

## Расчет воздушного зазора между защитным экраном и оболочкой железобетонной башенной градирни

### Calculation of air gap between the protective screen and the shell of reinforced concrete cooling tower

старший преподаватель **Беляева Светлана Вячеславовна**  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
+7(921)9056310; sbelaeva@gmail.com  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

Senior Lecturer **Svetlana Vyacheslavovna Belyaeva**  
Saint-Petersburg State Polytechnical University  
+7 (921) 905 6310; sbelaeva@gmail.com  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

д.т.н., доцент **Барабанщиков Юрий Германович**  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
+ (812) 534 1286; ugb@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

D. Sc., Associate professor **Yuriy Germanovich Barabanshchikov**  
Saint-Petersburg State Polytechnical University  
+ (812) 534 1286; ugb@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

**Ключевые слова:** градирня, вентилируемый зазор, паронепроницаемый экран, стеклопластиковый экран, тепловлагозащита, коррозионное воздействие, воздушный зазор.

Статья посвящена вопросу обеспечения эффективной защиты оболочки градирни с помощью экрана с вентилируемым воздушным зазором.

Целью работы является определение оптимальных параметров воздушного зазора, путем расчетов тепловлажностного и аэродинамического режима.

Приведены расчеты показывающие влияние температурных условий и толщины зазора на аэродинамический и тепловлажностный режимы его работы. Толщина зазора 140-160 мм, при условии подогрева воздуха на входе в зазор, обеспечивает способность воздуха ассимилировать влагу на всем протяжении прослойки и удалять ее в атмосферу, что исключает конденсацию влаги на холодной поверхности бетонной оболочки.

**Key words:** cooling tower, air ventilated gap, vapourproof screen, fiberglass screen, warm moisture protection, corrosive effect, air gap.

Article is devoted to a question of maintenance of effective protection of the cooling tower shell, using the screen with ventilated air gap.

The purpose of the work is to determine the optimal parameters of the air gap by the calculation of heat and humidity and aerodynamic mode. In this article, there are calculations showing influence of temperature conditions and thickness of a ventilated air gap on warm, humidity and aerodynamic modes of its work.

The thickness of the 140-160 mm of an air gap, provided on the heating air inlet gap, provides the ability to assimilate air moisture throughout the layer and to remove it in an atmosphere which prevents moisture condensation on cold surfaces of the concrete shell.

## 1. Введение

Наблюдения за работой башенных градирен показали, что одним из решающих факторов, приводящих к преждевременному разрушению бетона оболочки, является миграция парообразной влаги изнутри к наружной поверхности, ее конденсация и замерзание в поверхностном слое, в результате чего происходит разрушение оболочки. Этот процесс сопровождается выщелачиванием извести, что

добавляет к морозному разрушению коррозионное воздействие [1, 30, 32]. В случае морской воды серьезную опасность представляют сульфаты и хлориды. Последние вызывают коррозию арматуры.

Для защиты бетона от разрушения обычно на внутреннюю поверхность оболочки наносят гидроизолирующее покрытие [7, 11, 17, 19-21, 25-27, 28-29], применяют также гидрофобизацию бетона [18]. Однако опыт эксплуатации градирен показал, что все эти меры недостаточно эффективны. В условиях воздействия горячей паровоздушной смеси из-за различия в термических коэффициентах расширения и влажностных деформациях бетона и гидроизоляционного покрытия, последнее растрескивается и отслаивается от бетона. Нарушение сплошности гидроизоляции ведет к ее прогрессирующему разрушению, обусловленному проникновением в бетон влаги в виде пара.

Всестороннее обследование 27 железобетонных градирен, расположенных в Алексине, Москве, Нижнем Новгороде, Иванове, Казани, Киеве, Липецке и Симферополе показало [2], что, несмотря на наличие гидроизоляции, признаки разрушения оболочки проявляются уже в первый же год эксплуатации, а в дальнейшем происходит их интенсивный рост.

Поступление влаги в бетон оболочки происходит главным образом в результате конденсации пара на ее внутренней поверхности, а поступление солей – в результате их миграции из нижних частей градирни.

Проведенные исследования показали, что в условиях градирни гидроизоляция в принципе не может надежно защитить бетон от конденсации пара и связанных с этим процессов разрушения.

Значительно более эффективной мерой защиты является установка экрана из паронепроницаемых элементов, прикрепленных к оболочке с зазором относительно внутренней поверхности. Такая мера защиты оболочки градирен предлагается рядом авторов, как наиболее эффективная [13-16, 33, 37]. В частности предложено выполнять экран из паротеплоизоляционного, отражающего тепловые потоки рулонного материала, в виде алюминиевой фольги толщиной 10–40 мкм, имеющей двустороннюю химически стойкую полимерную защиту с температурой плавления 110–260 °С [22]. Имеется также опыт применения такого экрана [23], однако, работа экрана оказалась недостаточно эффективной из-за отсутствия детальных разработок параметров конструкции, учитывающих особенности тепловлажностного и аэродинамического режима. Решение вопроса об оптимальных параметрах воздушного зазора между экраном и внутренней оболочкой градирни в литературных источниках не найдено.

## 2. Цель работы

Целью настоящей работы является определение оптимальных параметров воздушного зазора, обеспечивающих эффективную работу экрана, путем расчетов тепловлажностного и аэродинамического режима.

## 3. Постановка задачи

Для эффективной защиты железобетонной градирни необходимо обеспечить достаточную тягу в воздушном зазоре. Установить необходимость увеличения тяги путем подогрева воздуха на входе в зазор. От этого условия зависит толщина, форма зазора и значения температур окружающего воздуха, паровоздушной смеси внутри градирни.

