

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.13

УДК 628.3

В.С. Владимирова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА КРАСНОВИШЕРСКА

Проведен анализ работы канализационных очистных сооружений города Красновишерска (население – около 17,8 тыс. человек, суточный расход сточных вод – 4700 м³/сут) по предоставленным осредненным показателям состава сточных вод на разных стадиях очистки. Выявлены проблемы, связанные с недостаточной эффективностью очистки сточных вод от биогенных элементов: углерода (органических соединений), азота и фосфора. Рассмотрены основные и модифицированные схемы биологической очистки сточных вод от углерода (органических соединений), азота и фосфора. Проведен лабораторный эксперимент на бытовых сточных водах после сооруженной механической очистки, перед биологическими сооружениями, с целью определения оптимального времени обработки сточных вод по основному компоненту, входящему в состав анализируемых стоков, – БПК. Параллельно был произведен теоретический расчет времени обработки сточных вод и требуемого объема сооружений биологической очистки (аэротенка). Для решения проблемы недостаточной эффективности очистки от органических соединений и азота объем сооружений биологической очистки должен быть увеличен в 1,5 раза. Для решения проблемы недостаточной эффективности очистки от фосфора существующая схема города Красновишерска дополнена блоком реагентного извлечения фосфора в конце очистной цепочки, перед обеззараживанием, в который входят вертикальные отстойники с встроенными камерами хлопьеобразования, реагентное хозяйство и фильтры. Выполнен расчет этих сооружений. Приняты три вертикальных отстойника со встроенными камерами хлопьеобразования. В качестве реагента используется сернокислородное железо (III) дозой 6,5 мг/л. Предложена технологическая схема очистки сточных вод, которая может быть использована и для других городов типа города Красновишерска.

Ключевые слова: сточные воды, эффективность очистки, реконструкция, биологические очистные сооружения, биогенные элементы: углерод, азот, фосфор, аэротенк.

V.S. Vladimirova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL TREATMENT STRUCTURES OF THE TOWN KRASNOVISHERSK

An analysis of wastewater treatment plants Krasnovishersk town (population – about 17,8 thousand people, the daily sewage flow – 4700 m³/day.) Provided by the averaged parameters of wastewater at various stages of purification. The problems associated with lack of efficiency of wastewater nutrients: carbon (organic compounds), nitrogen and phosphorus. The basic scheme and modified biological wastewater treatment by carbon (organic compounds), nitrogen and phosphorus. Conducted a labora-

tory experiment on domestic wastewater plants after mechanical treatment before biological structures, in order to determine the optimal time of wastewater treatment in the main components included in the analyzed wastewater: BOD. Was carried out in parallel theoretical calculation time of wastewater treatment and the required volume of biological treatment (aeration tank). To solve the problem of insufficient cleaning performance of organic compounds and nitrogen volume of biological treatment should be increased by 1,5 times. To solve the problem of insufficient cleaning performance phosphorus existing scheme is extended by the town Krasnovishersk reagent extraction of phosphorus at the end of the cleaning chain, before disinfection, which consists of vertical sedimentation tanks with built-in cameras flocculation, Reagent and filters. The calculation of these structures. Accepted 3 vertical sump with integrated cameras flocculation. As the reagent used iron sulfate (III) dose of 6,5 mg/l. The process flow-sheet wastewater treatment, which can be used for other cities such as the town Krasnovishersk.

Keywords: sewage, efficiency of cleaning, reconstruction, biological treatment structures, biogenic components: carbon, nitrogen and phosphorus, aerotank.

На сегодняшний день некоторые из существующих очистных сооружений не обеспечивают необходимой эффективности очистки и требуют усовершенствования. Приведение показателей их работы в соответствие действующим нормативам является актуальной задачей.

В настоящее время население г. Красновишерска составляет около 17,8 тыс. человек. Суточный расход сточных вод – 4700 м³/сут [1].

