

Федеральное агентство по образованию

**Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет**

Кафедра водоснабжения

Выбор и оптимизация параметров систем оборотного водоснабжения

**Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Комплексное использование водных ресурсов»
для студентов специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение**

**Санкт-Петербург
2007**

Выбор и оптимизация параметров систем оборотного водоснабжения: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Комплексное использование водных ресурсов» для студентов спец. 270112 – водоснабжение и водоотведение / СПб. гос. архит.-строит. ун-т; сост. Ю. А. Феофанов. – СПб., 2007. – 27 с.

Приведена методика выполнения лабораторных работ по выбору и оптимизации параметров систем оборотного водоснабжения с применением программ расчетов на ЭВМ. Содержатся задание и исходные данные, рекомендации по порядку выполнения лабораторных работ, обработке полученных результатов и требования к оформлению отчетов.

Предназначены для студентов специальности 270112 – водоснабжение и водоотведение.

Табл. 15. Ил. 8. Библиогр.: 5 назв.

Лабораторная работа № 1 ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ КАЧЕСТВА

Задание

- По заданному варианту исходных данных (табл. 1), пользуясь программой (файл «ВыбМетОчистки»), произвести выбор методов очистки воды.
- Определить эффективность очистки воды выбранными методами по всем заданным показателям.
- Определить качество очищенной воды.
- Составить технологическую схему очистных сооружений с указанием типов сооружений и качества воды на всех участках.

Исходные данные

Исходные данные выбирают из табл. 1 и 2 по заданному варианту. В табл. 1 приведены данные по расходу и составу воды, которую требуется подвергнуть очистке, в табл. 2 – требования к качеству очищенной воды.

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу выполняют на ПЭВМ с помощью программы – файл «ВыбМетОчистки», блок-схема которой (рис. 1) поясняет ход выполнения работы.

Представление результатов работы

Отчет о проведенной лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту из табл. 1 и 2.
2. Технологическую схему с указанием типов выбранных сооружений, эффектов очистки воды на них и показателей качества воды на всех участках. Форма составления технологической схемы показана на рис. 2.

Таблица 1

Данные по расходу и составу исходной воды

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Расход воды, м ³ /сут	100	250	500	1000	1500	2000	150	120	5000	9000
Состав исходной воды:										
1. Взвешенные (нерастворенные) вещества, мг/л:	1500	1000	500	100	250	400	2500	1200	400	600
грубые оседающие удаляемые флотацией	100	50	10	10	15	20	100	100	50	40
удаляемые фильтрованием	1000	500	300	50	150	250	2000	1100	200	350
удаляемые коагуляцией с последующим отстаиванием (флотацией)	1200	800	350	60	160	250	1500	1000	200	300
то же с последующим фильтрованием	1450	980	480	80	200	350	2400	1150	320	530
2. Нефтепродукты, мг/л:	1495	995	494	95	235	385	2450	1160	350	550
всплывающие оседающие удаляемые флотацией	200	150	250	100	250	150	500	1000	20	50
удаляемые фильтрованием	150	100	150	50	150	100	350	800	10	20
удаляемые коагуляцией с последующим отстаиванием (флотацией)	10	15	50	10	50	10	50	100	2	2
то же с последующим фильтрованием	170	120	190	60	160	120	400	900	10	25
3. БПК _{полн} , мг/л (взболтанная проба)	190	145	243	90	220	120	450	960	14	30
4. Неорганические вещества:	194	145	245	95	245	130	460	970	14	32
кислота/щелочь, мг-экв/л	199	148	248	99	248	146	495	995	19	48
рН	1000	1600	800	600	2000	4000	200	150	1300	50
жесткость карбонатная, мг-экв/л	850	1300	700	500	1700	3800	180	140	1200	48
общее содержание (минерализация), мг/л	400	700	300	200	700	1800	80	40	400	20
	450	600	400	300	1000	2000	100	100	800	28
	10	Отс.	12	10	13	5	26	20	Отс.	45
	5,5	7,2	8,9	5,8	9,0	8,1	5,5	5,9	6,8	5,5
	8,5	10	5	10	7	8	15	10	10	5
	2000	1500	3000	2000	1500	800	4000	5000	1500	2500

Таблица 2

Требования к качеству очищенной воды
(предельно допустимая концентрация загрязнений)

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1. Взвешенные (нерастворенные) вещества, мг/л	10	3	5	10	15	10	5	2	15	25
2. Нефтепродукты, мг/л	5	1	1	5	10	8	2	0,5	1	5
3. БПК _{полн} , мг/л	10	3	5	5	10	10	5	3	5	10
4. Неорганические вещества, мг/л:										
рН	6...8	7...8	6...9	7...9	6...9	7...9	6...8	6...8	7...9	6...8
жесткость карбонатная, мг-экв/л	10	10	10	8	7	10	5	5	10	5
общее содержание (минерализация), мг/л	800	1500	2000	1500	1500	1000	1000	1000	2000	3000

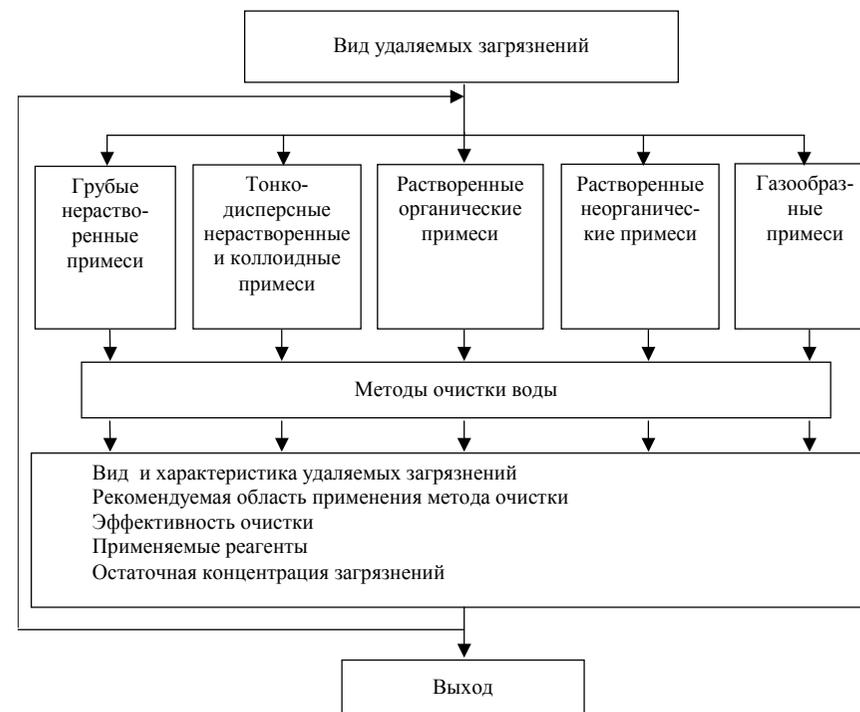


Рис. 1. Блок-схема программы «Выбор методов очистки, состава сооружений, определение эффективности очистки» (файл – «ВыбМетОчистки»)

Лабораторная работа № 2 ВЫБОР ТИПА ОХЛАДИТЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПОТЕРЬ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ «ЧИСТОГО ЦИКЛА» ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» вода используется для охлаждения оборудования или продукции, в производственном процессе она циркулирует в закрытых теплообменниках и при использовании не загрязняется, а только нагревается. Для повторного использования воды в системе оборотного водоснабжения достаточно снизить ее температуру в охладителях.