## 4. Решение задачи

Практически все исследователи считают главным фактором разрушения железобетонной оболочки градирен циклическое замораживание и оттаивание наружного слоя бетона, насыщенного водой в результате ее перемещения изнутри наружу [8-10]. Известно, что перемещение влаги в капиллярно-пористых телах происходит под действием термодинамических сил, представляющих собой градиенты потенциалов: капиллярного, гравитационного, электростатического, температурного, осмотического и др. [3, 6, 12]. В термодинамике необратимых процессов перенос теплоты, массы, заряда определяется одновременным действием всех термодинамических сил:

$$J_i = \sum_{k=1}^n L_{ik} X_k \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где  $J_i$  - поток тепла, воды, пара и т. д.;  $L_{ik}$  - кинетические коэффициенты;  $X_k$  - термодинамические

силы. Соотношение (1) известно как система линейных уравнений Онзагера, и оно является основным при решении вопроса о миграции влаги. Для скорости перемещения воды в бетоне в направлении оси  $x$ , направленной наружу, нормально поверхности оболочки, можно записать:

$$v_x = - \sum_{k=1}^n L_k \frac{\partial \phi_k}{\partial x}, \quad (2)$$

Здесь  $\phi_k$  - представляют следующие величины: температуру, капиллярный потенциал, концентрацию растворенных веществ, потенциал электрического поля, потенциал поля тяготения. Аналогичным образом выглядит уравнение для потока пара. Однако, поскольку в этом случае главной движущей силой является градиент парциального давления пара в воздухе, второстепенные члены уравнения можно отбросить и записать:

$$J_x^{nap} = - \mu \frac{\partial e}{\partial x}, \quad (3)$$

где  $J_x^{nap}$  – есть количество пара, проходящего через площадь поверхности в  $1 \text{ м}^2$  за 1 секунду;  
 $\mu$  – коэффициент паропроницаемости;  $e$  – парциальное давление (упругость) пара.

Защита бетона оболочки предполагает прекращение транспорта влаги и пара, т. е. создание условий, при которых  $v_x = 0$  и  $J_x^{nap} = 0$  (влага не проникает в бетон). Из уравнений (2) и (3) следует, что для этого есть два пути:

- 1) либо сделать  $L_k = 0$  и  $\mu = 0$
- 2) либо -  $\partial \phi_k / \partial x = 0$  и  $\partial e / \partial x = 0$

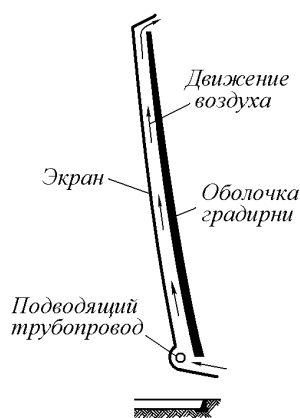


Рис. 1. Защитный экран

Первый путь традиционный – это уменьшение проницаемости бетона и устройство гидроизоляции. Второй путь состоит в снижении до нуля градиентов температуры и влажности, т. е. исключении движущих сил, приводящих к разрушению. Такое решение может быть реализовано путем устройства внутри оболочки паронепроницаемого экрана, отстоящего от поверхности бетона на 15-30 см (рис. 1). Зазор между экраном и оболочкой должен вентилироваться наружным воздухом за счет естественной тяги, которую нужно усилить подогревом воздуха в нижней части зазора. Подогрев воздуха рационально обеспечить прокладкой подводящего трубопровода оборотной воды по кольцу внутри зазора вдоль нижнего пояса защитного экрана. При этом значения упругости атмосферного водяного пара на обеих сторонах железобетонной оболочки будут одинаковы, а градиенты упругости пара равны нулю ( $\partial e / \partial x = 0$ ). Другим важным достоинством воздушного вентилируемого зазора является обеспечение возможности испарения влаги из бетона и его просыхание с внутренней стороны оболочки постоянно и независимо от периода года (при отсутствии экрана влага испаряется только летом, а зимой происходит ее накопление). Понятно, что внутренняя поверхность бетона оболочки должна оставаться проницаемой для пара, а наружная поверхность должна быть изолирована от атмосферной влаги. Наличие водонепроницаемого экрана защитит бетон оболочки градирни от проникновения в него оборотной воды при непосредственном контакте, что имеет место в зоне разбрызгивания. Это обстоятельство является особенно важным в случае морской воды, содержащей соли, т.к. предупреждает все возможные виды химической коррозии бетона, включая общесольевую (имеются испаряющие поверхности), а также коррозию стальной арматуры под действием хлоридов.

Изменение условий службы железобетонной оболочки при наличии защитного экрана в сторону смягчения, приведет в дальнейшем, при накоплении достаточного опыта, к снижению технических требований к бетону и уменьшению его стоимости. Соответствующие требования по стойкости и долговечности должны быть предъявлены к материалу экрана. В качестве материалов для экрана целесообразно использовать полимерные композиции, например, стеклопластики. Использование стеклопластика, не уступающего, как известно, по прочности стали и обладающего самым высоким среди всех материалов коэффициентом конструктивного качества, позволит создать наиболее легкую конструкцию экрана. Достаточная химическая и атмосферная стойкость пластмасс подтверждается опытом их применения в градирнях США, Англия, Германия, Франция и др. Фирма «Бальке» (Германия) уже более 30 лет выпускает вентиляторные градирни, целиком выполненные из пластмассы [4, 24].

Зарубежные фирмы имеют успешный более, чем 40-летний опыт применения пластмасс в действующих градирнях. В Германии эксплуатация в течение 25 лет пластмассовых элементов градирен, таких, как прокладки для фиксации расстояния между щитами, разбрызгивающие тарелочки и рассадки, показала высокую стойкость и долговечность этих изделий [5]. Основными полимерными материалами, применяемыми в градирнях, являются стеклопластики, полиэтилен высокой плотности, ударопрочный полистирол и поливинилхлорид.

Сопоставим работу традиционной гидроизоляции и вентилируемого экрана по скорости накопления влаги в бетоне в результате конденсации пара.

Если трещины в слое гидроизоляции малы, а материал является гидрофобным, сконденсированная влага не сможет проникнуть под покрытие из-за капиллярного эффекта. Однако для пара этого препятствия не существует. Согласно СНиП II-3-79 коэффициенты паропроницаемости гидроизоляционных материалов на основе битумов, полимеров и пр. не равны нулю.

