

Редакционная коллегия:

В. В. Бондарь – канд. техн. наук, зав. кафедрой «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»;

В. Ф. Зверев – канд. техн. наук, профессор кафедры «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»;

А. А. Хотько – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»

Составители:

А. А. Хотько – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»

Рецензенты:

**А. Е. Шилов** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»;

**Е.Ю. Давыдов** – доктор техн. наук, профессор кафедры «Строительные конструкции им. д.т.н., профессора Т.М.Пецоляда»

Сборник содержит материалы 78-й студенческой научно-технической конференции. В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующие проблемы проектирования, конструирования и обследования железобетонных конструкций.

Предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистров и аспирантов.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Быков Д.А. Конструктивные схемы оболочек башенных градирен: обзор.....</i>	<i>2</i>
<i>Гриб П.И. Особенности назначения сроков службы зданий по ТНПА разных стран.....</i>	<i>10</i>
<i>Деревянко Е.А. К вопросу защиты конструкций подземных сооружений от замораживания и увлажнения.....</i>	<i>18</i>
<i>Козловский А.В., Матяш Р.В. Рациональные варианты конструирования стыков арматурных каркасов по высоте в монолитных железобетонных колоннах многоэтажных зданий .....</i>	<i>22</i>
<i>Кунцевич М.В. Проектирование несущих конструкций покрытия лаунж-зоны на берегу водоёма на территории профилактория БНТУ.....</i>	<i>27</i>
<i>Марушкевич Д.В., Тарасевич Е.В. Анализ эффективности применения малоуклонных железобетонных плит 2Т.....</i>	<i>34</i>
<i>Парнов А.В. Проектирование всесезонного крытого манежа для катания на беговых лыжах .....</i>	<i>38</i>
<i>Хотько Е.А. Усиление растянутой зоны многопустотных железобетонных плит установкой дополнительной композитной арматуры .....</i>	<i>46</i>

## Конструктивные схемы оболочек башенных градирен: обзор

Быков Д.А.

*Научный руководитель – Бондарь В.В.*

Белорусский национальный технический университет

**Введение.** Интенсивное развитие мировой теплоэнергетики тесно связано с необходимостью решения проблемы промышленного водоснабжения тепловых и атомных электростанций (ТЭС и АЭС). Современная ТЭС (АЭС) на 1 млн кВт мощности использует в год 12...15 млрд м<sup>3</sup> воды, или 200...250 м<sup>3</sup>/с. Обеспечение электростанции таким количеством воды, особенно при строительстве их в вододефицитных районах европейской части Российской Федерации, в Республике Беларусь, Европе, не представляется возможным. Кроме того, отработанная вода имеет температуру на 15...20 °С выше естественной, и сброс подогретой воды в водоемы приводит к их тепловому загрязнению и нарушению экологического равновесия. Поэтому на современных ТЭС и АЭС как в России и Беларуси, так и за рубежом, применяется замкнутая оборотная система промышленного водоснабжения с охлаждением отработанной воды с помощью градирен, решающих актуальные проблемы повышения мощности энергоблоков, охраны окружающей среды и сбережения водных ресурсов.

Градирнями называются аппараты или установки, предназначенные для охлаждения воды путем разбрызгивания ее в потоке воздуха, движение которого создается за счет естественной тяги (в башенных градирнях) или с помощью вентиляторов (в вентиляционных градирнях).

Современные градирни представляют собой, с одной стороны, сложные в инженерном отношении дорогостоящие сооружения, а с другой — мощные теплообменные аппараты, предназначенные для охлаждения отработанного в турбоустановках пара и рассеивания сбросного тепла электростанций в атмосфере, от правильности выбора параметров которых зависят эффективность капитальных вложений и экономичность работы основного энергетического оборудования электростанций.

В системах охлаждения с градирнями наибольшее распространение получили испарительные башенные противоточные градирни с естественной тягой.

Башенные градирни экономичны и долговечны, их можно сооружать большой мощности, благодаря чему экономится застраиваемая территория.

Наряду с указанными областями применения башенных градирен, они входят также в оборотные системы водоснабжения предприятий металлургической, химической промышленности и т.п.

**Конструктивные элементы башенных градирен.** Основными конструктивными элементами башенной градирни являются (рис. 1):

а) вытяжная башня, состоящая из опорной колоннады с фундаментом и оболочки (оболочка служит для создания тяги воздуха, поступающего в окна между стойками колоннады);

б) водоохлаждающее устройство, состоящее из оросительной и воздухораспределительной систем, создающих равномерный капельный поток по всей площади сечения башни;

в) подземные конструкции — фундамент вытяжной башни и водосборный бассейн, из которого забирается охлажденная вода.

Наиболее ответственными и дорогостоящими конструкциями в башенной градирне являются вытяжные башни, стоимость которых составляет около половины стоимости современного башенного охладителя.

