УДК 628.3

© Н. А. Черников, д-р техн. наук, профессор
(Петербургский государственный университет путей
сообщения императора Александра I)
E-mail: nika_pgups@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-136-140

© N. A. Chernikov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University)
E-mail: nika_pgups@mail.ru

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ВОДООБОРОТА И ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПРИЕМНИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

FEASIBILITY STUDY ON DETERMINATION OF NECESSARY EXTENT OF WATER RECIRCULATION AND SELECTION OF THE RATIONAL WATER INTAKE FOR PRODUCTION SEWAGE

Приводятся сведения по определению необходимой степени использования очищенных производственных и дождевых сточных вод на промпредприятии (и соответственно, качества их очистки на местных очистных сооружениях). С учетом требований, предъявляемых к качеству сбрасываемых очищенных стоков, проводится технико-экономический выбор водоприемника: водный объект, система водоотведения другого промышленного предприятия, система водоотведения населенного пункта и т. д. Разработана программа для ЭВМ, реализующая указанные возможности.

Ключевые слова: производственные и дождевые сточные воды, промпредприятие, местные очистные сооружения, качество сбрасываемых очищенных стоков, технико-экономический выбор водоприемника, водный объект, система водоотведения промышленного предприятия, система водоотведения населенного пункта, программа для ЭВМ.

The article provides information on assessing the necessary degree of utilizing the purified industrial and rain treated sewage water at enterprises (and, consequently, assessing the quality of sewage purification at the local wastewater treatment plants). Taking into account the requirements imposed to the quality of disposed treated effluents, a technical and economic selection of the water intake is shown: water body, water disposal system of industrial enterprise, water disposal system of populated area, etc. The computer program realizing the specified opportunities is developed.

Keywords: production and rain sewage, industrial enterprise, local treatment facilities, quality of the treated sewage water, technical and economic, selection of the water intake, water body, water disposal system of the industrial enterprise, disposal system of populated area, computer program.

Для определения необходимой степени водооборота производственных и дождевых стоков, а также для выбора рационального водоприемника для очищенных сточных вод необходимо сначала определить *лимитирующий вид загрязняющего вещества* (ЛВЗВ) — наиболее сложно (и дорого) удаляемое загрязнение для использования требуемого количества сточных вод в оборотном водоснабжении. При изменении степени

использования воды в оборотном водоснабжении и соответственно при изменении степени очистки воды в ранге лимитирующих загрязнений могут быть различные вещества [3–7].

Для условий создания оборотного водоснабжения железнодорожной станции с локомотивным депо лимитирующим загрязнением обычно являются нефтепродукты [7].

При сбросе стоков в городскую сеть водоотведения необходимая степень их очистки определяется условием, чтобы концентрация загрязнений не превышала установленной местными органами Водоканала нормативной величины [1].

Степень использования очищенной воды в обороте определяется на основании технико-экономических расчетов, где учтены стоимость водопроводной воды, используемой на производственные нужды, затраты на строительство и эксплуатацию оборотного водоснабжения промпредприятия, а также экономический и экологический ущерб (плата) за сброс очищенных сточных вод в городскую сеть водоотведения или водоем, укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности¹ и надежность работы сооружений [2, 5, 8–14]. Минимальная сумма этих затрат Z определяет оптимальный процент использования очищенной воды в обороте, т. е.

$$Z = \Pi + C_{\text{вод}} + Y_{\text{сбр}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Π — приведенные затраты на строительство и эксплуатацию системы оборотного водоснабжения предприятия, млн руб./год; $C_{\text{вод}}$ — стоимость водопроводной воды, потребляемой на производственные нужды, млн руб./год; $Y_{\text{сбр}}$ — плата за сброс сточных вод, очищенных на местных очистных сооружениях (МОС), в городскую сеть водоотведения (или водоем), млн руб./год.

