

Пусконаладочные работы реконструированного блока биологической очистки на очистных сооружениях г. Подольска

М. В. ЯВТУШЕНКО¹, О. В. ТАРАСОВА², В. И. РУЗАЕВ³, С. Д. БЕЛЯЕВА⁴, А. В. БИБЯЕВ⁵, М. А. БЕЛЯЕВ⁶

¹ Явтушенко Марина Викторовна, начальник очистных сооружений канализации, МУП «Водоканал» г. Подольска 142105, Россия, Московская область, г. Подольск, Пионерская ул., 1Б, тел.: (496) 754-00-53, e-mail: mur@vodokanalpodolsk.ru

² Тарасова Ольга Валерьевна, инженер-технолог ОСК, МУП «Водоканал» г. Подольска
Тел.: (496) 757-88-58, e-mail: mur@vodokanalpodolsk.ru

³ Рузаев Владимир Иванович, генеральный директор ЗАО НПФ «БИФАР»
125371, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 87, стр. 1, тел.: (495) 491-47-65, e-mail: info@bifar.ru

⁴ Беляева Светлана Дмитриевна, кандидат технических наук, директор по научной работе, ЗАО НПФ «БИФАР»
Тел.: (495) 491-47-65, e-mail: info@bifar.ru

⁵ Бибяев Андрей Вячеславович, начальник проектного отдела, ЗАО НПФ «БИФАР»
Тел.: (495) 491-47-65, e-mail: info@bifar.ru

⁶ Беляев Максим Анатольевич, инженер-технолог, ЗАО НПФ «БИФАР»
Тел.: (495) 491-47-65, e-mail: info@bifar.ru

Приведены результаты пусконаладочных работ реконструированного блока биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации г. Подольска. Осуществлен запуск технологического оборудования, мешалок и насосов рецикла, установленных в анаэробной и аноксидной зонах; оборудования вторичных отстойников; новых воздухоподводящих агрегатов NX-300 корейской фирмы *NEUROS*. Уточнен режим промывки блока доочистки на момент проведения пусконаладочных работ. Проведена наладка станции ультрафиолетового обеззараживания. Контроль за технологическими параметрами работы сооружений осуществлялся по данным автоматических анализаторов и датчиков, также проводился лабораторный контроль. Отмечено превышение расхода поступающих сточных вод по сравнению с проектным значением; установлено превышение концентрации взвешенных веществ и фосфатов в поступающей воде. Сооружения, несмотря на превышение количества поступающих сточных вод и повышенную концентрацию загрязнений, обеспечивают глубокое удаление органических веществ и биогенных элементов.

Ключевые слова: реконструкция, блок биологической очистки, сточные воды, нитри-денитрификация, дефосфатация, доочистка, обеззараживание, технологический контроль, доза ила, растворенный кислород.

The results of commissioning the upgraded biological treatment plant at the Podolsk wastewater treatment facilities are presented. The start up of the basic equipment, mixers and recycle pumps installed in anaerobic and anoxic zones; the secondary settler equipment; the new Korean *NEUROS* NX-300 air blowers was carried out. The tertiary treatment unit washing regime during commissioning was defined. Commissioning of the UV-disinfection plant was carried out. The operational parameters of the treatment facilities were monitored by the automatic analyzers and sensors data; the laboratory control was carried out as well. Exceeding the incoming wastewater flow compared to the design value was noted; exceeding suspended solids and phosphate concentrations in the incoming wastewater was registered. However, despite the excess of the incoming wastewater flow and increased concentration of pollutants, the treatment facilities ensure advanced elimination of organic matter and nutrients.

Key words: upgrade, biological treatment plant, wastewater, nitrification-denitrification, phosphate removal, tertiary treatment, disinfection, in-process control, active sludge dosage, dissolved oxygen.

Реконструкция блока биологической очистки является одним из этапов модернизации очистных сооружений канализации г. Подольска, направленной на внедрение современных технологий и оборудования и повышение качества очистки воды в соответствии с жесткими требованиями к сбросу в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Проект реконструкции разработан специалистами ЗАО НПФ «БИФАР» с учетом результатов исследований МУП «Водоканал» г. Подольска, «НИИ ВОДГЕО» и Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства по обработке технологических параметров биологической очистки на экспериментальном блоке, в который был переоборудован один из аэротенков.

