффективность оросительных градирен / В. Л. Федяев, Е. М. Власов, Р. Ф. Гайнуллин // Вестник Международной Академии холода. – 2012. – № 4. – С. 35–39.
- 13 Борисов, Г. М. Характеристики башенных градирен / Г. М. Борисов, С. В. Скубисенко // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. – 2006. – № 3. – С. 41–43.
- 14 Битюков, В. К. Математическая модель охлаждения оборотной воды в градирне с механической тягой / В. К. Битюков [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 1 – С. 51–55.
- 15 Федяев, В. Л. Об эффективности работы промышленных градирен / В. Л. Федяев [и др.] // Проблемы энергетики. – 2009. – № 1–2. – С. 15–24.
- 16 Бадриев, А. Н. Экспериментальное исследование неоднородности процесса охлаждения воды в башенной градирне / А. Н. Бадриев, В. Н. Шарифуллин // Вестник ИГЭУ. – 2016. – № 6. – С. 15–20.
- 17 Шевелев, С. А. О влиянии процессов испарения воды на эффективность охлаждения в градирнях / С. А. Шевелев, Н. А. Зяблова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 3(330). – С. 217–224.
- 18 Бондарев, Р. А. Компьютерное моделирование аэродинамических процессов в рабочей камере вентиляторной градирни / Р. А. Бондарев, А. В. Киркор, А. В. Евдокимов // Техника и технология пищевых производств: Сб. мат. докл. XIII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 апр. 2020 г. / Мог. гос. ун-т прод.; редкол.: А. В. Акулич [и др.]. – Могилев. – 2020. – С. 17–18.
- 19 Стабников, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 510 с.

*Поступила в редакцию 29.11.2020 г.*

## ОБ АВТОРАХ:

**Киркор Максим Александрович**, кандидат технических наук, доцент, ректор МГУП, e-mail: kirkor@mgup.by.

**Киркор Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ТХТ МГУП, e-mail: mgup\_pm@bk.ru.

**Бондарев Роман Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ПМНИГ МГУП, e-mail: mgup\_pm@bk.ru.

## ABOUT AUTHORS:

**Maxim A. Kirkor**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Rector of Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: kirkor@mgup.by.

**Alexander V. Kirkor**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Heat and Refrigerating Engineering, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: mgup\_pm@bk.ru.

**Roman A. Bondarev**, Ph.D. (Engineering), Head of the Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: mgup\_pm@bk.ru.