



М. П. Омельченко, Л. Н. Антонова, Д. В. Михайский,  
М. И. Суханов, Л. Н. Омельченко, В. В. Червоний

ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ  
РЕШЕНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ ТЭС И АЭС

Монография

Харьков  
2009

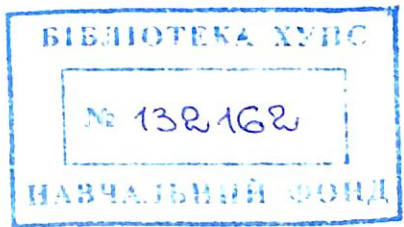
627.8  
В 74

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОЗДУШНЫХ СИЛ  
ИМЕНИ ИВАНА КОЖЕДУБА

М. П. Омельченко, Л. Н. Антонова, Д. В. Михайский,  
М. И. Суханов, Л. Н. Омельченко, В. В. Червоний

ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ  
РЕШЕНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ ТЭС И АЭС

Монография



Харьков  
2009

УДК 627.81:621.175.3

*Рекомендовано к печати ученым советом  
Харьковского университета Воздушных Сил  
имени Ивана Кожедуба  
(протокол № 74 от 10.10.08 г.)*

Рецензенты: *А. В. Русанов* – докт. техн. наук (ИПМаш им. А. Н. Подгорного  
НАН Украины);  
*В. Т. Криворучко* – канд. техн. наук (ХГУС и А)

Вопросы рациональных компоновочных решений гидротехнических сооружений на водоемах-охладителях ТЭС и АЭС: монография / М. П. Омельченко, Л. Н. Антонова, Д. В. Михайский и др. – Х.: ХУПС, 2009. – 204 с.

ISBN 978-966-468-041-4

По материалам многолетних исследований освещается комплекс проблем, связанных с водоемами-охладителями ТЭС и АЭС. Приводятся сведения о водоемах-охладителях эксплуатируемых ТЭС и АЭС, натурные исследования и анализ их работы. Излагаются особенности формирования гидротермического режима “нагруженных” водоемов и факторы, влияющие на их охлаждающую способность.

Рассмотрены рациональные системы водовыпускных и водозаборных сооружений и их оптимальные конструктивные особенности.

Даются прогнозные оценки толщины слоя ветрового перемешивания в водоемах-охладителях.

Предлагаются практические рекомендации по повышению эффективности работы всей системы охлаждения технической воды в водоемах-охладителях, что в свою очередь приводит к повышению мощности ТЭС и АЭС.

Книга рассчитана на научных работников и инженеров, работающих в области исследования и проектирования систем технического водоснабжения и гидротехнических сооружений ТЭС и АЭС.

© Омельченко М. П., Антонова Л. Н.,  
Михайский Д. В., Суханов М. И.,  
Омельченко Л. Н., Червоний В. В., 2009  
© Харьковский университет Воздушных Сил  
имени Ивана Кожедуба, оформлен, 2009

ISBN 978-966-468-041-4

## ВВЕДЕНИЕ

В энергобалансе большинства стран мира объем выработки электроэнергии за счет тепловых и атомных электростанций составляет порядка 70 %.

В Украине более 40 % производства электроэнергии вырабатывается атомными электростанциями. Сводная информация о действующих АЭС Украины приведена в табл. В.1.