Задание

- По заданному варианту исходных данных (табл. 3, 4, 5) с помощью программы (файл «СистОборотВодосн-1») выполнить расчет на ПЭВМ оборотной системы водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия с применением разных типов охладителей.
- Определить величину потерь воды в результате ветрового и капельного уноса и потерь на испарение, потребный расход свежей (добавляемой) воды в систему при разных типах охладителей.
- Определить величину равновесной концентрации загрязнений (по содержанию) в воде, поступающей на производство, $C_{0(равн)}$.
- Выбрать и обосновать выбор типа охладителя по полученным результатам.

Исходные данные

Исходные данные выбирают из табл. 3, 4, 5 по заданному варианту. В табл. 3 приведены данные по водопотреблению и водоотведению промышленного предприятия. В табл. 4 заданы начальная концентрация загрязнений (соле-содержание) в свежей воде, концентрация солей в оборотной воде, а также требования к качеству воды, подаваемой на предприятие, в табл. 5 – данные о потерях воды на про-двку системы оборотного водоснабжения промпредприятия. Схема оборотной системы водоснабжения предприятия приведена на рис. 3.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы следует рассмотреть все типы охладителей и опре-делить величину потерь воды на испарение ($q_{исп}$) и на брызгоунос ($q_{ун}$) для разных типов охладителей:

- открытая градирня;
- брызгальная градирня;
- башенная градирня без водоуловителя;
- башенная градирня с водоуловителем;
- вентиляторная градирня с водоуловителем;
- брызгальный бассейн.

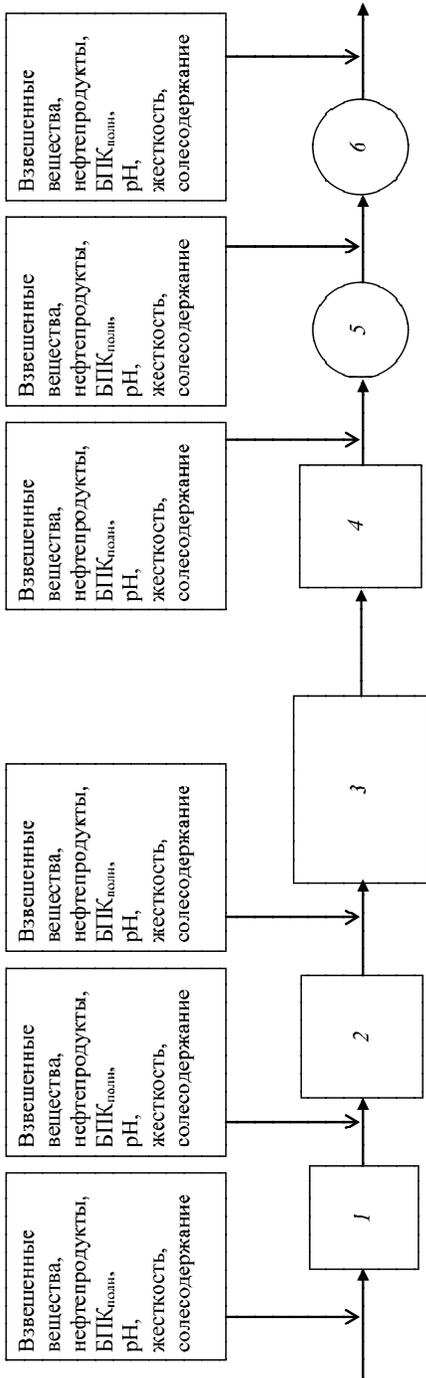


Рис. 2. Форма составления технологической схемы очистки воды:
1 – решетка; 2 – первичные отстойники; 3 – аэротенки; 4 – вторичные отстойники; 5 – песчаные фильтры; 6 – сорбционные фильтры

Таблица 3

Данные по водопотреблению и водоотведению промпредприятия

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Водопотребление (нормативное) Q_0 , $\text{м}^3/\text{ч}$	1000	2500	5000	1000	3000	2000	1500	1200	500	1500
Водоотведение (нормативное) Q_1 , $\text{м}^3/\text{ч}$	980	2400	4900	990	2950	1950	1400	1150	490	1480
Потери воды в производстве q_1 , $\text{м}^3/\text{ч}$	20	100	100	10	50	50	100	50	10	20
Перепад температур ΔT , $^{\circ}\text{C}$	10	7	5	8	6	9	6	8	6	7

Таблица 4

Солесодержание свежей (добавляемой) воды, фоновая концентрация оборотной воды и требования к качеству технической воды

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Начальное (фоновое) солесодержания воды $C_{0(0)}$, мг/л	500	400	500	200	800	600	700	500	400	200
Солесодержание свежей воды $C_{\text{св}}$, мг/л	800	900	900	450	1200	700	1100	1200	500	350
Допустимая концентрация солей $C_{\text{доп}}$, мг/л	1000	1000	1000	500	1300	800	1150	1300	600	400

Таблица 5

Потери воды на продувку системы оборотного водоснабжения промпредприятия

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Объем продувки $q_{\text{прод}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	40	65	150	90	260	95	120	90	100	60

На рис. 4 показана блок-схема программы – файл «СистОборВодосн-1», которая поясняет ход выполнения работы на ПЭВМ по выбору типа охладителя и определению равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде по данным табл. 3, 4, 5.

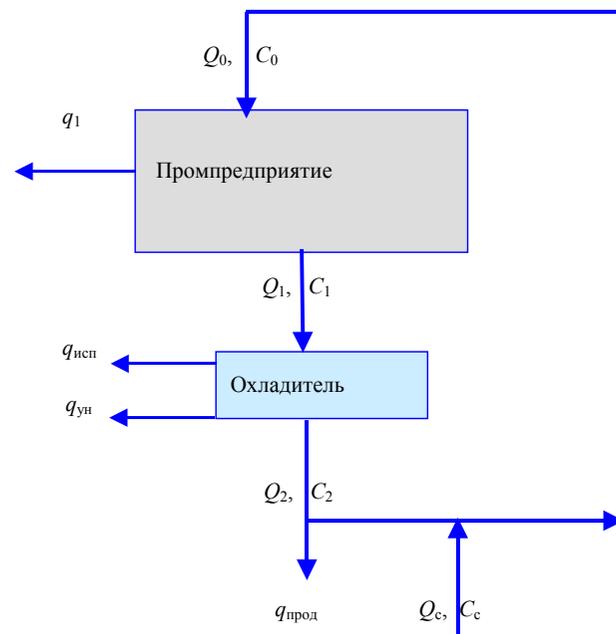


Рис. 3. Расчетная схема оборотной системы водоснабжения предприятия («чистый цикл»): Q – расход воды; C – концентрация загрязнений (солесодержание); q_1 – потери воды на производстве; $q_{\text{ун}}$ – потери воды на брызгоунос; $q_{\text{исп}}$ – потери воды на испарение; $q_{\text{прод}}$ – потери воды на продувку; $Q_{\text{св}}$, $C_{\text{св}}$ – соответственно, расход и концентрация свежей (добавляемой) воды

При работе с программой раскрывается окно, содержащее расчетную схему оборотной системы водоснабжения отдельного производства («чистый цикл») и запрашивающее исходные данные для расчета.

