

УДК 504.064.2

Методика эколого-технологического нормирования нагрузки в рамках территориального природно-технического комплекса

Канд. техн. наук **Жильникова Н.А.** nataliazhilnikova@gmail.com
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67

В рамках территориального природно-технического комплекса необходимо учитывать взаимовлияние всех производственных систем, оказывающих воздействие на водные объекты, а также оценивать степень воздействия на окружающую среду каждого из них.

Предложенная методика эколого-технологического нормирования нагрузки предприятия-водопользователя на окружающую среду позволяет оценить уровень экологичности производства, а также выбрать и обосновать водоохранные мероприятия по достижению нормативно допустимых сбросов загрязняющих веществ. При этом изменяются основные технико-экономические показатели производства: капитальные и эксплуатационные затраты, уменьшается сумма экологических платежей и сокращается величина ущерба водному объекту, качество воды в контрольном створе тоже меняется, что в свою очередь приводит к изменению величины допустимой нагрузки, значения критерия экологичности и, соответственно, нормативно допустимого сброса. Наиболее оптимальное мероприятие по очистке стоков выбирается с помощью решения математической задачи оптимизации в рамках линейного программирования.

Ключевые слова: экономический ущерб, водопользователь, водный объект, территориальный природно-технический комплекс, экологичность, экологическое нормирование.

Methodology of ecological and technological norm setting of load to environment within territorial natural technical complex

Ph.D. **Zhilnikova N.A.**, nataliazhilnikova@gmail.com
St. Petersburg State University
space instrument making
190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya St., 67

Within territorial nature and technical complex, it is necessary to consider interaction of all production systems affected to water bodies, as well as evaluate the environmental impact of each of them.

The proposed methodology of ecological technological norm setting load to environment from water consumer enterprise allows estimating the level of its ecological compatibility, as well as choice and justifying water-protective measures on achieving the regulatory allowable discharge of pollutants. Main technical and economic indicators of enterprise: capital and operating costs, environmental payment decreased and damage for water body reduced, as well as water quality in control point change, respectively allowable load, criteria of ecological compatibility and regulatory allowable discharge changed too. The most optimal measure for wastewater treatment is chosen by solving a mathematical optimization task in the frame of linear programming.

Keywords: economic damage, water consumer, water body, territorial natural technological complex, ecological compatibility, environmental rate setting.

С целью возмещения экономического ущерба предприятием-природопользователем необходима оценка взаимовлияния всех производств, входящих в территориальный природно-технический комплекс (ТПТК) и оказывающих воздействие на окружающую среду, а также оценка степени воздействия на водные объекты каждого из них [1, 2]. Через разрешения на выбросы, сбросы и размещение отходов определяются допустимые

величины поступления вещества в окружающую среду от источников воздействия. При этом требуется уделить внимание, как установлению, так и достижению региональных нормативов на особо опасные вещества [3, 4, 5].

Расчет нормативов осуществляется для каждой производственной системы ТПТК в соответствии со структурой эколого-технологического нормирования (рис.1) [6, 7, 8].

На первом этапе формируется структура и границы ТПТК с учетом региональных особенностей водного объекта и уровня антропогенного воздействия. В соответствии с разработанной методикой оценка речного бассейна с дальнейшей идентификацией критических участков осуществляется по следующим интегральным показателям [9]:

1) гидрологический показатель антропогенной нагрузки N - позволяет выделить притоки, оказывающие наибольшую нагрузку по объему сбрасываемых сточных вод:

$$N = \frac{q}{Q} \cdot 100\%, \tag{1}$$

где q – объем поступающих в приток сточных вод, км³/год;
 Q – среднегодовой расход притока, км³/год.



Рис. 1. Структура эколого-технологического нормирования сбросов

2) интегральный показатель антропогенной нагрузки - показывает нагрузку притоков по массе привносимых веществ:

$$B = \sum \frac{g_i}{Q}, \tag{2}$$

где g – масса i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод.

3) величина суммарной нормированной нагрузки загрязняющим веществом (ключевая экологическая характеристика притока):

$$Z = \frac{\sum \frac{B_i}{C_{фон_i}}}{1000}, \quad (3)$$

где $C_{фон_i}$ - фоновая концентрация i -го показателя.