На основании исследований, проведенных автором в 2010 г., приведенные затраты (Π , млн руб./год) на организацию системы оборотного водоснабжения железнодорожной станции с локомотивным депо по данным реальных объектов могут быть ориентировочно определены по зависимости [15]

$\Pi = K_{\text{и}}(0,05824 + 0,04857 \cdot q_{\text{МОС}}^{0,6998} \cdot K_{\text{ост.лим}}^{-0,63358})$, (2)
где $K_{\text{и}}$ — коэффициент инфляции по сравнению с 1 января 2010 г., ориентировочно $K_{\text{и}} = 1,1^n$, где $n = T - 2010$ (здесь T — текущий год); $q_{\text{МОС}}$ — максимальный часовой расход сточных вод, поступающих на МОС, м³/ч; $K_{\text{ост.лим}}$ — остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной на МОС сточной воде, используемой для различных производственных процессов железнодорожной станции, мг/л.

¹ Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1982. 528 с.

Подача дождевой воды в систему оборотного водоснабжения предусмотрена в основном для уменьшения накопления солей в ней и для снижения себестоимости очистки.

Для того чтобы найти другие слагаемые выражения (1), составляется балансовая схема использования воды на различные производственные нужды промышленного предприятия, например железнодорожной станции (см. рисунок) [15].

Допустимая остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, используемой для различных производственных процессов, определяется существующими нормативами или в соответствии с требованиями технологов предприятия [15].

Производительность МОС, м³/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{МОС с\у\т}} = q_{\text{с\у\т.с\у\т}} + q_{\text{д.в}},$$

где $q_{\text{с\у\т.с\у\т}}$ — суточный расход производственных сточных вод (СВ) промпредприятия (по таблице притока СВ), м³/сут; $q_{\text{д.в}}$ — суточный расход зарегулированных дождевых сточных вод, м³/сут.

Суточный расход зарегулированных дождевых сточных вод, м³/сут, определяется из выражения

$$q_{\text{д.в}} = 10\,000 F h_{\text{с\у\т}} \varphi, \quad (3)$$

где F — площадь объекта, с территории которого собирается дождевой сток, га; $h_{\text{с\у\т}}$ — максимальный суточный слой атмосферных осадков, м; φ — коэффициент стока, принимаемый, как правило, в пределах 0,3...0,5.

Среднечасовой расход зарегулированных дождевых СВ, м³/ч, составит

$$q_{\text{д.в.ч}} = q_{\text{д.в}} / T_{\text{оп}},$$

где $T_{\text{оп}}$ — количество часов опорожнения регулирующих резервуаров (обычно принимается максимально допустимое значение $T_{\text{оп}} = 72$ ч)².

Годовой расход водопроводной воды на производственные нужды, тыс. м³/год, определяется по формуле

$$W_{\text{вод}} = \frac{365(q_{\text{с\у\т.с\у\т}} - q_{\text{об1}} - q_{\text{об2}})}{1000}, \quad (4)$$

где $q_{\text{с\у\т.с\у\т}}$ — суточный расход производственных сточных вод промпредприятия (по таблице притока СВ), м³/сут; $q_{\text{об1}}$ — суточный расход оборот-

² СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85. М.: Минрегион России, 2012. 100 с. Дата введения 2013-01-01.

Балансовая схема использования воды на производственные нужды промышленного предприятия [15]: PP_1 — производства, требующие водопроводную воду по санитарным требованиям или экономическим условиям; PP_2 и PP_3 — производства, использующие очищенные сточные воды из оборотных систем водоснабжения по экономическим условиям; PP — регулирующие резервуары для дождевых сточных вод; MOC_1 и MOC_2 — ступени местных очистных сооружений; POB_1 и POB_2 — резервуары очищенной воды; HC_1 и HC_2 — насосные агрегаты оборотных систем водоснабжения; $q_{вод}$ — расход водопроводной воды; $q_{д.в.}$ — зарегулированный расход дождевой воды; $q_{быт.}$ — расход бытовых сточных вод; $q_{сбр.}$ — расход сточных вод, сбрасываемых в бытовую сеть водоотведения (ВО); $q_{об.1'}$, $q_{об.2}$ — расход оборотной воды в схеме 1 (PP_3 – MOC_1 – POB_1 – HC_1 – PP_3) и 2 (PP_2 – MOC_1 – POB_1 – MOC_2 – POB_2 – HC_2 – PP_2) соответственно

ной воды в схеме 1, м³/сут; q_{062} — суточный расход оборотной воды в схеме 2, м³/сут.

