РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ»
Департамент научно-технической политики и развития

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ

РД 153-34.2-21.144-2003

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
Санкт-Петербург
2004

gost.e-ecolog.ru

РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ»
Департамент научно-технической политики и развития

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ

РД 153-34.2-21.144-2003

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
Санкт-Петербург
2004

Разработано ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
с участием ОАО «Институт Теплоэлектропроект»

Исполнители *А.С. СОКОЛОВ, И.И. МАКАРОВ* (ВНИИГ)
В.И. КРАВЕЦ, З.Р. ФИЛИППОВА (ТЭП)

Согласовано с Департаментом электрических станций
РАО «ЕЭС России»

Заместитель начальника *В.А. КУЗНЕЦОВ*

Утвержден Департаментом научно-технической политики и развития
РАО «ЕЭС России» 24.01.2003 г.

Заместитель начальника *А.В. БОБЫЛЕВ*

Срок первой проверки настоящего РД – 2009 г.
Периодичность проверки – один раз в 5 лет

Ключевые слова: водоем-охладитель, тепловая нагрузка, температурный режим, циркуляционная вода, водовыпуск ТЭС, водозабор ТЭС, температурная стратификация, струераспределительное сооружение, струенаправляющее сооружение, показатель эффективности схемы использования

© ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2004

УДК 621.175.3:627.81

Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей	РД 153-34.2-21.144 - 2003 Взамен П-33-75/ВНИИГ

Дата введения 2005 - 03 - 01

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Область применения

Настоящие Методические указания предназначены для проведения технологических расчетов водоемов-охладителей при обосновании инвестиций и на начальных стадиях проектирования водоемов-охладителей, а также при изменении режима работы тепловых электростанций.

Методические указания распространяются на полностью нагруженные водоемы-охладители (удельная тепловая нагрузка выше 150 Вт/м^2), специально предназначенные для охлаждения циркуляционной воды в оборотных системах технического водоснабжения ТЭС.

Окончательное обоснование схемы использования водоема-охладителя, конструкций и параметров водовыпусков и водозаборов ТЭС, струераспределительных и струенаправляющих сооружений должно выполняться на основе математического или физического моделирования гидротермических процессов в водоеме-охладителе. При обосновании мероприятий, направленных на повышение охлаждающей способности существующих водоемов-охладителей, целесообразно проведение натурных исследований.

Издание официальное

Настоящий РД не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения организации-разработчика.

1.2. Принятая терминология

Водоем-охладитель – водный объект искусственного или естественного происхождения, предназначенный для охлаждения циркуляционной воды в системе технического водоснабжения ТЭС.

Циркуляционная вода – вода, охлаждаемая в водоеме-охладителе и используемая для конденсации пара в конденсаторах турбин ТЭС.

Циркуляционный расход – расход циркуляционной воды.

Удельная тепловая нагрузка водоема-охладителя – количество тепла, которое поступает в водоем-охладитель вследствие выпуска и забора циркуляционной воды ТЭС в единицу времени, отнесенное к единице свободной поверхности водоема-охладителя.

Температурный перепад водоема-охладителя – разность между температурами воды на водовыпуске и водозаборе ТЭС, принимаемая равной температурному перепаду на конденсаторах турбин.

Схема использования водоема-охладителя – компоновка гидротехнических сооружений (водовыпусков и водозаборов ТЭС, струенаправляющих дамб и др.), обеспечивающих работу водоема-охладителя.

Водовыпускное сооружение (водовыпуск ТЭС) – гидротехническое сооружение, предназначенное для выпуска нагретой на ТЭС циркуляционной воды и располагаемое в месте сопряжения отводящего канала ТЭС с водоемом-охладителем.

Водозаборное сооружение (водозабор ТЭС) – гидротехническое сооружение, предназначенное для отбора охлажденной циркуляционной воды из водоема-охладителя.

Глубинный селективный водозабор – гидротехническое сооружение, предназначенное для отбора холодной воды из нижних слоев водоема-охладителя при наличии вертикальной температурной стратификации.

Подводящий канал – гидротехническое сооружение, служащее для подвода охлажденной циркуляционной воды от водоема-охладителя к насосным станциям ТЭС.

Отводящий канал – гидротехническое сооружение, служащее для отвода подогретой циркуляционной воды от ТЭС к водоему-охладителю.

Струераспределительное сооружение – гидротехническое сооружение, предназначенное для обеспечения равномерного растекания выпускаемой циркуляционной воды по площади водоема-охладителя.

Струенаправляющее сооружение – гидротехническое сооружение, предназначенное для обеспечения желаемого направления движения воды.

Транзитный поток (транзитная струя) – поток, направленный от водовыпуска к водозабору ТЭС.

Зона циркуляции – акватория водоема-охладителя, занятая транзитным потоком и смежными водоворотами.

Застойная зона – часть водоема-охладителя вне области, занятой транзитным потоком и смежными с ним водоворотами, характеризующаяся малыми скоростями течения и малым обменом тепла с транзитным потоком.

Стратифицированный поток – поток воды с вертикальной температурной стратификацией.

Поверхностный поток – верхняя, наиболее теплая часть стратифицированного потока.

Донный поток – нижняя, наиболее холодная часть стратифицированного потока.

Двухслойная температурная стратификация – распределение температуры по глубине водоема-охладителя, характеризующееся наличием двух явно выраженных слоев, имеющих различную температуру.

Поверхность раздела – условная поверхность, разграничивающая слои с различной температурой при двухслойной температурной стратификации.

Критическое положение поверхности раздела – предельное положение поверхности раздела, при котором в отверстие глубинного селективного водозабора еще не поступает вода из верхнего слоя.

Кривая падения температуры в поверхностном слое – зависимость $T_i = f(\Omega_i / \Omega)$, где Ω – площадь части свободной поверхности водоема-охладителя с температурой воды, превышающей значение T_i; Ω – полная площадь свободной поверхности водоема-охладителя.

Естественная температура – температура воды в водоеме-охладителе при отсутствии теплового сброса ТЭС.

Равновесная температура – условная температура воды в водоеме-охладителе при отсутствии теплового сброса ТЭС, которая рассчитывается исходя из постоянства метеорологических факторов.

Параметр стратификации – показатель, предназначенный для оценки вертикальной температурной стратификации в водоеме-охладителе.

Параметр распределения температуры – показатель эффективности схемы использования водоема-охладителя, отражающий снижение температуры охлажденной циркуляционной воды относительно среднего температурного уровня в водоеме.

Коэффициент использования – показатель эффективности схемы использования водоема-охладителя, полученный на основе сравнения процесса охлаждения в реальном водоеме-охладителе и условном прямоугольном водоеме с плоскопараллельным течением.

Активная площадь водоема-охладителя – площадь условного прямоугольного водоема с плоскопараллельным течением, обеспечивающего при прочих равных условиях ту же температуру охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС, что и рассматриваемый реальный водоем-охладитель.

1.3. Условные обозначения

В настоящих Методических указаниях приняты следующие условные обозначения:

Ω – площадь свободной поверхности водоема-охладителя, м^2;

$\Omega_{акт}$ – активная площадь водоема-охладителя, м^2;

H – средняя глубина водоема-охладителя, м;

V – объем воды в водоеме-охладителе, м^3;

B – средняя ширина водоема-охладителя (с учетом струенаправляющих сооружений), м;

$L = \dfrac{\Omega}{B}$ – длина водоема-охладителя, м;

ρ – плотность воды, кг/м^3;

c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С);

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

Q – циркуляционный расход, м^3/с;

$\omega_{уд} = \Omega/Q$ – удельная площадь свободной поверхности водоема-охладителя, с/м или сут/м;

$\omega_{уд\,акт} = \Omega_{акт}/Q$ – удельная активная площадь водоема-охладителя, с/м или сут/м;

$S_{уд} = c\rho Q\Delta T/\Omega$ – удельная тепловая нагрузка водоема-охладителя, Вт/м^2;

$Q_{пр}$ – присоединенный расход воды, м^3/с;

T_s – средняя по свободной поверхности (среднеповерхностная) температура водоема-охладителя, °С;

T_v – средняя по объему воды (среднеобъемная) температура водоема-охладителя, °С;

$T_{вып}$ – температура воды на водовыпуске ТЭС, °С;

$T_{заб}$ – температура воды на водозаборе ТЭС, °С;

ΔT – температурный перепад водоема-охладителя, °С;

T_e – естественная температура воды, °С;

T_p – равновесная температура, °С;

T_a – температура воздуха, °С;

$k = T_s/T_v$ – коэффициент неравномерности распределения температуры воды по глубине;

e – абсолютная влажность воздуха, Па;

e_m – максимальная упругость водяного пара при температуре поверхности воды, Па;

W_2 – скорость ветра на высоте 2 м над свободной поверхностью водоема-охладителя, м/с;

$W_ф$ – скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

$h_ф$ – высота флюгера;

n – общая облачность, баллы или доли единицы;

R – радиационный баланс, Вт/м²;

α_e – коэффициент теплоотдачи испарением, Вт/(м²·Па);

α_c – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·°С);

α_Σ – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

P – параметр стратификации;

$\eta = \dfrac{Q + Q_{пр}}{Q}$ – коэффициент разбавления на водовыпуске ($Q_{пр}$ – присоединенный расход воды нижнего слоя);

$П_T$ – параметр распределения температуры;

$K_{исп}$ – коэффициент использования водоема-охладителя;

φ – северная широта, град;

λ – восточная долгота, град.

1.4. Показатели эффективности схемы использования водоема-охладителя

Для оценки температуры охлажденной циркуляционной воды на основе решения уравнения теплового баланса рекомендуется применять один из двух показателей эффективности схемы использования водоема-охладителя – параметр распределения температуры $П_T$ или коэффициент использования $K_{исп}$.

При существенных изменениях условий теплообмена водоема-охладителя с атмосферой следует использовать параметр $П_T$, который отражает снижение температуры охлажденной циркуляционной воды относительно среднего температурного уровня в водоеме-охладителе и определяется формулой

$$\Pi_T = \frac{T - T_{заб}}{\Delta T} \qquad (1.1)$$

Коэффициент использования $K_{исп}$ вводится исходя из сопоставления рассматриваемого реального водоема-охладителя и эквивалентного ему по охлаждающей способности (т.е. обеспечивающего при прочих равных условиях ту же температуру охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС) условного прямоугольного водоема с плоскопараллельным течением.

Коэффициент использования определяется отношением площадей условного и реального водоемов

$$K_{исп} = \frac{\Omega_{акт}}{\Omega} . \qquad (1.2)$$

Показатели эффективности схемы использования водоема-охладителя могут быть определены путем математического или физического моделирования гидротермических процессов, по данным натурных исследований, а при отсутствии результатов моделирования и натурных исследований – по аналогам.

2. ТЕРМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

2.1. Формирование температурной стратификации. Параметр стратификации

При выпуске подогретой циркуляционной воды ТЭС в водоемы-охладители возникают сложные пространственные течения с образованием компактных струй и водоворотных областей (рис. 1). Как правило, в нижних слоях водоема-охладителя возникает движение охлажденной воды в сторону водовыпускного сооружения, вблизи которого происходит ее перемешивание с выпускаемой водой. Интенсивность этого перемешивания существенно зависит от гидравлических условий на водовыпуске ТЭС. При выпуске подогретой воды узким фронтом с большой скоростью (рис. 1,*а*) происходит интенсивное перемешивание на небольшом начальном участке. При расширении фронта выпуска и снижении скорости (рис. 1,*б*) интенсивность перемешивания уменьшается.

Одной из характеристик водоема-охладителя, позволяющих оценить эффективность охлаждения, является кривая падения температуры воды в поверхностном слое. На рис. 1,*в* представлен вид этой кривой при различном выпуске подогретой циркуляционной воды. Более эффективное охлаждение обеспечивает выпуск в верхний слой водоема-охладителя широким фронтом с небольшой скоростью, а наиболее выгодной термической структурой водоема-охладителя является двухслойная вертикальная температурная стратификация.

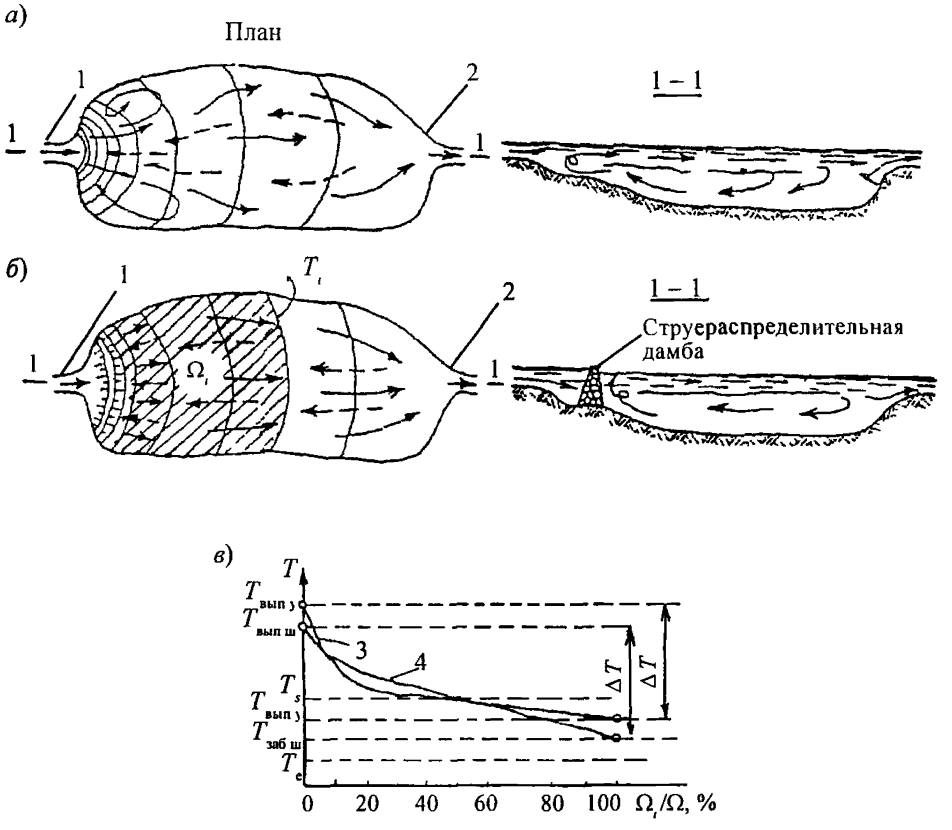

Рис 1 Гидротермические процессы в водоеме-охладителе

а – узкий водовыпуск, *б* – широкий водовыпуск, *в* – изменение температуры поверхности воды, *1* – водовыпуск ТЭС, *2* – водозабор ТЭС, *3* – кривая падения температуры воды при узком водовыпуске, *4* – кривая падения температуры воды при широком водовыпуске