4) интегральный коэффициент массового сброса:

$$M_{интегр} = \frac{\sum \frac{M_i}{M_{общ_i}}}{n} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где M_i - масса сброса i -го нормируемого показателя;

$M_{общ_i}$ – суммарная масса сброса i -го нормируемого показателя;

n – количество нормируемых показателей.

Определив границы ТПТК, на следующем этапе определяются основные параметры приемника сточных вод (состояние водного объекта в фоновом и контрольном створах, и величина ассимилирующей способности рассматриваемого участка водного объекта) [10].

При превышении расчетных фоновых концентраций над ПДК устанавливается региональный экологический норматив (РЭН):

$$РЭН = C_{cp} + \sigma_{St} / n, \quad (5)$$

где C_{cp} – средняя концентрация вещества в основном месяце, мг/дм³;

σ – среднеквадратическое отклонение значений концентрации в этом месяце;

t_{St} – коэффициент Стьюдента (справочная величина);

n – число данных в градации.

Выбор приоритетных показателей осуществляется исходя из оценки качества воды в контрольном створе, оценки изменения качества воды в рамках ТПТК и анализа специфических показателей наиболее значимых субъектов ТПТК [11].

В условиях хорошо канализованного ТПТК с отсутствием значительных притоков и диффузных источников поступления стоков для расчета нормативов допустимого воздействия (НДВ) используются следующие формулы:

$$НДВ_i = Q_p (C_{ПДК_i} - C_{\phi_i}) \cdot 10^{-6} + C_{\phi_i} \cdot \sum_{j=1}^m q_j \cdot 10^{-6}, \text{ при } ПДК_i > C_{\phi_i} \quad (6)$$

$$НДВ_i = РЭН_i \cdot \sum_{j=1}^m q_j \cdot 10^{-6}, \text{ при } C_{\phi_i} \geq ПДК_i \quad (7)$$

где Q_p – среднегодовой расход водотока, м³/год;

q_j – расход сточных вод от j -го источника, м³/год;

C_{ϕ_i} – фоновая концентрация i -го показателя, мг/дм³, рассчитывается по формуле (5);

m – количество источников.

Величина допустимой антропогенной нагрузки (ДН) показывает долю нормативно допустимого воздействия (НДВ), разрешенную к сбросу, и зависит от качества воды в контрольном створе (табл.1). ДН учитывает возможное в будущем увеличение мощностей производства и появление новых субъектов, а также позволяет усилить экономическое воздействие на субъекты ТПТК [12].

Таблица 1

Зависимость допустимой нагрузки на ТПТК от класса качества воды

Значения показателей		Классы качества воды	Допустимая нагрузка (ДН), т/год
ИЗВ* ¹⁾	УКИЗВ* ²⁾		
до 1	1	Чистая	НДВ
(1; 4]	(1; 2]	Слабо загрязненная	0,9 НДВ
(4; 6]	(2; 4]	Загрязненная	0,8 НДВ
(6; 10]	(4; 11]	Грязная	0,7 НДВ
более 10	более 11	Очень грязная	0,6 НДВ

¹⁾ – индекс загрязненности воды (ИЗВ) находится как среднее арифметическое отношений всех целевых показателей к соответствующим ПДК (РЭН); очень чистые и чистые воды объединены в «чистые», умеренно загрязненные и загрязненные - в «слабо загрязненные».

²⁾ - обязательный перечень для определения удельного комбинаторного индекса загрязненности воды УКИЗВ состоит из приоритетных для ТПТК показателей.

Определив экологические параметры ТПТК, на следующем этапе определяется критерий квотирования допустимой нагрузки.

В основе критериальной оценки уровня экологичности предприятия лежат целевые параметры работы основной технологии и внеплощадных очистных сооружений. При оценке основной технологии главную роль играют удельные показатели образования загрязняющих веществ, за стандарт приняты экологические стандарты, отвечающие использованию наилучших доступных технологий (НДТ); при оценке очистных сооружений за экологические стандарты приняты проектные показатели их работы и значения нормативно допустимого сброса (НДС) [13 - 16].