В соответствии с проектом, в 2012 г. была проведена реконструкция блока «аэротенки – вторичные отстойники» четвертой очереди с объединением двухкоридорных аэротенков в четырехкоридорные и выделением зон для осуществления процесса очистки с глубоким удалением азота и фосфора (рис. 1). Проектная производительность реконструированного блока – 100 тыс. м³/сут (в перспективе по проекту предусматривается новое строительство блока биологической очистки производительностью 50 тыс. м³/сут).

Контактные резервуары реконструированы в сооружения доочистки, построен резервуар для грязной промывной воды; проведена реконструкция воздуходувной станции и установлены воздуходувки нового поколения на аэродинамических подшипниках; построена станция ультрафиолетового обеззараживания; заменены внутриплощадочные коммуникации.

Пусконаладочные работы реконструированных и вновь построенных сооружений осуществлены специалистами МУП «Водоканал» и ЗАО НПФ «БИФАР». На первом этапе было проведено комплексное опробование оборудования на холостом ходу. В каждой из секций блока установлено следующее оборудование:

в анаэробно-аноксидной зоне в каждом из двух коридоров установлено по два образователя потока *Grundfos AFG 40.230.35*: $Q = 17500$ м³/ч; $D = 2300$ мм; $N = 4$ кВт; $n = 35$ об/мин, всего в блоке четыре таких агрегата (рис. 2);

во второй анноксидной зоне установлено два образователя потока *Grundfos AFG 22.130.77*: $Q = 6782$ м³/ч; $D = 1300$ мм; $N = 2,2$ кВт; $n = 77$ об/мин;

для циркуляции иловой смеси между первой анноксидной и анаэробной зонами и между вто-



Рис. 1. Реконструированный блок аэротенков и вторичных отстойников



Рис. 2. Образователи потока в анаэробно-аноксидной зоне аэротенка

рой и первой анноксидными зонами используются рециркуляционные насосы *Grundfos SRP 130.80.375.11* с характеристиками: $Q = 4250$ м³/ч; $H = 0,38$ м; $N = 13$ кВт; $n = 375$ об/мин;

для удаления избыточного активного ила из второй анноксидной зоны в каждом аэротенке установлены два насоса с погружным двигателем *Grundfos SL 1.50.65.11.2.50B* с характеристиками: $Q = 7,2–20–43,2$ м³/ч; $H = 4,8–9,15–12,9$ м; $N = 1,1$ кВт; $n = 2830$ об/мин.

Суммарная мощность всего установленного в одной секции оборудования составляет $N_s = 48,6$ кВт.

В аэробных зонах смонтирована аэрационная система с мембранными дисковыми аэраторами фирмы *SSI* (США).

Для сгребания осадка в приямок отстойник оборудован скребковым устройством *Z2001* шведской фирмы *Zickert* (рис. 3). Плавающие вещества удаляются с помощью скребка *Z-3900-1200* в поворотную щелевую трубу (рис. 4) и эрлифтом перекачиваются в лоток. Возвратный ил из каждого илового приямка перекачивается в сборный трубопровод активного ила погружным



Рис. 3. Скребокное устройство



Рис. 4. Удаление плавающих веществ

насосом Grundfos S 1.80.200.75.4.50 ES 198 с параметрами: $Q = 150-282-450 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H = 2,6-5,56-7,5 \text{ м}$; $N = 7,5 \text{ кВт}$; $n = 1444 \text{ об/мин}$.

В процессе пусконаладочных работ был произведен запуск мешалок и насосного оборудования, отрегулирована скорость движения скребкового механизма и режим удаления плавающих веществ.

Для контроля за технологическим процессом на сооружениях установлены автоматические анализаторы и измерительные датчики. Датчики объединены в несколько измерительных сетей на базе многоканальных контроллеров SC 1000 и SC 200. Подключение сети к системе SCADA осуществлено через интерфейс Modbus. Автоматический контроль поступающих, проходящих по сооружениям и очищенных стоков осуществляется по содержанию взвешенных веществ, растворенной органики, аммония, нитратов, фосфатов, растворенного кислорода, рН, температуре, окислительно-восстановительному по-

тенциалу. Показания приборов выведены на диспетчерский пункт.