Годовой сброс производственно-дождевых сточных вод, тыс. м³/год, составляет

$$W_{\text{сбп}} = W_{\text{БОН}} + W_{\text{Л. Б}}, \quad (5)$$

где $W_{\text{д.в}}$ — годовой объем дождевых сточных вод, тыс. м³/год, который определяется по формуле

$$W_{\text{Л.Б}} = 10\phi h_{\text{ср. гон}} F, \quad (6)$$

где $h_{\text{ср. год}}$ — среднегодовое количество осадков, м.

Годовая стоимость водопроводной воды, млн руб./год, в пределах лимита, используемой на производственные нужды, составляет

$$C_{\text{вод1}} = E_{\text{вод}} W_{\text{вод}}, \quad (7)$$

где $E_{\text{вод}}$ — стоимость водопроводной воды, руб./м³; устанавливается местными органами Водоканала.

Плата за сброс сточных вод, млн руб./год, составляет

$$Y_{c6p} = Y_{c6p1} + Y_{c6p2} + Y_{c6p3}, \quad (8)$$

где $Y_{\text{сбр1}}$ — плата за сброс сточных вод в пределах лимита, млн руб./год; $Y_{\text{сбр2}}$ — плата за сброс сточных вод при превышении предельно допустимой концентрации (ПДК), млн руб./год; $Y_{\text{сбр3}}$ — плата за сброс сточных вод при превышении предельно допустимого сброса (ПДС), млн руб./год.

Плата за сброс сточных вод в пределах лимита, млн руб./год, определяется по формуле

$$Y_{\text{c6p1}} = E_{\text{c6p}} W_{\text{c6p1}}, \quad (9)$$

где $E_{\text{сбр}}$ — стоимость сброса сточных вод в пределах лимита, руб./м³; $W_{\text{сбр1}}$ — годового сброс сточных вод, тыс. м³/год, в пределах лимита.

Дополнительная плата за сброс сточных вод при превышении ПДК, млн руб./год, определяется по формуле

$$Y_{\text{сбр2}} = E_{\text{сбр}} W_{\text{сбр}} \left(\frac{K_{\text{ост.лим}}}{\text{ПДК}} - 1 \right) K_{\text{ПДК}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{пдк}}$ — коэффициент увеличения стоимости сброса сточных вод при превышении ПДК.

Дополнительная плата за сброс загрязняющих веществ при превышении ПДС, млн руб./год, определяется по формуле

$$Y_{\text{сбрз}} = E_{\text{сбр}} W_{\text{сбр}} \left(\frac{F_{\text{сбр}}}{\text{ПДС}} - 1 \right) K_{\text{ПДС}}, \quad (11)$$

где $F_{\text{сбр}}$ — фактический сброс загрязнений, кг/год; ПДС — предельно допустимый сброс сточных вод, кг/год; $K_{\text{ПДС}}$ — коэффициент увеличения стоимости при превышении ПДС.

Фактический сброс загрязнений, кг/год, определяется по формуле

$$F_{\text{сбр}} = W_{\text{сбр}} K_{\text{ост.лим}}. \quad (12)$$

Себестоимость очистки СВ, руб./м³, определяется по формуле

$$E = (PZ_1 + PZ_2 + C_{\text{вод}} + Y_{\text{сбр}}) / (W_{\text{вод}} + W_{\text{д.в.}}).$$

В соответствии с приведенным алгоритмом расчета разработана программа для ЭВМ [16].

Выводы

Определение необходимой степени водооборота и выбор рационального водоприемника для производственных сточных вод производятся на основании технико-экономического анализа составляющих целевой функции (см. формулу (1)).

Разработана программа для ЭВМ, реализующая эту задачу.