Исходные данные включают:

- расход воды, на производственные нужды, поступающей на предприятие, Q_0 ;
- начальную концентрацию загрязнений (солесодержание) в поступающей на производство воде C_0 ;
- допустимую концентрацию загрязнений (солесодержание) в поступающей на производство воде $C_{\text{доп}}$;
- потери воды в производстве q_1 ;
- требуемый перепад температуры воды на охладителе ΔT ;
- температуру наружного воздуха (в расчетный период по мокрому термометру) $T_{\text{в}}$ (принимается равной 20°C);
- концентрацию загрязнений (солесодержание) в свежей воде $C_{\text{св}}$;
- расход воды на продувку системы $q_{\text{прод}}$.

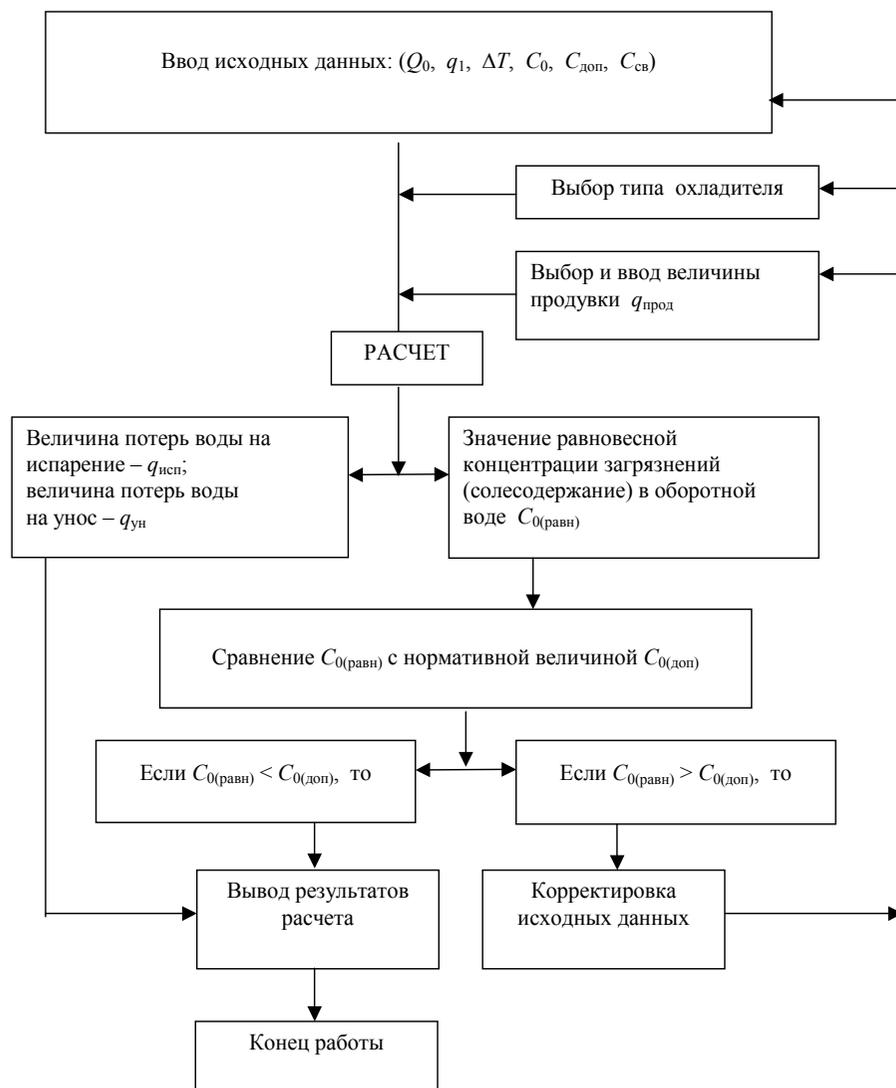


Рис. 4. Блок-схема программы «Выбор типа охладителя и определение равновесной концентрации загрязнений (солесодержание) в системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» (файл «СистОборотВодосн-1»)

Дополнительно необходимо выбрать тип охладителя. В отдельное окно вводятся также своя фамилия и номер учебной группы.

Программа позволяет определить потери воды на ветровой и капельный унос и на испарение в охладителе в зависимости от его типа. После ввода всех данных

следует нажать кнопку «Расчет». Результаты расчета отражаются при нажатии кнопки «Отчет».

В результате расчета по этой программе определяют:
 потери воды в охладителе на ветровой и капельный унос $q_{ун}$;
 потери воды в градирне на испарение $q_{исп}$;
 расход свежей подпиточной воды $Q_{св}$;
 равновесную концентрацию загрязнений (по солесодержанию) в воде, поступающей на производство $C_{0(равн)}$;
 число циклов оборота воды n ;
 расходы воды на каждом участке оборотного цикла Q_i ;
 концентрации загрязнений (солесодержание) в воде на каждом участке оборотного цикла C_i .
 Результаты расчетов в виде отчета можно распечатать.

Представление результатов работы

Отчет о проведенной лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту из табл. 3, 4, 5.
2. Результаты определения величин потерь воды на охладителях ($q_{ун}$ – потери воды на брызгоунос; $q_{исп}$ – потери воды на испарение); потребный расход свежей (добавляемой) воды – $Q_{св}$; потери воды на продувку – $q_{прод}$; равновесную концентрацию – $C_{равн}$.
3. Обоснование выбора типа охладителя по результатам проведенных определений.

Результаты определения указанных данных рекомендуется представить в табличном виде (по форме табл. 6).

Таблица 6

Форма результатов определений по выбору типа охладителя

Тип охладителя	Потери воды, м ³ /сут			Потребный расход свежей воды $Q_{св}$, м ³ /сут	Равновесная концентрация (солесодержание) в оборотной воде $C_{равн}$, мг/л
	на охладителе		$q_{прод}$		
	$q_{ун}$	$q_{исп}$			
Открытая и брызгальная градирня	+	+	+	+	+
Башенная градирня без водоуловителя	+	+	+	+	+
Башенная градирня с водоуловителем	+	+	+	+	+
Вентиляторная градирня с водоуловителем	+	+	+	+	+
Брызгальный бассейн	+	+	+	+	+

Лабораторная работа № 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРОДУВЧНЫХ
СБРОСОВ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
«ЧИСТОГО ЦИКЛА» ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

При обработке оборотной воды на охладителях происходит ее испарение (упаривание), за счет чего повышается солесодержание воды. Повторное использование воды с повышенным солесодержанием в производственном процессе может привести к отложению солей в теплообменниках, ухудшению их технологических параметров и выходу оборудования из строя. Для предотвращения этого в оборотной системе водоснабжения «чистого цикла» предусматривают при необходимости сброс определенного расхода воды с повышенным солесодержанием (продувку) и добавление соответствующего расхода свежей воды.