Таблица В.1

Наименование АЭС	№ блока	Тип реактора	Установленная мощность, МВт	Дата энергопуска	Дата окончания срока эксплуатации, предусмотренного проектом
Запорожская АЭС	1	ВВЭР-1000/320	1000	10.12.1984	10.12.2014
	2	ВВЭР-1000/320	1000	22.07.1985	22.07.2015
	3	ВВЭР-1000/320	1000	10.12.1986	10.12.2016
	4	ВВЭР-1000/320	1000	18.12.1987	10.12.2017
	5	ВВЭР-1000/320	1000	14.08.1089	14.08.2019
	6	ВВЭР-1000/320	1000	19.10.1995	19.10.2025
Южно-Украинская АЭС	1	ВВЭР-1000/302	1000	31.12.1982	30.12.2012
	2	ВВЭР-1000/338	1000	06.01.1985	06.01.2015
	3	ВВЭР-1000/320	1000	20.09.1989	20.09.2019
Ровенская АЭС	1	ВВЭР-1000/213	415	22.12.1980	22.12.2010
	2	ВВЭР-1000/213	420	22.12.1981	22.12.2011
	3	ВВЭР-1000/320	1000	21.12.1986	21.12.2016
	4	ВВЭР-1000/320	1000	10.10.2004	10.10.2034
Хмельницкая АЭС	1	ВВЭР-1000/320	1000	22.12.1987	21.12.2017
	2	ВВЭР-1000/320	1000	07.08.2004	07.08.2034

Для работы ТЭС и АЭС требуется большое количество воды, которая используется в системах охлаждения турбинного оборудования. На половине ТЭС и АЭС для этого процесса используются водоемы-охладители.

Значительному количеству эксплуатируемым, а в настоящее время реконструируемым и расширяющимся ТЭС и АЭС, принадлежит исключительно ответственная роль в энергетическом обеспечении экономики страны. Они обуславливают важное значение всех тех аспектов, которые определяют эффективную и надежную работу гидротехнических сооружений, входящих в системы технического водоснабжения на водоемах-охладителях.

Практика показала, что водоемы-охладители являются эффективными охладителями технической воды, термальный режим которых определяется географическими, топографическими, морфометрическими, климатическими и технологическими факторами. Активная удельная площадь поверхности водоема-охладителя, по эксплуатационному опыту ТЭС и АЭС, составляет 4...6 м<sup>2</sup>/кВт, а на каждые 1 000 МВт установленной мощности используется расход  $Q = 35 - 52 \text{ м}^3/\text{с}$ . Например, водоемы-охладители Южно-Украинской и Запорожской АЭС построены из расчета 6 м<sup>2</sup> площади зеркала водоема на 1 кВт установленной мощности.

На водоемах-охладителях под воздействием тепловых нагрузок наблюдаются стратифицированные течения с плотностным расслоением потоков, учет и организация которых позволяет достигнуть наиболее эффективного использования водоема-охладителя.

Системы технического водоснабжения ТЭС и АЭС могут быть прямоточными и оборотными. С течением времени объемы применения тех или иных систем изменялись в прямой зависимости от мощностей электростанций (табл. В.2) [2].

Таблица В.2

Годы	Суммарная мощность всех ТЭС и АЭС, млн кВт·ч	Мощность установленных турбин, МВт	Мощность крупнейших ТЭС и АЭС, тыс. кВт·ч	Потребляемые расходы одной ТЭС или АЭС, м <sup>3</sup> /с	Соотношение применяемых систем охлаждения, %		
					Прямоточные	Оборотные с водоемами-охладителями	Оборотные с градирнями
До 1950	16,3	12 - 30	50 - 150	2 - 7	70	20	10
1950 - 1955	31,2	50 - 100	300 - 400	12 - 16	60	30	10
1955 - 1960	51,9	100 - 150	600 - 800	25 - 35	50	38	12
1960 - 1965	92,8	200 - 300	1 000 - 1 500	38 - 50	45	40	15
1965 - 1970	140,5	200 - 300	1 800 - 2 400	65 - 90	40	43	17
1970 - 1975	172,0	500 - 800	2 400 - 3 000	90 - 130	35	45	20
1975 - 1980	200,0	800 - 1 000	3 600 - 6 400	130 - 340	25	52	23

При проектировании электростанций стремятся максимально снизить их воздействие на окружающую среду. Повышение эффективности энерге-

тического объекта достигается за счет увеличения градиента температур теплоносителя (воды) на входе и выходе конденсаторов турбин. Повышение температуры теплоносителя на входе в конденсаторы турбин в теплый период года (уменьшение градиента температур) на 1 °С для ТЭС и АЭС мощностью 4 млн кВт вызывает перерасход условного топлива примерно на  $25 \times 10^3$  т/год или приводит к потере мощности на 0,5 %.