В ходе пусконаладочных работ уточнено количество поступающих сточных вод по данным расходомера, установленного в отводящем канале в здании ультрафиолетового обеззараживания (УФО). Проектный среднесуточный расход сточных вод составляет $100 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$, а среднечасовой расход $Q = 4168 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимальный часовой расход – $6680 \text{ м}^3/\text{ч}$. Фактический расход сточных вод в течение суток колеблется от $2000-3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ в ночные часы до $4000-7000 \text{ м}^3/\text{ч}$ в утреннее, дневное и вечернее время. Данные расходомера по динамике поступления сточных вод в течение суток в январе приводятся на рис. 5. Аналогичный режим поступления наблюдался и в другие месяцы пусконаладочного периода.

По данным за март 2013 г., фактический среднечасовой расход сточной воды, поступающей на аэротенки, составлял $4523-5103 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($108,5-122,5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$), т. е. превышал проектный (рис. 6, а). Превышение наблюдалось и в предыдущие месяцы пусконаладочного периода. В апреле 2013 г., в период паводка, среднечасовой расход достигал $6000-8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 6, б).

Качество поступающей сточной воды определялось по данным автоматических анализаторов и датчиков, установленных в здании решеток, и по данным химико-аналитического контроля усредненных проб. Среднесуточные концентрации взвешенных веществ в поступающей воде в декабре 2012 г. находились в диапазоне $402-580 \text{ мг/л}$, в марте 2013 г. – от 480 до 800 мг/л (рис. 7) при расчетном проектном зна-

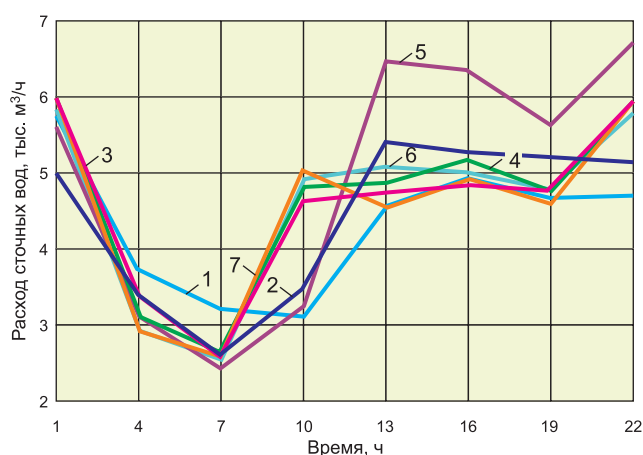


Рис. 5. Динамика изменения расхода сточных вод очистных сооружений канализации г. Подольска в течение суток

2013 г.: 1 – 1 января; 2 – 5 января; 3 – 10 января; 4 – 15 января; 5 – 20 января; 6 – 25 января; 7 – 30 января

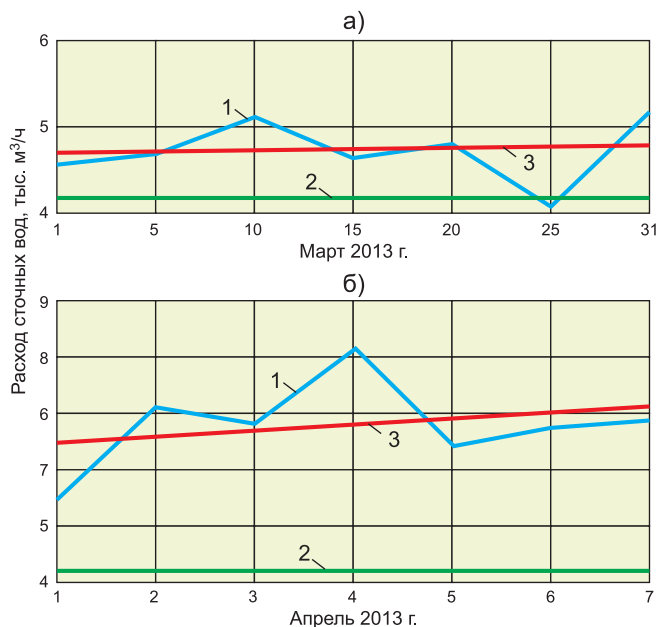


Рис. 6. Расход сточных вод очистных сооружений канализации г. Подольска
 а – март 2013 г.; б – апрель 2013 г.; 1 – фактический расход; 2 – проектное значение (4168 м³/ч); 3 – среднее значение