Оценка предприятия по основной технологии и параметрам очистных сооружений производится при наличии выпуска в водный объект производственных стоков (общая оценка экологичности предприятия определяется как среднеарифметическое значение суммы баллов за состояние основной технологии и очистных сооружений), для поверхностных и хозяйственно-бытовых стоков оцениваются только параметры очистных сооружений.

При условии, что величина НДС прямо пропорциональна расходу сточных вод, встает вопрос о корректировке критерия экологичности на расход стоков рассматриваемого выпуска:

$$K_{\text{э}}^q = K_{\text{э}} \frac{q_c}{\sum_{c=1}^l q_c}, \tag{8}$$

где $K_{\text{э}}$ – критерий экологичности, равный сумме всех баллов;

q_c – расход сточных вод c -го выпуска, м³/год;

l – количество выпусков всего ТПТК, м³/год.

Определенный по методике интегральный критерий экологичности $K_{\text{э}}^q$ является основным критерием при долевом распределении (квотировании) допустимой нагрузки между всеми водопользователями ТПТК.

На следующем этапе производится расчет НДС для каждой производственной системы ТПТК.

Рассчитав величину экологической нагрузки на ПТК (ДН) и определив технологические параметры всех водопользователей ($K_{\text{э}}^q$), устанавливаются индивидуальные квоты на сброс:

$$НДС_i = ДН_i \cdot \frac{K_{\text{э}}^q}{\sum_{n=1}^m K_{\text{э}}^q} \quad \text{при} \quad M_{\text{факт}_i}^{\max} \geq НДС_i \tag{9}$$

$$НДС_i = M_{факт_i}^{max} \quad \text{при} \quad M_{факт_i}^{max} < ДН_i \cdot \frac{K_{Э_n}^q}{\sum_{n=1}^m K_{Э_n}^q} \quad (10)$$

где $K_{Э_n}^q$ - критерий экологичности (в баллах) с поправкой на расход сточных вод рассматриваемого выпуска;

$M_{факт_i}^{max}$ - величина фактического сброса i -го компонента за анализируемый период, соответствующая максимальной измеренной концентрации.

При наличии сверхнормативного сброса отечественное законодательство требует от природопользователей проводить мероприятия по достижению НДС.

На срок выполнения мероприятий предприятию предоставляются лимиты на сброс:

$$Lim_i = M_{факт_i}^{max} - НДС_i \quad (11)$$

Основные экономические показатели мероприятий – капитальные затраты, уменьшение эксплуатационных затрат и суммы экологических платежей, сокращение величины вреда, оказываемого водному объекту вследствие сброса недостаточно очищенных сточных вод [17]. При реализации мероприятий будут изменяться технико-экономические показатели производства и качество воды в контрольном створе (КС), что в свою очередь, приведет к изменению величины ДН, значения критерия экологичности и, соответственно, НДС.

Заново определив качество воды в КС путем математического моделирования процессов конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ), пересчитав значения ДН и критерия экологичности, производится перераспределение квот на сброс. Для каждого мероприятия (или комбинации мероприятий) рассчитываются изменения экономических показателей [18].

При постановке оптимизационной задачи для предприятий с низким уровнем экологичности основным условием является достижение уровня экологичного производства, а для экологичных производств высокого уровня экологичности. Математическая задача оптимизации водоохраных мероприятий для любого ТПТК может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i \rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^n V_{ij} \cdot x_i \leq V_j^*; \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1; x_i \in [0; 1]; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (12)$$

где S – целевая функция, минимизирующая величину вреда, оказываемого водному объекту;

S_i – величина вреда, оказываемого водному объекту при реализации i -го мероприятия;

V_{ij} – масса j -го загрязняющего вещества, которая будет сброшена в водный объект после реализации i -го мероприятия, определяется по формуле:

$$V_{ij} = q_j (1 - \beta_{ij}) \quad (13)$$

где β_{ij} ($\beta_{ij} < 1$) - часть массы сброса, которая очищается.

V_j^* - масса сброса, соответствующая оптимальному уровню экологичности, перспективному уровню экологичности.