Температура охлаждающей воды (теплоносителя) на входе в конденсаторы турбин непосредственно влияет на температуру отработанного пара в конденсаторе, что сказывается на изменении глубины вакуума в конденсаторе (табл. В.3).

Таблица В.3

Температура отработанного пара, °С	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 – 35
Увеличение глубины вакуума, %, при понижении температуры отработанного пара (охлаждающей воды) на 1 °С	0,11 – 0,14	0,15 – 0,14	0,19 – 0,24	0,24 – 0,30
Температура отработанного пара, °С	35 – 40	40 – 45	45 – 50	50 – 55
Увеличение глубины вакуума, %, при понижении температуры отработанного пара (охлаждающей воды) на 1 °С	0,31 – 0,38	0,39 – 0,47	0,50 – 0,59	0,61 – 0,73

По степени влияния различных процессов, определяющих гидротермический режим водоема в целом, его можно разделить на две зоны: ближнюю и дальнюю. В ближней зоне формирование стратифицированных течений происходит под влиянием процессов перемешивания воды, сбрасываемой от конденсаторов турбин, с водой водоема. В этом случае организацию течений возможно осуществить путем создания определенного гидравлического режима на водовыпускном сооружении. В дальней зоне гидротермический режим формируется, в основном, процессами теплообмена, а характер распределения тепла в этой части водоема в значительной степени зависит от направления и скорости ветра, наличия струенаправляющих дамб, конструкций и места расположения водозаборных сооружений. Следовательно, организация гидротермического режима в водоеме-охладителе в целом

осуществляется технологическими факторами путем рационального выбора места размещения электростанции, конструкциями и составом гидротехнических сооружений, а также регулированием режима работы станции.

В данной работе освещено современное состояние энергетики Украины, приведены проектные разработки водовыпускных и водозаборных сооружений, их компоновочные и конструктивные решения на водоемах-охладителях ТЭС и АЭС.

По материалам многолетних исследований освещается комплекс проблем, связанных с водоемами-охладителями. Излагаются особенности формирования их гидротермического режима и факторы, влияющие на охлаждающую способность водоема.

Приведены теоретические исследования турбулентности в слое ветрового перемешивания, дана прогнозная оценка толщины слоя ветрового перемешивания в водоемах-охладителях.

Рассмотрены рациональные системы водовыпускных и водозаборных сооружений оптимальных конструкций совмещенного типа и установлена зависимость формирования гидротермического режима водоема-охладителя от их конструктивных параметров.