Так, если гидроизоляция выполнена окраской поверхности горячим битумом с толщиной слоя 2 мм, то согласно СНиП II-3-79 коэффициент паропроницаемости составляет  $\mu = 0,0067 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ . Коэффициент теплопроводности такого покрытия  $\lambda = 0,27 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Климатические условия эксплуатации градирни принимали согласно СНиП 23-01-99. Потери тепловой энергии принимали согласно рекомендациям работы [38]

Ширина зоны конденсации показана на рис. 2 для различных условий эксплуатации. Как видно из графиков кривая  $e$  пересекает кривую  $E$  (имеется зона температур, ниже точек росы - зона конденсации) во всех периодах года, кроме летнего, когда температура воздуха поднимается до 20-22 °С. Ширина зоны конденсации растет в обе стороны с понижением температуры наружного воздуха. При  $t_{ext} = -26 \text{ °C}$  влага конденсируется практически по всей толщине оболочки, что хорошо согласуется с натурными испытаниями [2, 31].

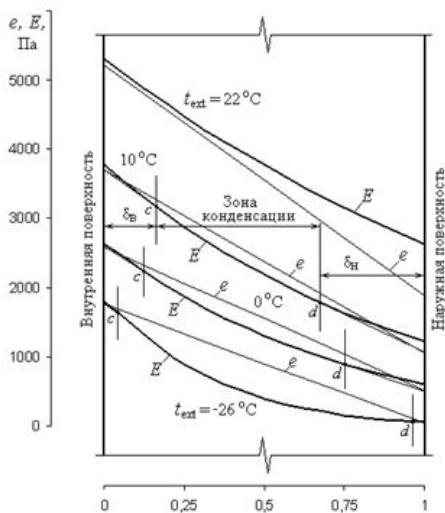


Рис. 2. Графо-аналитический расчет влажностного режима оболочки градирни в различные периоды года

приближаются к 0 и влажностный режим бетона определяется равновесием с атмосферным воздухом. В этих условиях бетон работает, как материал обычных наземных сооружений.

#### Аэродинамический режим вентилируемого зазора

Свободно конвективное течение в плоском канале было рассмотрено в работе [36].

Нами были проведены расчеты толщины и формы профиля вентилируемого зазора для обеспечения необходимой тяги и пропускной способности по воздуху с целью поддержания заданного тепловлажностного режима в разные периоды года. Проведено сравнение следующих трех способов создания тяги в зазоре.

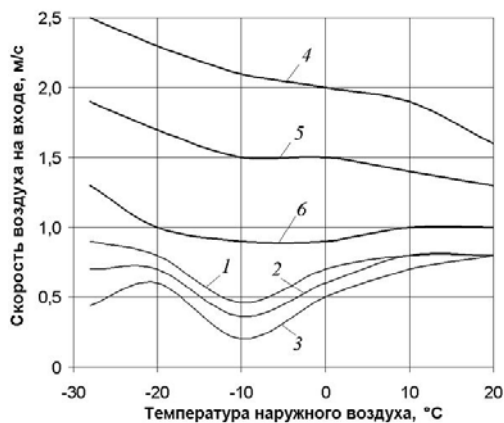


Рис. 3. Скорость воздуха без подогрева (1,2 и 3) с подогревом двумя ребристыми трубами (4, 5 и 6) при толщине зазора: 1 и 4 – 0,15; 2 и 5 – 0,3; и 6–0,7 м.

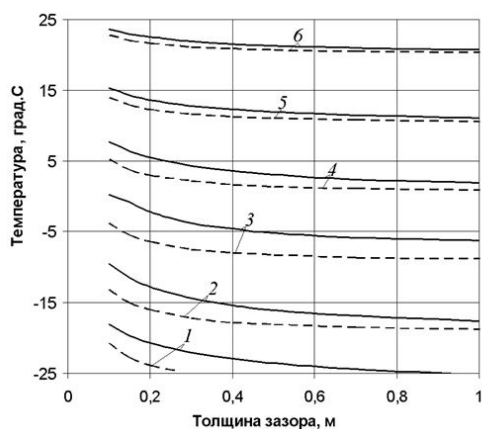


Рис. 4. Средняя температура воздуха в зазоре при естественной вентиляции (---) и при подогреве двумя ребристыми трубами (- - -) при температуре наружного воздуха: 1 – минус 28; 2 – минус 20; 3 – минус 10; 4 – 0; 5 – 10; 6 – 20 °С

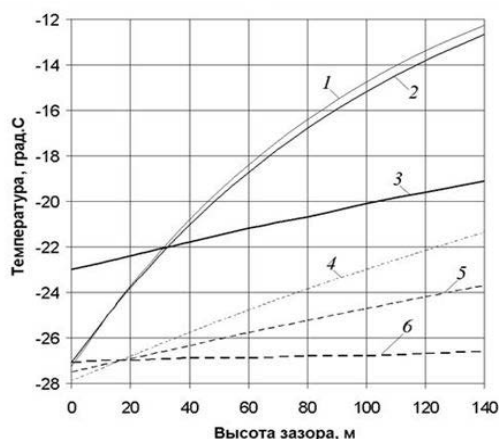


Рис. 5. Изменение температуры воздуха по высоте зазора ( $t_{ext} = -28^{\circ}\text{C}$ ) при толщине зазора 0,1 (----) и 0,7 м при условиях: 1 и 4 – естественной вентиляции; 2 и 5 – подогрева одиночной гладкой трубой; 3 и 6 – двумя ребристыми трубами)

1. Тяга создается подогревом воздуха в результате теплообмена с теплой поверхностью экрана (одновременно в результате теплообмена с холодной стенкой оболочки происходит охлаждение воздуха). Расчеты показывают, что суммарный эффект приводит к повышению температуры воздуха.

2. Тяга создается подогревом воздуха с помощью гладкой трубы, диаметром 100 мм, подводящей оборотную воду. Труба устанавливается сразу за входным сечением зазора вдоль всего периметра оболочки градирни.