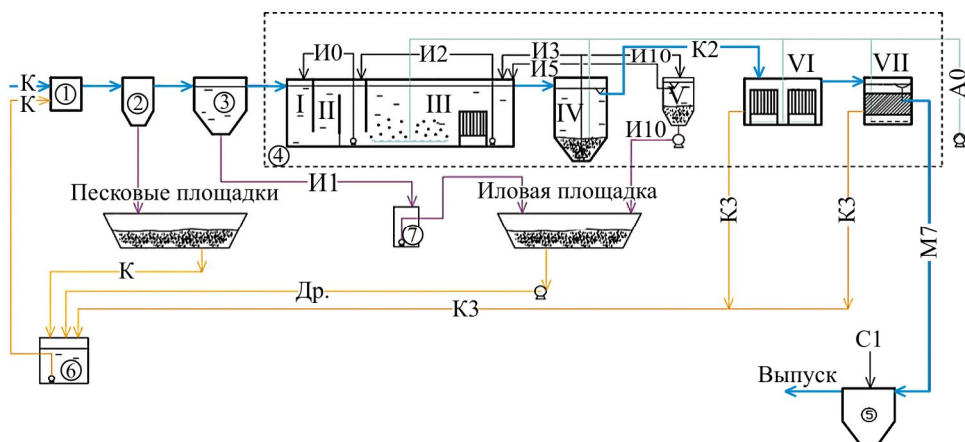
Существующая канализационная очистная станция включает в себя блоки механической, биологической очистки, обеззараживания, а также блок обработки осадка. В блок механической очистки входят решетки, песколовки и первичные отстойники. Сооружения биологической очистки запроектированы для извлечения из сточных вод органических веществ, а также соединений азота и фосфора. Сточные воды последовательно обрабатываются в аэротенках с анаэробной и аэробной зонами, а затем в биореакторах и биофильтрах. Обеззараживание сточных вод осуществляется методом хлорирования. Очищенные сточные воды сбрасываются в рыбохозяйственный участок реки Вишеры.

На рис. 1 представлена технологическая схема очистных сооружений г. Красновишерска.

В табл. 1 представлены осредненные показатели состава сточных вод на разных стадиях очистки.

Проведенный анализ работы канализационных очистных сооружений показал следующее:

- 1) сооружения механической очистки работают достаточно эффективно;
- 2) концентрации очищенных сточных вод превышают нормативные, установленные контролирующей организацией, по нескольким показателям; а именно: БПК, азот аммонийный, нитриты, нитраты, фосфаты.



Экспликация зданий и сооружений:

- 1 – здание решеток
- 2 – песколовка
- 3 – первичный отстойник
- 4 – блочно-модульная установка БЛОК-900
 - I – анаэробная зона аэротенка
 - II – аноксидная зона аэротенка
 - III – аэробная зона аэротенка
 - IV – вторичный отстойник
 - V – илоуплотнитель
 - VI – биореактор
 - VII – биофильтр
- 5 – контактный резервуар
- 6 – насосная станция
- 7 – насосная станция перекачки осадка

Условные обозначения:

- M1– сточная вода
 M2 – сток на доочистку
 M7 – очищенная вода
 ИО – аноксидный рецикл
 И2 – рециркуляция нитратов
 И3 – возвратный ил
 И10 – избыточный ил
 И5 – надиловая вода
 АО – сжатый воздух
 Х1 – хлоропровод
 К – существующая канализация
 К3 – сброс промывной воды
 И1 – осадок первичных отстойников

Рис. 1. Технологическая схема очистных сооружений г. Красновишерска

Для обеспечения выполнения требуемого норматива и более глубокой очистки стоков требуется реконструкция очистных сооружений.

Рассмотрены и проанализированы основные и модифицированные схемы биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора, разработанные несколькими исследовательскими организациями [2, 3].

Схема биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора представлена на рис. 2.

В первичном отстойнике (I) извлекаются нерастворенные органические примеси.

В облигатной (строгой) анаэробной зоне (II) идут процессы аммонизации органического азота (он превращается в аммонийный азот) и выделения фосфатов из клеток ила в воду.

Таблица 1

**Осредненные за год показатели состава сточных вод
на разных стадиях очистки**

Ингредиент	Расчетная характеристика бытовых сточных вод города, мг/л (по СП 32.13330.2012)	Фактическая характеристика сточных вод после механической очистки, мг/л (по данным лаборатории ОС)	Фактическая характеристика сточных вод после биологической очистки, мг/л	Норматив, мг/л	Норматив качества воды в рыбохозяйственном водоеме 2-й категории, мг/л
БПК полное	227,3	170,8	5,33	3	3
Взвешенные вещества	246,2	134,2	12,44	14,1	3
Азот аммонийный	39,8	38,3	1,19	0,4	0,39
Азот органический	9,5	9	–	–	–
Азот нитритов	0	0,016	0,09	0,08	0,02
Азот нитратов	0	0,11	17	12	9,1
Фосфаты	5,7	5,0	0,94	0,2	0,02
Сульфаты	–	35,2	35	100	100
ХПК	–	198	26,09	27,1	
Нефтепродукты	–	0,12	0,02	0,02	
СПАВ	–	0,3	0,09	0,1	