Библиографический список

1. Амеличкин С. Г., Дикаревский В. С., Иванов В. Г., Кармазинов Ф. В., Медведев Г. П., Хмяляйнен М. М., Юдин М. Ю. и др. Водоснабжение Санкт-Петербурга (300-летию Санкт-Петербурга посвящается). СПб.: Новый журнал, 2003. 688 с.
2. Боровков В. С., Волишаник В. В. Инженерные системы замкнутого насосного водооборота и аэрации при экологической реконструкции гидросферы урбанизированных территорий // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 3. С. 67–80.
3. Дикаревский В. С., Иванов В. Г., Якубчик П. П., Петров Е. Г. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте / под ред. В. С. Дикаревского. 2-е изд., перераб. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. 447 с.
4. Иванов В. Г., Дикаревский В. С., Петров Е. Г., Черников Н. А., Якубчик П. П., Павлова Н. Н., Зырянов В. П., Смирнов Ю. А., Юдин М. Ю., Розенгарт Т. К. Реконструкция инженерных сетей и сооружений / под ред. В. Г. Иванова. СПб.: ПГУПС, 2004. 137 с.
5. Иванов В. Г., Черников Н. А. Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий. СПб.: ОМ-Пресс, 2013. 592 с.
6. Иванов В. Г., Черников Н. А. Водоснабжение и водоотводящие системы промышленных предприятий. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2018. 740 с.
7. Караваев И. И., Резник Н. Ф., Гусев Б. Т., Петров Е. Г., Иванов В. Г., Черников Н. А. и др. Методические указания по проектированию очистных сооружений и оборотных систем водопользования для предприятий железнодорожного транспорта. М.: Министерство путей сообщения СССР (МПС), 1982. 131 с.
8. Кармазинов Ф. В., Тазетдинов Г. М., Ильин Ю. А., Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю. Надежность транспортировки сточных вод системой водоотведения Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. № 7. С. 8–11.
9. Ковзель В., Малышев А., Молостова Л., Шабуров В., Родина И., Линников О. Технологии и оборудование для обработки промышленных сточных вод, обеспечивающие замкнутый водооборот // ВОДАmagazine. № 11 (99), ноябрь 2015. С. 18–24.
10. Коссов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000. 421 с.
11. Курганов А. М., Койда Н. У. Машинные методы проектирования канализационных сетей. Л.: Стройиздат, 1985. 152 с.
12. Монастырева Е. П. Реагентная обработка воды систем водооборотных циклов на предприятии по производству минеральных удобрений // Материалы выставки-конгресса ЭКВАТЭК. М., 2010.
13. Прохоров Е. И. Водооборотные системы в схемах промышленного водопользования // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 1. С. 52–58.
14. Самсонова С. П., Сергиенко А. И., Шалимова Е. В., Някин М. А., Тилеманн Йоахим. Очистка воды от микробиологических загрязнений и биопленок в оборотных системах различного назначения // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 22–27.
15. Черников Н. А. Теоретические и методологические принципы совершенствования нормативной базы в области водоотведения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2003. 50 с.
16. Черников Н. А., Иванов В. Г., Твардовская Н. В. Оптимизация степени использования воды в системе оборотного водоснабжения: программа для ЭВМ // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Государственная регистрация программы для ЭВМ. Номер регистрации (свидетельства): 2018660286. Дата регистрации: 21.08.2018. Номер

и дата поступления заявки: 2018617975 26.07.2018.
Дата публикации: 21.08.2018.