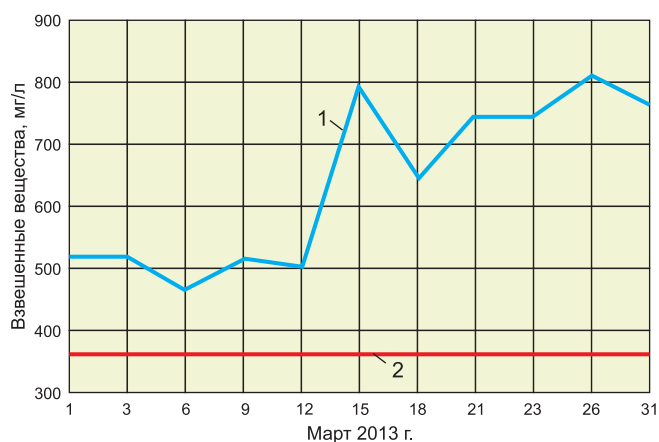


Рис. 7. Концентрация взвешенных веществ (март 2013 г.) в поступающей воде
 1 – на входе в очистные сооружения; 2 – проектное значение (360 мг/л)

чении 360 мг/л; концентрация N–NH₄ в декабре, как и в другие месяцы, составляла 27–29,8 мг/л (рис. 8) при расчетном значении 37 мг/л. Концентрация фосфора P–PO₄ колебалась от 3 до 6 мг/л (рис. 9) при расчетной величине 3,7 мг/л, наблюдалось колебание и по часам суток. Значение рН стоков составляло 7,1–7,5; температура – 19,3–19,6 °С.

Анализ данных позволяет сделать вывод, что концентрации взвешенных веществ и P–PO₄ превышали расчетную проектную величину, что, по-видимому, во многом связано с поступлением сливной воды от илоуплотнителей и фильтрата от узла обработки осадков.

В период паводка в апреле при увеличенном в 1,4–1,7 раза расходе сточной воды концентрация взвешенных веществ снизилась и была близка к проектному значению. В этот же период отмечено и снижение концентрации фосфора в поступающей воде. На снижение концентрации взвешенных веществ и фосфора оказало влияние и изменение режима работы сооружений по обработке осадков.

По данным анализов химико-аналитической лаборатории в январе–марте 2013 г., БПК_{полн} в отстоянной пробе поступающей воды составляло 110–170 мг/л, после первичного отстойника 90–130 мг/л; ХПК после первичного отстойника – 400–950 мг/л.

Пусконаладка технологического процесса работы блока биологической очистки на очистных сооружениях канализации г. Подольска осуществлялась постепенно по мере реконструкции и установки оборудования в аэротенках и вторичных отстойниках. К сентябрю 2012 г. в работе находились три аэротенка (№ 2–4) и вторичные

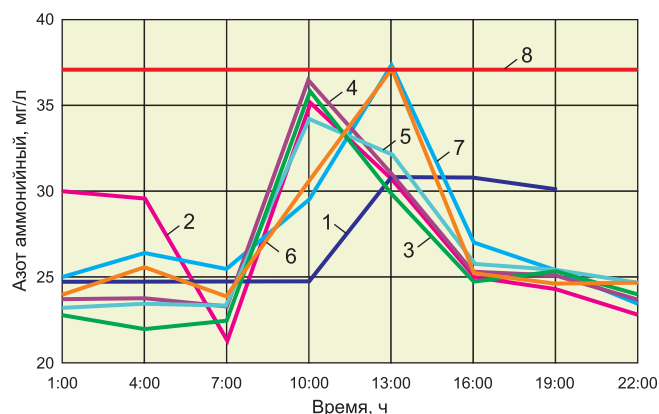


Рис. 8. Концентрация азота аммонийного в поступающей воде
 2012 г.: 1 – 17 декабря; 2 – 18 декабря; 3 – 19 декабря; 4 – 20 декабря; 5 – 21 декабря; 6 – 22 декабря; 7 – 23 декабря; 8 – проектное значение (37 мг/л)

