

УДК 627.81:621.175.3

# НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Л. Н. Антонова**

Ведущий инженер, кандидат технических наук

Тепломеханический отдел

Харьковский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект»

Московский пр-кт, 10/12, г. Харьков, 61003

Контактный тел.: (067) 545–10–06

**Г. И. Канюк**

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой, декан энергетического факультета\*

Контактный тел.: (057) 733–79–14; 099-685–76–82

**Т. Е. Погонина**

Директор

Зуевский энергетический техникум

Донецкого национального технического университета

ул. Станционная, 1, г. Зугрэс, 86783

Контактный тел.: (06257) 7–72–06

**Д. М. Михайский**

Старший преподаватель\*

Контактный тел.: (057) 733–78–65

**Л. Н. Омельченко**

Доцент\*

Контактный тел.: (057) 733–78–65

**А. Н. Фокина**

Ассистент\*

\*Кафедра теплоэнергетики и энергосбережения

Украинская инженерно-педагогическая академия

Адрес: ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003

Контактный тел.: (057) 733–78–65

E-mail: anna.rostyslavna@gmail.com

*Розглянуто особливості умов роботи водоймищ-охолоджувачів. Наведено типи водоймищ-охолоджувачів та їх характеристика. Представлено схеми організації руху потоку у водоймищах-охолоджувачах*

*Ключові слова: ТЕС, АЕС, водоймище-охолоджувач, питома теплове навантаження, охолоджуюча здатність, гідротермічний режим, циркуляція*

*Рассмотрены особенности условий работы водоемов-охладителей. Приведены типы водоемов-охладителей и их характеристика. Представлены схемы организации движения потока в водоемах-охладителях*

*Ключевые слова: ТЭС, АЭС, водоем-охладитель, удельная тепловая нагрузка, охлаждающая способность, гидротермический режим, циркуляция*

*The features of terms of work of reservoirs-coolers are considered. The types of reservoirs-coolers and their description are resulted. The charts of organization of motion of stream are presented in reservoirs-coolers*

*Keywords: TES, AES, reservoir-cooler, specific thermal loading, cooling ability, hydrothermal mode, circulation*

## Введение

У водоемов-охладителей нет природных аналогов. Это очень сложные объекты, позволяющие разносторонне и комплексно использовать водные ресурсы.

Водоемы-охладители – антропогенные, управляемые человеком объекты, но они испытывают также и сильнейшее воздействие природных факторов. Поэтому как объекты изучения, использования и управления занимают промежуточное положение между “чисто природными” и “чисто техническими” образованиями. Это дает право именовать их природно-техническими системами [1], комплексами, состоящими из природной и технической подсистем, диалектически взаимодействующих между собой. Учет этого взаимодействия может существенно уве-

личить возможности рационального и комплексного использования водоемов-охладителей.

Управляя технической подсистемой водоемов-охладителей, можно вызвать развитие таких процессов, явлений и эффектов в природной подсистеме, которые невозможно представить, либо на их преодоление потребуются значительные затраты трудовых и материальных ресурсов.

Поэтому можно считать, что водоемы-охладители являются объектами, управляемыми лишь частично. Непосредственно и полностью возможно управлять лишь запасами воды, а экосистемой и геосистемой водоемов-охладителей – лишь частично и косвенно.

Водоемам-охладителям свойственна особая система внутри водоемных процессов: гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических,

неидентичных тем, которые наблюдаются в естественных водных объектах.

Под воздействием тепловых сбросов в водоемах-охладителях возникают активные гидродинамические зоны транзитного потока, т.е. направленного движения теплой и холодной воды, образуются водоворотные зоны циркуляции. Наличие такой сложной гидродинамической структуры определяет многие важные для водоемов-охладителей особенности: формирование и движение водных масс; термический, газовый и биогенный режимы; перемещение и осаждение минеральных и органических взвесей; процессы самоочищения воды, а также условия обитания флоры и фауны.

**Анализ и результаты исследований**

Основным назначением водоемов-охладителей тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций является обеспечение охлаждения тепловой воды, поступающей от конденсаторов турбин, до температур, не превышающих технологические пределы. Водоемы-охладители энергетических объектов работают преимущественно в стационарном режиме без значительных колебаний уровней воды.

Охлаждающая способность водоемов-охладителей и, соответственно, их гидротермический режим формируется под воздействием природных “неуправляемых” факторов (морфологических, метеорологических, гидрологических) и технологических “управляемых” факторов (удельной тепловой нагрузки, компоновки гидротехнических сооружений и их конструктивных параметров) (рис. 1).