Задание

- По заданному варианту исходных данных (см. табл. 3, 4) произвести расчеты на ПЭВМ оборотной системы водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия с выбранным типом охладителя в нескольких вариантах, задавая различную величину продувки (от 0 до 15 % от расхода воды).
- Определить равновесную концентрацию загрязнений (солесодержание) в оборотной воде на входе на промышленное предприятие при разных величинах продувки. Определить оптимальную (минимальную) величину продувки, при которой обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$.
- Определить и нанести на схему показатели качества и расходы воды на каждом участке оборотной системы водоснабжения при оптимальной (минимальной) величине продувки.

Исходные данные

Исходные данные выбирают по заданному варианту из табл. 3, 4 лабораторной работы № 2. В системе оборотного водоснабжения принимают тип охладителя, выбранный в лабораторной работе № 2.

Порядок выполнения работы

Основные требования к оборотным системам водоснабжения предприятий определяются следующими граничными условиями:

1. Расход воды, подаваемой на промпредприятие, должен быть равен нормативному расходу: $Q_0 = Q_{норм}$.
2. Концентрация загрязнений в оборотной воде, подаваемой на промпредприятие, должна соответствовать нормам: $C_0 \leq C_{норм}$.
3. Суммарные затраты на реализацию оборотной системы водоснабжения должны быть минимальны: $\Sigma \text{Затр} \Rightarrow \min$.

Последнее условие принимают как условие оптимизации системы, которое в рамках данной работы можно свести к выбору наиболее дешевого типа охладителя, минимальных расходов свежей воды и объемов продувки.

Технологическая схема и расчетная блок-схема оборотной системы водоснабжения предприятия («чистый цикл») показаны на рис. 5.

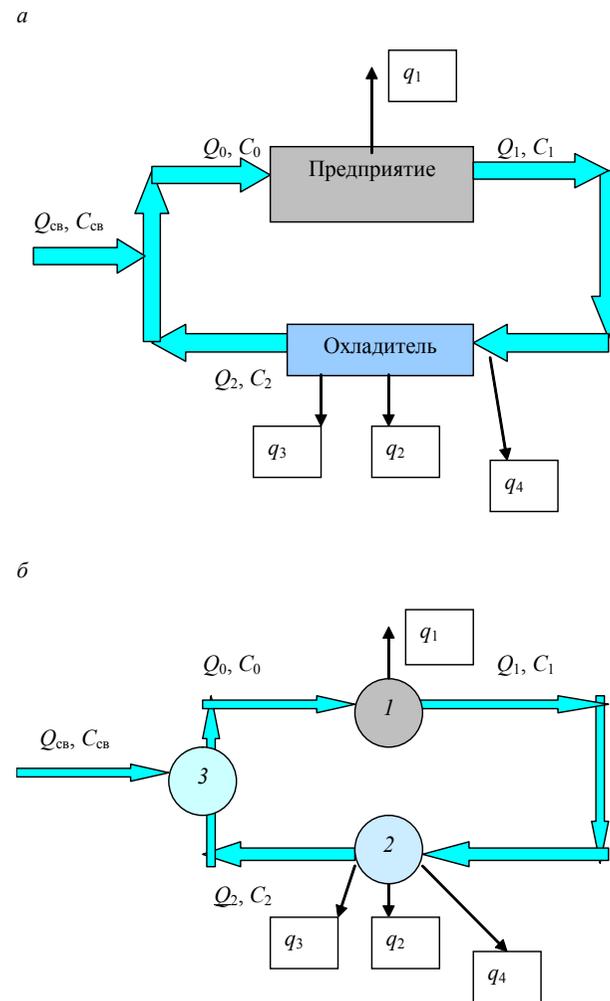


Рис. 5. Технологическая схема (а) и расчетная блок-схема (б) оборотной системы водоснабжения предприятия («чистый цикл»):
 Q_0 – объем водопотребления предприятия цеха; $Q_{св}$ – объем подпиточной (свежей) воды;
 q_1 – потери воды в производстве; q_2 – потери воды на брызгоунос в охладителе;
 q_3 – потери воды на испарение в охладителе; q_4 – продувочный расход;
 C_i – концентрация загрязнений (минеральных солей) в оборотной воде;
 $C_{св}$ – солесодержание свежей (подпиточной) воды;
 1 – предприятие, 2 – охладитель, 3 – насосная станция

Расчет системы оборотного водоснабжения «чистого цикла» производят на основе уравнений водного и материального балансов.

Уравнение водного баланса для определенного узла системы имеет вид

$$Q_{\text{вход}} = Q_{\text{выход}} + \sum q_{\text{пот}} \quad (1)$$

Расход воды изменяется по отдельным участкам системы, но остается постоянным во времени. С учетом первого граничного условия ($Q_0 = Q_{\text{норм}}$) уравнение водного баланса для всей системы оборотного водоснабжения в целом будет

$$Q_{\text{св}} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \quad (2)$$

Уравнение материального баланса для определенного узла системы в общем виде

Масса вещества, вносимого с поступающим потоком воды	=	Масса вещества, вносимого с выходящим потоком воды	+	Масса вещества, вносимого с потерями воды	·	(3)
---	---	---	---	---	---	-----

Концентрация вещества в потоке оборотной воды меняется на разных участках системы (после охладителя, после смешения потока оборотной воды со свежей), а также по участкам оборотной системы и во времени. В частности, **содержание оборотной воды, поступающей в производственный процесс** C_0 , может повышаться по циклам оборота воды до тех пор, пока не достигнет равновесной (постоянной) величины $C_{0(\text{равн})}$ при определенных параметрах системы.

Для соблюдения второго граничного условия ($C_0 \leq C_{\text{норм}}$) необходимо определить равновесную (максимальную) величину $C_{0(\text{равн})}$, которая не должна превышать допустимую (нормативную) концентрацию.

Для определения равновесной концентрации вещества по содержанию в потоке последовательно производят расчет по узлам системы и циклам оборота воды, составляя уравнения материального баланса в оборотной воде.

Последовательность расчетов по определению равновесной концентрации $C_{0(\text{равн})}$ приведена ниже.

1-й цикл оборота воды в системе

Узел 1

$$C_{0,0} Q_0 = C_{1,0} Q_1,$$

где $C_{0,0}$ – начальная концентрация; $C_{1,0} = C_{0,0}$.