3. Подогрев осуществляется двумя ребристыми трубами, диаметром по 50 мм с круглыми или квадратными ребрами, диаметром (стороной) 100 мм и с шагом 100 мм.

Расчеты температуры и скорости воздуха в зазоре позволили получить следующие закономерности.

С увеличением высоты оболочки и соответствующим сужением поперечного сечения зазора скорость воздуха в зазоре возрастает, а при дальнейшем расширении – уменьшается. Наименьшие значения скорости имеют место на входе в зазор. Значение этой скорости понижается с увеличением толщины зазора и возрастает с подогревом воздуха на входе (рис. 3).

Влияние температуры наружного воздуха не является монотонным. При температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  и при отсутствии подогрева имеет место глубокий минимум скорости (см. рис. 3), который понижается при увеличении толщины зазора и может принимать нулевые и отрицательные значения, что говорит об опрокидывании воздушного потока. При подогреве воздуха на входе в зазор двумя ребристыми трубами и при толщине зазора  $\delta$ , не превышающей 0,4 м, этот минимум исчезает, однако, при  $\delta > 0,4$  м появляется неглубокий минимум.

При естественной вентиляции скорость воздуха составляет в среднем  $0,5 \div 0,8$  м/с. Подогрев воздуха одиночной гладкой трубой не является эффективным и повышает скорость воздуха по сравнению с естественной вентиляцией всего на  $25 \div 30$  %. Применение двух ребристых труб дает повышение скорости на  $125 \div 200$  %

#### Температурный режим конструкции

Температура воздуха в зазоре зависит от температуры наружного воздуха  $t_{ext}$  и является тем более высокой, чем выше  $t_{ext}$  (рис. 4).

Средняя по высоте зазора температура воздуха  $t_{cp}$  оказалась в случае дополнительного подогрева ниже, чем при естественной конвекции. Это, парадоксальное на первый взгляд, положение имеет следующее простое объяснение.

Подогрев воздуха на входе в зазор повышает начальную температуру воздуха  $t_0$  (рис. 5), однако в результате возрастания скорости движения увеличивается расход воздуха  $j$  (рис. 5+6) и при одном и том же количестве поглощаемого тепла повышение температуры воздуха, согласно формуле:  $\partial t = \partial Q_{3\phi} / (c j)$  - оказывается меньшим.

Кроме того, в результате изменения термических сопротивлений  $R_6$  и  $R_n$  температура холодной бетонной стенки  $t_3$  понижается сильнее, чем повышается температура  $t_2$  теплой стеклопластиковой стенки. При одной и той же температуре воздуха  $t_2 > t_x > t_3$  это уменьшает суммарное количество теплоты  $\partial Q_3$ , что также ведет к снижению  $\partial t$ .

Разность температур  $t_0 - t_{ext}$  снижается с повышением  $t_{ext}$ , что обуславливает понижение скорости воздуха на входе в зазор.

Температура воздуха на входе в зазор  $t_0$  снижается при увеличении толщины зазора, что также приводит к падению скорости. Подогрев воздуха позволяет повысить значение начальной температуры, но эта мера эффективна только при большой площади контакта с подогревающей поверхностью.

Критическая длина, на которой температура воздуха становится постоянной ( $t_{en}$ ) составляет тысячи метров, что значительно превышает высоту градирни ( $l_{кр} \gg H$ ), поэтому температура в зазоре растет со значения  $t_0$  до значения  $t_h$ . Разность  $t_h - t_0$  тем больше, чем меньше толщина зазора и ниже температура наружного воздуха. Так, в случае естественной вентиляции наибольшее значение разности  $t_h - t_0 = 15,0$  °C имело место при  $t_{ext} = -28$  °C и  $\delta = 0,1$  м, а наименьшее значение –  $1,1$  °C – при  $t_{ext} = 20$  °C и  $\delta = 1$  м. При подогреве воздуха двумя ребристыми трубами наибольшее значение разности  $t_h - t_0$  составило  $3,9$  °C при  $t_{ext} = -28$  °C и  $\delta = 0,1$  м, а наименьшее значение –  $0,1$  °C – при  $t_{ext} = 20$  °C и  $\delta = 1$  м.

#### Влажностный режим оболочки

Величина удельной влагоемкости воздуха в зазоре  $\eta$ , полученная в расчетах, составила при различных температурах наружного воздуха от  $0,818$  до  $0,822$  г/(кг.Па), и практически не зависит от толщины зазора  $\delta$ . Полная же влагоемкость воздуха  $\eta^j$  возрастает с увеличением  $\delta$ , в чем можно убедиться на основании графиков, приведенных на рис. 7÷8, так как  $\eta \approx const$ . От толщины зазора очень мало зависит парциальное давление водяного пара, которое определяется только температурой и относительной влажностью воздуха. Упругость водяного пара в зазоре, в результате проникания его через неплотности элементов экрана, возрастает по мере движения воздуха вверх на  $17\%$  в самых невыгодных условиях при  $t_{ext} = -28$  °C и  $\delta = 0,1$  м; в остальных случаях эта величина меньше, а при подогреве не превышает  $2\%$ . Во всех расчетных случаях сохраняется способность воздуха ассимилировать влагу на всем протяжении прослойки, т. к. упругость водяного пара на всей длине ( $x$ ) меньше максимального значения – упругости насыщенного пара ( $e_x < E_x$ ), в том числе на входе ( $e_0 < E_0$ ) и на выходе ( $e_h < E_h$ ). Таким образом, конденсация влаги в воздухе прослойки исключена.