Степень вертикальной температурной стратификации в водоеме-охладителе оценивается параметром стратификации

$$P = \frac{h_1}{H} = \left(\frac{fQ^2\eta^3 L}{4\beta\Delta T g H^4 B^2} \right)^{1/4}, \qquad (2.1)$$

где h_1 – толщина верхнего слоя при штиле; L, B, H – длина, ширина и средняя глубина водоема-охладителя соответственно; f – коэффициент трения на поверхности раздела слоев, принимаемый равным 0,01; Q – циркуляционный расход; η – коэффициент разбавления на водовыпуске; β – коэффициент температурного расширения воды, принимаемый равным $3{,}02 \cdot 10^{-4}\,(°C)^{-1}$; ΔT – температурный перепад водоема-охладителя, принимаемый равным температурному перепаду на конденсаторах турбин; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент разбавления η в формуле (2.1) определяется следующим образом:

$$\eta = \begin{cases} 1 & \text{при} \quad \mathrm{Fr}' < 1; \\ 1{,}2\,\mathrm{Fr}' - 0{,}2 & \text{при} \quad \mathrm{Fr}' \geq 1, \end{cases} \qquad (2.2)$$

где Fr' – плотностное число Фруда, рассчитываемое по формуле

$$\mathrm{Fr}' = \frac{v}{\left(\beta\Delta T g (h_0 b_0)^{1/2}\right)^{1/2}}; \qquad (2.3)$$

v – скорость воды на водовыпуске; h_0 – глубина водовыпускного канала в месте его сопряжения с водоемом-охладителем; b_0 – половина ширины выпускаемой струи*.

При ветровом воздействии происходит дополнительное заглубление поверхности раздела по сравнению со штилем, которое рассчитывается по формуле

$$\Delta h_{\text{вет}} = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \frac{H W_2^2}{g \dfrac{\Delta\rho}{\rho_2}} \ \text{(м)}, \qquad (2.4)$$

где H – глубина водоема, м; W_2 – скорость ветра на высоте 2 м над водоемом, м/с; $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ – разность между плотностью нижнего слоя,

* При выпуске циркуляционной воды вдоль боковой границы водоема-охладителя в качестве b_0 принимается полная ширина струи.

принимаемой равной плотности охлажденной циркуляционной воды, и средней плотностью верхнего слоя, соответствующей среднеповерхностной температуре водоема-охладителя, кг/м^3 *.

Окончательно положение поверхности раздела определяется по формуле

$$h_1' = h_1 + \Delta h_{\text{вет}} \qquad (2.5)$$

2.2. Классификация водоемов-охладителей

Водоемы-охладители рекомендуется классифицировать:

по характеру геометрической конфигурации;

по условиям образования вертикальной температурной стратификации;

по особенностям схемы использования;

по условиям забора циркуляционной воды.

Исходя из геометрических параметров, водоемы-охладители подразделяются на вытянутые узкие (B/L < 0,2), вытянутые широкие (0,2 < < B/L < 0,5), правильной или неправильной округлой формы (0,5 < B/L <1,0).

По условиям образования вертикальной температурной стратификации водоемы-охладители подразделяются на глубоководные (вертикально стратифицированные) и мелководные (с полным или частичным перемешиванием по глубине). Соответствующие данной классификации значения параметра стратификации P приведены в табл. 1.

По условиям забора циркуляционной воды водоемы-охладители подразделяются на водоемы с поверхностным и с глубинным водозаборами.

Классификация водоемов-охладителей по характеру геометрической конфигурации и особенностям схемы использования дана в табл. 2, где также приведены типичные значения показателей эффективности схемы использования, которые могут быть применены для приближенной оценки температуры охлажденной циркуляционной воды. При проектировании конкретных объектов показатели $П_T$ и $K_{\text{исп}}$ определяются на основании результатов математического или физического моделирования гидротермических процессов в водоеме-охладителе для различных ветровых условий.

На рис. 2 – 5 приведены примеры схем использования водоемов-охладителей различного типа.

---

* Зависимость плотности воды от температуры приведена в табл. I.2 приложения I.

Таблица 1

Классификация водоемов-охладителей по характеру вертикальной температурной стратификации

Тип водоема-охладителя	Характеристика водоема-охладителя	Значение параметра P
Глубоководный, вертикально стратифицированный	Вертикально стратифицированный водоем с явно выраженным поверхностным слоем, толщина которого мало изменяется по акватории	$P \leq 0{,}3$
Мелководный, частично перемешанный по вертикали	Поверхностный слой выражен нечетко, наблюдаются вертикальные температурные изменения по всей глубине	$0{,}3 < P < 1{,}0$
Мелководный, полностью перемешанный по вертикали	Вертикальная стратификация отсутствует, имеется только горизонтальный температурный градиент	$P \geq 1{,}0$

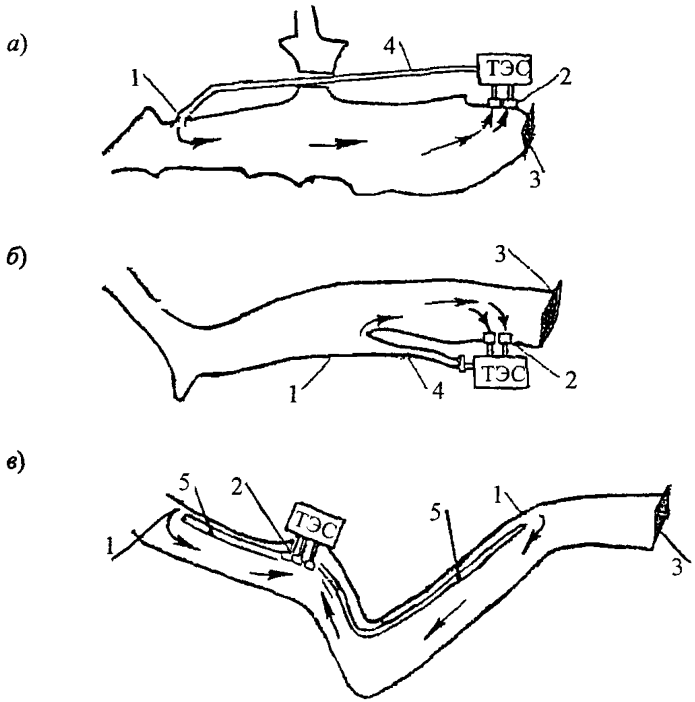

Рис. 2. Схемы использования вытянутых узких водоемов-охладителей (B/L <0,2):
а – тип I.1; *б* – тип I.2; *в* – тип I.3;
1 – водовыпускное сооружение; *2* – водозаборное сооружение; *3* – плотина;
4 – отводящий канал; *5* – струенаправляющее сооружение

Таблица 2

Значения показателей эффективности схемы использования для водоемов-охладителей различного типа

Тип	Форма водоема-охладителя и особенности схемы его использования	При штиле и благоприятных направлениях ветра*		При неблагоприятных направлениях ветра*	
		$П_T$	$K_{исп}$	$П_T$	$K_{исп}$
I	**Вытянутый узкий (B/L <0,2)**				
I.1	С продольным направлением потока. Водовыпуск и водозабор размещены в противоположных концах водоема	0,27	0,82	0,20	0,75
I.2	С продольным направлением потока в одной части водоема и застойной зоной в другой. Водовыпуск и водозабор расположены так, что зона циркуляции занимает только часть площади водоема	0,20	0,75	0,02	0,57
I.3	С продольным направлением потока. Водовыпуски размещены в противоположных концах водоема, а водозабор – в средней его части	0,27	0,82	0,20	0,75
II	**Вытянутые широкие (0,2<B/L<0,5)**				
II.1	С продольным направлением потока по всей длине. Водовыпуск и водозабор размещены в противоположных концах водоема	0,25	0,80	0,12	0,67
II.2	С продольным или круговым направлением потока. Водозабор или водовыпуск расположены в средней части водоема	0,12	0,67	0,05	0,60
II.3	С продольным направлением потока. Водовыпуски расположены в противоположных концах водоема, а водозабор – в средней его части	0,17	0,72	0,05	0,60

Продолжение табл. 2

Тип	Форма водоема-охладителя и особенности схемы его использования	При штиле и благоприятных направлениях ветра*		При неблагоприятных направлениях ветра*	
		$П_Т$	$K_{исп}$	$П_Т$	$K_{исп}$
III	**Правильной или неправильной округлой формы ($0,5 < B/L < 1,0$)**				
III.1	С поперечным направлением потока. Водовыпуск и водозабор размещены на противоположных берегах водоема	0,22	0,77	0,10	0,65
III.2	С круговым направлением потока, формируемым струенаправляющими дамбами. Водовыпуск и водозабор прилегают к ТЭС	0,30	0,85	0,20	0,75
III.3	С круговым направлением потока и застойными зонами. Водовыпуск и водозабор расположены вблизи ТЭС	0,27	0,82	0,12	0,67
IV	**Схема использования водоема-охладителя с глубинным селективным водозабором**				
	Водоем-охладитель любой конфигурации со средней глубиной не менее 5 м. Выпуск подогретой воды осуществляется на мелководный участок или через струераспределительное устройство. Отбор воды осуществляется из нижних слоев водоема глубинным водозаборным сооружением	0,27	0,82	0,20	0,75

* Благоприятное направление ветра – от водозабора против движения транзитного потока, неблагоприятное – к водозабору.

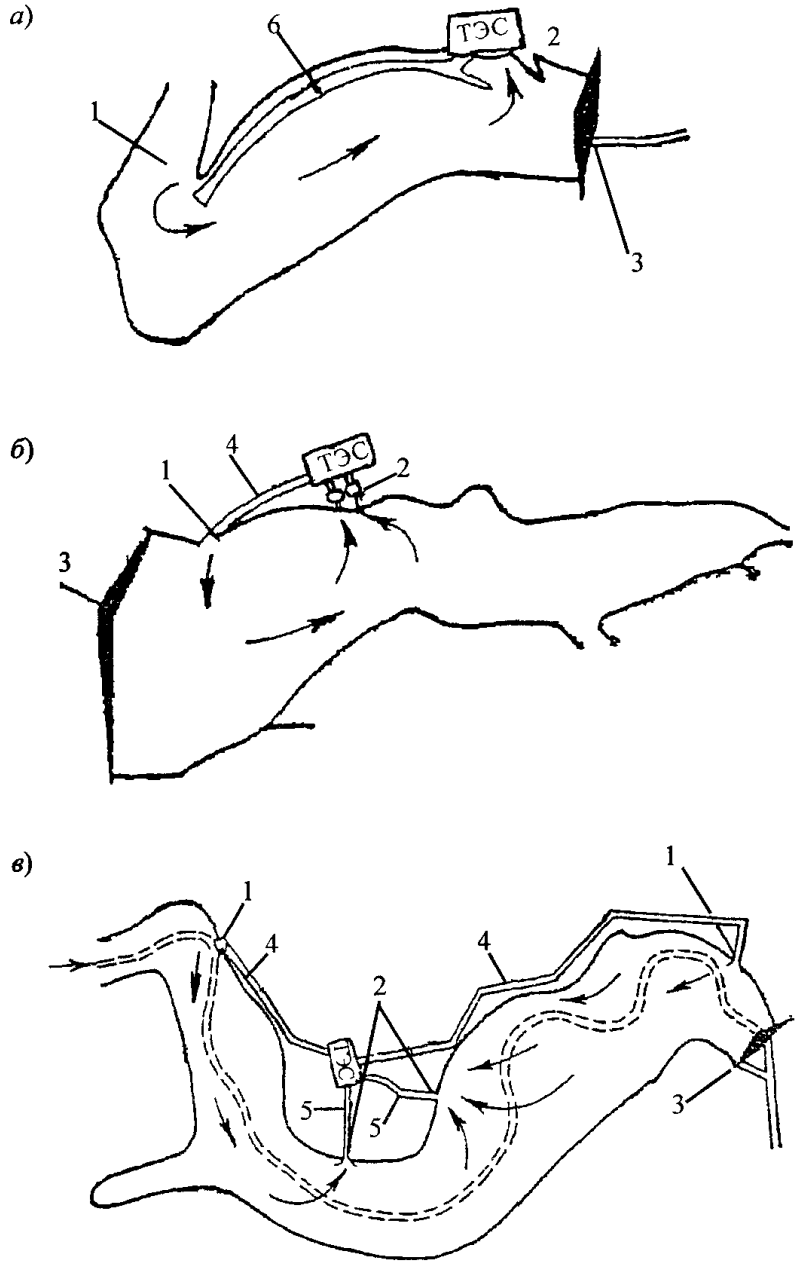

Рис 3 Схемы использования вытянутых широких водоемов-охладителей ($0,2<B/L<0,5$)

а – тип II 1, *б* – тип II 2, *в* – тип II 3,

1 – водовыпускное сооружение, *2* – водозаборное сооружение, *3* – плотина, *4* – отводящий канал, 5 – подводящий канал, *6* – струенаправляющее сооружение