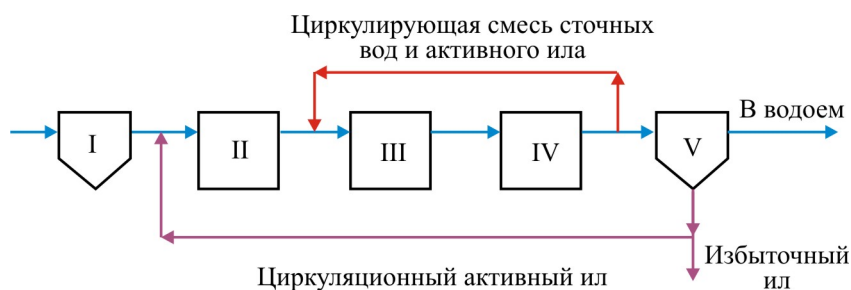


Рис. 2. Схема биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

В аноксидной (нестрогой анаэробной) зоне (III) происходит денитрификация (нитриты и нитраты превращаются в свободный азот) и завершается аммонизация.

В аэробной зоне (IV) идут несколько процессов: окисление органических (углеродсодержащих) примесей, нитрификация (превращение аммонийного азота в нитриты и нитраты), поглощение фосфора илом, а также отдув в атмосферу свободного азота.

Во вторичном отстойнике (V) происходит отделение сточных вод от ила [4].

Схема № 1 (рис. 3) является наиболее простой, так как предусмотрен всего 1 рецикл, и наименее затратной для одновременного удаления соединений азота и фосфора (в основном фосфора).

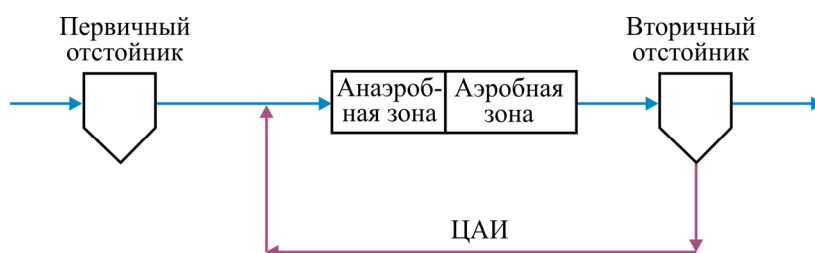


Рис. 3. Схема № 1 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

Возвратный циркуляционный активный ил (ЦАИ) перемешивается с поступающими сточными водами, затем смешанные сточные воды проходят аэробную очистку в аэробной зоне и далее поступают во вторичные отстойники.

Основным недостатком данной схемы является то, что она предназначена преимущественно для удаления фосфора. Аноксидная зона отсутствует: не происходит процесс денитрификации, поэтому извлечение азота происходит только частично.

Применение данной схемы возможно для сточных вод промышленного состава с высокими нагрузками на активный ил по углеродсодержащей органике, умеренной нитрификации и при содержании больших концентраций фосфора [5].

Для более эффективного удаления нитритов и нитратов добавляют аноксидную зону.

Схема № 2 (рис. 4) – наиболее известная и широко применяемая в Европе схема очистки, позволяющая эффективно удалять и азот, и фосфор [6, 7].

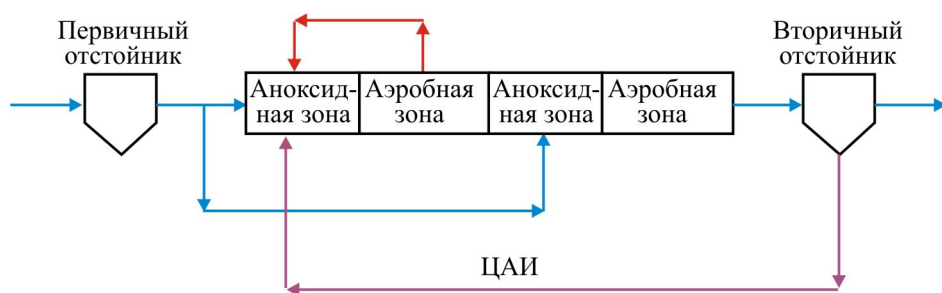


Рис. 4. Схема № 2 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

В данной схеме очистка сточных вод начинается с аноксидной зоны, в которой происходит денитрификация. В эту зону подается, как источник углерода для денитрификатора, и иловая смесь после нитрификатора (аэробной зоны), содержащая нитриты и нитраты.