При достижении перспективного уровня экологичности вреда водному объекту не оказывается. В этом случае из ряда альтернативных планов мероприятий выбирается тот, который соответствует наименьшим показателям приведенных затрат и минимальной сумме экологических платежей.

Переменные X_i представляют собой различные мероприятия (методы и системы очистки, а также их комбинации), которые могут быть применены на предприятии для очистки производственных стоков с целью обеспечения норм допустимого сброса. X_i – булевы переменные, которые могут принимать только два значения

(1 и 0) в зависимости от того, обеспечиваются ли нормы допустимого сброса при выборе i -го мероприятия ($X_i=1$) или нет ($X_i=0$).

Результатом решения поставленной задачи оптимизации в рамках линейного программирования является выбор одного наиболее оптимального мероприятия по очистке стоков [19, 20].

Оптимальный план мероприятий утверждается для каждого субъекта ТПТК и при согласии предприятий на его реализацию ему предоставляются лимиты на сброс в соответствии с формулой 12.

Список литературы

1. Бильчак В.С., Бородин А.И. Формирование устойчивого развития предприятия региона: механизмы, методы, управление (эколого-экономический аспект): монография. // Калининград: РГУ им.И.Канта. 2009. 185 с.
2. Бородин А.И. Эколого-экономическое управление предприятием: монография. // М.: ТЕИС, 2006. 332 с.
3. Жильникова Н.А. Эффективные меры управления и минимизации негативных последствий от выбросов опасных веществ на примере ртути // Материалы IV Международного конгресса "Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов". 2011. с. 126 – 129.
4. Жильникова Н.А. Принципы и методы эффективного управления охраной окружающей среды для производственных систем // Сборник материалов Международного и Межрегионального Биос-форума. СПб НЦ РАН, ВВМ; СПб.: Любавич, 2012. Т.1. с. 240 – 243.
5. Передня Т.В., Лысова Т.И. Проблемы нормирования качества сточных вод в свете реформы природоохранного и водного законодательства // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. №7, ч. 2. с. 25-28.
6. Зиберов В.Е. О технологическом нормировании воздействия на окружающую среду // Экология производства. 2009. № 4. с. 76-83.
7. Жильникова Н.А. Повышение эффективности функционирования предприятий радиоэлектроники в рамках природно-технических комплексов // Отраслевой сборник «Вопросы радиоэлектроники». сер. Радиолокационная техника (РЛТ). Вып.1. 2012. с. 176 – 183.
8. Жильникова Н.А. Эколого-технологическое нормирование нагрузки на окружающую среду на предприятиях радиоэлектроники. // Радиопромышленность. Вып.2. 2014. с. 112 – 118.
9. ГОСТ Р 14.13-2007. Экологический менеджмент. Оценка интегрального воздействия объектов хозяйственной деятельности на окружающую среду в процессе производственного экологического контроля. М.: Стандартинформ, 2008. 23 с.
10. Замараева В.С., Смольникова В.А., Шишкин А.И., Жильникова Н.А. Методология нормирования ПДВВ при недостаточном информационном обеспечении // Организация системы управления охраной окружающей среды. Материалы XII МНПМК 23-24 апреля 2002. СПбГТУРП, с. 39-47.
11. Шишкин А.И., Северина А.В., Софийская Е.Ю. Эколого-экономическое моделирование в системе «водопользователь-водный объект» // Тезисы докладов научно-практической конференции. Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. С. 107-112.
12. Шишкин А.И., Жильникова Н.А., Замараева В.С. Оптимизация нагрузки на водный объект с учетом заданных ограничений по лимитирующим факторам // Организация рационального использования поверхностных и подземных вод. Экологическое нормирование выбросов на промышленных предприятиях. Материалы НПК 2000. СПб: ВНИИЖА. 2000. с. 63-67
13. Пономарева Л.С. Практика нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 6. С. 14-22.
14. Лысова Т.И. Наилучшая существующая технология как составляющая охраны природы // Экология производства. 2010. № 4. С 57-59.
15. Шаренков Д.В., Шишкин А.И., Применение концепции «Наилучших существующих технологий» (НСТ) в рамках эколого-технологического нормирования / Материалы XVI межотраслевой международной конференции «Допустимое воздействие на окружающую среду и совершенствование системы экологической безопасности», ГОУВПО СПбГТУРП. СПб. 2009. с. 63-65.
16. Крючихин Е.М., Николаев А.Н., Жильникова Н.А. // Внедрение наилучших существующих технологий в целлюлозно-бумажной промышленности (на примере ОАО «Соликамскбумпром») // 5-й Международный экологический форум «День Балтийского моря». 2005. с. 63 – 67.
17. Глухов В. В., Некрасова Т. П. Экономические основы экологии. // Учеб. пособие / СПбГПУ. 3-е изд. СПб: Питер, 2003. 383 с.
18. Шишкин А.И. Математическое моделирование переноса примесей и прогнозирование состава окружающей среды // Л.: Ленинградская лесотехническая академия. 1981. 123 с.