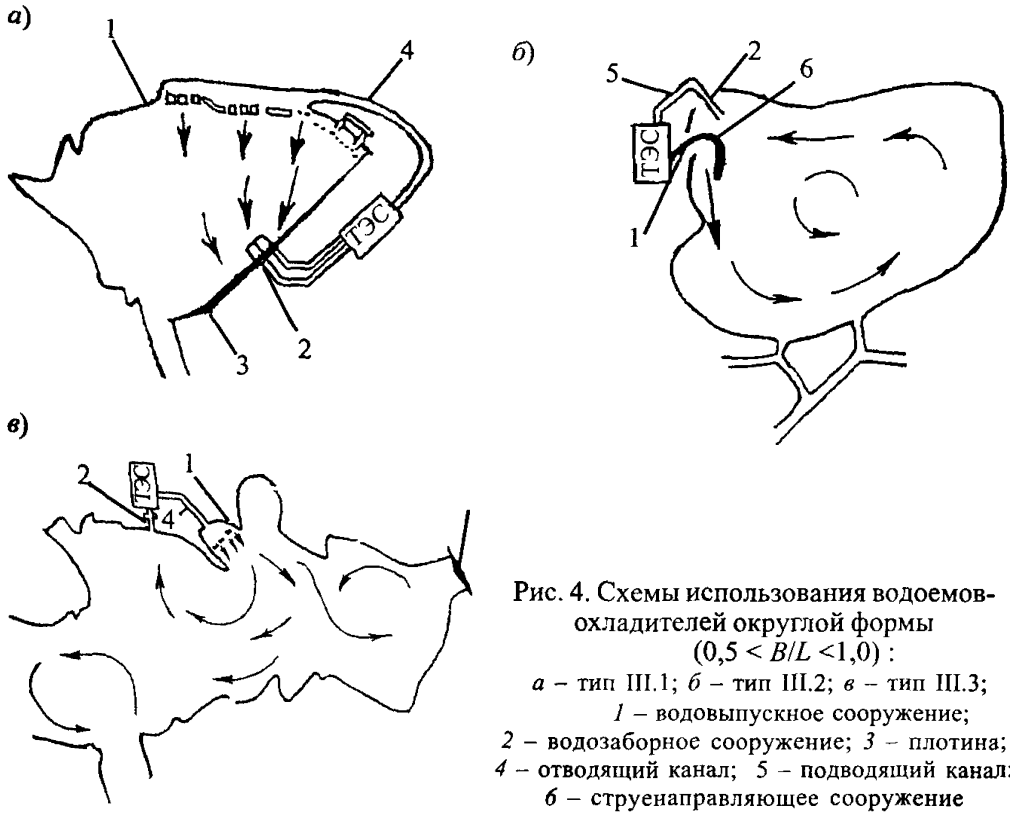

Рис. 4. Схемы использования водоемов-охладителей округлой формы ($0{,}5 < B/L < 1{,}0$) :
а – тип III.1; *б* – тип III.2; *в* – тип III.3;
1 – водовыпускное сооружение;
2 – водозаборное сооружение; *3* – плотина;
4 – отводящий канал; *5* – подводящий канал;
6 – струенаправляющее сооружение



Рис. 5. Схема использования водоема-охладителя с глубинным водозабором (тип IV):
1 – водовыпускное сооружение; *2* – водозаборное сооружение (глубинное); *3* – плотина;
——➔ – направление движения воды в верхнем слое;
– – ➔ – направление движения воды в нижнем слое

3. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Расчеты температурного режима водоемов-охладителей проводятся для решения следующих основных задач:

определение температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе при заданных площади водоема-охладителя и мощности ТЭС;

определение необходимой площади водоема-охладителя при заданной мощности ТЭС с учетом требований к температуре циркуляционной воды;

определение предельной мощности ТЭС при заданной площади водоема-охладителя с учетом требований к температуре циркуляционной воды.

Предельно допустимые температуры охлажденной циркуляционной воды принимаются исходя из характеристик установленного на ТЭС турбинного оборудования в соответствии с нормами технологического проектирования тепловых электростанций.

3.1. Исходные данные для расчета температурного режима водоема-охладителя

Для расчета температурного режима водоема-охладителя должны быть заданы характеристики турбинного оборудования ТЭС – расход циркуляционной воды и температурный перепад на конденсаторах турбин, а также геометрические параметры водоема-охладителя – площадь свободной поверхности и средняя глубина.

Расчет изменения температурного режима в течение года выполняется применительно к среднемесячным метеорологическим условиям, установленным по многолетним наблюдениям, с учетом теплоаккумулирующей способности водоема и графика работы ТЭС.

Для расчета температурного режима водоема-охладителя необходимы следующие метеорологические данные: температура и влажность воздуха, скорость ветра, общая облачность. Значения указанных метеорологических величин принимаются по наблюдениям на ближайшей к водоему-охладителю метеорологической станции.

Среднемесячные значения метеорологических величин для ряда пунктов территории России приведены в табл. I.1 приложения I. Там же указаны рассчитанные для этих пунктов значения равновесной температуры $T_р$.

В расчетах температурного режима водоема-охладителя используются значения скорости ветра на высоте 2 м над водной поверхностью, которые могут быть определены по формуле

$$W_2 = W_\phi \frac{\lg \frac{2}{z_o}}{\lg \frac{h_\phi}{z_o}}, \qquad (3.1)$$

где W_ϕ – скорость ветра на высоте флюгера; h_ϕ – высота флюгера; z_o – параметр шероховатости, принимаемый для водной поверхности равным 0,003 м.

При наличии данных измерений скорости ветра непосредственно в районе расположения водоема-охладителя целесообразно использовать их для введения поправок на данные метеорологической станции.

3.2. Расчет средней температуры водоема-охладителя по уравнению теплового баланса

При расчете средней температуры водоема-охладителя по уравнению теплового баланса необходимо учитывать следующие факторы:

суммарное тепло, поступающее в результате выпуска и забора циркуляционной воды ТЭС;

суммарную (прямую и рассеянную) солнечную радиацию;

эффективное излучение водной поверхности;

теплообмен с атмосферой за счет испарения и конвекции.

При существенном изменении объема воды в водоеме-охладителе (в результате отбора воды на промышленные и сельскохозяйственные нужды, поступления речной воды и др.) в уравнение теплового баланса следует включать составляющие, учитывающие соответствующее изменение теплосодержания.

Расход тепла, связанный с теплоотдачей в грунт ложа водоема, фильтрацией, атмосферными осадками, можно не учитывать ввиду его малости по сравнению с другими составляющими теплового баланса.

Уравнение теплового баланса для расчета неустановившегося температурного режима водоема-охладителя имеет вид:

$$\frac{c\rho H}{k}\frac{dT}{dt} + \alpha_e(e_m - e) + \alpha_c(T_s - T_a) - R - \frac{\Delta S}{\Omega} = 0, \qquad (3.2)$$

где T_s – средняя температура свободной поверхности водоема; t – время; c и ρ – удельная теплоемкость и плотность воды, принимаемые постоянными; ΔS – разность теплосодержаний поступающей в водоем и забираемой из него воды в единицу времени; α_e – коэффициент теплоотдачи испарением; α_c – коэффициент теплоотдачи конвекцией; e_m – максимальная упругость водяных паров при температуре T_s, определяемая по табл. I.3 приложения I; e – абсолютная влажность воздуха; T_a – температура воздуха; R – радиационный баланс (составляющая плотности теплового потока на свободной поверхности, обусловленная радиационным теплообменом и излучением); Ω и H – площадь свободной поверхности и средняя глубина водоема-охладителя; k – коэффициент неравномерности распределения температуры воды по глубине, численно равный отношению средней температуры свободной поверхности к средней по объему воды температуре.

При выпуске и заборе циркуляционной воды ТЭС

$$\Delta S = c\rho Q \Delta T, \tag{3.3}$$

где Q – циркуляционный расход; ΔT – температурный перепад водоема-охладителя, принимаемый равным температурному перепаду на конденсаторах турбин.

Коэффициент k для глубоких водоемов-охладителей с явно выраженной вертикальной температурной стратификацией принимается равным 1,1, для частично перемешанных по глубине – 1,05, для нестратифицированных – 1,0.

Упрощенная запись уравнения теплового баланса с равновесной температурой имеет вид

$$\frac{c\rho H}{k}\frac{dT_s}{dt} + \alpha_\Sigma (T_s - T_p) - \frac{\Delta S}{\Omega} = 0, \tag{3.4}$$

где α_Σ – суммарный коэффициент теплоотдачи; T_p – равновесная температура.

Уравнение теплового баланса в виде (3.2) или (3.4) решается одним из численных методов интегрирования дифференциальных уравнений.

Упрощенная запись уравнения теплового баланса с естественной температурой имеет вид

$$\alpha_\Sigma (T_s - T_e) - \frac{\Delta S}{\Omega} = 0, \tag{3.5}$$

где T_e – естественная температура воды, учитывающая теплоаккумулирующую способность водоема-охладителя в ненагретом состоянии

Применение того или иного вида уравнения для расчета температурного режима водоема-охладителя определяется конкретными условиями поставленной задачи

Максимальные летние температуры воды могут быть определены по уравнению теплового баланса для установившегося режима, записанному в виде

$$\alpha_c (e_m - e) + \alpha_c (T_s - T_a) - R - \frac{\Delta S}{\Omega} = 0 \qquad (3\,6)$$

или в упрощенной форме с равновесной температурой

$$\alpha_\Sigma (T_s - T_p) - \frac{\Delta S}{\Omega} = 0 \qquad (3\,7)$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи для летних месяцев может быть определен по формуле

$$\alpha_\Sigma = 3{,}3 W_2 + 4{,}0 \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{\Omega}}, \quad \text{Вт/(м}^2\ ^\circ\text{C)} \qquad (3\,8)$$

В (3 8) подставляются W_2 в м/с, ΔS в Вт, Ω в м^2

Для определения коэффициентов теплоотдачи испарением и конвекцией могут быть использованы зависимости

$$\alpha_c = 0{,}084\,(1 + 0{,}135\,W_2), \text{ Вт/(м}^2 \text{ Па)}, \qquad (3\,9)$$

$$\alpha_c = 5{,}38\,(1 + 0{,}135 W_2), \text{ Вт/(м}^2\ (^\circ\text{C}))\qquad (3\,10)$$

Радиационный баланс R определяется по формуле

$$R = \Phi_0 [1 - (1 - k_1)\, n]\,(1 - a_p) - I\,(1 - k_2 n^2) -$$

$$- 20{,}77\ 10^{-8} (T_a + 273{,}2)^3 (T_s - T_a), \quad \text{Вт/м}^2, \qquad (3\,11)$$

где Φ_0 – суммарная солнечная радиация при безоблачном небе, определяемая по табл I 4 приложения I, a_p – альбедо поверхности воды, определяемое по табл I 5 приложения I, I – эффективное излучение при безоблачном небе, k_1 и k_2 – коэффициенты, определяемые по табл I 6 – I 7 приложения I, n – общая облачность (в долях единицы)

Эффективное излучение при безоблачном небе определяется по формуле

$$I = (-2{,}889\ 10^{-4} e + 1{,}607) T_a - 1{,}123\ 10^{-2} e - 32{,}46 \log(e/133{,}3) + 107{,}6, \text{ Вт/м}^2 \quad (3\,12)$$

Для оценки составляющих теплообмена с атмосферой допускается использовать другие зависимости, обоснованные применительно к условиям рассматриваемого водоема-охладителя.

3.3. Расчет температуры охлажденной циркуляционной воды с применением показателей эффективности схемы использования водоема-охладителя

При заданном значении параметра Π_T и определенной в соответствии с п. 3.2 средней температурой свободной поверхности водоема-охладителя температура охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС рассчитывается по формуле

$$T_{\text{заб}} = T_s - \Pi_T \Delta T. \tag{3.13}$$

При заданном значении коэффициента использования вначале определяется активная площадь водоема-охладителя

$$\Omega_{\text{акт}} = K_{\text{исп}} \Omega. \tag{3.14}$$

Из уравнения теплового баланса, в котором площадь Ω заменяется на активную площадь $\Omega_{\text{акт}}$, в соответствии с п. 3.2 определяется средняя температура активной площади водоема-охладителя $\overline{T}_{\text{акт}}$, после чего температура охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС для установившегося режима рассчитывается по формуле

$$T_{\text{заб}} = T_{\text{р}} + \frac{\Delta T}{\exp\left(\dfrac{\Delta T}{\overline{T}_{\text{акт}} - T_{\text{р}}}\right) - 1} \tag{3.15}$$

При расчете температурного режима для неустановившихся условий в формулу (3.15) вместо температуры $T_{\text{р}}$ подставляется температура $T_{\text{в}}$.

Приближенная оценка температуры охлажденной циркуляционной воды может быть выполнена с использованием номограммы, приведенной на рис. 6. В этом случае после расчета активной площади водоема-охладителя по формуле (3.14) определяется соответствующая удельная площадь

$$\omega_{\text{уд акт}} = \frac{\Omega_{\text{акт}}}{Q} \tag{3.16}$$

При известных равновесной температуре $T_р$, скорости ветра W_2 и температурном перепаде водоема-охладителя ΔT по номограмме определяется перегрев на водозаборе δT по отношению к температуре $T_р$. Для вычисления температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС используется формула

$$T_{заб} \approx T_р + \delta T . \qquad (3.17)$$

Пример оценки параметров температурного режима водоема-охладителя с помощью номограммы, приведенной на рис. 6, дан в приложении II, а пример расчета неустановившегося температурного режима с учетом аккумуляции тепла – в приложении III.

Максимальные среднесуточные температуры охлажденной циркуляционной воды определяются по отклонению от ее средних значений за теплые декады, которое соответственно принимается равным:

при $H < 3{,}0$ – +3,0 °С;
при $3{,}0 < H < 3{,}5$ – +2,5 °С;
при $3{,}5 < H < 4{,}0$ – +2,0 °С;
при $H > 4{,}0$ – +1,5 °С.

ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ТЭС

4.1. Гидротермические процессы в районе водовыпуска и типы водовыпускных сооружений

В водоеме-охладителе с двухслойной температурной стратификацией ($P \leq 0{,}3$) гидротермический режим на водовыпуске определяется плотностным числом Фруда Fr′

$$Fr' = \frac{v}{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{вып}\right)^{0,5}}, \qquad (4.1)$$

где v – скорость воды на водовыпуске; $h_{вып}$ – глубина воды в месте сопряжения водовыпускного сооружения с водоемом-охладителем; $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ – разность между плотностью воды в нижнем слое, принимаемой равной плотности охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС, и плотностью сбрасываемой подогретой циркуляционной воды; g – ускорение свободного падения.