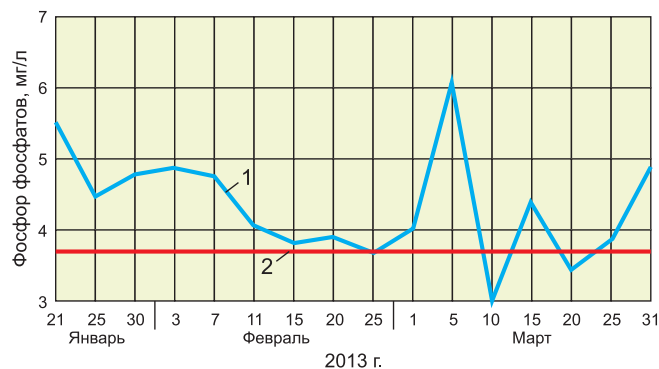


Рис. 9. Концентрация фосфора фосфатов (январь–март 2013 г.) в поступающей воде
 1 – на входе в очистные сооружения; 2 – проектное значение (3,7 мг/л)

отстойники (№ 5–16), а также две секции блока доочистки и станция УФО. Воздух на введенные сооружения подавался двумя воздушными компрессорами NX-300 фирмы *NEUROS* в количестве 12 тыс. м³/ч каждая (в сумме 24 тыс. м³/сут).

В середине октября 2012 г. введены в эксплуатацию аэротенк № 1 и вторичные отстойники № 1–4, выведена из эксплуатации третья очередь очистных сооружений, запущенная на период реконструкции. Таким образом, все сточные воды после узла механической очистки были направлены на реконструированные сооружения.

В период пусконаладочных работ были выровнены расходы сточных вод по аэротенкам. Данные расходомеров, установленных в каналах поступающей осветленной воды на каждый аэротенк, подтверждают, что расход превышал проектное значение – на каждый аэротенк в октябре поступало от 30 до 37,5 тыс. м³/сут, в марте 2013 г. – от 23 до 30 тыс. м³/сут. Максимальное количество воды поступает на аэротенк № 4, так как туда направляется вода из резервуара грязной промывной воды после блока доочистки.

Важным этапом пусконаладочных работ являлось наращивание дозы ила в аэротенках. Проектная доза ила составляет около 4,5 мг/л. В период с декабря 2012 г. по март 2013 г. доза ила составляла 3,5–6,4 г/л, доза ила по объему колебалась в процессе наладки от 30 до 74 мл, иловой индекс – 100–129 мг/л.

Концентрация растворенного кислорода по данным лаборатории составляет: в анаэробной зоне – до 0,2 мг/л; в первой аноксидной зоне – до 0,5 мг/л; во второй аноксидной зоне – до 0,3 мг/л; в первой аэробной зоне – 2,6–3,7 мг/л; во второй аэробной зоне – 5,9–7,4 мг/л.

В период пусконаладочных работ при откачке возвратного ила из иловых приемков в сборный трубопровод активного ила происходило самопроизвольное отключение отдельных погружных насосов при их одновременной работе. В связи с этим было принято решение о временной схеме откачки возвратного ила при переменной работе в двух коридорах по 15 мин. Указанный режим обеспечивал коэффициент рециркуляции возвратного ила $R_i \sim 0,5$, что в 2 раза ниже проектного, кроме того, приводил к повышенному выносу взвешенных веществ при включении/отключении насосов. Были проведены различные корректирующие мероприятия с целью непрерывной откачки возвратного ила, но проектный режим работы насосов не достигнут, в связи с чем анализ возможных причин нестабильной работы насосов продолжается.