Приведены данные многолетних натуральных гидротермических исследований, выполненных на водоемах-охладителях эксплуатируемых ТЭС и АЭС, дан анализ их работы и практические рекомендации по повышению эффективности работы всей системы охлаждения технической воды.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>ГЛАВА 1. Развитие энергетики Украины</b> .....	7
1.1. Электрическая энергия.....	7
1.1.1. Структура потребления и производства электрической энергии.....	8
1.1.2. Характеристика современного состояния и развитие тепловых электростанций.....	14
1.1.3. Загрязнение окружающей среды.....	18
1.1.4. Характеристика современного состояния и развитие гидроэлектростанций.....	19
1.1.5. Характеристика современного состояния и развитие электрических сетей.....	20
1.1.6. Оптовый рынок электрической энергии.....	26
1.2. Тепловая энергия.....	30
1.2.1. Характеристика современного состояния и развития системы теплового обеспечения.....	31
1.2.2. Характеристика современного состояния и развития тепловых сетей.....	35
1.3. Цены и ценообразование.....	36
1.4. Выводы.....	39
<b>ГЛАВА 2. Водоемы-охладители ТЭС и АЭС</b> .....	41
2.1. Назначение и особенности условий работы водоемов-охладителей.....	41
2.2. Типы водоемов-охладителей.....	45
<b>ГЛАВА 3. Схемы организации движения потока в водоемах-охладителях</b> .....	50
<b>ГЛАВА 4. Гидротермический режим водоемов-охладителей</b> .....	52
4.1. Условия формирования плотностного расслоения потока с температурной стратификацией в водоемах охладителях.....	52
4.2. Оценка ветрового воздействия на поверхностный слой водоема-охладителя. Глубина залегания термоклина.....	57
4.3. Формирование гидротермического режима в ближней зоне водоема-охладителя. Характерные параметры.....	70
4.4. Формирование гидротермического режима в дальней зоне водоема-охладителя. Характерные параметры.....	75
<b>ГЛАВА 5. Водовыпускные сооружения на водоемах-охладителях</b> .....	77
5.1. Общие технологические требования. Классификация.....	77
5.2. Проектирование водовыпускных сооружений.....	79
5.2.1. Фильтрующие и переливные водовыпускные сооружения...	79
5.2.2. Расчет конструктивных параметров водовыпускного сооружения переливного типа.....	80



5.2.3.	Расчет водовыпускных сооружений типа фильтрующих и фильтрующе-переливных дамб.....	82
5.2.3.1.	Общие параметры.....	82
5.2.3.2.	Расчет фильтрующе-переливного водораспределительного сооружения.....	84
5.2.3.3.	Расчет фильтрующего водораспределительного сооружения.....	86
<b>ГЛАВА 6.</b>	<b>Водозаборные сооружения на водоемах-охладителях....</b>	<b>88</b>
6.1.	Общие технологические требования. Классификация.....	88
6.2.	Проектирование водозаборных сооружений.....	90
6.2.1.	Общие положения.....	90
6.2.2.	Фронтальные глубинные водозаборные сооружения с постоянной высотой водозаборных отверстий.....	92
6.2.3.	Затопленные водоприемники постоянного сечения с переменной высотой водозаборных отверстий. Водоприемники с открытым и закрытым торцом .....	94
<b>ГЛАВА 7.</b>	<b>Водозаборно-водовыпускные сооружения совмещенного типа на водоемах-охладителях.....</b>	<b>106</b>
7.1.	Общие технологические требования. Классификация.....	106
7.2.	Схематизация процессов теплообмена в зоне совмещенного узла “водовыпуск-водозабор”.....	107
7.3.	Проектные решения водовыпускных и водозаборных сооружений совмещенного типа.....	109
<b>ГЛАВА 8.</b>	<b>Компоновочные решения водозаборных и водовыпускных сооружений на водоемах-охладителях эксплуатируемых ТЭС и АЭС.....</b>	<b>118</b>
8.1.	Общие положения.....	118
8.2.	Состав и компоновка гидротехнических сооружений, их конструктивные решения.....	119
<b>ГЛАВА 9.</b>	<b>Натурные исследования водоемов-охладителей.....</b>	<b>156</b>
9.1.	Назначение натурных исследований.....	156
9.2.	Анализ натурных гидротермических исследований водоемов-охладителей и гидротехнических сооружений эксплуатируемых ТЭС и АЭС.....	159
9.2.1.	Общий анализ работы водоемов-охладителей.....	159
9.2.2.	Анализ работы водоема-охладителя Углегорской ТЭС....	160
9.2.3.	Анализ работы Ташлыкского водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС.....	165
9.2.4.	Анализ работы водоема-охладителя Экибастузской ТЭС-1... Приложение 1. Справочные таблицы.....	172 180
	Приложение 2. Пример гидротермического расчета глубинного водозабора.....	183
	Литература.....	195