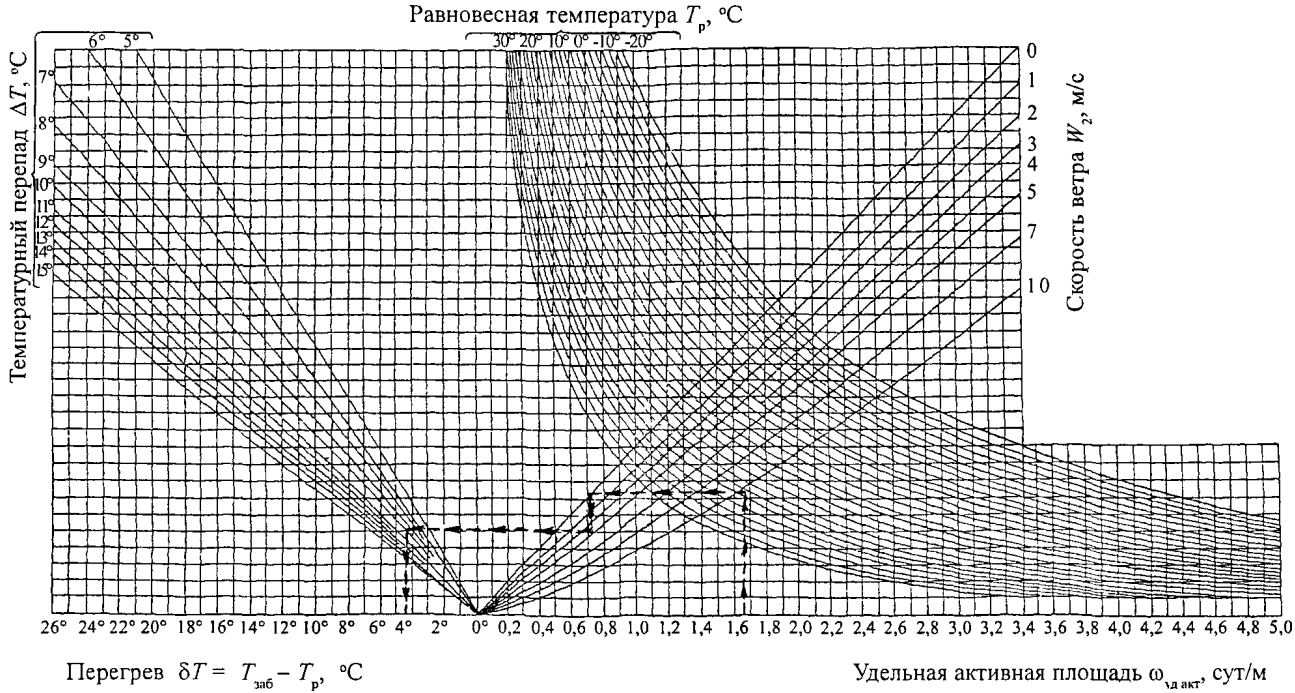

Рис 6. Номограмма для определения температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС

При выпуске подогретой циркуляционной воды в водоем-охладитель открытым каналом могут установиться два различных гидротермических режима.

Первый режим характеризуется тем, что в канал внедряется охлажденная вода нижнего слоя, приобретая форму клина. Благодаря образованию поверхности раздела между слоями, гасящей турбулентные возмущения, удается существенно уменьшить перемешивание подогретой воды с водой нижнего слоя.

При втором режиме внедрение холодной воды в канал не происходит. Сбрасываемая подогретая вода интенсивно перемешивается с окружающей водой на участке акватории водоема-охладителя у водовыпуска.

Критическое значение плотностного числа Фруда, при котором в канал еще не внедряется холодная вода, равно 0,8. Первый режим возникает при $Fr' < 0{,}8$, второй – при $Fr' > 0{,}8$.

С целью обеспечения эффективного охлаждения циркуляционной воды в водоемах-охладителях, рассматриваемых в настоящих Методических указаниях, на водовыпуске должен быть создан первый из указанных гидротермических режимов (с небольшим перемешиванием). Минимально возможное значение коэффициента разбавления обеспечивается при плотностных числах Фруда, меньших 0,5.

Если параметры отводящего канала не позволяют получить на водовыпуске гидротермический режим с минимальным перемешиванием, могут быть применены специальные водовыпускные сооружения:

фильтрующие струераспределительные дамбы, выполненные в виде свободной (или в ряж) отсыпки камня диаметром 30 – 40 см;

дырчатые тонкостенные устройства, выполненные в виде железобетонной стенки или завесы из гибкого материала*;

струераспределительные глухие переливные дамбы с пологим внешним откосом, заложение которого должно быть не более 1:10;

комбинированные сооружения, состоящие из указанных выше элементов.

Эти сооружения обеспечивают минимальное разбавление циркуляционной воды, а также равномерное распределение скоростей по всему фронту водовыпуска.

---

* Дырчатые гибкие завесы проектируются в соответствии с «Руководством по проектированию и расчету струераспределительных устройств из гибких материалов для регулирования температурного режима в водоемах-охладителях» (Новочеркасск. 1988).

4.2. Расчет геометрических параметров водовыпускных сооружений

Ширина отводящего канала и размеры струераспределительных сооружений определяются исходя из условия обеспечения минимального разбавления на водовыпуске (Fr′ = 0,5) При этом плотности подогретой и охлажденной циркуляционной воды принимаются по соответствующим среднемесячным значениям температуры воды для наиболее теплого месяца года

Ширина отводящего канала с равномерным распределением скоростей по всему водовыпускному фронту рассчитывается по формуле

$$B_{\text{вып}} = \frac{Q}{0{,}5h_{\text{к}}\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{\text{к}}\right)^{0{,}5}}, \qquad (4\,2)$$

где Q – циркуляционный расход, $h_{\text{к}}$ – глубина канала в месте его сопряжения с водоемом-охладителем

Длина струераспределительной дамбы с пологим внешним откосом $L_{\text{дпо}}$ рассчитывается по формуле

$$L_{\text{дпо}} = \frac{Q}{0{,}5h_{\text{нб}}\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{\text{нб}}\right)^{0{,}5}}, \qquad (4\,3)$$

где $h_{\text{нб}}$ – глубина нижнего бьефа у дамбы

Принимая коэффициент пористости каменной наброски равным 0,45, длину фильтрующей струераспределительной дамбы $L_{\text{фд}}$ можно определить по формуле

$$L_{\text{фд}} = \frac{Q}{0{,}225h_{\text{но}}\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{\text{нб}}\right)^{0{,}5}}. \qquad (4\,4)$$

Длина дырчатой железобетонной стенки (или завесы из гибкого материала) $L_{\text{жс}}$ рассчитывается по формуле

$$L_{\text{жс}} = \frac{Q}{0{,}5mh_{\text{нб}}\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{\text{нб}}\right)^{0{,}5}}, \qquad (4\,5)$$

где $m = \omega_{отв} / \omega_{общ}$ – коэффициент сквозности стенки, который принимается из условий обеспечения прочности конструкции и равномерности распределения скоростей течения по водовыпускному фронту ($\omega_{отв}$ – площадь отверстий, $\omega_{общ}$ – общая площадь стенки или завесы).

Длина переливной дамбы $L_{пд}$ определяется исходя из условия установления на ее гребне критического режима (Fr′ = 0,8)

$$L_{пд} = \frac{Q}{0{,}8\, h_{гр}\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{гр}\right)^{0{,}5}}, \qquad (4.6)$$

где $h_{гр}$ – глубина воды на гребне дамбы.

Пример расчета параметров водовыпускного сооружения ТЭС приведен в приложении II.

5. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ТЭС

5.1. Типы водозаборных сооружений

На мелководных водоемах-охладителях с частичным или полным перемешиванием по вертикали ($P > 0{,}3$) для отбора охлажденной циркуляционной воды может быть использован поверхностный водозабор: открытый водозаборный канал, ковш, береговой водоприемник (отдельно стоящий или совмещенный с насосной станцией). Перед этими сооружениями устанавливаются запани для предотвращения поступления в водозабор плавающего мусора.

На глубоких стратифицированных водоемах-охладителях ($P \leq 0{,}3$) может применяться глубинный селективный водозабор, позволяющий сократить расстояние между водовыпуском и водозабором без сооружения струенаправляющей дамбы (вплоть до их совмещения).

При глубинном отборе воды обеспечивается лучшее растекание подогретой воды по поверхности водоема-охладителя, уменьшаются суточные колебания температуры воды в районе водозабора, связанные с нагревом солнечной радиацией. Благодаря теплоаккумулирующей способности водоема на водозаборе создается устойчивый температурный режим на длительный период. Кроме того, при глубинном отборе воды отпадает

необходимость борьбы с плавающим мусором. В случае использования водоема-охладителя для рыборазведения глубинный водозабор обеспечивает защиту молоди рыб от попадания в водоприемники насосных станций ТЭС и препятствует ее гибели.

Существуют различные типы глубинных водозаборных сооружений:

водозаборные сооружения типа забральной стенки (стационарные и наплавные);

затопленные галереи, уложенные вдоль ограждающих дамб;

водозаборные сооружения с раструбами и козырьками. установленными перед окнами водоприемника насосной станции или перед входом в галереи с целью уменьшения скоростей течения на входе;

затопленные оголовки с большим водозаборным фронтом;

трубчатые оголовки.

Водозаборные сооружения, обеспечивающие глубинный отбор воды, могут быть стационарными или временными. Они выполняются из различных материалов: стационарные – из железобетона, металла, дерева; временные – из металла, резины, пластмасс, ткани.

Конструкция водозабора для каждого конкретного случая обосновывается с учетом необходимой производительности водозабора, топографических и геологических особенностей, волновых и ледовых явлений, а также условий производства работ.

5.2. Расчет глубинного селективного водозабора

Задачей расчета является определение параметров водозаборного сооружения, обеспечивающих поступление в водозабор холодной воды из нижнего слоя и равномерное распределение скоростей воды по всему водозаборному фронту.

Положение поверхности раздела между верхним и нижним слоями определяется с использованием соотношений (2.1) – (2.2) и принимается постоянным для всего водоема.

Ширина водозаборного отверстия для водозаборных сооружений с развитым водозаборным фронтом (вытянутые в одну линию галереи, забральная стенка, круглые оголовки большого диаметра) определяется по формуле

$$B_{вх} = \frac{1{,}2Q}{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_2} g h_{вх}\right)^{0{,}5} \Delta h}, \qquad (5.1)$$

где Q – циркуляционный расход ТЭС; $\Delta\rho_{вх} = \rho_2 - \rho_1$ – разность плотностей нижнего и верхнего слоев у входа в водозаборное сооружение, принимаемая равной разности плотностей охлажденной и подогретой циркуляционной воды; $h_{вх}$ – высота водозаборного отверстия; Δh – расстояние от верхней кромки водозаборного отверстия до поверхности раздела между верхним и нижним слоями; g – ускорение свободного падения.

Плотности ρ_1 и ρ_2 в (5.1) определяются по соответствующим среднемесячным значениям температуры воды для самого теплого месяца года.

Для галерейных и трубчатых водозаборов равномерное распределение скоростей воды по водозаборному фронту может быть обеспечено путем устройства щели переменной высоты или соответствующего распределения отверстий по длине трубопровода.

При известном распределении давления внутри оголовка и заданном коэффициенте расхода входных отверстий определяются размеры щели или необходимое количество отверстий и их расположение на водозаборном фронте.

Площадь входных отверстий в оголовок определяется по отдельным расчетным участкам при известном осредненном перепаде давления на их входе по формуле

$$\omega_{отв} = \frac{Q_x}{\mu\sqrt{2g\Delta H_{ср}}}, \qquad (5.2)$$

где $\omega_{отв}$ – площадь отверстий на расчетном участке; Q_x – боковой расход воды, присоединяющийся на этом участке; μ – коэффициент расхода отверстий, принимаемый равным 0,62; $\Delta H_{ср}$ – среднее значение напора на входе рассматриваемого участка оголовка.

Пример расчета параметров глубинного водозаборного сооружения приведен в приложении II.

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица I.1

Среднемесячные значения метеорологических величин и равновесной температуры для различных районов Российской Федерации

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	φ =66,5° λ =40,5° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	−12,9	−12,5	−8,0	−0,9	6,0	12,4	15,6	13,6	7,9	1,5	−4,1	−9,5
		e	гПа	2,3	2,4	3,1	4,5	6,4	10,0	12,9	12,4	9,2	6,1	4,3	3,1
		$W_ф$	м/с	3,7	3,7	3,6	3,5	3,8	3,6	3,1	3,1	3,5	3,7	3,9	3,8
		n	баллы	7,2	6,8	6,6	5,8	5,4	4,8	3,9	3,7	4,0	5,5	6,8	7,7
		$T_р$	°С	−16,2	−14,8	−7,9	1,9	10,1	16 ,9	19,5	16,2	8,2	−0,6	−7,2	−12,3
Астрахань	φ =46,0° λ=48,5° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	−6,7	−5,6	0,4	9,9	18,0	22,8	25,3	23,6	17,3	9,6	2,4	−3,2
		e	гПа	3,6	3,7	5,0	7,5	11,3	15,0	17,1	16,2	12,3	8,6	6,3	4,6
		$W_ф$	м/с	4,3	4,4	4,6	4,6	4,3	3,9	3,4	3,4	3,5	3,8	4,0	4,3
		n	баллы	7,2	6,8	6,6	5,8	5,4	4,8	3,9	3,7	4,0	5,5	6,8	7,7
		$T_р$	°С	−7,6	−5,1	2,4	11,8	19,1	23,5	25,2	23,5	17,3	9,0	1,4	−4,3