На энергетических и промышленных объектах сооружаются градирни как с железобетонными, главным образом монолитными, так и с металлическими каркасно-обшивными вытяжными башнями. Кроме того, перспективными являются разработанные в последние годы конструктивные решения вантовых градирен, оболочка которых образуется диагональными и меридиональными вантами, прикрепленными через подвесное кольцо жесткости к центральному пилону [1], а также многосекционные градирни и новое поколение сборных железобетонных градирен. В Российской Федерации и в Республике Беларусь башенные градирни средней производительности (до 50 тыс. м<sup>3</sup>/ч)

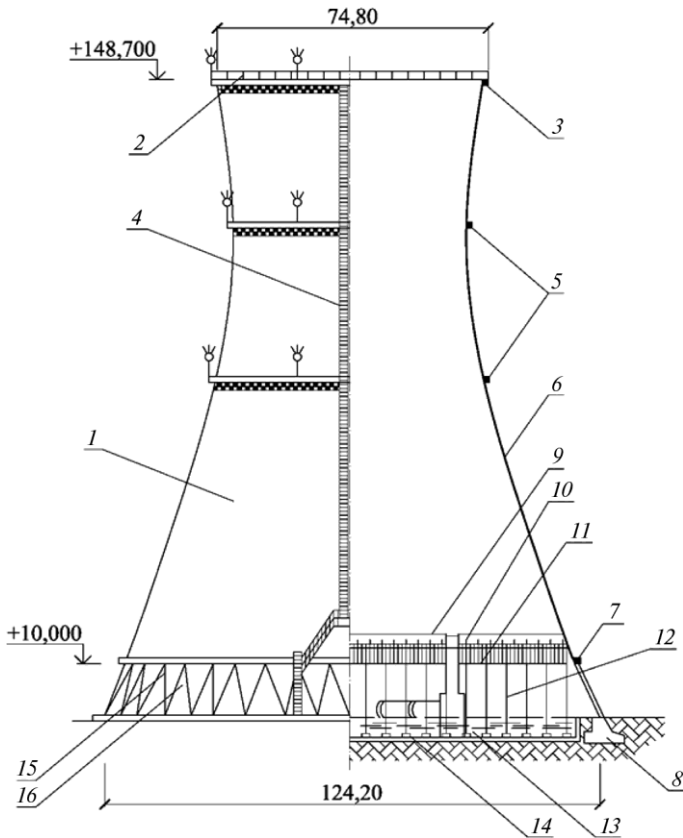


Рис. 1 - Схема башенной градирни: 1 — вытяжная башня; 2 — молниезащита; 3 — верхнее кольцо жесткости; 4 — лестница; 5 — кольцо жесткости; 6 — стенка оболочки; 7 — нижнее опорное кольцо; 8 — фундамент башни; 9 — водоуловитель; 10 — водораспределительное устройство; 11 — ороситель; 12 — каркас оросителя; 13 — водосборный бассейн; 14 — днище бассейна; 15 — опорная колоннада; 16 — воздухоходные окна

площадью орошения 1100, 1600, 2300, 3200 м<sup>2</sup> сооружают с металлическими каркасно-обшивными и железобетонными вытяжными башнями (градирни площадью орошения 1100 м<sup>2</sup> из железобетона не сооружаются), башенные градирни большой производительности

(свыше 50 тыс. м<sup>3</sup>/ч) площадью орошения 5300, 7100, 10000, 18000 м<sup>2</sup> — только с железобетонными вытяжными башнями.

Все более широкое распространение башенные градирни находят на энергетических объектах и во многих зарубежных промышленно развитых странах, при этом башенные градирни площадью орошения до 1000 м<sup>2</sup> сооружают с каркасно-обшивными башнями, имеющими форму усеченной многогранной пирамиды, площадью 1000...2000 м<sup>2</sup> — с монолитными железобетонными коническими, цилиндрическими и гиперболическими вытяжными башнями, а площадью 2500...6000 м<sup>2</sup> и выше — только с монолитными железобетонными гиперболическими башнями.

При проектировании и строительстве железобетонных башенных градирен необходимо считаться со сложными условиями, в которых они эксплуатируются, а именно: высокой влажностью внутри сооружения, разностью температур внешней и внутренней среды, резкими, особенно в зимнее время, перепадами температуры в местах входа наружного воздуха в градирню и выхода отработанного воздуха из башни. Эти обстоятельства обуславливают повышенные требования к бетонам, применяемым в конструкциях градирен, к качеству производства работ, а также территориально ограничивают районы возможного строительства железобетонных башенных градирен. В зависимости от интенсивности воздействия внешней среды конструкции башенных градирен подразделяются на 2 зоны: 1-я зона — вытяжная башня, каркас оросительного устройства, стенка водосборного бассейна; 2-я зона — плита кольцевого фундамента и днище водосборного бассейна. Конструкции 1-й зоны в период эксплуатации находятся в более тяжелых условиях, чем конструкции 2-й зоны.