Основным показателем, определяющим степень использования водоемов-охладителей является площадь акватории, приходящаяся на 1кВт установленной мощности ( $m^2/kBt$ ). Площадь акватории водоема по данным эксплуатации электростанций изменяется в довольно широких пределах от 4,2 ( $m^2/kBt$ ) до 30,0 ( $m^2/kBt$ ) [2].

Как показала практика, увеличение площади акватории водоема-охладителя вызывает увеличение потерь воды на испарение и фильтрацию; затрат на компенсацию за затопление земель, а охлаждающий эффект, при этом, растет до определенного предела. Поэтому в проектных расчетах площади акватории

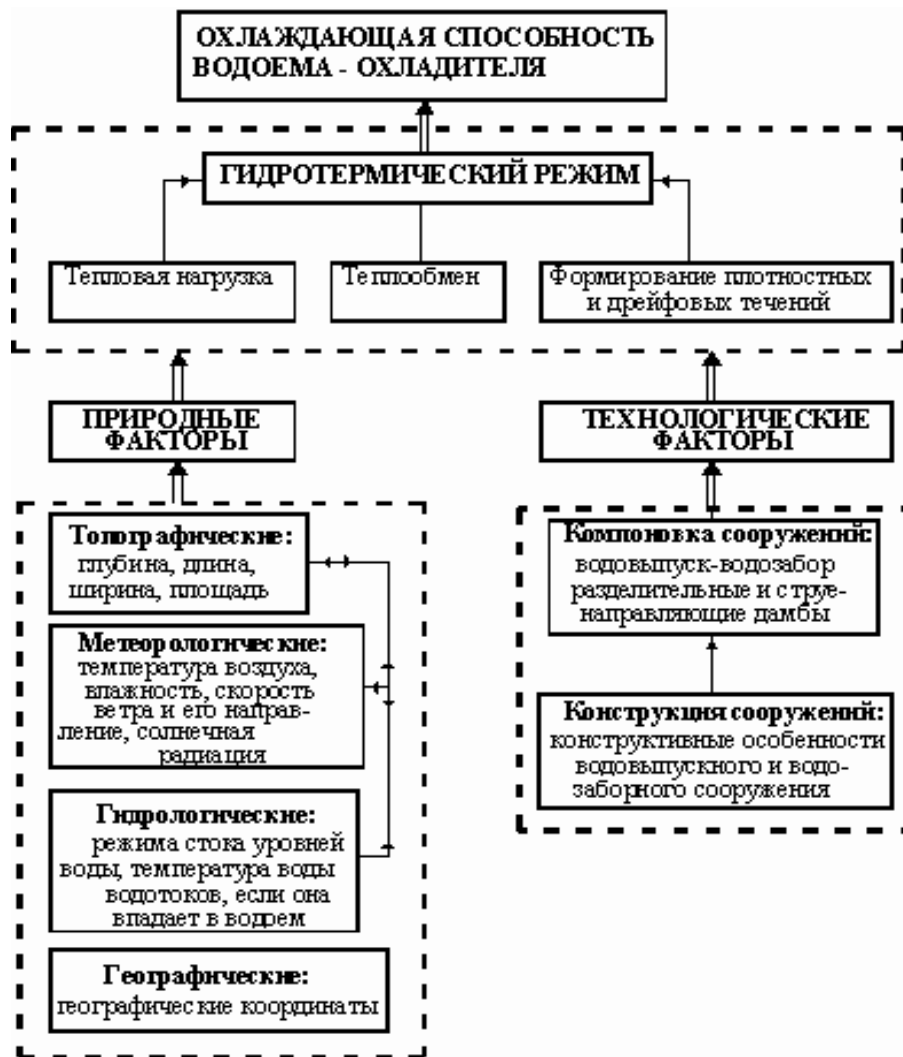


Рис. 1. Блок-схема воздействия основных факторов на эффективность охлаждения воды в водоемах-охладителях ТЭС и АЭС

водоема-охладителя следует обосновывать индивидуально для каждого объекта. По эксплуатационному опыту ТЭС и АЭС, целесообразно принимать активную удельную площадь поверхности водоема-охладителя на 1 кВт установленной мощности, равной 4 – 6  $m^2$ .

При выборе места расположения водоема-охладителя учитываются: заданная мощность электростанции и возможность ее дальнейшего расширения как на базе водоема-охладителя, так и с использованием других охладителей; водные ресурсы источника технического водоснабжения; морфометрические и геологические условия работы строительства; совокупность всех условий, определяющих возможность размещения всего комплекса сооружений электростанции в данном районе; схему технического водоснабжения и соответствующую компоновку гидротехнических сооружений.