Продолжение табл. 1.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Барабинск	φ=55,0° λ=78,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	−20,2	−18,4	−11,9	−0,2	9,8	16,1	18,3	15,8	9,8	1,2	−9,8	−17,7
		e	гПа	1,3	1,4	2,5	5,1	7,5	12,0	15,2	13,1	9,0	5,4	3,0	1,7
		$W_ф$	м/с	5,2	5,3	5,6	5,4	5,3	4,5	3,7	3,8	4,3	5,2	5,7	5,4
		n	баллы	5,8	5,9	6,1	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,4	7,5	7,3	7,0
		$T_р$	°С	−22,8	−19,1	−9,8	3,3	11,8	18,1	20,3	17,1	10,0	0.5	−11,2	−19,9
Баргузин	φ =53,5° λ=109,0° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	−27,8	−23,6	−12,1	−0,1	7,7	15,1	18,2	15,8	8,6	−0,4	−12,9	−22,8
		e	гПа	0,6	0,8	1,7	3,3	5,1	9,7	13,9	12,7	7,8	4,2	1,9	1,0
		$W_ф$	м/с	2,2	2,4	3,8	5,4	5,7	5,3	4,6	4,2	4,1	3,6	3,0	2,3
		n	баллы	5,9	4,9	5,4	6,2	6,2	6,3	6,5	6,1	5,9	6,4	7,2	7,5
		$T_р$	°С	−30,8	−24,3	−10,3	1,9	9,2	16,2	19,3	16,9	8,9	−1,5	−14,9	−25,2
Барнаул	φ=53,5° λ=84,0° $h_ф$ = 15 м	T_a	°С	−17,7	−16,3	−9,5	1,8	11,3	17,4	19,7	17,0	10,8	2,6	−8,2	−15,2
		e	гПа	1,5	1,7	2,7	5,2	7,7	12,3	15,7	13,7	9,4	5,6	3,0	1,9
		$W_ф$	м/с	3,3	3,4	4,0	3,9	4,1	3,5	2,8	2,7	3,1	3,9	4,5	4,0
		n	баллы	6,0	6,0	6,3	6,3	6,1	6,0	6,0	5,8	6,0	7,3	7,4	7,2
		$T_р$	°С	−20,2	−16,7	−7,4	4,9	13,1	19,1	21,4	18,4	11,2	1,7	−9,8	−17,5

Владивосток	φ=43,0° λ=132,0° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	−13,1	−9,8	−2,4	4,8	9,9	13,8	18,5	21,0	16,8	9,7	- 0,3	−9,2
		e	гПа	1,6	2,0	3,5	5,9	9,2	13,8	19,0	21,0	14,8	8,7	4,2	2,2
		$W_ф$	м/с	1,6	3,6	3,2	3,5	3,5	3,5	3,4	3,1	3,0	3,3	3,5	3,4
		n	балл-ы	3,6	3,5	4,9	6,2	7,1	8,2	8,6	7,7	5,8	4,7	4,1	3,3
		$T_р$	°С	−14,4	−8,8	0,1	7,7	13,0	17,0	21,0	22,7	17,7	9,5	−1,8	−11,3
Владимир	φ=56,2° λ=40,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	−11,4	−10,6	−5,1	3,8	11,6	15,8	18,1	16,2	10,4	3,4	−3,1	−8,8
		e	гПа	2,7	2,7	3,6	6,0	8,8	12,6	14,9	14,2	10,4	6,8	4,6	3,4
		$W_ф$	м/с	4,2	3,8	3,9	3,1	3,3	2,9	2,8	2,6	3,0	3,7	3,8	3,9
		n	балл-ы	7,8	7,3	6,8	6,2	6,2	5,6	5,7	5,6	6,6	7,8	8,1	8,3
		$T_р$	°С	−13,2	−11,2	−3,9	6,6	14,0	19,0	20,5	18,3	11,2	2,9	−4,6	−10,4
Волгоград	φ=48,0° λ=44,5° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	−9,1	−7,6	−1,4	10,0	17,0	21,0	23,4	22,0	16,2	7,5	1,4	−4,2
		e	гПа	3,0	3,3	4,8	7,1	9,9	12,8	14,0	12,8	10,2	7,4	6,0	4,4
		$W_ф$	м/с	4,9	4,7	4,4	4,3	4,0	3,9	3,7	3,4	3,6	4,1	4,2	4,3
		n	балл-ы	7,2	6,9	7,0	6,2	5,3	5,1	4,3	4,2	4,7	6,0	7,9	8,5
		$T_р$	°С	−10,2	−7,2	0,5	10,8	17,3	21,0	22,4	20,5	14,9	6,5	0,5	−5,1
Вологда	φ=59,0° λ=40,0° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	−11,8	−11,4	−6,4	2,1	9,5	14,4	16,9	14,7	9,0	2,5	−3,6	−9,2
		e	гПа	2,5	2,5	3,1	5,5	8,2	12,2	14,7	13,8	9,9	6,7	4,4	3,2
		$W_ф$	м/с	5,3	5,2	5,2	4,6	4,7	4,3	3,6	3,5	4,1	4,8	5,2	5,3
		n	балл-ы	8,1	7,5	7,1	6,6	6,7	6,6	6,5	6,6	7,4	8,4	8,5	8,7
		$T_р$	°С	−13,8	−12,4	−5,7	4,6	12,1	17,4	19,4	16,8	9,8	2,2	−5,1	−10,8

Продолжение табл. I.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Воркута	φ=67,5° λ=64,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	−20,3	−20,6	−16,5	−9,0	−2,8	5,8	12,4	9,5	3,8	−5,1	−13,6	−15,7
		e	гПа	1,3	1,2	1,8	2,9	4,3	7,0	10,4	9,6	7,0	4,0	2,3	1,8
		$W_ф$	м/с	6,2	5,9	6,2	5,9	6,0	5,4	4,7	4,5	5,0	5,7	5,8	6,4
		n	баллы	7,6	7,0	6,8	6,8	7,9	7,8	6,7	7,7	8,5	8,7	7,5	7,8
		$T_р$	°С	−23,1	−22,9	−16,0	−5,4	2,6	10,6	15,5	11,8	4,6	−5,8	−16,1	−18,4
Грозный	φ=43,5° λ=45,5° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	−3,5	−2,0	3,0	9,9	16,8	21,0	23,7	23,2	17,8	11,4	4,4	−0,6
		e	гПа	4,6	4,9	6,0	8,8	13,3	16,6	18,9	17,8	14,8	10,4	7,5	5,4
		$W_ф$	м/с	1,4	1,8	2,2	2,5	2,5	2,5	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3
		n	баллы	8,4	7,9	7,7	6,6	6,5	5,6	5,1	4,8	5,6	6,3	8,0	8,1
		$T_р$	°С	−3,7	−1,1	4,7	12,3	18,8	22,7	24,7	23,5	18,5	11,3	4,0	−1,6
Гурьев	φ=47,0° λ=52,0° $h_ф$ = 10 м	T_a	°С	−10,1	−9,1	-2,2	8,9	17,8	23,1	25,5	23,7	16,6	8,1	−0,2	−6,0
		e	гПа	3,0	3,3	4,5	7,1	10,6	13,5	15,5	14,4	10,8	7,4	5,0	3,7
		$W_ф$	м/с	6,3	6,4	6,4	6,0	6,1	5,4	4,8	4,6	4,5	4,9	5,5	5,6
		n	баллы	6,5	6,1	6,1	5,3	4,9	4,2	3,7	3,3	3,6	4,9	5,4	6,6
		$T_р$	°С	−10,9	−8,0	−0,3	10,2	17,6	21,9	23,7	21,9	15,6	7,0	−1,6	−7,5

Екатеринбург	φ=57,0° λ=60,5° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–15,5	–13,6	-6,9	2,7	10,0	15,1	17,2	14,9	9,2	1,2	–6,8	–13,1
		e	гПа	1,8	1,9	2,8	4,9	7,1	10,9	13,7	12,3	8,8	5,3	3,3	2,2
		$W_ф$	м/с	3,5	3,6	3,8	3,7	3,7	3,4	3,0	2,9	3,4	4,0	4,1	3,6
		n	баллы	7,3	6,6	6,7	6,5	6,6	6,7	6,6	6,4	7,2	8,1	7,8	7,5
		$T_р$	°С	–18,6	–15,5	–6,5	4,6	12,0	17,4	19,3	16,3	9,2	0,0	–9,1	–16,1
Иваново	φ=57,0° λ=41,0° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	–11,9	–10,9	–5,1	4,1	11,4	15,8	17,6	15,8	10,1	3,5	–3,1	–8,1
		e	гПа	2,6	2,6	3,6	6,1	9,0	12,4	14,8	13,7	10,2	6,8	4,6	3,4
		$W_ф$	м/с	4,2	4,2	4,2	3,9	3,7	3,4	3,1	3,0	3,5	4,1	4,2	4,5
		n	баллы	7,7	7,2	7,0	6,5	6,4	6,0	6,1	5,8	6,8	8,0	8,4	8,4
		$T_р$	°С	–13,9	–11,7	–4,0	6,5	13,8	18,6	20,0	17,7	10,8	3,0	–4,5	–9,9
Илимск	φ=56,5° λ=103,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–25,4	–22,0	–12,6	–1,6	6,3	14,2	17,6	14,2	6,6	–2,0	–14,8	–23,8
		e	гПа	0,9	1,1	1,8	3,6	5,8	10,8	14,4	12,7	8,0	4,6	1,9	1,1
		$W_ф$	м/с	1,5	1,4	1,9	2,2	2,3	1,7	1,4	1,4	1,5	1,9	1,7	1,6
		n	баллы	6,6	5,8	5,9	6,5	6,8	6,8	6,7	7,4	7,5	7,7	7,3	6,8
		$T_р$	°С	–28,5	–23,1	–11,0	1,8	9,7	17,4	20,2	16,5	7,8	–2,3	–17,0	–26,9
Иркутск	φ=53,5° λ=104,5° $h_ф$ = 16 м	T_a	°С	–20,6	–18,1	–9,4	1,0	8,5	14,8	17,6	15,0	8,2	0,5	–10,4	–18,4
		e	гПа	1,1	1,2	2,3	4,0	6,1	11,2	14,8	13,3	8,4	5,0	2,5	1,5
		$W_ф$	м/с	1,9	2,2	2,7	3,0	3,1	2,5	2,1	2,1	2,2	2,1	1,8	1,1
		n	баллы	6,7	6,0	6,0	6,8	7,1	7,1	7,0	6,9	6,5	6,4	7,2	7,7
		$T_р$	°С	–23,3	–18,9	–7,6	3,6	10,7	17,4	20,0	17,2	9,3	–0,2	–12,3	–20,8

Продолжение табл 1.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Казань	φ=56,0° λ=49,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–13,5	–13,1	–6,5	3,7	12,4	17,0	19,1	17,5	11,2	3,4	–3,8	–10,4
		e	гПа	2,1	2,2	3,4	6,1	8,8	12,3	15,0	13,7	9,9	6,4	4,4	2,8
		$W'_ф$	м/с	4,4	4,2	4,2	3,9	4,0	3,4	3,1	3,2	3,6	4,3	4,4	4,5
		n	баллы	7,3	6,7	6,6	6,1	5,9	5,7	5,9	5,6	6,5	7,8	8,1	7,9
		$T_р$	°С	–15,8	–13,9	–5,1	6,5	14,3	19,1	20,8	18,4	11,3	2,6	–5,2	–12,5
Калининград	φ=55,0° λ=49,0° $h_ф$ = 16 м	T_a	°С	–3,1	–2,5	0,6	6,2	11,6	15,2	17,3	16,7	13,0	7,8	2,9	–0,9
		e	гПа	4,4	4,5	5,2	7,1	9,7	12,9	15,0	14,9	12,3	9,3	7,0	5,5
		$W_ф$	м/с	4,3	4,3	4,2	3,9	3,6	3,5	3,3	3,1	3,2	3,6	4,2	4,2
		n	баллы	7,8	7,7	6,6	6,5	5,9	5,7	6,2	5,9	6,2	7,1	8,2	8,2
		$T_р$	°С	–5,2	–3,3	1,3	8,5	14,6	18,6	19,9	18,7	13,7	7,3	1,6	–2,7
Кострома	φ=58,5° λ=41,5° $h_ф$ = 10 м	T_a	°С	–11,8	–11,1	–5,3	3,2	10,9	15,5	17,8	16,1	10,0	3,2	–2,9	–8,7
		e	гПа	2,5	2,6	3,6	5,8	8,6	12,3	14,9	13,8	10,2	6,7	4,6	3,3
		$W'_ф$	м/с	5,0	4,8	4,9	4,6	4,5	4,0	3,5	3,4	4,1	5,0	5,0	5,1
		n	баллы	8,1	7,6	7,4	6,8	6,8	6,4	6,4	6,1	7,2	8,2	8,5	8,7
		$T_р$	°С	–13,8	–11,9	–4,4	5,4	13,0	18,1	19,9	17,6	10,5	2,6	–4,4	–10,4

Красно-дар	φ=45,0° λ=39,0° $h_ф$ = 10 м	T_a	°С	–1,6	–0,6	4,3	11,3	17,0	20,7	23,3	22,7	17,6	11,4	5,6	1,1
		e	гПа	4,9	5,3	6,2	9,0	12,9	16,1	17,9	17,2	13,4	10,1	8,0	6,1
		$W_ф$	м/с	2,8	3,2	3,5	3,2	2,9	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,5	2,7
		n	балл-лы	7,5	7,5	7,1	6,3	5,8	4,9	3,8	3,9	4,2	5,5	6,9	7,8
		$T_р$	°С	–2,6	–0,1	5,4	13,0	19,0	22,8	24,7	23.3	17,9	11,0	4,7	–0.1
Красно-ярск	φ=56,0° λ=92,5° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	–18,5	–16,0	-7,8	1,7	9,2	16,5	19,6	16,4	9,7	1,6	–9.1	–16.6
		e	гПа	1,3	1,5	2,7	4,5	6,6	11,4	14,6	13,2	9,4	4,9	2,5	1,6
		$W_ф$	м/с	3,5	3,2	3,9	4,6	4,5	3,2	2,3	2,2	2,8	4,1	4,2	3,6
		n	балл-лы	6,4	6,4	6,5	6,6	6,6	6,2	6,2	6,4	6,8	7,7	7,5	6,8
		$T_р$	°С	–21,6	–17,2	–6,6	3,8	11,1	18,3	21,0	17,7	10,3	0,3	–11,3	–19,7
Курган	φ=55,0° λ=65,5° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	–17.7	–16,6	–8,6	4,1	12,6	17,2	19,1	16,3	10,9	2,4	–7,2	–14,3
		e	гПа	1,5	1.6	2,8	5,6	8,1	11,9	14,9	13,2	9,4	5,6	3,3	2,0
		$W_ф$	м/с	4,1	4,3	4,5	4,5	4,6	4,1	3,5	3,4	3,7	4,5	4,5	4,2
		n	балл-лы	6,2	5,6	5,9	5,8	5,9	6,2	6,2	5,9	6,4	7,3	7,1	6,5
		$T_р$	°С	–20,4	–17,4	–7,0	6,4	13,8	18,6	20,5	17,5	10,9	1,4	–9,1	–17,2
Ленск	φ=61,0° λ=116,0° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–30,6	–25,7	–16,7	–4,5	5,2	14,0	17,3	13,6	5,8	- 4,3	–20,7	–29,0
		e	гПа	0,6	0,7	1,3	2,8	5,0	10,0	14,0	11,9	7,2	3,9	1,3	0,6
		$W_ф$	м/с	3,7	2,8	3,0	3,2	3,0	2,8	2,3	2,6	2,6	3,9	3,5	3,4
		n	балл-лы	7,4	6,7	6,4	6,8	6,9	7,0	6,6	6,7	7,4	8,2	7,5	7,5
		$T_р$	°С	–33,5	–27,6	–15,7	–1,5	8,4	16.6	19,7	15,5	6,4	–4,9	–23.0	–32,2