Рис. 10. Блок доочистки с ершовой загрузкой

Доочистка воды осуществляется в блоке доочистки с ершовой загрузкой, на которой формируется иммобилизованная микрофлора (рис. 10). Ершовой загрузка на жесткой основе образует достаточно однородное поровое пространство с размерами пор, обеспечивающими формирование объемных структур из хлопьев активного ила, через которые фильтруется очищаемая жидкость. Наряду с физико-химическими процессами извлечения взвешенных и частично коллоидных веществ имеют место и биологические процессы изъятия загрязнений биомассой прикрепленного ила, а также микроорганизмами второго и третьего трофических уровней (простейших, личинок, моллюсков и др.). Камера насыщения, предшествующая собственно биореактору, оборудована дисковыми аэраторами диаметром 350 мм фирмы *SSI* (США).

Отработка технологических параметров работы блока доочистки началась с пусконаладкой блока биологической очистки. Основные трудности при запуске блока – повышенный вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников в период наладки сооружений биологической очистки и повышенный расход поступающих сточных вод. Был разработан алгоритм промывки в ручном режиме, отличный от проектного.

Контроль процесса очистки в биореакторах осуществляется с помощью двухканального универсального контроллера *SC 100* с датчиком кислорода и мутности, установленного на выходе в каждом из биореакторов в обогреваемом шкафу.

Промывная грязная вода собирается в резервуар грязной воды, откуда с помощью погружных насосов (рабочий и резервный) перекачива-



Рис. 11. Воздуходувная станция

ется в распределительный коллектор перед аэротенками.

Для подачи воздуха в здании воздуходувной станции установлены шесть воздуходувных агрегатов NX-300 корейской фирмы *NEUROS* с параметрами: максимальная производительность 204 м³/мин (12,2 тыс. м³/ч), номинальная 10 тыс. м³/ч; рабочее давление 61,1 КПа; мощность двигателя 250 кВт (рис. 11). Выбор этих агрегатов обусловлен высокой надежностью, низким энергопотреблением; малыми эксплуатационными расходами; малошумностью работы и практически отсутствием вибрации. Забор и подвод воздуха к агрегатам осуществляется той же системой, что и для агрегатов ТВ300-1,6. Воздуховоды выполнены из тонкостенных труб из нержавеющей стали.

Отработка технологических параметров работы воздуходувной станции осуществлялась поэтапно. На первом этапе проводилась отдельная отладка каждого из шести агрегатов; на втором этапе проводилась отладка взаимосвязи каждого в отдельности и всех вместе агрегатов с главной панелью управления. Проверялась возможность работы в автоматическом режиме путем задания требуемого расхода воздуха. Так же отлаживалась возможность работы воздуходувок с заданными параметрами скорости вращения импеллера, давления, расхода. Результаты испытаний признаны успешными. В ходе пусконаладки были подтверждены рабочие параметры по расходу, давлению и мощности. В настоящее время в работе находятся четыре воздуходувки. Общее количество подаваемого воздуха составляет 40–42 тыс. м³/ч.

Экономия электроэнергии в среднем составляет 20–25% по сравнению с работой воздуходувной станции до реконструкции.



Рис. 12. Станция УФ-обеззараживания

Станция УФ-обеззараживания (рис. 12), размещенная во вновь построенном здании, оборудована лотковыми вертикальными модулями 88МЛВ-36А600-М (два рабочих и один резервный), $N = 22$ кВт, установленными в железобетонном канале шириной 2,3 м и общей глубиной 3,4 м. Доза УФ-излучения, обеспечиваемая рабочим УФ-оборудованием, составляет не менее 30 мДж/см². На случай аварийного отключения станции УФО предусмотрен обводной коллектор с затвором и шандорами. Отводится сточная вода по коллектору диаметром 2000 мм. Информация о работе модулей поступает как на местный пульт управления и контроля, так и в диспетчерский пункт. Для предотвращения снижения оптических свойств кварцевых чехлов УФ-модули снабжены устройствами механической очистки кварцевых чехлов от грязевого и солевого налета. Предусмотрена система химической промывки модулей с использованием 0,2-процентного раствора шавелевой кислоты.