Данные по водоемам-охладителям тепловых и атомных электростанций, построенных в период 1955 – 1985гг. приведены в табл. 1.

Существенное влияние на технико-экономические показатели работы тепловых и атомных электростанций также оказывает качество воды в водоемах – охладителях.

дителях, от которого зависит чистота поверхностей теплообменной аппаратуры а, следовательно, теплообмен и вакуум в конденсаторах турбин и, в конечном итоге, выработка электроэнергии.

тур забираемой воды с одновременным соблюдением допустимых экологических норм.

Достижение этих целей обеспечивается путем проектирования водоемов-охладителей с соблюдением

Таблица 1

Данные по водоемам-охладителям тепловых и атомных электростанций

Наименование электростанции	Средняя глубина водоема, м	Площадь зеркала водоема на 1кВт установленной мощности, м <sup>2</sup> /кВт	Доля затрат от промышленного строительства на год ввода на полную мощность, %	
			на водоем и его сооружения*	на др. сооружения технического водоснабжения
Тепловые электростанции				
Беловская	4,6	11,3	-	-
Березовская	4,2	5,6	6,3	12,2
Бурштынская	7,5	5,3	4,8	3,2
Верхнетагильская	4,2	5,1	1,2	7,2
Добротворская	3,68	10,0	7,1	11,6
Змиевская	5,85	5,2	2,2	3,0
Заинская	4,0	8,9	6,8	11,3
Кармановская	3,3	30,0	8,1	6,6
Кураховская	4,0	9,5	0,68	8,2
Литовская	7,2	10,5	7,6	5,3
Лукомльская	6,7	15,3	0,6	3,3
Мироновская	4,3	9,5	6,6	10,0
Молдовская	3,2	17,1	4,71	3,1
Рефтинская	5,4	23,0	3,6	4,8
Ставропольская	7,3	7,5	Существ. водоем	5,5
Старобешевская	4,9	6,0	2,1	7,0
Сургутская	3,8	9,5	3,7	5,6
Троицкая	4,1	7,2	4,5	3,9
Углегорская	10,7	4,2	5,1	5,3
Черепетская	4,48	5,5	3,29	5,8
Щекинская	2,0	5,8	2,8	3,1
Южно-Уральская	4,1	18,2	6,4	8,4
Экибастузская	4,6	4,7	1,0	3,4
Атомные электростанции				
Южно-Украинская (1-я очередь)	10,0	5,7	3,34	3,86
Запорожская (1-я очередь)	4,7	6,0	2,82	3,07
Смоленская (1-я и 2-я очереди)	4,0	10,0	2,7	4,4
Курская (3-я очередь)	5,5	4,5	3,7	2,1

\* К затратам по сооружениям водоемов отнесены затраты на строительство плотин, водосбросов, струнаправляющих дамб, крепление берегов, а также на подготовку чаши, отселение и компенсацию за затопление земель.

В водоемах-охладителях, в результате воздействия на них тепловых нагрузок, имеют место следующие особенности: температурная стратификация воды (плотностное расслоение), обусловленная непостоянством температур воды по глубине; изменение условий существования флоры и фауны водоема – увеличение содержания биогенных элементов, что при определенных условиях может способствовать повышению трофности водоема.

Основным критерием при проектировании систем охлаждения циркуляционной воды в водоемах-охладителях является обеспечение минимальных темпера-

основных требований технологического проектирования [3, 4]:

1. Площадь акватории водоема-охладителя должна быть достаточной для осуществления процесса охлаждения теплой воды, сбрасываемой от конденсаторов турбин, до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям, предъявляемых к водоемам-охладителям соответствующего назначения.

2. Максимально-допустимые температуры охлажденной воды принимаются исходя из характеристик установленного турбинного оборудования в соответствии с нормами технологического проектирования ТЭС [3, 4].

3. Водоем-охладитель должен обеспечивать получение воды необходимого качества и количества с учетом роста норм водопотребления и перспективного развития энергетического объекта.

4. Объем водоема-охладителя должен позволять производить отбор воды без нарушения сложившейся экологической среды.

Эффективность охлаждения воды в водоеме-охладителе, а, следовательно, и его гидротермический режим, напрямую зависит от схемы организации движения потока, которая должна обеспечивать наиболее низкие температуры охлажденной воды при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах. В водоеме-охладителе, исходя из условий максимального и равномерного рассеивания теплоты, необходимо поддержание устойчивой температурной (плотностной) стратификации потока при минимальных скоростях движения теплой воды и наиболее длительном времени ее охлаждения.