Продолжение табл. I.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Могоча	φ=53,5° λ=119,0° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–30,3	–24,7	–15,1	–2,5	6,4	13,7	17,2	14,1	7,0	–3,8	–19,2	–28,4
		e	гПа	0,5	0,7	1,4	3,1	5,3	10,4	14,3	12,4	7,2	3,4	1,2	0,6
		$W_ф$	м/с	0,9	1,3	2,1	3,1	3,3	2,3	2,0	1,9	2,1	1,7	1,3	1,1
		n	баллы	3,8	3,6	4,6	6,2	6,8	7,0	7,0	6,9	6,6	5,4	4,5	4,4
		$T_р$	°С	–34,0	–25,4	–12,5	0,8	9,1	16,6	19,6	16,3	7,8	–4,5	–22,1	–32,5
Москва	φ=56,0° λ=36,5° $h_ф$ = 26 м	T_a	°С	–10,2	–9,2	–4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	–1,9	–7,3
		e	гПа	2,8	2,9	3,8	6,2	9,0	12,4	14,6	14,0	10,4	7,1	4,9	3,7
		$W_ф$	м/с	3,7	3,9	3,8	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	3,1	3,7	3,8	3,9
		n	баллы	7,9	7,5	7,2	6,7	6,2	6,1	6,2	6,2	6,8	8,0	8,5	8,7
		$T_р$	°С	–12,2	–9,9	–3,1	6,9	14,3	18,8	20,2	18,1	11,4	3,8	–3,3	–8,8
Нижний Новгород	φ=56,5° λ=44,0° $h_ф$ = 14 м	T_a	°С	–11,8	–11,1	–5,0	4,2	12,0	16,4	18,4	16,9	11,0	3,6	–2,8	–8,9
		e	гПа	2,5	2,5	3,6	6,0	8,7	12,0	14,8	13,7	10,1	6,6	4,5	3,2
		$W_ф$	м/с	3,9	3,8	3,7	3,4	3,4	3,0	2,9	2,9	3,1	3,7	3,7	3,9
		n	баллы	7,8	7,2	7,1	6,6	6,4	6,0	6,2	6,0	7,0	8,0	8,4	8,4
		$T_р$	°С	–13,9	–11,9	–3,8	6,6	14,1	18,8	20,4	18,1	11,3	2,9	–4,4	–10,7

Новокузнецк	φ=53,0° λ=87,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–17,8	–15,6	–8,4	1,4	9,8	16,2	18,5	15,9	10,0	2,1	–8,5	–15,6
		e	гПа	1,5	1,8	2,9	5,2	7,8	12,7	16,0	13,8	9,5	5,8	2,9	1,9
		$W_ф$	м/с	2,5	2,7	3,4	3,4	3,5	2,9	2,4	2,3	2,6	3,3	3,5	3,0
		n	баллы	6,1	6,0	6,6	6,2	6,4	6,1	6,1	6,1	6,6	7,3	7,6	7,1
		$T_р$	°С	–20,4	–15,9	–6,4	4,8	12,5	18,9	21,1	18,0	10,9	1,6	–10,1	–17,9
Новосибирск	φ=55,0° λ=83,0° $h_ф$ = 18 м	T_a	°С	–18,8	–17,3	–10,1	–1,5	10,3	16,7	19,0	15,8	10,1	1,9	–8,6	–16,7
		e	гПа	1,3	1,6	2,5	4,9	7,4	12,4	15,7	13,6	9,3	5,6	2,8	1,7
		$W_ф$	м/с	3,7	3,5	4,2	3,7	3,7	2,9	2,3	2,3	2,8	3,9	4,1	4,0
		n	баллы	6,7	6,5	6,7	6,5	6,7	6,4	6,3	6,6	6,6	7,8	7,7	7,4
		$T_р$	°С	–21,5	–17,9	–8,4	2,6	12,3	18,9	21,2	17,7	10,6	1,2	–10,4	–19,1
Омолон	φ=65,0° λ=161,0° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–39,2	–36,6	–28,2	–14,7	0,2	11,1	13,0	9,4	1,6	–11,7	–27,5	–36,2
		e	гПа	0,4	0,4	0,7	1,8	4,3	7,7	10,3	9,1	5,6	2,3	0,8	0,4
		$W_ф$	м/с	1,0	0,7	1,5	2,4	2,9	3,2	2,9	2,6	2,2	2,3	1,4	0,9
		n	баллы	6,6	5,9	5,2	5,6	6,7	6,7	7,5	7,1	7,0	7,6	6,9	6,3
		$T_р$	°С	–43,2	–39,4	–26,9	–9,3	5,2	14,4	15,9	11,9	2,4	–12,9	–31,0	–41,0
Омск	φ=55,0° λ=73,5° $h_ф$ = 12 м	T_a	°С	–19,0	–17,6	–10,1	2,8	11,4	17,1	18,9	15,8	10,6	1,9	–8,5	–16,0
		e	гПа	1,3	1,5	2,5	5,2	7,0	11,0	14,2	12,8	8,9	5,3	2,9	1,7
		$W_ф$	м/с	4,7	5,0	5,2	5,0	5,0	4,5	3,7	3,6	4,0	4,7	4,8	4,9
		n	баллы	6,5	5,8	6,0	6,2	6,1	6,1	6,3	6,2	6,6	7,5	7,4	7,0
		$T_р$	°С	–21,6	–18,3	–8,4	5,1	12,4	18,0	20,0	17,0	10,4	0,9	–10,3	–18,6

Продолжение табл. I.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Оренбург	φ=51,5° λ=55,0° $h_ф$ = 12,5 м	T_a	°С	–14,8	–14,2	–7,3	5,2	15,0	19,7	21,9	20,0	13,4	4,5	–4,0	–11,2
		e	гПа	1,9	2,0	3,4	6,2	8,7	12,1	14,2	12,2	8,9	6,1	4,2	2,7
		$W_ф$	м/с	4,6	4,8	4,7	4,5	4,6	4,0	3,8	3,6	3,6	4,2	4,4	4,6
		n	баллы	7,3	6,8	7,0	6,2	5,9	5,6	5,5	5,3	6,0	7,3	8,0	8,0
		$T_р$	°С	–16,4	–14,2	–5,1	7,5	15,3	19,9	21,4	18,9	12,2	3,5	–5,1	–12,6
Орск	φ=51,0° λ=58,5° $h_ф$ = 15 м	T_a	°С	–16,4	–15,6	–8,5	4,1	14,2	19,5	21,3	19,2	13,0	4,0	–5,3	–13,0
		e	гПа	1,7	1,9	2,9	5,9	8,2	11,0	13,0	11,8	8,6	5,6	3,6	2,4
		$W_ф$	м/с	3,8	4,0	4,4	3,9	4,2	3,8	3,5	3,1	3,1	3,8	3,6	3,9
		n	баллы	6,7	6,1	6,5	5,9	5,4	5,1	5,0	4,6	5,3	7,0	7,2	6,9
		$T_р$	°С	–18,2	–15,4	–6,2	7,0	15,0	19,6	21,0	18,8	12,1	2,8	–6,8	–14,9
Пенза	φ=53,0° λ=45,0° $h_ф$ = 13,5 м	T_a	°С	–12,2	–11,3	–5,6	4,9	13,5	17,6	19,6	18,0	11,9	4,4	–2,9	–9,1
		e	гПа	2,4	2,5	3,7	6,3	8,9	12,4	14,8	13,5	9,8	6,6	4,6	3,2
		$W_ф$	м/с	4,8	4,8	4,8	4,5	4,3	3,8	3,6	3,5	4,2	4,9	4,7	4,8
		n	баллы	7,3	6,8	7,0	6,2	5,9	5,6	5,5	5,3	6,0	7,3	8,0	8,0
		$T_р$	°С	–14,0	–11,6	–3,8	7,3	14,8	19,3	20,9	18,7	11,8	3,6	–4,1	–10,6

Пермь	φ=58,0° λ=56,5° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–15,3	–13,4	–6,9	2,6	10,2	15,7	18,0	15,4	9,3	1,4	–6,3	–12,7
		e	гПа	1,9	2,0	3,1	5,2	7,6	11,3	14,0	12,7	9,3	5,8	3,7	2,4
		$W_ф$	м/с	3,3	3,2	3,4	3,3	3,4	3,1	2,6	2,7	3,1	3,6	3,5	3,3
		n	балы	7,8	7,0	6,9	6,5	6,7	6,9	6,6	6,8	7,6	8,6	8,6	8,1
		$T_р$	°С	–17,7	–14,7	–5,8	5,1	12,4	17,7	19,8	16,8	9,8	1,0	–7,7	–15,0
Ростов-на-Дону	φ=47,1° λ=39,5° $h_ф$ = 14м	T_a	°С	–5,7	-5,1	0,2	9,0	16,4	20,0	22,9	22,1	16,2	9,2	2,2	–3,1
		e	гПа	4,2	4,3	5,3	7,8	10,9	14,4	15,7	14,7	11,4	8,6	6,7	5,1
		$W_ф$	м/с	5,3	5,7	5,4	5,1	4,6	3,8	3,6	3,6	3,6	4,2	5,2	5,5
		n	балы	8,1	7,9	7,3	6,2	5,6	4,8	3,8	3,6	4,0	5,8	7,5	8,3
		$T_р$	°С	–6,1	–4,3	1,8	10,6	17,3	21,5	23,3	21,7	15,8	8,4	1,6	–3,7
Рязань	φ=54,5° λ=39,5° $h_ф$ = 10 м	T_a	°С	–11,0	–10,0	–4,7	5,2	12,9	17,3	18,5	17,2	11,6	4,4	–2,2	–7,0
		e	гПа	2,5	2,7	3,8	6,6	9,4	12,6	14,9	14,1	10,3	7,1	4,8	3,6
		$W_ф$	м/с	4,9	4,8	4,8	4,4	4,1	3,6	3,3	3,1	3,8	4,5	4,8	5,1
		n	балы	7,4	7,0	6,9	6,5	6,1	5,8	5,9	5,7	6,3	7,5	8,1	8,3
		$T_р$	°С	–13,1	–10,6	–3,3	7,5	14,7	19,2	20,4	18,5	11,8	3,9	–3,6	–8,6
Санкт-Петербург	φ=60,0° λ=30,5° $h_ф$ = 13 м	T_a	°С	–7,8	–7,8	–3,9	3,1	9,8	15,0	17,8	16,0	10,9	4,9	–0,3	–5,0
		e	гПа	3,3	3,2	3,9	5,7	8,0	11,8	14,6	14,3	10,9	7,6	5,5	4,2
		$W_ф$	м/с	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,6	2,2	2,2	2,4	2,8	3,1	3,2
		n	балы	8,0	7,7	6,7	6,7	6,2	6,1	6,2	6,3	7,0	8,0	8,6	8,5
		$T_р$	°С	–10,3	–9,1	–3,2	5,7	13,0	18,3	20,3	18,0	11,5	4,1	–2,0	–7,1

Продолжение табл 1.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Саскылах	φ=71,5° λ=114,0° $h_ф$ = 14 м	T_a	°С	–35,5	–33,2	–28,8	–18,5	–6,9	6,1	11,7	8,0	1,3	–11,9	–27,6	–32,1
		e	гПа	0,3	0,5	0,6	1,4	3,4	7,1	9,6	8,6	5,8	2,3	0,7	0,5
		$W_ф$	м/с	3,3	3,1	3,5	3,8	3,7	4,0	3,6	3,5	3,6	3,5	3,0	3,2
		n	баллы	4,6	4,5	5,0	6,0	7,5	7,5	7,2	7,9	8,4	7,8	5,2	4,8
		$T_р$	°С	–41,3	–37,6	–29,5	–13,8	0,8	12,0	15,5	10,8	2,0	–13,7	–32,8	–37,4
Ставрополь	φ=44,0° λ=43,0° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–3,2	–2,3	1,3	9,3	15,3	19,3	21,9	21,2	16,1	9,6	4,1	–0,5
		e	гПа	4,2	4,3	5,3	7,6	11,2	13,5	14,8	14,1	11,5	8,7	6,6	5,0
		$W_ф$	м/с	4,0	4,5	5,0	4,9	4,2	3,6	3,3	3,2	3,3	3,8	4,4	3,9
		n	баллы	7,3	7,5	7,4	6,3	6,1	5,1	4,2	3,9	4,5	5,7	7,3	7,6
		$T_р$	°С	–4,2	–2,0	2,8	10,7	16,8	20,6	22,4	21,2	16,0	9,1	2,9	–1,9
Томск	φ=56,5° λ=85,0° $h_ф$ = 17 м	T_a	°С	–19,1	–16,9	–9,9	0,0	8,7	15,4	18,3	15,1	9,3	0,8	–10,1	–17,3
		e	гПа	1,4	1,5	2,4	4,4	6,9	11,8	15,4	13,3	9,0	5,2	2,8	1,7
		$W_ф$	м/с	4,5	4,8	5,1	4,0	3,9	3,2	2,8	2,8	3,5	4,7	4,8	5,0
		n	баллы	6,7	6,5	6,5	6,4	6,8	6,7	6,3	6,5	6,9	8,1	7,8	7,2
		$T_р$	°С	–21,7	–17,9	–8,6	3,0	11,2	17,9	20,6	17,0	9,7	0,1	–11,6	–19,8