После аноксидной зоны смешанные сточные воды поступают в аэробную зону, где снижается содержание органических веществ и происходит нитрификация.

Смесь ила из этой зоны, содержащая нитраты, одновременно подается в следующую и в предыдущую аноксидные зоны.

Процесс заканчивается аэробной зоной, в которой происходит нитрификация и частичная дефосфотация.

Недостатком данной схемы является то, что отсутствует строгая анаэробная зона: нет стрессовых условий для фосфорулирующих бактерий, поэтому фосфор извлекается только частично.

В схеме № 3 (рис. 5) уже не 4, а 5 стадий: дополнительная анаэробная зона с коротким периодом пребывания сточных вод (1–3 ч), в которой обеспечивается рост и функционирование фосфорнакапливающих бактерий и стимулируется активное потребление фосфора бактериями в последующей аэробной зоне (фосфор снижается до 95 %) [8].

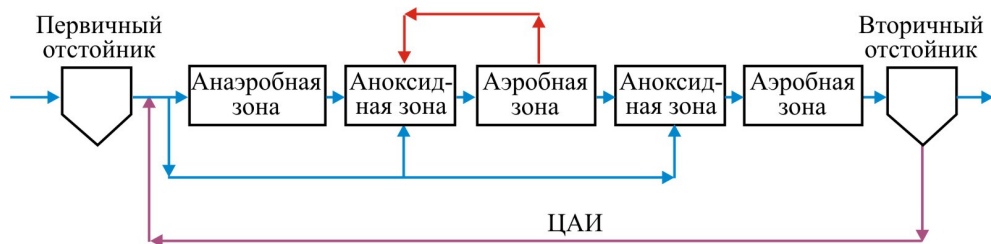


Рис. 5. Схема № 3 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

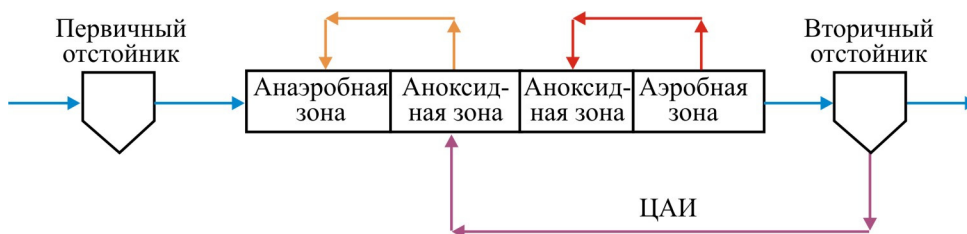


Рис. 6. Схема № 4 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

В схеме № 4 (рис. 6) уже не 2, как в предыдущих схемах, а 3 рециркулирующих потока [9].

Содержание органических примесей снижается до 95 %, азота – до 80 %, фосфора – до 70 %. Общее время пребывания сточных вод в сооружениях биологической очистки – 15–20 ч.

В европейских странах широкое применение получили оксидационные каналы, в которых сточные воды с помощью аэраторов движутся по кругу (рис. 7) [10].

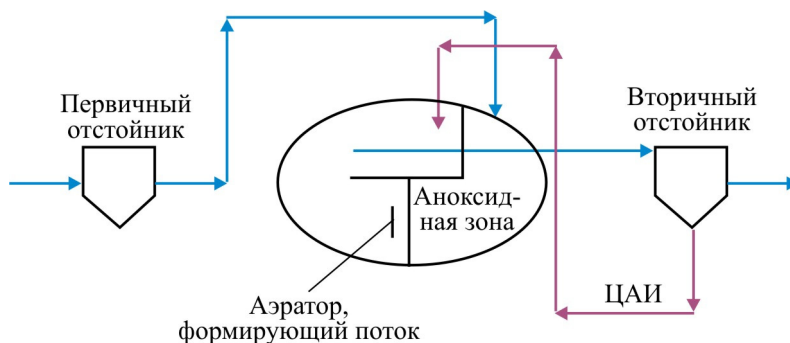


Рис. 7. Схема № 5 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

Наиболее распространены оксидационные каналы, в которых аэраторы равномерно установлены по всей окружности сооружения.