В настоящее время существуют три основные схемы использования водоемов-охладителей, которые определяют организацию движения потока по акватории: *транзитная*, *круговоротная* (без учета стратификации в водоеме) и *объемная* (с учетом стратификации в водоеме) [2].

Как уже отмечалось, конфигурация водоема-охладителя влияет на компоновку водовыпускных и водозаборных сооружений, что в свою очередь и определяет виды транзитной схемы. Рассмотрим схемы этих компоновок.

1. При *вытянутой конфигурации* водоема-охладителя ( $V/L < 0,2$ ) сброс теплой воды от конденсаторов турбин осуществляется в одном конце водоема, обычно в более мелководном, а забор охлажденной воды – в противоположном, в наиболее глубоководной его части (Кураховская ТЭС, Сургутская ТЭС, Мироновская ТЭЦ, Щекинская ТЭС, Череповецкая ТЭС).

В случае расположения промплощадки в средней части водоема-охладителя сброс теплой воды может осуществляться в обе стороны от промплощадки, а забор охлажденной воды из нижних слоев в этом случае желательно осуществлять в районе промплощадки, если позволяют глубины водоема (Старобешевская ТЭС, Добротворская ТЭС, Заинская ТЭС, Троицкая ТЭС).

Существенным недостатком транзитной схемы является необходимость строительства длинных сбросных каналов. Кроме того, такая компоновка вызывает необходимость строительства дополнительных сооружений (мостов, промежуточных сбросов), что, в свою очередь, приводит к значительному удорожанию строительства.

2. Если водоем-охладитель *вытянутый и широкий* ( $0,2 < V/L < 0,5$ ), тогда возможно расположение водосбросных и водозаборных сооружений в непосредственной близости к району промплощадки. Сооружения в этом случае разделяют разделительными или струенаправляющими дамбами. В зависимости от конкретных условий, в этой схеме может быть односторонний или двухсторонний выпуск воды. Данная схема расположения водосбросных и водозаборных сооружений позволяет значительно сократить длину сбросных каналов. (Змиевская ТЭС, Криворожская ТЭС, Луганская ТЭС, Крымская АЭС (проект)).

3. При *конфигурации водоема-охладителя близкой к кругу* ( $0,5 < V/L < 1,0$ ) целесообразно сброс теплой

воды от конденсаторов турбин направить по касательной к береговой линии, а забор охлажденной воды осуществлять из центральной части водоема (круговоротная схема). Циркуляция водного потока в водоеме-охладителе в этом случае происходит по спирали с центром вращения в районе водозаборного сооружения и имеет устойчивый характер [5].

Впервые организация потока по круговоротной схеме была применена на наливном водоеме-охладителе №3 Луганской ТЭС. Расположение водозаборного сооружения в центральной части водоема в сочетании с тангенциальным направлением сброса теплой воды, позволило вовлечь в круговоротное движение всю массу воды водоема. Модельные и натурные исследования данной схемы организации движения потока показали, что активная площадь охлаждающей воды при центральном водозаборе на 29% больше, чем при береговом водозаборе, а температура охлажденной воды на 2°C ниже [5].

4. *Объемная схема циркуляции потока* в водоеме-охладителе основывается на явлении температурной (плотностной) стратификации потока. Сброс теплой воды в этом случае осуществляется в районе промплощадки в верхний теплый слой (эпилимнион) водоема с минимальными скоростями, а забор охлажденной воды выполняется из придонного холодного слоя (гиполимниона). При этом в районе водовыпуска образуется наиболее устойчивая плотностная стратификация с максимальным градиентом температур, а это позволяет расположить водозаборные сооружения вблизи водовыпуска или совмещение этих сооружений в один узел (Экибастузская ТЭС). Такая компоновка ведет к значительной экономии капитальных затрат. Объемная схема циркуляции потока была применена на водоемах-охладителях Углегорской ТЭС, на Экибастузской ТЭС-1 и Южно-Украинской АЭС.

Модельные и натурные исследования, проведенные на эксплуатируемых объектах, показали, что организация движения потока по объемной схеме позволяет наиболее эффективно использовать площадь водоема-охладителя для охлаждения воды. Кроме того, данная схема применима при любой конфигурации водоема-охладителя.

Водоемы-охладители тепловых и атомных электростанций, используемые для систем технического водоснабжения, классифицируются по ряду факторов [2].

**В зависимости от базы, на которой создаются водоемы-охладители.**

#### 1. Водоемы-охладители на реках.

Водоемы-охладители на реках обычно создаются на относительно небольших реках путем устройства водоподпорных сооружений. В этом случае, кроме своего прямого назначения, водоемы-охладители служат и для регулирования стока, часть которого используется для восполнения потерь в системе охлаждения и других технологических циклах ТЭС и АЭС (Старобешевская ТЭС на реке Кальмиус).