Троицк	φ=54,0° λ=61,5° $h_ф$ = 10 м	T_a	°С	–17,2	–16,1	–9,0	3,2	12,3	17,7	19,0	16,8	10,8	2,7	–6,7	–13,7
		e	гПа	1,5	1,7	2,7	5,6	7,8	11,6	14,0	12,6	9,0	5,5	3,2	2,1
		$W_ф$	м/с	4,5	3,4	4,2	4,1	4,5	4,1	3,8	3,2	3,6	4,0	3,6	3,2
		n	балл-лы	6,7	5,5	5,7	6,0	5,9	5,8	6,0	5,6	6,4	6,9	6,5	6,4
		$T_р$	°С	–19,6	–16,7	–7,1	5,9	13,5	18,7	20,0	17,6	10,7	1,6	–8,9	–16,6
Тула	φ=54,0° λ=37,5° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–9,9	–9,5	–4,1	5,0	12,9	16,7	18,6	17,2	11,6	5,0	–1,1	–6,7
		e	гПа	2,8	2,9	4,0	6,7	9,3	12,5	14,9	14,0	10,3	7,1	5,1	3,7
		$W_ф$	м/с	4,1	4,2	4,1	3,6	3,3	3,0	2,9	2,6	2,9	3,6	4,1	4,4
		n	балл-лы	7,8	7,4	7,1	6,6	6,2	6,0	6,1	6,1	6,6	7,6	8,2	8,5
		$T_р$	°С	–11,7	–9,8	–2,6	7,6	14,9	19,1	20,5	18,5	12,0	4,3	–2,5	–8,2
Уфа	φ=54,5° λ=56,0° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–14,9	–13,7	–6,7	4,4	13,3	17,3	18,9	16,8	11,1	2,8	–5,1	–11,2
		e	гПа	2,0	2,0	3,2	6,0	8,8	12,7	15,4	13,6	9,7	6,1	3,9	2,6
		$W_ф$	м/с	3,4	3,4	3,5	3,3	3,6	3,1	2,6	2,5	3,0	3,7	3,6	3,6
		n	балл-лы	7,2	6,6	6,9	6,4	6,1	6,1	6,0	5,5	6,7	7,9	8,0	7,5
		$T_р$	°С	–17,0	–14,4	–5,1	6,9	14,7	19,3	21,0	18,3	11,3	2,2	–6,5	–13,5
Хаба-ровск	φ=48,0° λ=135,2° $h_ф$ =10,4 м	T_a	°С	–22,3	–17,2	–8,5	3,1	11,1	17,4	21,1	20,0	13,9	4,7	–8,1	–18,5
		e	гПа	0,9	1,2	2,4	4,7	8,1	14,4	19,6	19,1	12,4	5,9	2,5	1,2
		$W_ф$	м/с	4,5	4,1	4,1	4,4	4,4	3,5	3,0	2,8	3,5	4,3	5,6	5,2
		n	балл-лы	4,0	4,2	5,1	6,6	7,2	6,8	7,2	6,9	6,2	5,0	4,3	4,1
		$T_р$	°С	–24,1	–17,0	–6,0	5,3	12,8	19,6	23,0	21,8	14,7	3,9	–9,9	–20,9

Продолжение табл. I.1

Пункты	Координаты пунктов и высота флюгера	Метеорологические величины	Единицы измерения	Месяцы											
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Хамар-Дабан	φ=51,5° λ=104,0° $h_ф$=12,0 м	T_a	°С	–17,9	–16,4	–11,0	–4,0	2,6	10,0	12,7	10,7	3,5	–2,7	–11,6	–16,1
		e	гПа	1,2	1,3	1,8	3,1	4,8	8,8	11,3	10,3	6,3	3,6	1,8	1,3
		$W_ф$	м/с	1,1	1,3	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,0
		n	баллы	4,8	5,0	5,6	6,6	6,7	6,8	6,8	6,5	6,1	5,7	5,5	5,1
		$T_р$	°С	–21,3	–17,1	–8,7	0,4	7,5	14,5	16,6	14,0	5,8	–3,2	–14,4	–20,1
Чебоксары	φ=56,0° λ=47,0° $h_ф$ = 12,0 м	T_a	°С	–13,0	–12,4	–6,5	3,2	11,8	16,6	18,6	16,8	10,6	3,2	–4,2	–10,4
		e	гПа	2,4	2,4	3,2	5,9	9,0	12,4	14,7	14,1	10,1	6,6	4,1	3,1
		$W_ф$	м/с	6,5	5,8	6,4	5,2	5,2	4,4	4,1	4,3	5,1	6,6	6,2	6,3
		n	баллы	7,6	7,0	6,8	6,0	6,1	5,6	5,8	5,7	6,6	7,9	8,0	8,0
		$T_р$	°С	–14,7	–13,0	–5,5	5,8	13,7	18,7	20,2	18,0	10,9	2,6	–5,7	–11,9
Челябинск	φ=55,0° λ=61,5° $h_ф$ = 11 м	T_a	°С	–15,8	–14,3	–7,4	3,9	11,9	16,8	18,4	16,2	10,7	2,4	–6,2	–12,9
		e	гПа	1,6	1,7	2,9	5,3	7,8	11,6	14,7	12,6	9,0	5,3	3,3	2,2
		$W_ф$	м/с	2,7	2,8	2,9	3,2	3,5	3,3	2,8	2,7	2,9	3,5	3,3	2,6
		n	баллы	6,4	5,9	6,1	6,0	6,0	6,2	6,3	6,0	6,6	7,4	7,1	6,6
		$T_р$	°С	–18,9	–15,5	–5,9	6,3	13,6	18,5	20,3	17,4	10,7	1,2	–8,4	–16,0

Якутск	φ=62,0° λ=130,0° $h_ф$ = 17,0 м	T_a	°С	–42,9	–35,8	–22,4	–7,4	5,7	15,5	18,8	14,9	6,3	–7,8	–27,9	–39,5
		e	гПа	0,1	0,3	0,8	2,5	5,0	9,4	12,8	11,4	6,7	3,0	0,6	0,2
		$W_ф$	м/с	1,4	1,4	2,0	2,8	3,4	3,3	3,0	2,8	2,6	2,6	2,0	1,3
		n	балы	6,6	5,7	5,5	5,9	7,3	6,9	6,6	6,4	6,9	7,8	7,0	6,7
		$T_р$	°С	–47,8	–38,3	–21,3	–3,4	8,5	16,9	19,6	15,9	6,2	–8,6	–31,2	–44,1
Ярославль	φ=58,0° λ=40,0° $h_ф$ = 12,0 м	T_a	°С	–10,6	–10,4	–5,2	3,6	10,9	15,6	18,0	16,0	10,3	3,7	–2,6	–8,4
		e	гПа	2,6	2,5	3,5	5,9	8,6	12,8	15,0	14,3	10,2	6,8	4,7	3,3
		$W_ф$	м/с	4,9	4,9	4,9	4,7	4,5	4,1	3,6	3,4	4,1	4,8	4,9	5,1
		n	балы	8,1	7,5	7,1	6,4	6,4	6,0	6,0	5,8	6,9	8,0	8,4	8,5
		$T_р$	°С	–12,7	–11,5	–4,4	5,9	13,1	18,5	20,2	17,9	10,8	3,0	–4,1	–10,2

Таблица I.2

Плотность воды при температуре выше 0 °С, кг/м³

T,°C	Десятые доли градуса									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	999,87	999,87	999,88	999,89	999,89	999,90	999,91	999,91	999,92	999,92
1	999,93	999,93	999,94	999,94	999,95	999,95	999,95	999,96	999,96	999,96
2	999,97	999,97	999,97	999,98	999,98	999,98	999,98	999,99	999,99	999,99
3	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99
4	1000,00	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99	999,99
5	999,99	999,99	999,99	999,99	999,98	999,98	999,98	999,98	999,97	999,97
6	999,97	999,96	999,96	999,96	999,95	999,95	999,95	999,94	999,94	999,94
7	999,93	999,92	999,92	999,92	999,91	999,90	999,90	999,89	999,89	999,88
8	999,88	999,87	999,86	999,86	999,85	999,84	999,84	999,83	999,82	999,82
9	999,81	999,80	999,79	999,79	999,78	999,77	999,76	999,75	999,75	999,74
10	999,73	999,72	999,71	999,70	999,69	999,68	999,67	999,66	999,65	999,64
11	999,63	999,62	999,61	999,60	999,59	999,58	999,57	999,56	999,55	999,54
12	999,52	999,51	999,50	999,49	999,48	999,47	999,45	999,44	999,43	999,42
13	999,40	999,39	999,38	999,37	999,35	999,34	999,33	999,31	999,30	999,29
14	999,27	999,26	999,24	999,23	999,22	999,20	999,19	999,17	999,16	999,14
15	999,13	999,11	999,10	999,08	999,07	999,04	999,03	999,02	999,00	998,99
16	998,97	998,95	998,94	998,92	998,90	998,89	998,87	998,85	998,84	998,82
17	998,80	998,78	998,77	998,75	998,73	998,71	998,69	998,68	998,66	998,64
18	998,62	998,60	998,59	998,57	998,55	998,53	998,51	998,49	998,47	998,45
19	998,43	998,41	998,39	998,37	998,35	998,33	998,31	998,30	998,27	998,25
20	998,23	998,21	998,19	998,17	998,15	998,13	998,11	998,09	998,06	998,04
21	998,02	998,00	997,98	997,96	997,93	997,91	997,89	997,87	997,84	997,82
22	997,80	997,78	997,75	997,73	997,71	997,68	997,66	997,64	997,61	997,59
23	997,57	997,54	997,52	997,50	997,47	997,45	997,42	997,40	997,37	997,35
24	997,33	997,30	997,28	997,25	997,23	997,20	997,18	997,15	997,13	997,10
25	997,07	997,05	997,02	996,99	996,97	996,94	996,92	996,89	996,87	996,84
26	996,81	996,79	996,76	996,73	996,71	996,68	996,65	996,62	996,60	996,57
27	996,54	996,51	996,49	996,46	996,43	996,40	996,38	996,35	996,32	996,29

Продолжение табл. I.2

T °C	Десятые доли градуса									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
28	996,26	996,23	996,21	996,18	996,15	996,12	996,09	996,06	996,03	996,00
29	995,97	995,94	995,91	995,89	995,85	995,83	995,80	995,77	995,74	995,71
30	995,68	995,65	995,62	995,58	995,55	995,52	995,49	995,46	995,43	995,40
31	995,37	995,34	995,31	995,28	995,24	995,21	995,18	995,15	995,12	995,08
32	995,05	995,02	994,99	994,96	994,92	994,89	994,86	994,83	994,80	994,76
33	994,73	994,70	994,67	994,63	994,60	994,57	994,53	994,50	994,47	994,43
34	994,40	994,37	994,33	994,30	994,26	994,23	994,20	994,16	994,13	994,09
35	994,06	994,03	993,99	993,96	993,92	993,89	993,85	993,82	993,78	993,75
36	993,71	993,68	993,64	993,61	993,57	993,54	993,49	993,46	993,43	993,39
37	993,36	993,32	993,28	993,25	993,21	993,18	993,14	993,10	993,06	993,03
38	992,99	992,96	992,92	992,88	992,85	992,81	992,77	992,74	992,70	992,66
39	992,62	992,59	992,55	992,51	992,47	992,44	992,40	992,36	992,32	992,28
40	992,25	991,86	991,47	991,07	990,66	990,24	989,82	989,40	988,96	988,52

Таблица I.3

Максимальная упругость паров воды e_m, гПа

T, °C	Десятые доли градуса									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,29	6,33	6,38	6,42	6,47	6,52
1	6,56	6,61	6,66	6,71	6,76	6,80	6,86	6,90	6,95	7,00
2	7,05	7,10	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,47	7,52
3	7,57	7,63	7,68	7,74	7,79	7,85	7,90	7,96	8,01	8,07
4	8,13	8,19	8,24	8,30	8,36	8,42	8,48	8,54	8,60	8,66
5	8,72	8,78	8,84	8,90	8,96	9,03	9,09	9,15	9,22	9,28
6	9,35	9,41	9,48	9,54	9,61	9,67	9,74	9,81	9,88	9,94
7	10,01	10,08	10,15	10,22	10,29	10,36	10,43	10,50	10,58	10,65
8	10,72	10,79	10,87	10,94	11,02	11,10	11,17	11,24	11,32	11,36
9	11,47	11,55	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,19
10	12,27	12,36	12,44	12,52	12,60	12,69	12,77	12,86	12,94	13,03