Более вероятна конденсация влаги на поверхности бетонной

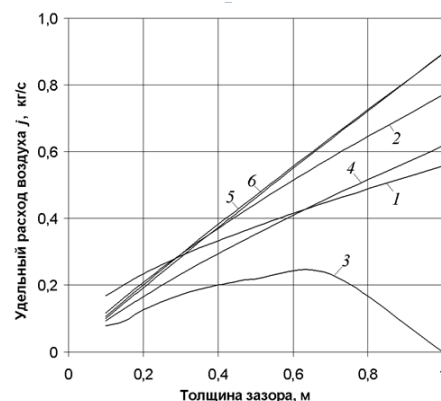


Рис. 6. Удельный массовый расход воздуха  $j_v$  в зависимости от толщины зазора при температуре наружного воздуха: 1 – минус 28; 2 – минус 20; 3 – минус 10; 4 – 0; 5 – 10; 6 – 20 °C (естественная вентиляция)

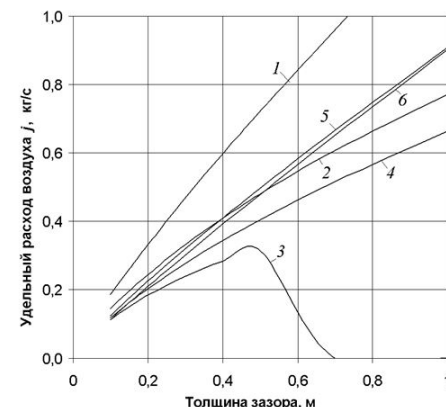


Рис. 7. Удельный массовый расход воздуха  $j_v$  в зависимости от толщины зазора при температуре наружного воздуха: 1 – минус 28; 2 – минус 20; 3 – минус 10; 4 – 0; 5 – 10; 6 – 20 °C (подогрев одиночной гладкой трубой)

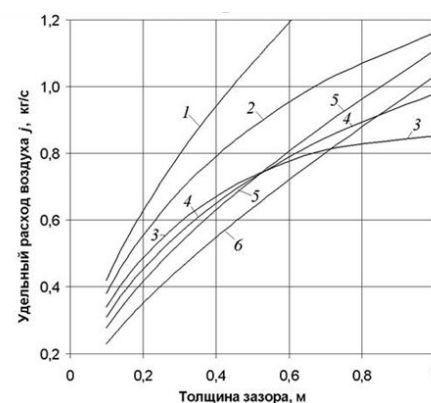


Рис. 8. Удельный массовый расход воздуха  $j_v$  в зависимости от толщины зазора при температуре наружного воздуха: 1 – минус 28; 2 – минус 20; 3 – минус 10; 4 – 0; 5 – 10; 6 – 20 °C (подогрев двумя ребристыми трубами)

оболочки внутри зазора, так как температура этой поверхности  $t_3$  является наиболее низкой. Однако рассчитанные значения точек росы во всех случаях оказываются ниже температуры  $t_3$  (рис. 9) и, следовательно, конденсация исключена и в этом случае.

Точка росы воздуха внутри зазора не зависит от толщины зазора, а зависит только от температуры наружного воздуха.

Чем меньше толщина зазора, тем выше значения разностей  $E_0 - e_0$  и  $E_h - e_h$ , следовательно, выше "запас устойчивости" против конденсации. При этом  $E_h - e_h < E_0 - e_0$ . Наличие "запаса устойчивости" против конденсации позволяет допустить более высокую проницаемость экрана, чем была принята в расчетах.

Влияние толщины зазора.

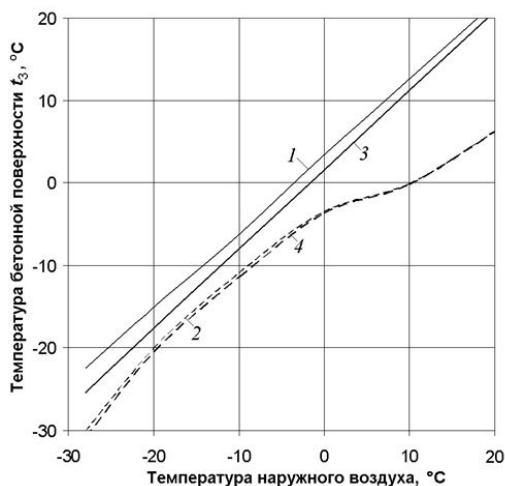


Рис. 9. Температура бетонной поверхности в зазоре толщиной 0,15 м (1 и 3) и точки росы (2 и 4) при: 1 и 2 – естественной вентиляции; 3 и 4 – подогреве двумя ребристыми трубами

температурных условий и толщины зазора на аэродинамический и тепловлажностный режимы его работы. При найденных параметрах зазора обеспечивается способность воздуха ассимилировать влагу на всем протяжении прослойки и удалять ее в атмосферу, что исключает конденсацию влаги на холодной поверхности бетонной оболочки. Таким образом, обеспечивается просыхание оболочки градирни с внутренней стороны. Поэтому на внутренней поверхности оболочки не должно быть гидроизоляционного покрытия.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Оптимальная толщина вентилируемого зазора, обеспечивающая необходимую тягу и пропускную способность по воздуху с целью поддержания заданного аэродинамического режима воздушной прослойки и тепловлажностного режима железобетонной оболочки, исключающего возникновение конденсации, составляет  $140 \div 160$  мм. При уменьшении толщины зазора температура и скорость воздуха в зазоре возрастают, что сказывается положительно на температурном режиме оболочки, однако, расход воздуха и его влагоемкость, необходимая для ассимиляции влаги и ее удаления, снижаются. Полученные результаты согласуются с данными работ [39, 40].

2. Расчеты показали необходимость предварительного подогрева воздуха на входе в зазор, что в условиях наличия горячей воды в градирни сделать не сложно, например, путем установки в нижней части зазора по окружности вдоль его периметра горизонтальной трубы, подводящей в градирню оборотную воду. Рассчитаны два варианта подогрева воздуха: с помощью одиночной гладкой трубы и двумя ребристыми трубами.

Первый вариант является малоэффективным, так как повышает скорость движения воздуха по сравнению с естественной вентиляцией (при которой скорость воздуха составляет в среднем  $0,5 \div 0,8$  м/с) всего на  $25 \div 30$  %. Применение двух ребристых труб повышает скорость потока на  $125 \div 200$  %.