За счет непрерывной циркуляции и большого времени пребывания сточных вод (может достигать нескольких суток) идет продленная аэрация и глубокая нитрификация.

Для глубокого удаления соединений азота и фосфора оксидационный канал делится на зоны с разной аэробностью. В аэробной зоне иловая смесь при помощи аэратора насыщается кислородом. В аноксидную зону подается осветленная вода из первичных отстойников.

Далее поток сточных вод из аэробной зоны поступает во вторичные отстойники.

В схеме № 6 (рис. 8) биологическое удаление азота и фосфора дополняется химическим извлечением фосфора (до 95 %) с помощью реагентов.

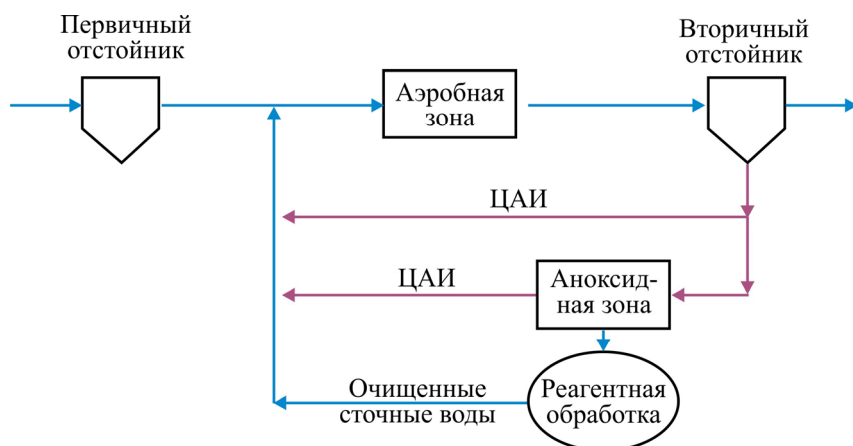


Рис. 8. Схема № 6 биологической очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора

Для надежного глубокого удаления из сточных вод биогенных элементов на практике традиционную схему биологической очистки, как правило, дополняют реагентной обработкой.

В качестве химического реагента используются разнообразные соединения железа и алюминия.

Недостатками данной схемы являются: высокая стоимость реагентов, а также их доставка и эксплуатация; загрязнение окружающей среды попадающими в нее солями железа и алюминия; изменение состояния и свойств активного ила из-за накапливающихся в нем реагентов.

Действующая схема г. Красновишерска отличается от схемы № 4 (см. рис. 6) только тем, что циркуляционный активный ил идет в аэробную зону, а не в аноксидную.

В результате сравнительного анализа исследуемой схемы биологической очистки с разработками исследовательских организаций сделан вывод, что существующая технологическая схема г. Красновишерска в принципе соответствует теоретическим схемам очистки сточных вод от органических соединений, азота и фосфора.

Для расчета необходимого объема биологических сооружений параллельно были проведены эксперимент и расчет оптимального времени обработки сточных вод в сооружении с помощью Пособия к СНиП 2.04.03–85 «Проектирование сооружений для очистки сточных вод» (1990).

С целью определения оптимального времени обработки сточных вод по основному компоненту, входящему в состав анализируемых стоков, – БПК – был проведен лабораторный эксперимент на исследуемых сточных водах после сооружений механической очистки, перед биологическими сооружениями.

Показатели сточных вод приведены в табл. 2. Результаты эксперимента представлены на рис. 9.

Таблица 2

	Время обработки сточных вод, ч								
Показатель	0	2	4	6	8	10	12	14	16
БПК, мг/л	170,8	55	20	15	10	8	5	4	3

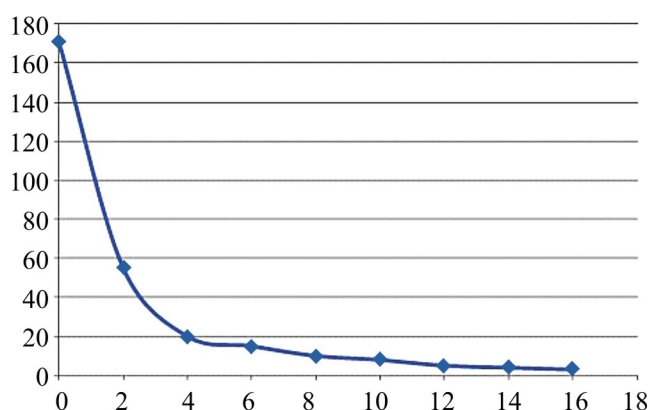


Рис. 9. Зависимость концентрации БПК (мг/л) в бытовых сточных водах от времени обработки (ч)