References

1. Amelichkin S. G., et al. *Vodosnabzhenie Sankt-Peterburga (300-letiyu Sankt-Peterburga posvyashchaetsya)* [Water supply of St. Petersburg (To the 300-th. anniversary of St. Petersburg is dedicated)]. St. Petersburg, *Novyy zhurnal – New journal*, 2003, 688 p.
2. Borovkov V. S., Volshanik V. V. *Inzhenernye sistemy zamknutogo nasosnogo vodooborota i aehratsii pri ehkologicheskoy rekonstruktsii gidrosfery urbanizirovannykh territoriy* [Engineering systems of closed pump water circulation and aeration at ecological reconstruction of hydrosphere of urbanized territories]. *Voda i ehkologiya: problemy i resheniya – Water and ecology: problems and solutions*, 2016, no. 3, pp. 67–80.
3. Dikarevskiy B. C., Ivanov V. G., Yakubchik P. P., Petrov E. G. *Vodosnabzhenie i vodootvedenie na zhelezнодорожном транспорте* [Water supply and sanitation in railway transport]. Ed. by Dikarevskiy V. S. 2-nd edition, revised. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zhelezнодорожном транспорте Publ., 2009, 447 p.
4. Ivanov V. G., et al. *Rekonstruktsiya inzhenernykh setey i sooruzheniy* [Reconstruction of engineering networks and structures]. Ed. by Ivanov V. G. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2004, 137 p.
5. Ivanov V. G., Chernikov N. A. *Vodosnabzhenie i vodootvedenie promyshlennykh predpriyatiy* [Water supply and water disposal system of industrial enterprises]. St. Petersburg, OM-Press Publ., 2013, 592 p.
6. Ivanov V. G., Chernikov N. A. *Vodosnabzhenie i vodootvodyashchie sistemy promyshlennykh predpriyatiy* [Water supply and drainage systems of industrial enterprises]. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zhelezнодорожном транспорте Publ., 2018, 740 p.
7. Karavaev I. I., et al. *Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu ochistnykh sooruzheniy i oborotnykh sistem vodoispol'zovaniya dlya predpriyatiy zhelezнодорожного транспорта* [Methodological guidelines for the design of treatment facilities and water recycling systems for railway transport]. Moscow, Ministerstvo putey soobshcheniya SSSR (MPS) Publ., 1982, 131 p.
8. Karmazinov F. V., et al. *Nadezhnost' transportirovki stochnykh vod sistemoy vodootvedeniya Sankt-Peterburga* [Reliability of sewage water transportation by the sewage disposal system of Saint Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 1998, no. 7, pp. 8–11.
9. Kovzel' V., et al. *Tekhnologii i oborudovanie dlya obrabotki promyshlennykh stochnykh vod, obespechivayushchie zamknuty vodooborot* [Technology and equipment for treatment of industrial wastewater, providing a closed-loop water circulation]. *VODA magazine*, 2015, no. 11 (99), pp. 18–24.
10. Kossov V. V., Livshits V. N., Shakhnazarov A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ehffektivnosti investitsionnykh proektov* [Methodical recommendations for the evaluation of the effectiveness of investment projects]. Moscow, Ehkonomika Publ., 2000, 421 p.
11. Kurganov A. M., Koyda N. U. *Mashinnye metody proektirovaniya kanalizatsionnykh setey* [Computer methods for design of sewerage networks]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1985, 152 p.
12. Monastyreva E. P. *Reagentnaya obrabotka vody sistem vodooborotnykh tsiklov na predpriyatii po proizvodstvu mineral'nykh udobreniy* [Reagent water treatment of water cycle systems at the enterprise for the production of mineral fertilizers]. *Trudy vystavki-kongressa EhKVATEhK* [Proc. of the exhibition-congress ECWATECH]. Moscow, 2010.
13. Prokhorov E. I. *Vodooborotnye sistemy v skhemakh promyshlennogo vodopol'zovaniya* [Water recycling systems in industrial water supply schemes]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 2015, no. 1, pp. 52–58.
14. Samsonova S. P., et al. *Ochistka vody ot mikrobiologicheskikh zagryazneniy i bioplenok v oborotnykh sistemakh razlichnogo naznacheniya* [Water purification from microbiological contamination and bio-films in circulating systems for various purposes]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 2017, no. 6, pp. 22–27.
15. Chernikov N. A. *Teoreticheskie i metodologicheskie printsipy sovershenstvovaniya normativnoy bazy v oblasti vodootvedeniya*. Avtoref. diss.dokt. tekhn. nauk [Theoretical and methodological principles of improving the regulatory framework in the field of water disposal. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Peter, 2003, 50 p.
16. Chernikov N. A., Ivanov V. G., Tvardovskaya N. V. *Optimizatsiya stepeni ispol'zovaniya vody v sisteme oborotnogo vodosnabzheniya: programma dlya EhVM* [Optimization of the degree of water use in the water recycling system: computer program]. *Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti. Gosudarstvennaya registratsiya programmy dlya EhVM*. [Federal service for intellectual property. State registration of computer programs]. Registration number (certificate): 2018660286. Date of publication: 21.08.2018.