С увеличением толщины зазора:

1. снижаются потери на сопротивления потоку воздуха, однако не очень значительно;
2. снижается теплоотдача от подогревающих труб воздуху в связи с уменьшением скорости обтекания;
3. понижается начальная температура воздуха на входе в приточное отверстие и средняя температура воздуха в зазоре, что объясняется увеличением расхода воздуха;
4. снижается начальная скорость воздуха из-за понижения его температуры и соответствующего увеличения плотности, что приводит к уменьшению гравитационного (теплого) напора;
5. возрастает расход воздуха и его влагоемкость, т.е. способность ассимилировать и удалять влагу, попадающую в зазор.

## 5. Заключение

Статья посвящена вопросу обеспечения эффективной защиты оболочки градирни с помощью экрана с вентилируемым воздушным зазором. Рассмотрено влияние

3. Найденные параметры воздушного зазора обеспечивают просыхание оболочки градирни с внутренней стороны. Поэтому на внутренней поверхности оболочки не должно быть гидроизоляционного покрытия. Гидроизоляционный слой в этом случае должен наноситься на наружную поверхность оболочки для защиты ее от осадков. Данные мероприятия обеспечат постоянный воздушно-сухой режим эксплуатации оболочки во время работы градирни независимо от времени года.

#### Литература

1. Изучение стойкости бетона в условиях работы оболочек башенных железобетонных градирен / Денисов А. С., Гамынина Л. А., Швыряев В. А., Володина А. Ю. / Исследования строительство и эксплуатация градирен. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 44. Л.: Энергия, 1968. С. 106-116.
2. Тепловлажностный режим оболочек башенных градирен / Петров-Денисов В. Г., Моро А. Н., Гусева К. В., Гамынина Л. А. / Исследования строительство и эксплуатация градирен. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 44. Л.: Энергия, 1968. С. 159-172.
3. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.
4. Фарфоровский Б. С., Фарфоровский В. Б. Охладители циркуляционной воды тепловых электростанций. Л.: Энергия, 1972. 112 с.
5. Недвига Ю. С., Васильев А. П. Градирни ФРГ. Л.: «Энергия», 1974. 68 с.
6. Чураев Н.В. Физико-химия процессов массопереноса в пористых телах. М.: Химия, 1990. 272 с.
7. Попченко С. Н. Гидроизоляция сооружений и зданий. Л.: Стройиздат, 1981. 304 с.
8. Кунцевич О. В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений крайнего севера. Л.: Стройиздат, 1983. 132 с.
9. Судаков В. Б. Морозостойкость бетонов в разном возрасте. М.-Л.: Энергия, 1964. 174 с.
10. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1965. 195 с.
11. Рыбьев И. А. Технология гидроизоляционных материалов. М.: Высшая школа, 1964. 307 с.
12. Тютюнов И. А., Нерсесова З. А. Природа миграции воды в грунтах при промерзании и основы физико-химических приемов борьбы с пучением. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 158 с.
13. Калатузов В. А. Проблемы обеспечения надежности железобетонных вытяжных башен градирен // Энергетик. 2001. № 8. С. 23-26.
14. Чернов С. Л., Долинин И. В., Дужих Ф. П. Реконструкция железобетонной дымовой трубы с противодавлением в воздушном зазоре // Теплоэнергетика. 2002. № 2. С. 29-32.
15. Градирня: Пат. 2177529 Россия, МПК{7} E 04 H 5/12 / Недвига Ю. С., Недвига Н. Ю., Пилипенко К. В.; ОАО ВНИИ гидротехники им. Б.Е. Веденеева. - N 2000100661/03; Заявл. 10.01.2000; Опубли. 27.12.2001.
16. Брызгальная градирня. Бризкальна градирня: Пат. 35868 Украина, МПК{6} F 28 C 1/00; Коваль Володимир Павлович, ЖевжикОлександр Владиславович, Привалов ДмитроОлександрович. - N 99010382; Заявл. 26.01.1999; Опубли. 16.04.2001.
17. Осоловский В. П. Состояние эксплуатации, ремонта, внедрения новых технологий и материалов при реконструкции градирен // Безопасность энергетических сооружений. 2001. № 9. С. 73-82.
18. Зарубина Л. П. Гидроизоляция конструкций, зданий и сооружений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 155 с.
19. Новые эффективные материалы "Эмако" для ремонта конструкций и сооружений тепловых электростанций / Затворницкая Т. А., Магитон А. С., Затворницкая А. О., Козлов Г. Н. // Безопасность энергетических сооружений. 2001. № 9. С. 88-95.
20. Осоловский В. П. Проблемы повышения эксплуатационного ресурса производственных зданий и сооружений энергопредприятий // Безопасность энергетических сооружений. 2001. № 9. С. 83-87.
21. Восстановление теплоизоляционных и антикоррозионных свойств зданий / Теряева Т. Н., Першин В. В., Дорогунцов В. В., Гайдин А. П., Филиппов П. А. // Строительство шахт и городских подземных сооружений: Труды Российско-Китайского симпозиума, Кемерово, 2-27 апр., 2000. Кемерово, 2000. С. 153-156.
22. Исследование морозостойкости бетонов мостовых конструкций / Нижневясов В.В., Ананенко А. А., Шадрин В. В. Новосибирск, 1999. С. 115-121.
23. Setzer M.J. Die Mikroseslinsenpumpe - EineneueSichtbeiFrostangriff und Frostprufung. Bd 1. Weimar, 2000.C. 1/0691-1/0705.
24. Hydronic heating equipment // Air Conditioning, Heating & Refrigeration News. 2001. 213, № 17. С. 8.