Узел 2

$$C_{2,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,0} / Q_2 - \text{концентрация солей в воде после охладителей.}$$

Узел 3

$C_{0,1} = (Q_0 - q_1 - q_2) C_{0,0} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0$ – концентрация солей в воде, поступающей в производственный процесс после 1-го цикла.

2-й цикл оборота воды в системе

Узел 1

$$C_{0,1} Q_0 = C_{1,1} Q_1,$$

$C_{0,1}$ – начальная концентрация (в начале 2-го цикла оборота); $C_{1,1} = C_{0,1}$.

Узел 2

$C_{2,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_2$ – концентрация солей в воде после охладителей во 2-м цикле.

Узел 3

$C_{0,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0$ – концентрация солей в воде, поступающей в производственный процесс после 2-го цикла оборота.

n-й цикл оборота

Узел 1

$$C_{0,n-1} Q_0 = C_{1,n-1} Q_1,$$

где $C_{0,n-1}$ – начальная концентрация (в начале n-го цикла оборота); $C_{1,n-1} = C_{0,n-1}$.

Узел 2

$C_{2,n-1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_2$ – концентрация солей в воде после охладителей в n-м цикле.

Узел 3

$C_{0,n} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0$ – концентрация солей в воде, поступающей в производственный процесс после n-го цикла оборота.

Блок-схема программы «Определение равновесной концентрации загрязнений в системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» (файл «СистОборот-Водосн-1») показана на рис. 6.

Представление результатов работы

Отчет о проведенной лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту (см. табл. 3, 4).
2. Результаты определения величин расходов свежей (подпиточной) воды и равновесной концентрации $C_{0(\text{равн})}$ при различных величинах продувки $q_{\text{прод}}$ (от 0 до 15 % от Q_0) в табличной форме (табл. 7).
3. График зависимости равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде $C_{0(\text{равн})}$ по содержанию при различных величинах продувки $q_{\text{прод}}$ (от 0 до 15 % от Q_0). По графику определить оптимальную (минимальную) величину продувки системы, при которой обеспечивается равенство $C_{0(\text{равн})} = C_{\text{доп}}$.
4. Схему оборотной системы водоснабжения с нанесением показателей качества и расходов воды на каждом участке при минимальной (оптимальной) величине продувки.

Форма результатов определения равновесной концентрации загрязнений $C_{0(равн)}$

Величина продувки системы $q_{прод}$, % от Q_0	Потребный расход свежей (подпиточной) воды $Q_{св}$, м ³ /сут	Равновесная концентрация (солесодержание) в оборотной воде $C_{0(равн)}$, мг/л
0	+	+
1	+	+
2	+	+
3	+	+
4	+	+
5 и т. д.	+	+

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ «ЧИСТОГО ЦИКЛА» ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ КАЧЕСТВЕ СВЕЖЕЙ (ПОДПИТОЧНОЙ) ВОДЫ

Задание

- По заданному варианту исходных данных произвести расчеты на ПЭВМ оборотной системы водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия с выбранным типом охладителя, задаваясь различным качеством свежей (подпиточной) воды.
- Определить равновесную концентрацию загрязнений (солесодержание) в оборотной воде на входе на промышленное предприятие, задаваясь различными концентрациями качества свежей воды (из разных источников).
- Определить максимальную концентрацию загрязнений (солесодержание) в свежей воде, при котором обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$ (при отсутствии или минимальной величине продувки системы).
- Определить и нанести на схему показатели качества и расходы воды на каждом участке оборотной системы водоснабжения при оптимальном варианте источника свежей воды.

Исходные данные

Исходные данные выбираются по заданному варианту (см. табл. 3, 4 и 8). В системе оборотного водоснабжения принимают тип охладителя, выбранный в лабораторной работе № 2. Величину продувки в начале принимают равной нулю. Технологическая и расчетная схемы оборотной системы водоснабжения предприятия («чистый цикл») показаны на рис. 5.

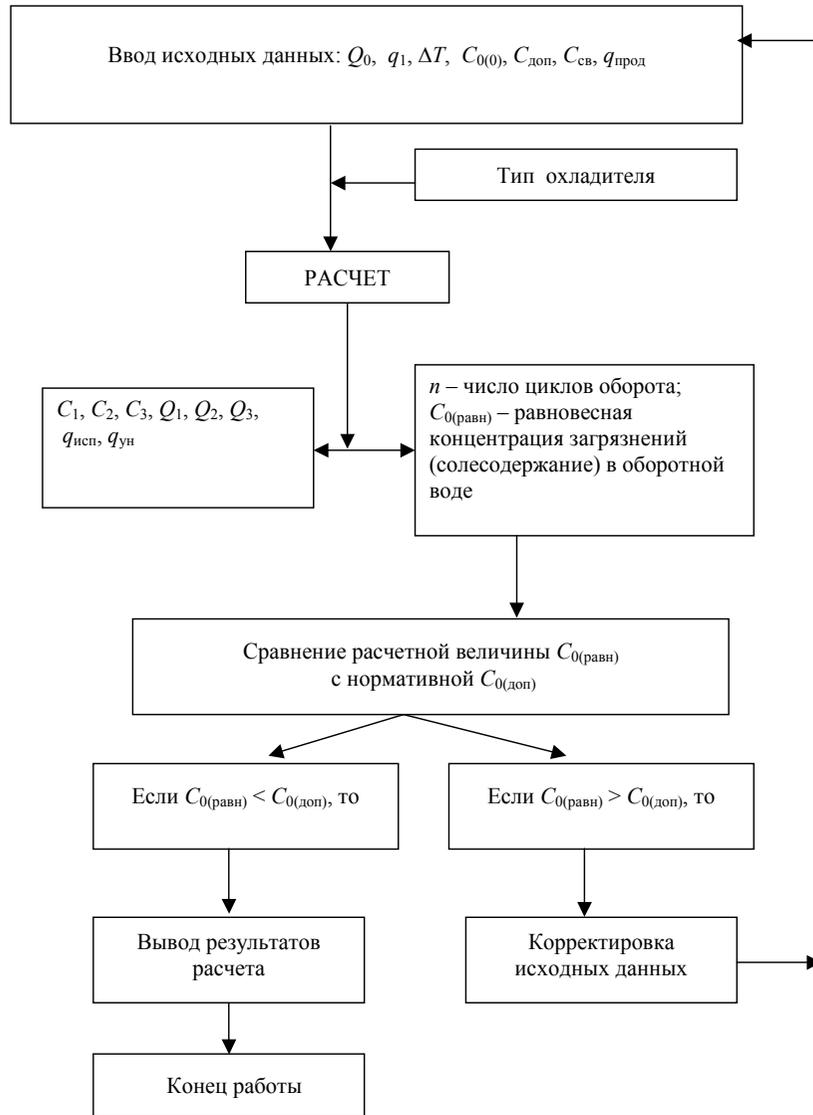


Рис. 6. Блок-схема программы «Определение равновесной концентрации загрязнений в системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» (файл «СистОборотВодосн-1»)

Порядок выполнения работы

Работу выполняют с помощью программы «Определение равновесной концентрации загрязнений в системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» (файл «СистОборотВодосн-1»), блок-схема которой показана на рис. 6.