Необходимость строительства подпорных сооружений, помимо обычных для систем охлаждения сооружений, приводит к значительному усложнению таких систем, а также ведет к их значительному удорожанию. Кроме того, при этом происходит затопление земель и нередко ценных, что ведет к нарушению



гидрологических, гидрогеологических, экологических и других условий.

Водоемы-охладители на реках создают разомкнутую систему охлаждения, требующую соблюдения правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, в том числе и по температуре.

### 2. Водоемы-охладители на естественных озерах.

Для целей охлаждения технической воды используются малопродуктивные пресные, а иногда и соленые озера. Преимущество таких систем состоит в том, что для их создания не требуется (или почти не требуется) отчуждение новых земельных площадей, также не создаются новые водные испаряющиеся поверхности, влияющие на экологическое равновесие данного района (Змиевская ТЭС, Экибастузская ТЭС-1).

### 3. Наливные водоемы-охладители.

Наливные водоемы-охладители создаются вне водотоков путем возведения по всему контуру водоема или его части ограждающей плотины. Под затопление, как правило, используются малоценные или бросовые земли, естественные понижения рельефа, выработанные карьеры, затопленные поймы и др. Наполняются и подпитываются такие водоемы-охладители из водных источников.

Характерной особенностью наливных водоемов-охладителей является то, что при проектировании им можно придать такую форму в плане, которая обеспечит наиболее полное использование площади акватории водоема для охлаждения воды. Кроме того, практически все гидротехнические сооружения, в том числе водовыпускные и водозаборные сооружения, могут быть построены "насухо", то есть до заполнения водоема-охладителя (Углегорская ТЭС, Криворожская ТЭС, Южно-Украинская АЭС).

### 4. Отсечные водоемы-охладители

Отсечные водоемы-охладители создаются на мелководных акваториях больших водохранилищ комплексного назначения путем отсечения части их акватории ограждающими дамбами (Запорожская АЭС). Использование части акватории для водоема-охладителя позволяет исключить тепловое загрязнение водохранилища комплексного назначения и поддержать в отсечном водоеме оптимальный уровень, с точки зрения расхода электроэнергии на подачу воды, не зависящий от режима сработки большого водохранилища. Преимущество отсечных водоемов-охладителей заключается также в том, что для их создания используются земли уже выведенные из хозяйственного оборота. Водоемы-охладители такого типа могут с успехом создаваться в таких местах, где существуют крупные водохранилища комплексного назначения.

**В зависимости от конфигурации и морфометрических особенностей** (ширины (В) и длины (L) водоемов-охладителей [6])

1. *Водоем-охладитель вытянутый, узкий* -  $V/L < 0,2$ .

2. *Водоем-охладитель вытянутый, широкий* -  $0,2 V/L < 0,5$ .

3. *Водоем-охладитель круглой формы или формы близкой к кругу* -  $0,5 V/L < 1,0$ .

Конфигурация водоемов-охладителей влияет на выбор места расположения водовыпускных и водозаборных сооружений и на их конструктивные особенности.

Сброс подогретых вод в водоемы-охладители может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на их естественные режимы.

В зависимости от системы технического водоснабжения ТЭС (АЭС) (оборотная, прямоточная, смешанная), типа и параметра водоема (формы, глубина, проточность) в водоемах-охладителях создаются своеобразные термические условия, сказывающиеся на биологическом режиме и, следовательно, на технических и санитарных качествах воды.

Институтом гидробиологии АН Украины были выполнены комплексные исследования водоемов-охладителей ТЭС южной зоны Украины, которые показали следующие результаты.

Слабый подогрев водоема (на 0,5-3°C) вызывает существенные сдвиги в развитии флоры и фауны водоемов только на участках, расположенных вблизи сброса подогретых вод.

Сильный подогрев вызывает существенные сдвиги в гидробиологическом режиме на большой акватории.

В результате круглогодичного сброса теплых вод повышается среднегодовая за вегетационный период температура воды, удлиняется вегетационный период, сглаживаются сезонные ритмы в жизни водоема.

Реакция растительных и животных группировок на повышение температуры воды неодинакова в разные сезоны года. В летнее время высокие температуры (до 28-30°C) оказывают стимулирующее воздействие только на отдельные группы организмов. Большинство представителей планктофауны испытывает угнетение при кратковременных температурах выше 28-29°C, а данного населения – при длительном воздействии температур выше 25°C.