25. Schnell Wolf-Dieter. Sanierung von Kühltürmen // TAB: TechnologieBau. 2001. № 3. С. 79-82, 87.
26. Frielingsdorf Joachim, Falk Helwig. SchutzvorKälte und Wärme // DE: Elektro- und Gebäudetechnik. 2002. 77, № 3.С. 28-29.
27. Concrete protection in the aggressive conditions of Sdom on the Dead Sea shore / Epshtain V., Zabicky J., Goncharov E., Millionschchik A., Taig M. Bd 1. Weimar, 2000. С. 1/0889-1/0899.
28. Tollner Fritz, Best Walter. IntelligenterOberflächenschutz // BetonwerkFertigteile-Technik 2001. № 7. Pp. 32-36, 38, 40-42, 44.
29. Zhongguodianli// Electric Power. 2002. № 2. С. 1-5.
30. In situ corrosion control in industrial water systems / Batista J.F., Pereira R.F.C., Lopes J.M., Carvalho M.F.M., Feio M.J., Reis M.A.M. // Biodegradation. 2000. 11, № 6. С. 441-448.
31. Mazurkiewicz Greg. Controlling scale to prevent legionella // Air Conditioning, Heating & Refrigeration News. - 2002. 215, № 3. С. 45.
32. Wu Shihong // Zhongguodianli/Electric Power. 2001. № 12. С. 19-21.
33. Башенная градирня: а.с. СССР 538114: М.Кл. E04H5/12 / И.Б. Заседателев, Ф.П. Дужих, А.Н. Моро, А.П. Васильев, А.А. Прудников; заявитель и патентообладатель ВНИПИ «Теплопроект». №1983776/33; заявл.08.01.1974; опубл. 05.12.1976, Бюл.№45. - 4 с.
34. Способ получения эпоксидных смол: а.с. СССР 218422: М.Кл. C08G59/04 / КоршакВ. В., Каменский И. В., Соловьева Л. К., Черкасова Г. М.; заявитель и патентообладатель Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева. – № 1092947/23-5; заявл. 21.07.1966; опубл. 01.05.1968.Бюл. №17. 3 с.
35. Калатузов В. А. Проблемы обеспечения надежности железобетонных вытяжных башен градирен // Энергетик. 2001. № 8. С. 23-26.
36. Петриченко М.Р., Петроченко М.В. Гидравлика свободноконвективных течений в ограждающих конструкциях с воздушным зазором // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8. С. 51-56.
37. Петроченко М.В., Голубев Д.И. Железобетонная башенная градирня с тепловлагозащитным экраном // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. Т. 1. № 89. С. 65-68.
38. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 4-14.
39. Петриченко М.Р., Петроченко М.В., Явтушенко Е.Б. Гидравлически оптимальная вентилируемая щель // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2. С. 35-40.
40. Немова Д.В. Интегральные характеристики термогравитационной конвекции в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2. С. 25-34.

## References

1. *Izuchenie stoikosti betona v usloviiakh raboty obolochek bashennykh zhelezobetonnykh gradiren / A. S. Denisov, L. A. Gamynina, V. A. Shvyriaev, A. lu. Volodina / Issledovaniia stroitel'stvo i ekspluatatsiia gradiren. Trudy koordinatsionnykh soveshchaniy po gidrotekhnike. Vyp. 44. L.: Energiia, 1968. Pp. 106-116. (rus)*
2. *Teplovlazhnostnyi rezhim obolochek bashennykh gradiren / V. G. Petrov-Denisov, A. N. Moro, K. V. Guseva, L. A. Gamynina / Issledovaniia stroitel'stvo i ekspluatatsiia gradiren. Trudy koordinatsionnykh soveshchaniy po gidrotekhnike. Vyp. 44. L.: Energiia, 1968. Pp. 159-172. (rus)*
3. *Lykov A. V., Mikhailov lu. A. Teoriia teplo- i massoperenosa. M.-L.: Gosenergoizdat, 1963. 535 p. (rus)*
4. *Farforovskii B. S., Farforovskii V. B. Okhladiteli tsirkulatsionnoi vody teplovykh elektrostantsii. L.: Energiia, 1972. 112 p. (rus)*
5. *Nedviga lu. S., Vasil'ev A. P. Gradirni FRG. L.: «Energiia», 1974. 68 p. (rus)*
6. *Churaev N. V. Fiziko-khimiia protsessov massoperenosa v poristyykh telakh: Khimiia, 1990. 272 p. (rus)*
7. *Popchenko S. N. Gidroizoliatsiia sooruzhenii i zdaniy. L.: Stroiizdat, 1981. 304 p. (rus)*
8. *Kuntsevich O. V. Betony vysokoi morozostoikosti dlia sooruzhenii krainego severa. L.: Stroiizdat, 1983. 132 p. (rus)*
9. *Sudakov V. B. Morozostoikost' betonov v raznom vozraste. M.-L.: Energiia, 1964. 174 p. (rus)*
10. *Gorchakov G. I., Kapkin M. M., Skramtaev B. G. Povyshenie morozostoikosti betona v konstruktsiakh promyshlennykh i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. M.: Stroiizdat, 1965. 195 s. (rus)*
11. *Ryb'ev I. A. Tekhnologiya gidroizoliatsionnykh materialov. M.: Vysshaya shkola, 1964. 307 p. (rus)*