Таблица 8

Данные о качестве свежей (подпиточной) воды из разных источников

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	<i>Солесодержание свежей воды $C_{св}$, мг/л, из различных источников</i>									
1-й источник	800	900	900	450	1200	700	1100	1200	500	350
2-й «	780	870	880	430	1170	680	1070	1180	480	340
3-й «	750	840	850	410	1130	660	1040	1150	460	330
4-й «	730	810	810	400	1100	640	1010	1120	450	320
5-й «	700	780	780	390	1080	620	990	1080	440	300
6-й «	670	700	700	350	1000	600	960	1000	400	280

Представление результатов работы

Отчет о проведенной лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту из табл. № 3, 4 и 8.
2. Результаты определения величин расходов свежей (подпиточной) воды и значений равновесных концентраций загрязнений $C_{0(равн)}$ при разных показателях качества свежей воды (из разных источников) при отсутствии или минимальной величине продувки системы (в табличной форме (табл. 9)).
3. График зависимости равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде $C_{0(равн)}$ по солесодержанию при разных показателях качества свежей воды (из разных источников). По графику определяют оптимальный источник свежей воды, при добавлении которой обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$ (при отсутствии или минимальной величине продувки системы).
4. Схему оборотной системы водоснабжения с нанесением показателей качества и расходов воды на каждом участке оборотной системы водоснабжения при оптимальном варианте источника свежей воды и отсутствии или минимальной величине продувки системы.

Таблица 9

Форма результатов определения равновесной концентрации загрязнений $C_{0(равн)}$ при разных источниках свежей воды

Источник свежей воды	Солесодержание свежей воды $C_{св}$, мг/л	Потребный расход свежей воды $Q_{св}$, м ³ /сут (при $q_{прод} = 0$)	Равновесная концентрация (солесодержание) в оборотной воде $C_{0(равн)}$, мг/л (при $q_{прод} = 0$)
1-й источник	+	+	+
2-й «	+	+	+
3-й «	+	+	+
4-й «	+	+	+
5-й «	+	+	+
6-й «	+	+	+

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ «ГРЯЗНОГО ЦИКЛА» ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Если вода, используемая в производственном процессе, загрязняется, то для ее повторного использования в системе оборотного водоснабжения необходимо предусмотреть очистные сооружения. Требуемая эффективность очистки загрязненных вод определяется количеством и составом вносимых в воду загрязнений, а также требованиями к качеству очищенной воды.

Задание

- По заданному варианту исходных данных (табл. 10...12), пользуясь программой (файл «СистОборотВодосн-2»), произвести расчеты на ПЭВМ оборотной системы водоснабжения «грязного цикла» промышленного предприятия, выбирая разные методы очистки загрязненной воды и задавая соответствующую эффективность очистки.
- Определить равновесную концентрацию загрязнений (по заданным показателям) в оборотной воде на входе на промышленное предприятие при разных эффектах очистки.
- Определить минимальные значения эффекта очистки оборотной воды (по заданным показателям), при котором обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$ (при отсутствии или минимальной величине продувки системы).

- Определить и нанести на схему расходы и показатели качества воды (по заданным показателям) на каждом участке оборотной системы водоснабжения при оптимальном варианте (эффективности очистки) оборотной воды.

Исходные данные

Исходные данные выбирают по заданному варианту (см. табл. 10...12). В табл. 10 приведены данные о водопотреблении и водоотведении промпредприятия, о массе вносимых в воду загрязнений; табл. 11 содержит данные о начальной концентрации загрязнений в оборотной и свежей воде, а табл. 12 – требования к качеству очищенной воды (предельно допустимая концентрация загрязнений).

Таблица 10

Данные по водопотреблению и водоотведению промпредприятия

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Водопотребление (нормативное), м ³ /ч	1000	2500	500	1000	3000	2000	1500	1200	500	1900
Водоотведение (нормативное), м ³ /ч	900	2200	450	950	2800	1800	1400	1100	200	1810
Масса вносимых загрязнений, кг/ч:										
по взвешенным веществам	150	100	50	100	250	80	250	200	40	60
по нефтепродуктам	100	50	25	40	100	15	50	100	20	30
по БПК _{полн}	200	200	80	60	200	40	100	150	50	60

Таблица 11

Концентрация загрязнений в свежей (добавляемой) и фоновая концентрация загрязнений в оборотной воде

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Взвешенные (нерастворенные) вещества, мг/л	5	1	2	4	5	3	2	3	5	5
Нефтепродукты, мг/л	1	0,5	1	2	1	0,5	0,6	0,5	1	2
БПК _{полн} , мг/л	5	2	3	3	5	6	2	3	5	5

Таблица 12

Требования к качеству технической воды (предельно допустимая концентрация загрязнений)

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Взвешенные (нерастворенные) вещества, мг/л	10	5	8	10	15	10	15	15	10	10
Нефтепродукты, мг/л	5	3	3	5	5	2	2	5	4	5
БПК _{полн} , мг/л	10	8	5	5	10	10	5	8	10	8

Примечание. Величину потерь воды на очистных сооружениях принять равной 1 % от поступающего расхода.

Порядок выполнения работы

Технологическая схема и расчетная блок-схема оборотной системы водоснабжения предприятия («грязный цикл») показаны на рис. 7.

Расчет системы оборотного водоснабжения выполняется на основе уравнений водного и материального балансов (1)...(3).

Для определения равновесной концентрации вещества (по заданным показателям) в потоке необходимо последовательно производить расчет по узлам системы и циклам оборота воды с составлением уравнений материального баланса в оборотной воде.

Последовательность расчетов по определению равновесной концентрации $C_{0(равн)}$ в системе оборотного водоснабжения «грязного цикла» приведена ниже.

Уравнение водного баланса

$$Q_{св} = (q_1 + q_2 + q_3). \quad (4)$$

1-й цикл оборота воды в системе

Узел 1

$$C_{1,1} = (Q_0 - q_1) \cdot (C_0 + C_{доб}) / Q_1,$$

где $C_{0,0}$ – исходная концентрация загрязнений; $C_{доб} = m / Q_0$; m – масса вносимых загрязнений.

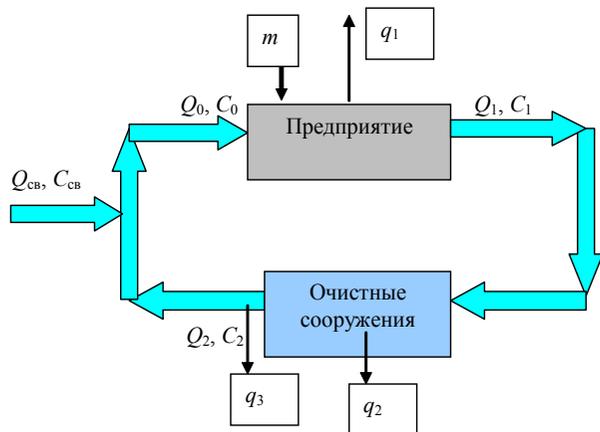
Узел 2

$C_{2,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,0} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_2$ – концентрация загрязнений в воде после очистных сооружений; \mathcal{E} – эффект очистки, %.