На основании комплексных исследований теплового и гидробиологического режимов водоемов-охладителей ТЭС и АЭС [7], последние классифицируются на три группы **по показателям среднегодовых температур, максимальным показателям перегрева воды и удельной тепловой нагрузки и изменениям в гидробиологическом режиме** (табл. 2).

#### 1. Водоемы-охладители с минимальным подогревом

Удельная тепловая нагрузка в летние месяцы находится в пределах 1 – 2 ккал/м<sup>2</sup>сут. Превышение средней температуры над естественной в жаркую декаду составляет 0,5 – 3°C. Градиент температур при этом соответствует установленной санитарной норме (Кураховская ТЭС, Криворожская ТЭС).

#### 2. Водоемы-охладители с умеренным подогревом

Удельная тепловая нагрузка в летние месяцы находится в пределах 3 – 4 ккал/м<sup>2</sup>сут. Превышение средней температуры над естественной в жаркую декаду составляет 4 – 6°C (Луганская ТЭС, Змиевская ТЭС). Нагрев в 1,5 – 2 раза превышает допустимую санитарную норму.

#### 3. Водоемы-охладители с сильным подогревом

Удельная тепловая нагрузка в летние месяцы находится в пределах 5 – 6 ккал/м<sup>2</sup>сут. Превышение средней температуры над естественной в жаркую декаду составляет более 6°C. Нагрев в 3 раза и более превышает допустимую санитарную норму (Зуевская ТЭС, Старобешевская ТЭС).

Допустимый нагрев воды, который не сказывается отрицательно на видовом разнообразии и количественном развитии большинства видов лимнофилов в водоеме-охладителе, не должен превышать 28°C на поверхности и 25°C у дна водоема. Эти показатели лежат в пределах установленных санитарных норм.

где  $F_a$  - активная площадь водоема-охладителя,  $m^2$ , определяется по зависимости:

$$F_a = K_{ЭФ} F_n \tag{2}$$

$F_n$  - полная площадь акватории водоема-охладителя,  $m^2$ ;

Таблица 2

Классификация водоемов-охладителей от степени нагрева воды

Степень нагрева воды в водоеме-охладителе	Тепловая нагрузка в теплый период года, Вт/м <sup>2</sup>	Повышение температуры воды в водоеме-охладителе по сравн. с естественной в наиболее жаркую декаду, °C	Изменение режима водоема-охладителя, вызванные нагревом воды
Слабая	50 – 100	0,5 – 1,5	Гидрохимический и гидробиологический режимы изменены незначительно, удлинение вегетационного периода вызывает интенсификацию развития планктона
Умеренная	150 – 200	5,0 – 6,0	Количество биомассы возрастает в несколько раз
Значительная	250 – 300	6,0	Заметно снижается биологическая продуктивность; усугубляется при сбросе в водоем плохо очищенных сточных вод

Классификация водоемов-охладителей в зависимости от морфометрических параметров (основным из которых является глубина) на основании [6] представляется не совсем приемлемой ввиду того, что не учитывается совместное действие параметров водоема (глубины и тепловой нагрузки). Поэтому, физически более обоснованным следует считать деление водоемов-охладителей на глубоководные и мелководные по “числу стратификации” ( $P$ ) [8, 9], выражающего отношение толщины поверхностного слоя подогретой воды к глубине водоема (табл. 3).

Таблица 3

Классификация водоемов-охладителей по “числу стратификации” ( $P$ )

Типы водоемов-охладителей	Характеристика водоема-охладителя	Значение числа $P$
Глубоководный	Водоем с четко выраженным стратифицированным расслоением потоков, глубина которого мало изменяется	$P < 0,3$
Мелководный с частичным перемешиванием	Поверхностный (теплый) слой выражен нечетко; наблюдается вертикальный температурный градиент по всей глубине	$0,3 P < 1,0$
Полностью перемешанный по вертикали	Вертикальная стратификация отсутствует; имеется только горизонтальный температурный градиент	$P > 1,0$

Таким образом, при проектировании водоемов-охладителей необходимо учитывать весь спектр факторов, возникающих в их экосистеме при тепловых нагрузках.

Тепловые нагрузки, при тепловых сбросах в водоем-охладитель, определяются из соотношения:

$$Q_t = \frac{N_T}{F_a}, \tag{1}$$

$K_{ЭФ}$  - коэффициент эффективности использования водоема-охладителя (табл. 4);

$N_T$  - мощность теплового сброса в водоем-охладитель, Вт;

$$N_t = r N_э \tag{3}$$

$r$  - отношение мощности теплового сброса ( $N_t$ ) в водоем-охладитель к электрической мощности АЭС ( $N_э$ ); для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000 величина коэффициента принята равной  $r = 2,1$  [10]

$$r = \frac{1}{\eta} - 1 \tag{4}$$

$\eta$  - коэффициент полезного действия АЭС в самый жаркий летний месяц с учетом отвода тепла на собственные нужды и теплофикацию.