По результатам экспериментальных исследований был сделан следующий вывод: искомая допустимая концентрация БПК для сброса в рыбохозяйственный водоем 2-й категории (3 мг/л) достигается при времени обработки сточных вод $t = 16$ ч.

Параллельно с экспериментом был произведен расчет необходимого времени обработки сточных вод в аэротенке-нитрификаторе.

Исходными данными являлись (см. табл. 1): расход сточных вод – 4700 м³/сут; БПК сточных вод, подаваемых в сооружение, – 170,8 мг/л; БПК сточных вод, требуемое при сбросе в водоем, ≤ 3 мг/л; исходная концентрация аммонийного азота – 38,3 мг/л; требуемая концентрация аммонийного азота на выпуске в водоем ≤ 0,39 мг/л; исходная концентрация азота нитратов – 0,11 мг/л; требуемая концентрация азота нитратов на выпуске сточных вод в водоем ≤ 9,1 мг/л.

В качестве биоокислителя принят аэротенк.

Расчетная продолжительность обработки сточных вод в аэротенке $t = 16,2$ ч.

Время, полученное экспериментальным путем, и время, полученное расчетным путем, практически совпали (отклонение 1 %).

Необходимый объем аэротенка-нитрификатора:

$$W = (Q \cdot t)/24 = (4700 \cdot 16,2)/24 = 3172,5 \text{ м}^3.$$

Фактический объем аэротенка составляет 2400 м³. Следовательно, объем аэротенка необходимо увеличить в 1,5 раза, дополнив два действующих блока биологической очистки БЛОК-900 одним точно таким же новым блоком.

К сожалению, редко получается только при помощи биологической очистки обеспечить качество воды для сброса в рыбохозяйственный водоем. Это касается, прежде всего, показателя БПК. И особую проблему представляет удаление фосфора. Сооружения для биологического удаления фосфора сложны в эксплуатации: фосфорудаляющие бактерии очень «капризны», требуется строго соблюдать оптимальный режим процесса; поэтому не всегда достигается достаточное снижение концентрации. (Согласно п. 9.2.5.6 СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (2013) при необходимости обеспечения концентрации общего фосфора в очищенной воде менее 1 мг/л следует предусматривать комбинированное биолого-реагентное удаление фосфора.)

Для решения проблемы недостаточной эффективности очистки от фосфора необходимо дополнить существующую схему г. Красновишерска блоком реагентного извлечения фосфора в конце очистной цепочки, перед обеззараживанием, в который входят вертикальные отстойники с встроенными камерами хлопьеобразования, реагентное хозяйство и фильтры.

Выполнен расчет этих сооружений. Приняты три вертикальных отстойника со встроенными камерами хлопьеобразования. В качестве реагента предлагается использовать сернокислородное железо (III) дозой 6,5 мг/л.

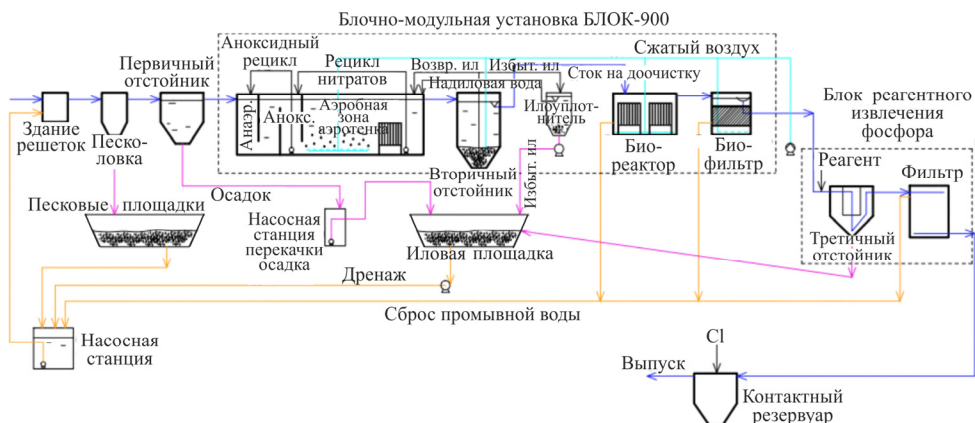


Рис. 10. Технологическая схема очистных сооружений

Таким образом, для повышения эффективности работы действующих сооружений г. Красновишерска предлагается проведение следующих мероприятий:

- 1) увеличение объема биологических сооружений в 1,5 раза – для решения проблемы недостаточной эффективности очистки от органических соединений и азота;
- 2) дополнение существующей технологической схемы блоком реагентного извлечения фосфора – для решения проблемы недостаточной эффективности очистки от фосфора.

Предложенная схема технологической очистки сточных вод представлена на рис. 10.

Библиографический список

1. Бартова Л.В. Водоотведение малых населенных мест. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 257 с.
2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 506 с.
3. Абрамов Н.Н. Водонабжение. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.
4. Бартова Л.В. Степень рециркуляции водно-иловой смеси в сис-

темах очистки бытовых сточных вод // Естественные и технические науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 491–495.

5. Соловьева Е.А. Совершенствование технологии удаления азота и фосфора в комплексе по очистке сточных вод и обработке осадка: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2010. – 39 с.

6. Janssen P.M.J., Meinema K., Roest H.F. van der. Biological Phosphorus removal // STOWA. – 2002. – 210 p.

7. Bundgaard E., Andersen K. L., Petersen G. Bio-denitro and bio-denipho system – experiences and advanced model development: the Danish system for biological N and P removal // Water Science Technology. – 1989. – No. 21.

8. Van Loosdrecht M.C.M., Brandse F.A., De Vries A.C. Environmental impacts of nutrient removal processes: case study // J. Environ. Eng. – 1997. – No. 123.

9. Barnard J. L. Biological nutrient removal without the addition of chemicals // Water Research. – 1975. – No. 9.

10. Randall C. W., Barnard J. L., Stensel H. D. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal: Water quality management Library // Technomic Publication. – 1992. – Vol. 5.

References

1. Bartova L.V. Vodootvedenie malykh naselennykh mest [Wastewater management in small towns]. Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2012. 257 p.

2. Zhmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniiakh s aerotenkami [Technological and biochemical processes for of the wastewater treatment facilities with the aeration tanks]. Moscow: AKVAROS, 2003. 506 p.

3. Abramov N.N. Vodosnabzhenie [Water supply]. Moscow: Stroizdat, 1974. 480 p.

4. Bartova L.V. Stepen' retsirkuliatsii vodno-ilovoi smesi v sistemakh ochistki bytovykh stochnykh vod [Recircuiation of the water sludge mixture in the treatment systems domestic wastewater]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2012, no. 2 (58), pp. 491-495.

5. Solov'eova E.A. Sovershenstvovanie tekhnologii udaleniia azota i fosfora v komplekse po ochistke stochnykh vod i obrabotke osadka [Improvement of the technology for removal of nitrogen and phosphorus in

the complex wastewater treatment and sludge handling]. Abstract of the Thesis of the Doctor of Technical Sciences, Saint-Petersburg, 2010. 39 p.

6. Janssen P.M.J., Meinema K., Roest H.F. van der. Biological Phosphorus removal. *STOWA*, 2002, 210 p.

7. Bundgaard E., Andersen K. L., Petersen G. Bio-denitro and bio-denitro system – experiences and advanced model development: the Danish system for biological N and P removal. *Water Science Technology*, 1989, no. 21.

8. Van Loosdrecht M. C. M., Brandse F. A., De Vries A. C. Environmental impacts of nutrient removal processes: case study. *J. Environ. Eng.*, 1997, no. 123.

9. Barnard J. L. Biological nutrient removal without the addition of chemicals. *Water Research*, 1975, no. 9.

10. Randall C. W., Barnard J. L., Stensel H. D. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal: Water quality management Library. *Technomic Publication*, 1992, vol. 5.

Получено 20.01.2015

Сведения об авторе

Владимирова Виктория Сергеевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vvs031190@mail.ru).

About the author

Viktoriia S. Vladimirova (Perm, Russian Federation) – Master student, Department of Heating, Ventilation and Water supply, Sewerage, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vvs031190@mail.ru).