Узел 3

$C_{0,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,0} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрация загрязнений в воде, поступающей в производственный процесс после 1-го цикла оборота.

a



б

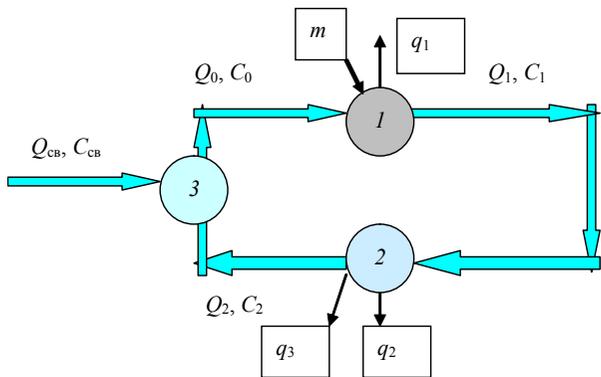


Рис. 7. Технологическая схема (а) и расчетная блок-схема (б) оборотной системы водоснабжения предприятия («грязный цикл»):

Q_0 – объем водопотребления предприятия, цеха; $Q_{св}$ – объем подпиточной (свежей) воды; m – масса вносимых загрязнений; q_1 – потери воды в производстве; q_2 – потери воды на очистных сооружениях; q_3 – сброс воды из системы (продувочный расход); C_i – концентрация загрязнений в оборотной воде, мг/л; $C_{св}$ – концентрация загрязнений в свежей (подпиточной) воде;

1 – предприятие, 2 – очистные сооружения, 3 – насосная станция

2-й цикл оборота воды в системе

Узел 1

$$C_{1,2} = (Q_0 - q_1) \cdot (C_{0,1} + C_{доб}) / Q_1,$$

где $C_{0,1}$ – концентрация загрязнений в воде в начале 2-го цикла оборота.

Узел 2

$$C_{2,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,1} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_2.$$

Узел 3

$C_{0,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,1} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрация загрязнений в воде, поступающей в производственный процесс после 2-го цикла оборота.

n-й цикл оборота

Узел 1

$$C_{1,n} = (Q_0 - q_1) \cdot (C_{0,n-1} + C_{доб}) / Q_1,$$

где $C_{0,n-1}$ – концентрация загрязнений в воде в начале 2-го цикла оборота.

Узел 2

$$C_{2,n} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,n-1} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_2.$$

Узел 2

$C_{0,n} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_3) \cdot (C_{0,n-1} + C_{доб}) \cdot (1 - \mathcal{E}) / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрация загрязнений в воде, поступающей в производственный процесс после n -го цикла оборота.

Ограничения: $Q_0 = Q_{норм}$; $C_{0,n} \leq C_{норм}$.

Блок-схема, показанная на рис. 8, поясняет ход выполнения на ПЭВМ работы по определению равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде по приведенным в табл. 10...12 данным.

Представление результатов работы

Отчет о проведенной лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту (см. табл. 10...12).

2. Результаты определения величин расходов свежей (подпиточной) воды и значений равновесных концентраций загрязнений $C_{0(равн)}$ по заданным показателям (взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн}) при эффектах очистки $\mathcal{E} = 75...98\%$ в табличной форме (табл. 13).

3. Графики зависимости равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде $C_{0(равн)}$ по заданным показателям от эффекта очистки \mathcal{E} по взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн} (при отсутствии или минимальном расходе продувки) с указанием оптимального варианта (минимального эффекта очистки, при котором обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$).

4. Схему оборотной системы водоснабжения с нанесенными показателями качества и расходов воды на каждом участке при оптимальном варианте очистных сооружений (минимальном эффекте очистки) и отсутствии или минимальной величине продувки.

Форма результатов определения равновесной концентрации загрязнений при разных эффектах очистки

Эффект очистки, %	Равновесная концентрация загрязнений в оборотной воде $C_{0(равн)}$, мг/л	Объем продувки q_3 , м ³ /ч
<i>По взвешенным веществам</i>		
75	+	+
80	+	
85	+	
90	+	
95	+	
98	+	
<i>По нефтепродуктам</i>		
75	+	+
80	+	
85	+	
90	+	
95	+	
98	+	
<i>По БПК_{полн}</i>		
75	+	+
80	+	
85	+	
90	+	
95	+	
98	+	

**Лабораторная работа № 6
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ «ГРЯЗНОГО ЦИКЛА» ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ КАЧЕСТВЕ СВЕЖЕЙ
(ПОДПИТОЧНОЙ) ВОДЫ**

Задание

- По заданному варианту исходных данных, пользуясь программой (файл «СистОборотВодосн-2»), произвести расчеты на ПЭВМ оборотной системы водоснабжения «грязного цикла» промышленного предприятия, задавая разным качеством свежей (подпиточной) воды из различных источников.
- Определить равновесную концентрацию загрязнений в оборотной воде по заданным показателям (взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн}) на входе на промышленное предприятие при разных показателях качества свежей (подпиточной) воды.
- Определить оптимальный источник свежей (подпиточной) воды, при котором обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$ по заданным показателям (взве-