Водоемы-охладители, используемые в системах оборотного водоснабжения АЭС, подразделяются на две основные категории [10]:

- *I категория* – естественные озера и водоемы на малых реках.

Тепловые нагрузки на эти водоемы-охладители регулируются санитарно-гигиеническими и экологическими требованиями.

- *II категория* – водоемы-охладители наливного типа.

Учитывая целесообразность комплексного использования таких водоемов, необходимо регулирование тепловых нагрузок на них, исходя из оптимальных энерго-экономических показателей эксплуатации АЭС с учетом санитарно-гигиенических и экологических требований.

Практика показала, что водоемы-охладители являются наиболее эффективными охладителями воды, так как обладают техническими и экономическими преимуществами по сравнению с другими охладителями. Однако, гидравлические и гидротермические процессы, происходящие в водоемах-охладителях, относятся к весьма сложным вопросам гидромеханики и теории тепло- и массообмена.

Таблица 4

Значения коэффициента эффективности использования водоемов-охладителей ( $K_{ЭФ}$ )

№ п/п	Конфигурация водоема-охладителя и схема расположения водовыпускных и водозаборных сооружений	Значения коэффициента эффективности $K_{ЭФ}$	
		при благоприятном направлении ветра	при неблагоприятном направлении ветра
1	<b>Вытянутый, узкий (<math>V/L &lt; 0,2</math>)</b> -с продольным движением потока. Водовыпуск и водозабор расположены в противоположных концах водоема.	0,8	0,7
	-с продольным движением потока в одной части водоема и тупиковой в другой его части. Водовыпуск и водозабор расположены так, что транзитная зона занимает часть площади водоема.	0,7	0,5
	-с продольным движением потока. Водовыпуски расположены в противоположных концах водоема, а водозабор – в средней его части.	0,8	0,7
2	<b>Вытянутый, широкий (<math>0,2 &lt; V/L &lt; 0,5</math>)</b> -с продольным движением потока. Водовыпуск и водозабор расположены в противоположных концах водоема.	0,7	0,6
	-с продольным или круговым движением потока в одной части и тупиковой зоны в другой. Водовыпуск (или водозабор) расположен в средней части водоема.	0,6	0,5
	-с продольным движением потока. Водовыпуски расположены в противоположных концах водоема, а водозабор – в средней его части.	0,65	0,5
3	<b>Водоем округлой формы (<math>0,5 &lt; V/L &lt; 1,0</math>)</b> -с поперечным движением потока. Водовыпуск и водозабор расположены на противоположных берегах водоема.	0,75	0,55
	-с круговым движением потока, формируемым струенаправляющими дамбами или сооружениями. Водовыпуск и водозабор прилегают к АЭС.	0,85	0,70
	-с круговым движением потока и тупиковыми зонами. Водовыпуск и водозабор расположены вблизи АЭС.	0,8	0,6
4	<b>Искусственные наливные водоемы (<math>0,2 &lt; V/L &lt; 0,5</math>)</b> -вытянутое широкое с продольным движением потока. Водовыпуск и водозабор расположены в противоположных концах водоема.	0,8	0,7

Как уже отмечалось, гидротермический режим водоема-охладителя, а соответственно и степень охлаждения потока, зависят от целого ряда факторов, тесно взаимосвязанных между собой (см. рис.). Так, например, рост мощности электростанции сопровождается повышением расхода или температуры циркуляционной воды, в результате чего увеличиваются теплотери, обусловленные конвекцией и испарением, но меняется и картина течения как следствие ветрового воздействия. Кроме того, к изменению гидротермического режима водоема-охладителя и ухудшению его охлаждающей способности, приводят конструктивные нарушения гидротехнических сооружений при эксплуатации, если они не ликвидируются своевременно.

Трудно однозначно определить влияние каждого параметра на гидротермический режим, а строгое теоретическое рассмотрение столь сложных процессов пока не представляется возможным. Применяемые в настоящее время расчетные методы оценки охлажда-

ющей способности водоемов-охладителей не охватывают всего многообразия факторов и базируются на целом ряде предположений и допущений.

Традиционная методика исследования гидротермического режима водоемов-охладителей на крупномасштабных физических моделях для использования в условиях энергокомплексов также не позволяет получить всей картины процессов, происходящих в водоеме ввиду невозможности учета всех воздействующих факторов и нестационарности процессов.