12. Tiutiunov I. A., Nersesova Z. A. *Priroda migratsii vody v gruntakh pri promerzanii i osnovy fiziko-khimicheskikh priemov bor'by s pucheniem*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. 158 p. (rus)
13. Kalatuzov V. A. *Problemy obespecheniia nadezhnosti zhelezobetonnykh vytyazhnykh bashen gradiren // Energetik*. 2001. № 8. Pp. 23-26. (rus)
14. Chernov S. L., Dolinin I. V., Duzhikh F. P. *Rekonstruktsiia zhelezobetonnoi dymovoi truby s protivodavleniem v vozdushnom zazore // Teploenergetika*. 2002. № 2. Pp. 29-32.
15. *Gradirnia: Pat. 2177529 Rossiia, MPK{7} E 04 H 5/12 / Nedviga Iu. S., Nedviga N. Iu., Pilipenko K. V.; OAO VNII gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*. - N 2000100661/03; Zaiavl. 10.01.2000; Opubl. 27.12.2001. (rus)
16. *Bryzgal'naia gradirnia. Brizkal'na gradirnia: Pat. 35868 Ukraina, MPK{6} F 28 C 1/00; Koval' Volodimir Pavlovich, Zhevzhik Oleksandr Vladislavovich, Privalov Dmitro Oleksandrovich*. - N 99010382; Zaiavl. 26.01.1999; Opubl. 16.04.2001. (rus)
17. Osolovskii V. P. *Sostoianie ekspluatatsii, remonta, vnedreniia novykh tekhnologii i materialov pri rekonstruktsii gradiren // Bezopasnost' energeticheskikh sooruzhenii*. 2001. № 9. Pp. 73-82. (rus)
18. Zarubina L. P. *Gidroizolyatsiya konstrukcij, zdaniy I sooruzhenij*. SPb.: BHV-Petersburg, 2011. 155 p. (rus)
19. *Novye effektivnye materialy "Emako" dlia remonta konstruktsii i sooruzhenii teplovykh elektrostantsii / Zdvornitskaia T. A., Magiton A. S., Zdvornitskaia A. O., Kozlov G. N. // Bezopasnost' energeticheskikh sooruzhenii*. 2001. № 9. Pp. 88-95. (rus)
20. Osolovskii V. P. *Problemy povysheniia ekspluatatsionnogo resursa proizvodstvennykh zdaniy i sooruzhenii energopredpriatii // Bezopasnost' energeticheskikh sooruzhenii*. 2001. № 9. Pp. 83-87. (rus)
21. *Vosstanovlenie teploizoliatsionnykh i antikorrozionnykh svoistv zdaniy / Teriaeva T. N., Pershin V. V., Doroguntsov V. V., Gaidin A. P., Filippov P. A. // Stroitel'stvo shakht i gorodskikh podzemnykh sooruzhenii: Trudy Rossiisko-Kitaiskogo simpoziuma, Kemerovo, 2-27 apr., 2000. Kemerovo, 2000. Pp. 153-156. (rus)*
22. *Issledovanie morozostoikosti betonov mostovykh konstruktsii / Nizheviasov V. V., Ananenko A. A., Shadrin V. V. Novosibirsk, 1999. Pp. 115-121. (rus)*
23. Setzer M. J. *Die Mikroeslinsenpumpe - Eine neue Sicht bei Frostangriff und Frostprufung*. Bd 1. Weimar, 2000. - Pp. 1/0691-1/0705.
24. *Hydronic heating equipment // Air Conditioning, Heating & Refrigeration News*. 2001. № 17. Pp. 8.
25. Schnell Wolf-Dieter. *Sanierung von Kühltürmen // TAB: Technologie Bau*. 2001. № 3. Pp. 79-82, 87.
26. Frielingsdorf Joachim, Falk Helwig. *Schutz vor Kalte und Wärme // DE: Elektro- und Gebäudetechnik*. 2002. 77, № 3. Pp. 28-29.
27. *Concrete protection in the aggressive conditions of Sdom on the Dead Sea shore / Epshtain V., Zabicky J., Goncharov E., Millionschik A., Taig M. Bd 1. Weimar, 2000. Pp. 1/0889-1/0899.*
28. Tollner Fritz, Best Walter. *Intelligenter Oberflächenschutz // Betonwerk Fertigteil-Technik*. 2001. № 7. Pp. 32-36, 38, 40-42, 44.
29. Wu Shihong. *Zhongguo dianli // Electric Power*. 2002. № 2. S. 1-5.
30. *In situ corrosion control in industrial water systems / Batista J.F., Pereira R.F.C., Lopes J.M., Carvalho M.F.M., Feio M.J., Reis M.A.M. // Biodegradation*. 2000. № 6. Pp. 441-448.
31. Mazurkiewicz Greg. *Controlling scale to prevent legionella // Air Conditioning, Heating & Refrigeration News*. 2002. № 3. Pp. 45.
32. Wu Shihong. *Zhongguo dianli // Electric Power*. 2001. № 12. Pp. 19-21.
33. *Bashennaia gradirnia: a.s. SSSR 538114: M.Kl. E04N5/12 / I.B. Zasedatelev, F.P. Duzhikh, A.N. Moro, A.P. Vasil'ev, A.A. Prudnikov; zaiavitel' i patentoobladatel' VNIIPI «Teploproekt». - №1983776/33; zaiavl.08.01.1974; opubl. 05.12.1976, Biul.№45. 4 p. (rus)*
34. *Sposob polucheniia epoksidnykh smol: a.s. SSSR 218422: M.Kl. C08G59/04 / V.V. Korshak, I.V. Kamenskii, L.K. Solov'eva, G.M. Cherkasova; zaiavitel' i patentoobladatel' Moskovskii khimiko-tekhnologicheskii institut im. D.I. Mendeleeva. № 1092947/23-5; zaiavl. 21.07.1966; opubl. 01.05.1968, Biul. №17.-3 p. (rus)*
35. Kalatuzov V. A. *Problemy obespecheniya nadezhnosti zhelezobetonnykh vytyazhnykh bashen gradiren // Energetic*. 2001. No. 8 Pp. 23-26 (rus)
36. Petrichenko M. R., Petrochenko M. V. *Gidravlika svobodnokonvektivnykh techenii v ograzhdaiushchikh konstruktsiiakh s vozdushnym zazorom // Magazine of civil engineering*. 2011. No. 8. Pp. 51-56. (rus)
37. Petrochenko M.V., Golubev D.I. *Zhelezobonnaia bashennaia gradirnia s teplovlagozashchitnym ekranom // NTV SPbSPU*. 2009. Vol. 1. No. 89. Pp. 65-68. (rus)

38. Influence of building envelope thermal protection on heat loss value in the building / Vatin N. I., Nemova D. V., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. // Magazine of civil engineering. 2012. No. 8. Pp. 4-14. (rus)
39. Petrichenko M.R., Petrochenko M.V., Iavtushenko E.B. *Gidravlicheski optimal'naia ventiliruemaiia shchel'*// Magazine of civil engineering. 2013. No. 2. Pp. 35-40. (rus)
40. Nemova D. V. Integrated characteristics of thermogravitational convection in the air layer of ventilated facades // Magazine of civil engineering. 2013. No. 2. Pp. 25-34. (rus)