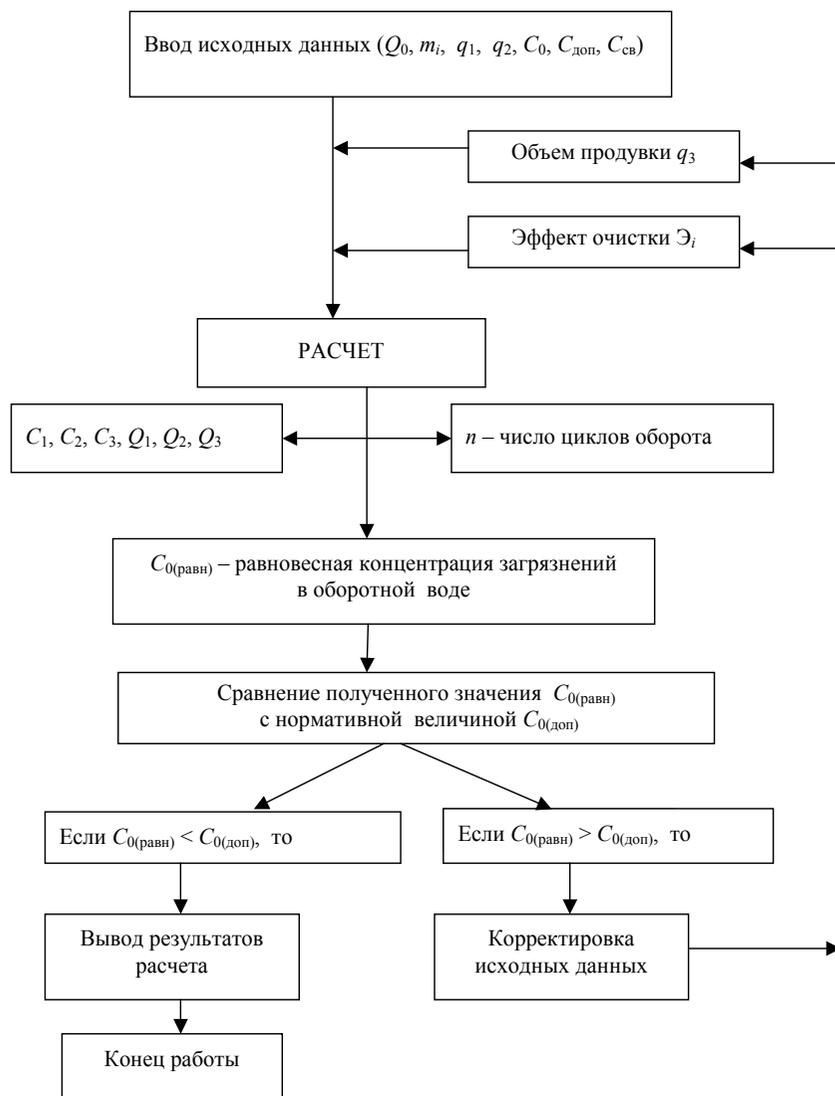


Рис. 8. Блок-схема программы «Определение равновесной концентрации загрязнений в системе оборотного водоснабжения «грязного цикла» (файл «СистОборотВодосн-2)»

шенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн}) при минимальной эффективности очистки.

- Определить и нанести на схему расходы и показатели качества воды (по заданным показателям) на каждом участке оборотной системы водоснабжения при оптимальном варианте источника свежей (подпиточной) воды.

Исходные данные

Исходные данные выбирают по заданному варианту из табл. 10, 12 и 14. В табл. 10 приведены данные о водопотреблении и водоотведении промпредприятия, о массе вносимых в воду загрязнений. Табл. 12 содержит требования к качеству очищенной воды (предельнодопустимая концентрация загрязнений), в табл. 14 даны концентрации загрязнений в свежей (подпиточной) воде из разных источников

Технологическая схема и расчетная блок-схема оборотной системы водоснабжения предприятия («грязный цикл») показаны на рис. 7.

Порядок выполнения работы

Расчеты производят на ПЭВМ по программе, блок-схема которой показана на рис. 8 (файл «СистОборотВодосн-2»).

Представление результатов работы

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Задание и исходные данные по заданному варианту (табл. 10, 12 и 14).
2. Результаты определения значений равновесных концентраций загрязнений $C_{0(равн)}$ по заданным показателям (взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн}) при разных источниках свежей (подпиточной) воды в табличной форме (табл. 15).

3. Графики зависимости равновесной концентрации загрязнений в оборотной воде $C_{0(равн)}$ по заданным показателям (взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК_{полн}) при различных источниках свежей (подпиточной) воды с указанием оптимального варианта (максимальной концентрации загрязнений в свежей воде), при котором обеспечивается равенство $C_{0(равн)} = C_{доп}$.

4. Схему оборотной системы водоснабжения с нанесенными показателями качества и расходов воды на каждом участке при оптимальном варианте источника свежей (подпиточной) воды и минимальном эффекте очистки (при отсутствии продувки).

Таблица 14

Концентрация загрязнений в свежей (подпиточной) воде из разных источников

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>Концентрация загрязнений в свежей воде, мг/л</i>										
Взвешенные вещества:										
1-й источник	6	4	5	7	7	5	5	6	8	7
2-й «	7	3	4	5	6	4	4	5	7	6
3-й «	4	2	3	3	4	2	3	4	6	4
4-й «	3	0,5	1	2	3	1	1	2	4	3
Нефтепродукты:										
1-й источник	0,2	0,7	1,3	3	1,5	0,2	1,2	1,2	1,5	0,5
2-й «	0,5	0,6	1,1	2,5	1,2	0,4	1	1	0,9	1
3-й «	0,8	0,4	0,8	1,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	1,6
4-й «	1,5	0,3	0,5	1,2	0,6	1	0,5	0,3	0,3	2,5
БПК_{полн}:										
1-й источник	3	4	5	2,5	7	4	5	2	7	4
2-й «	4	3	4	3,5	6	5	4	2,5	6	6
3-й «	6	1,5	2,5	4	4	7	3	4	4	7
4-й «	7	1	2	5	3	8	1,5	5	3	3

Таблица 15

Форма результатов определения равновесной концентрации загрязнений $C_{0(равн)}$ при различных источниках свежей воды

Концентрация загрязнений в свежей воде из разных источников, мг/л	Эффект очистки на ЛОС, %	Равновесная концентрация загрязнений в оборотной воде $C_{0(равн)}$, мг/л (при $q_{прод} = 0$)
Взвешенные вещества:		
1-й источник	+	+
2-й «	+	+
3-й «	+	+
4-й «	+	+
Нефтепродукты:		
1-й источник	+	+
2-й «	+	+
3-й «	+	+
4-й «	+	+
БПК_{полн}:		
1-й источник	+	+
2-й «	+	+
3-й «	+	+
4-й «	+	+

Рекомендуемая литература

1. *Укрупненные* нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. М.: Стройиздат, 1978.
2. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. М., 2001.
3. ГН 2.2.5.1315–03. Гигиенические нормативы. Предельнодопустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М., 2003.
4. *Рациональное* использование водных ресурсов: Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Е. Н. Прозоров и др. М.: Высшая школа, 1991.
5. *Феофанов Ю. А., Подпорин А. В.* Комплексное использование водных ресурсов. Метод. указания по выполнению курсового проекта / СПбГАСУ. СПб., 1999.

Оглавление

Лабораторная работа № 1. Выбор технологической схемы очистки воды и определение показателей ее качества.....	1
Лабораторная работа № 2. Выбор типа охладителя и определение величин потерь воды в системе оборотного водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия.....	5
Лабораторная работа № 3. Определение оптимального объема продувочных сбросов воды для системы оборотного водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия.....	10
Лабораторная работа № 4. Определение параметров системы оборотного водоснабжения «чистого цикла» промышленного предприятия при различном качестве свежей (подпиточной) воды.....	15
Лабораторная работа № 5. Определение оптимальной эффективности очистки загрязненных вод системы оборотного водоснабжения «грязного цикла» промышленного предприятия.....	17
Лабораторная работа № 6. Определение параметров системы оборотного водоснабжения «грязного цикла» промышленного предприятия при различном качестве свежей (подпиточной) воды.....	23
Рекомендуемая литература.....	26

**ВЫБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ
ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Составитель Юрий Александрович Феофанов

Редактор Л. А. Мозгунова
Корректор К. И. Бойкова
Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 24.12.2007. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.
Усл. печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,87. Тираж 200 экз. Заказ 207. «С» 93.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, 4.
Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, 5.