---

### Выводы

---

Из сказанного выше следует, что оценить целесообразность и правомерность принятых решений в отношении всех аспектов, касающихся условий эффективной работы водоема-охладителя, позволяет анализ и сопоставление результатов натурных, модельных исследований и расчетных методов.

---

### Литература

1. Авакян, А.Б. Водохранилища [Текст] / А.Б. Авакян, В.П. Салтанкин, В.А. Шарпов. – М. : Мысль, 1987. – 323 с.
2. Водохранилища и водоградительные сооружения ГАЭС, ТЭС и АЭС [Текст] / под ред. Т.П. Доценко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 191 с.
3. Нормы технологического проектирования тепловых электростанций [Текст] : ВНТП-81. – М. : МЭ и Э СССР, 1981.

4. Правила технологического проектирования атомных станций (с реакторами ВВЭР) [Текст] : РД 210.006-90. – М. : Минатом Э и пром. СССР, 1990.
5. Шеренков, И.А. Результаты натурных и модельных исследований водохранилищ-охладителей Луганской ГРЭС [Текст] : Труды коор. совещ. по гидротехнике, вып. 32. “Модельные и натурные исследования водохранилищ-охладителей” / И.А. Шеренков, А.И. Семьян ; ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Л. : Энергия, 1967. – С. 235 – 245.
6. Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС [Текст] / П 33-75. – Л. : ВНИИГ, 1976. – 54 с.
7. Кафтаникова, О.Г. Проблемы гидробиологии и альгологии [Текст]. Итоги изучения влияния сбросных подогретых вод теплоэлектростанций на биологический режим их водоемов-охладителей (в пределах Украины) / О.Г. Кафтаникова. – К. : Наукова думка, 1978. – С. 198 – 212.
8. Jirka G.H., Watanabe B., Octavio C.F., Harleman D.R.F. Mathematikal predictive models for cooling ponds and lakes. Part A: Model development and design consideration. Ralph M. Parsons Lab. For Water Res. And Hydrodyn – Rep. №238, MIT, Cambridge, 1978. – 109 p.
9. Макаров, И.И. Моделирование гидротермических процессов водохранилищ-охладителей ТЭС и АЭС [Текст] / И.И. Макаров, А.С. Соколов, С.Г. Шульман. – Л. : Энергоиздат, 1986.
10. Забабурин, И.А. Регулирование потоков у водозаборных сооружений [Текст] / И.А. Забабурин. – Х. : Высшая школа, 1982. – 144 с.

*В роботі запропоновано використання нового методу побудови високоякісної системи автоматичного регулювання в системах кондиціонування та вентиляції повітря. Метод полягає у використанні адаптивного нечіткого регулятора*

*Ключові слова: адаптивний нечіткий регулятор, САР кондиціонування та вентиляції повітря*

*В работе предложено использование нового метода построения высококачественной системы автоматического регулирования в системах кондиционирования и вентиляции воздуха. В системе используется адаптивный нечеткий регулятор*

*Ключевые слова: адаптивный нечеткий регулятор, САР кондиционирования и вентиляции воздуха*

*A new method of high-class system structure of automatic control of air conditioning and ventilation systems is offered in this project. The controller with adaptive fuzzy logic is used in this system*

*Keywords: controller with adaptive fuzzy logic, control system of air conditioning and ventilation systems*

УДК 621.311:681.5

## АДАПТИВНЕ НЕЧІТКЕ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ

**А. П. Мовчан**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: 050-382-76-96

**Е. М. Голуб\***

Контактний тел.: 096-136-84-52  
E-mail: eduard.golub@gmail.com

\*Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

### 1. Постановка задачі

Дослідження, про які піде річ в статті, відносяться до області енергозберігаючих технологій і обладнання. На сьогоднішній день економія енергоресурсів і підвищення ефективності виробництва є одним із найпріоритетніших напрямків розвитку. Вирішенню цієї проблеми в значній мірі допомагає підвищення якості регулювання технологічних процесів в реальних умовах експлуатації.

Технологічні об'єкти регулювання характеризуються значними зв'язками між окремими елементами, великою кількістю зовнішніх і внутрішніх

збурень, частина з яких недоступна для контролю, і високими вимогами до величини припустимих відхилень параметрів від заданих значень. Значна частина відмов роботи технологічного обладнання пов'язана з приладами контролю, системами захисту і регулювання. Основна доля відмов автоматичних систем регулювання (АСР) пов'язана з погіршенням якості регулювання через зміну параметрів у системі. Тому необхідні нові підходи при проектуванні цих систем. Одним з найефективніших засобів підвищення стійкості роботи та якості регулювання автоматичних систем є використання адаптивних регуляторів.