В проектах железобетонных башенных градирен указывают проектный класс бетона на сжатие, проектные марки по морозостойкости и водонепроницаемости, вид и марку цемента, водоцементное отношение и др. Как правило, для оболочки, опорного кольца, стенок кольцевого фундамента и сборных железобетонных элементов градирен применяют сульфатостойкий портландцемент [2]. К бетонам градирен предъявляются требования, изложенные в табл. 1.

Для армирования железобетонных конструкций башенных градирен применяют стержневую арматуру классов S500 и S240. Минимальная толщина защитного слоя для рабочей арматуры в монолитных конструкциях градирен — 25 мм.

Таблица 1

**Требования, предъявляемые к бетонам градирен**

Зона конструкций градирни	Проектные характеристики бетона			
	Марка по морозостойкости	Марка по водонепроницаемости	Класс по прочности на сжатие	Водоцементное отношение В/Ц
1-я	F300	W8	C20/25*	0,4
2-я	F150	W6	C12/15	0,5**

\* Для сборных элементов конструкции – C25/30.

\*\* Для бетона днища бассейна в случае применения пуццоланового портландцемента или шлакопортландцемента – 0,45.

**Конструктивные формы оболочек вытяжных башен.** Вытяжные башни обеспечивают постоянную тягу воздуха через оросительные устройства. В состав конструкции вытяжной башни входят оболочка с нижним опорным и верхним, а возможно и с промежуточными, кольцами жесткости, опорная колоннада, фундамент.

В зависимости от формы оболочки (характера ее срединной поверхности) железобетонные вытяжные башни разделяются на гиперболические (*a*), биконические (*b*), биконические с цилиндрической вставкой (*в*), цилиндрические (*г*) и конические (*д*) (рис. 2).

Наиболее распространены вытяжные башни с оболочками, имеющими форму гиперблоида вращения, так как они имеют хорошие аэродинамические показатели, что весьма существенно для градирен с естественной тягой воздуха. Срединные поверхности гиперболических оболочек имеют плавные изменения кривизны и направлений касательных, что устраняет концентрацию напряжений (исключение составляют приконтурные зоны).

Биконические и биконические со вставкой вытяжные башни по аэродинамическим показателям близки к гиперболическим. Их появление обусловлено стремлением найти достаточно приемлемое решение сооружения из сборного железобетона. Недостаток этих форм –

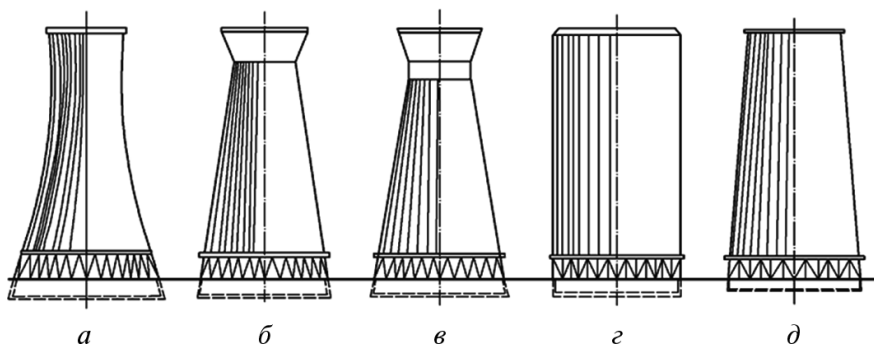


Рис. 2 - Разновидности форм оболочек вытяжных башен

резкие переломы в меридиональном направлении, что способствует значительной концентрации напряжений в местах сопряжения оболочек. Это приводит к тому, что такую форму придают относительно небольшим градирням, в основном вентиляторным.

Вытяжные башни с оболочкой цилиндрической формы наиболее просты с точки зрения их возведения или разрезки на сборные элементы, но имеют худшие аэродинамические показатели. Расход материалов на монолитную железобетонную цилиндрическую вытяжную башню примерно в 1,2...1,5 раза больше, чем на гиперболическую башню такой же производительности.

Фундаменты вытяжных башен обычно делают из монолитного железобетона, опорную колоннаду – из сборного железобетона, а оболочка может быть, как из монолитного, так и из сборного железобетона.

Наибольшее распространение в мировой практике получили железобетонные градирни, выполняемые с оболочкой гиперболической формы из монолитного или сборного (в меньшей степени) железобетона. Широкое применение именно монолитного железобетона в оболочках башенных градирен объясняется отсутствием чувствительных к агрессивным воздействиям внешней среды стыковых соединений и швов, что положительно влияет на долговечность сооружения.

**Заключение.** Конструктивные схемы оболочек вытяжных башенных градирен хорошо описаны в научно-технической литературе [3]. Достаточно подробно рассмотрена геометрическая конфигурация, узлы сопряжения железобетонных элементов. Представлены также типовые решения по армированию оболочек, применению тех или