Продолжение табл. I.3

T, °C	Десятые доли градуса									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
11	13,12	13,21	13,29	13,38	13,47	13,56	13,65	13,74	13,83	13,92
12	14,02	14,11	14,20	14,30	14,39	14,48	14,58	14,68	14,77	14,87
13	14,97	15,07	15,16	15,26	15,36	15,46	15,56	15,67	15,77	15,87
14	15,97	16,08	16,18	16,29	16,39	16,50	16,61	16,72	16,82	16,93
15	17,04	17,15	17,26	17,37	17,49	17,60	17,71	17,83	17,94	18,06
16	18,17	18,29	18,40	18,52	18,64	18,76	18,88	19,00	19,12	19,24
17	19,37	19,49	19,61	19,74	19,86	19,99	20,11	20,24	20,37	20,50
18	20,63	20,76	20,89	21,02	21,15	21,29	21,42	21,55	21,69	21,82
19	21,96	22,10	22,24	22,38	22,52	22,66	22,80	22,94	23,08	23,23
20	23,37	23,52	23,66	23,81	23,96	24,10	24,25	24,40	24,55	24,71
21	24,86	25,01	25,17	25,32	25,48	25,63	25,72	25,95	26,11	26,27
22	26,43	26,52	26,75	26,91	27,08	27,24	27,41	27,58	27,74	27,91
23	28,08	28,25	28,43	28,60	28,77	28,94	29,12	29,30	29,47	29,65
24	29,83	30,01	30,19	30,37	30,55	30,74	30,92	31,11	31,29	31,48
25	31,67	31,86	32,05	32,24	32,43	32,62	32,82	33,01	33,21	33,41
26	33,61	33,81	34,01	34,21	34,41	34,61	34,82	35,02	35,23	35,44
27	35,65	35,86	36,07	36,28	36,49	36,71	36,92	37,14	37,35	37,57
28	37,79	38,01	38,24	38,46	38,68	38,91	39,13	39,36	39,59	39,82
29	40,05	40,28	40,52	40,75	40,99	41,22	41,46	41,70	41,94	42,18
30	42,43	42,67	42,92	43,16	43,41	43,66	43,91	44,16	44,41	44,67
31	44,92	45,18	45,44	45,70	45,96	46,22	46,48	46,75	47,01	47,28
32	47,55	47,82	48,09	48,36	48,63	48,91	49,15	49,46	49,74	50,02
33	50,30	50,50	50,87	51,16	51,44	51,73	52,02	52,31	52,61	52,90
34	53,20	53,49	53,79	54,09	54,39	54,70	55,00	55,31	55,61	55,92
35	56,23	56,54	56,86	57,17	57,49	57,81	58,12	58,45	58,77	59,09
36	59,42	59,74	60,07	60,40	60,73	61,07	61,40	61,74	62,08	62,42
37	62,76	63,10	63,45	63,79	64,14	64,49	64,84	65,19	65,55	65,90
38	66,26	66,62	66,98	67,34	67,71	68,07	68,44	68,81	69,18	69,59
39	69,93	70,31	70,68	71,06	71,45	71,83	72,31	72,60	72,99	73,38
40	73,77	74,17	74,56	74,96	75,36	75,76	76,17	76,57	76,98	77,39

Таблица I.4

Суммарная солнечная радиация при безоблачном небе Φ_0, Вт/м²

Градусы северной широты	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
40	120	171	239	292	333	346	333	300	252	190	138	111
44	97	150	225	279	326	343	331	287	239	174	119	87
48	77	133	211	271	322	340	327	275	227	152	98	69
52	61	111	197	262	317	340	329	268	208	128	75	47
56	42	90	174	251	314	337	327	259	188	100	49	31
60	25	69	152	236	308	338	320	246	175	78	32	18
64	13	55	151	226	308	333	319	239	154	65	22	0
68	0	46	105	219	302	334	332	239	137	46	13	0

Таблица I.5

Альбедо поверхности воды a_p

Градусы северной широты	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
30	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
40	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,12
50	0,16	0,12	0,09	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16
60	0,20	0,16	0,11	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,10	0,14	0,19	0,21
70	0,26	0,23	0,16	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,13	0,15	0,24	0,27

Таблица I.6

Значения коэффициента k_1

Градусы северной широты	k_1
30	0,32
40	0,33
50	0,36
60	0,40
70	0,50

Таблица I.7

Значения коэффициента k_2

Градусы северной широты	k_2
30	0,63
40	0,68
50	0,72
60	0,76
70	0,80

Приложение II

ПРИМЕР РАСЧЕТА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Расчеты выполняются для условий наиболее теплого месяца года с целью определения среднемесячной температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС и выбора геометрических параметров водовыпускного и водозаборного сооружений в глубоком стратифицированном водоеме-охладителе ($P \leq 0{,}3$).

Исходные данные

Метеорологические параметры и равновесная **температура для водоема**-охладителя:

$T_a = 18{,}3$ °С; $e = 1430$ Па; $W_2 = 2{,}9$ м/с; $T_р = 19{,}8$ °С.

Геометрические параметры водоема-охладителя:

$\Omega = 5{,}8$ км^2; $B = 1{,}9$ км; $L = 3{,}0$ км; $H = 6{,}0$ м; глубина у водовыпуска ТЭС $h_{вып} = 4{,}0$ м; глубина у водозабора ТЭС $h_{заб} = 8{,}0$ м; высота водозаборного отверстия $h_{вх} = 2{,}5$ м.

Характеристики турбинного оборудования ТЭС:

$Q = 32{,}4$ м^3/с; $\Delta T = 9{,}0$ °С.

Удельная тепловая нагрузка водоема-охладителя:

$$\frac{c\rho Q\Delta T}{\Omega} = \frac{4{,}2\cdot 10^3\cdot 10^3\cdot 32{,}4\cdot 9{,}0}{5800000} = 215 \text{ Вт/м}^2.$$

Показатели эффективности схемы использования и коэффициент разбавления у водовыпуска:

$$K_{\text{исп}} = 0{,}8;\ \Pi_T = 0{,}25;\ \eta = 1{,}5.$$

Определение параметров температурного режима

Активная площадь водоема-охладителя

$$\Omega_{\text{акт}} = 0{,}8\cdot 5{,}8 = 4{,}64 \text{ км}^2.$$

Удельная площадь активной зоны

$$\omega_{\text{уд акт}} = \frac{\Omega_{\text{акт}}}{Q} = \frac{4640000}{32{,}4\cdot 86400} = 1{,}66 \text{ сут/м.}$$

Перегрев на водозаборе определяется по номограмме, приведенной на рис. 6, $\delta T = 4{,}3$ °С, откуда

$$T_{\text{заб}} = T_{\text{р}} + \delta T = 19{,}8 + 4{,}3 = 24{,}1 \text{ °С};$$

$$T_{\text{вып}} = T_{\text{заб}} + \Delta T = 24{,}1 + 9{,}0 = 33{,}1 \text{ °С}.$$

Среднеповерхностная температура водоема-охладителя

$$T_s = T_{\text{заб}} + \Pi_T \Delta T = 24{,}1 + 0{,}25\cdot 9{,}0 = 26{,}4 \text{ °С}.$$

Определение геометрических параметров водовыпускного сооружения

Из табл. I.2 приложения I определяются значения плотности воды, соответствующие температурам $T_{\text{вып}}$, $T_{\text{заб}}$ и T_s, которые равны 994,7; 997,3 и 996,7 кг/м^3 соответственно.

По формуле (2.1) вычисляется параметр стратификации

$$P = \left(\frac{0{,}01\cdot 32{,}4^2\cdot 1{,}5^3\cdot 3000}{4\cdot 3{,}02\cdot 10^{-4}\cdot 9{,}0\cdot 9{,}81\cdot 6^4\cdot 1900^2}\right)^{1/4} = 0{,}12.$$

Так как $P < 0,3$, то в водоеме-охладителе формируется двухслойная температурная стратификация с толщиной верхнего слоя при штиле

$$h_1 = 0,12 \cdot 6,0 = 0,72 \text{ м}.$$

Дополнительное заглубление температурного скачка вследствие ветрового перемешивания определяется по формуле (2.4)

$$\Delta h_{\text{вет}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,9^2 \cdot 6,0}{9,81 \cdot \dfrac{997,3 - 996,7}{997,3}} = 1,28 \text{ м}.$$

Толщина верхнего слоя рассчитывается по формуле (2.5)

$$h_1' = 0,72 + 1,28 = 2,0 \text{ м}.$$

Толщина нижнего слоя

$$h_2 = 6,0 - 2,0 = 4,0 \text{ м}.$$

Ширина водовыпуска определяется по формуле (4.2):

$$B_{\text{вып}} = \frac{32,4}{0,5 \cdot 4,0 \left(\dfrac{997,3 - 994,7}{997,3} \cdot 9,81 \cdot 4,0 \right)^{0,5}} = 51 \text{ м}.$$

При выпуске подогретой циркуляционной воды в водоем-охладитель должна быть обеспечена равномерность распределения скоростей воды по всему водовыпускному фронту. Для этой цели может быть применена фильтрующая струераспределительная дамба, длина которой определяется по формуле (4.4):

$$L_{\text{фд}} = \frac{32,4}{0,225 \cdot 4,0 \left(\dfrac{997,3 - 994,7}{997,3} \cdot 9,81 \cdot 4,0 \right)^{0,5}} = 113 \text{ м}.$$

Определение геометрических параметров водозаборного сооружения

Ширина отверстия глубинного селективного водозабора определяется для двух случаев его расположения: вблизи водовыпуска и в месте, где температура верхнего слоя равна среднеповерхностной температуре, а глубина такая же, как в районе водовыпуска.

Расстояние от верхней кромки водозаборного отверстия до поверхности температурного скачка в данном случае:

$$\Delta h = h_{заб} - h_{вх} - h_1' = 8{,}0 - 2{,}5 - 2{,}0 = 3{,}5 \text{ м}$$

Ширина водозаборного отверстия $B_{вх}$ определяется по формуле (5.1).

В случае расположения водозаборного сооружения вблизи водовыпуска

$$B_{вх} = \frac{1{,}2 \cdot 32{,}4}{\left(\frac{997{,}3 - 994{,}7}{997{,}3} \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5\right)^{0{,}5} 3{,}5} = 44 \text{ м}.$$

При размещении водозаборного сооружения в месте, где температура воды в верхнем слое равна среднеповерхностной температуре,

$$B_{вх} = \frac{1{,}2 \cdot 32{,}4}{\left(\frac{997{,}3 - 996{,}7}{997{,}3} \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5\right)^{0{,}5} \cdot 3{,}5} = 91 \text{ м}.$$

Как можно видеть, изменение местоположения глубинного водозаборного сооружения может привести к существенному изменению его оптимальных размеров.

ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Расчет проводится для определения изменения в течение года температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС при среднемноголетних условиях.

Исходные данные

Среднемесячные значения метеорологических параметров в районе расположения водоема-охладителя за многолетний ряд наблюдений приведены в табл. III.1.

Таблица III.1

Среднемесячные значения метеорологических величин в районе расположения водоема-охладителя

Метеорологические величины	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_a, °C	−11,8	−11,1	−5,3	3,2	10,9	15,5	17,8	16,1	10,0	3,2	−2,9	−8,7
e, гПа	2,5	2,6	3,6	5,8	8,6	12,3	14,9	13,8	10,2	6,7	4,6	3,3
$W_ф$, м/с ($h_ф$=10 м)	5,0	4,8	4,9	4,6	4,5	4,0	3,5	3,4	4,1	5,0	5,0	5,1
n, баллы	8,1	7,6	7,4	6,8	6,8	6,4	6,4	6,1	7,2	8,2	8,5	8,7

Геометрические параметры водоема-охладителя:

$\Omega = 18$ км^2; $L = 7{,}5$ км; $B = 2{,}4$ км; $H = 5{,}0$ м.

Водоем-охладитель имеет вытянутую форму, причем выполняется соотношение $0{,}2 < B/L < 0{,}5$. Водовыпуск и водозабор ТЭС расположены в противоположных концах водоема.

Характеристики турбинного оборудования ТЭС:

$Q = 150{,}0$ м^3/с; $\Delta T = 10{,}0$ °С.

Расчет параметров температурного режима водоема-охладителя

По формуле (3.1) с учетом высоты флюгера $h_ф = 10$ м рассчитываются среднемесячные значения скорости ветра на высоте 2 м над поверхностью водоема W_2 (табл. III.2).

Таблица III.2

Скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью водоема-охладителя, W^2, м/с

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
4,0	3,8	3,9	3,7	3,6	3,2	2,8	2,7	3,3	4,0	4,0	4,1

По табл. 2 с учетом розы ветров в районе расположения водоема-охладителя определяются среднемесячные значения параметра распределения температуры $П_T$ (табл. III.3).

Таблица III.3

Среднемесячные значения параметра распределения температуры $П_T$

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,15	0,16	0,15	0,15	0,20	0,23	0,23	0,22	0,16	0,20	0,18	0,18

Коэффициент для учета неравномерности распределения температуры воды по глубине k принимается равным 1,05, как для неглубокого слабо стратифицированного водоема.

Расчет неустановившегося температурного режима проводится по программе WALKPC из программного комплекса WHYTE, разработанного в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» для численного моделирования гидротермических процессов в водоемах-охладителях.

Расчет проводится методом последовательных приближений. В качестве значений средней температуры водоема-охладителя в первые сутки января принимаются значения, полученные в результате расчета для последних суток декабря на предыдущей итерации.

Таблица III.4

Результаты расчета неустановившегося температурного режима водоема-охладителя

Температура воды	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_s, °С	7,8	8,0	11,7	17,9	23,5	27,7	29,8	28,8	24,4	18,9	14,3	10,4
$T_{заб.}$ °С	6,3	6,4	10,2	16,4	21,5	25,4	27,5	26,6	22,8	16,9	12,5	8,6

В табл. III.4 приведены среднемесячные значения средней по свободной поверхности температуры водоема-охладителя T_s и температуры охлажденной циркуляционной воды на водозаборе ТЭС ($T_{заб}$), полученные в результате расчета.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Общие положения 3

1.1. Область применения 3

1.2. Принятая терминология 4

1.3. Условные обозначения 6

1.4. Показатели эффективности схемы использования водоема-охладителя 7

Раздел 2. Термическая структура водоемов-охладителей и их классификация 8

2.1. Формирование температурной стратификации Параметр стратификации 8

2.2. Классификация водоемов-охладителей 11

Раздел 3. Расчет температурного режима водоема-охладителя 17

3.1. Исходные данные для расчета температурного режима водоема-охладителя 17

3.2. Расчет средней температуры водоема-охладителя по уравнению теплового баланса 18

3.3. Расчет температуры охлажденной циркуляционной воды с применением показателей эффективности схемы использования водоема-охладителя 21

Раздел 4. Водовыпускные сооружения ТЭС 22

4.1. Гидротермические процессы в районе водовыпуска и типы водовыпускных сооружений 22

4.2. Расчет геометрических параметров водовыпускных сооружений 25

Раздел 5. Водозаборные сооружения ТЭС 26

5.1. Типы водозаборных сооружений 26

5.2. Расчет глубинного селективного водозабора 27

Приложение I. Справочные таблицы 29

Приложение II. Пример расчета стратифицированного водоема-охладителя 48

Приложение III. Пример расчета неустановившегося температурного режима водоема-охладителя 52

Редактор *Т.С. Артюхина*
Корректор *Т.М. Бовичева*
Компьютерная верстка *Н.Н. Седова*

Подписано в печать 27.12.04.
Формат 60х90 1/16. Бумага типографская № 1. Печать офсетная.
Печ.л. 3,5. Тираж 300. Заказ 134.

Издательство и типография ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21.

gost.e-ecolog.ru