Пусконаладочные работы установки УФО проводились разработчиками технологии и поставщиками оборудования – НПО «ЛИТ» с 16 по 22 июня 2012 г. С 22 июня установка УФО работает в постоянном режиме. Контроль и анализ работы установки осуществляется специалистами МУП «Водоканал». Показатели качества очищенных сточных вод соответствовали установленным требованиям.

В ходе пусконаладочных работ и при последующей эксплуатации отмечено отрицательное влияние повышенных концентраций взвешенных веществ, которое неизбежно возникает при запуске сооружений и в условиях их перегрузки, на состояние ламп и интенсивность излучения. Указанное обстоятельство лишний раз подтверждает необходимость последовательного

Показатель, мг/л	Фактическое значение	По проекту
Исходная вода		
Взвешенные вещества	115–739	360
БПК _{полн}	258–530	270
N–NH ₄	26–29	37
P–PO ₄	3,1–6	3,7
Очищенная вода		
Взвешенные вещества	7–29	8
БПК _{полн}	2,4–4,5	3
N–NH ₄	0,03–0,33	0,39
N–NO ₃	7,1–7,6	9,1
P–PO ₄	0,35–0,55	0,2
Растворенный кислород	6–8	–

ввода в эксплуатацию сооружений при реконструкции и строительстве.

В воде на выходе с очистных сооружений остаточные концентрации азота аммонийного и фосфатов определяются с помощью промышленных автоматических анализаторов, подключенных к блоку для непрерывной подачи пробы. Концентрации азота нитратного и нитритного, взвешенных и растворенных органических веществ, растворенного кислорода и pH определяются путем автоматического контроля по показаниям датчиков, погруженных в поток очищенных стоков. Все датчики объединены в общую многоканальную сеть SC 1000, сети подключены к системе SCADA.

Среднесуточные показатели качества очищенных сточных вод, по данным автоматического контроля в марте 2013 г., приведены в таблице. По результатам анализа видно, что на реконструированных сооружениях протекают глубокие процессы нитри-денитрификации и дефосфатации. Эффективность удаления фосфора достигает более 90%, но при этом превышает жесткий норматив в 2–3 раза. Недостаточно удовлетворительные результаты по содержанию взвешенных веществ обуславливают проведение дальнейших пусконаладочных работ.

Выводы

1. В процессе наладки реконструированных очистных сооружений биологической очистки и доочистки г. Подольска установлено, что даже в условиях перегрузки сооружений по расходу и концентрациям загрязнений в поступающей воде обеспечивается глубокое удаление азота – в большинстве случаев остаточные концентрации азота аммонийного и нитратного ниже проектных значений.

Эффективность удаления фосфора составляет 81–92%, фосфор снижается с 3,1–6 до 0,4–0,6 мг/л, достигая при этом 0,2 мг/л на выходе из аэротенков. Некоторое увеличение концентрации фосфатов после блока доочистки связано с гидравлической перегрузкой сооружений, влияющей на многие процессы, в том числе на вынос ила и на работу блока доочистки.

Концентрация взвешенных веществ на выходе несколько выше проектного значения, что объясняется увеличенной концентрацией взвешенных веществ на входе, повышенной гидравлической нагрузкой и некоторыми проблемами, возникающими при работе оборудования, установленного во вторичных отстойниках.

Концентрация растворенных органических веществ соответствует нормативным требованиям при сбросе в водоем рыбохозяйственного водопользования.

В целом технологическая схема, запроектированная с учетом результатов отработки процесса на экспериментальной линии, обеспечивает очистку воды с глубоким удалением органических и биогенных элементов.

2. Продолжающиеся работы направлены на отладку процесса откачки возвратного ила и снижение концентрации взвешенных веществ после вторичных отстойников, а также на изменение технологической схемы обработки осадков с целью снижения поступления взвешенных веществ и фосфора со сливной водой из илоуплотнителей и фильтратом от обезвоживания осадков.

3. В связи с перегрузкой очистных сооружений и с целью снижения гидравлической нагрузки на реконструированный блок необходимо построить дополнительный блок сооружений биологической очистки производительностью 50 тыс. м³/сут, предусмотренный проектом.