19. Семенова Е.Г., Копычев В.А. Вероятностная модель оценки рисков проекта разработки программного обеспечения // Вопросы радиоэлектроники, сер. Радиолокационная техника. 2013 с. 122-130
20. Кутузов А. Л. Математические методы и модели исследования операций. Линейная оптимизация с помощью WinQSB и Excel // Учебн. пособие. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. 2004. 88 с.

References

1. Bil'chak V.S., Borodin A.I. Formirovanie ustoichivogo razvitiya predpriyatiya regiona: mekhanizmy, metody, upravlenie (ekologo-ekonomicheskii aspekt): monografiya. // Kaliningrad: RGU im.I.Kanta. 2009. 185 p.
2. Borodin A.I. Ekologo-ekonomicheskoe upravlenie predpriyatiem: monografiya. // M.: TEIS, 2006. 332p.
3. Zhil'nikova N.A. Effektivnye mery upravleniya i minimizatsii negativnykh posledstviy ot vybrosov opasnykh veshchestv na primere rtuti// Materialy IV Mezhdunarodnogo kongressa "Tseli razvitiya tsysacheletiya i innovatsionnye printsipy ustoichivogo razvitiya Arkticheskikh regionov». 2011. p. 126 – 129.
4. Zhil'nikova N.A. Printsipy i metody effektivnogo upravleniya okhranoi okruzhayushchei sredy dlya proizvodstvennykh sistem // Sbornik materialov Mezhdunarodnogo i Mezhhregional'nogo Bios-foruma. SPb NTs RAN, VVM; SPb.: Lyubavich, 2012. T.1. p. 240 – 243.
5. Perednya T.V., Lysova T.I. Problemy normirovaniya kachestva stochnykh vod v svete reformy prirodookhrannogo i vodnogo zakonodatel'stva // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2007. №7, ch. 2. p. 25-28.
6. Ziberov V.E. O tekhnologicheskome normirovanii vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu // *Ekologiya proizvodstva*. 2009. № 4. p. 76-83.
7. Zhil'nikova N.A. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya predpriyatii radioelektroniki v ramkakh prirodno-tekhnicheskikh kompleksov // Otrasevnoi sbornik «Voprosy radioelektroniki». ser. Radiolokatsionnaya tekhnika (RLT). Vyp.1. 2012. p. 176 – 183.
8. Zhil'nikova N.A. Ekologo-tekhnologicheskoe normirovanie nagruzki na okruzhayushchuyu sredu na predpriyatiyakh radioelektroniki. // *Radiopromyshlennost'*. Vyp.2. 2014. p. 112 – 118.
9. GOST R 14.13-2007. Ekologicheskii menedzhment. Otsenka integral'nogo vozdeistviya ob'ektov khozyaistvennoi deyatel'nosti na okruzhayushchuyu sredu v protsesse proizvodstvennogo ekologicheskogo kontrolya. M.: Standartinform, 2008. 23 p.
10. Zamaraeva V.S., Smol'nikova V.A., Shishkin A.I., Zhil'nikova N.A. Metodologiya normirovaniya PDVV pri nedostatochnom informatsionnom obespechenii // Organizatsiya sistemy upravleniya okhranoi okruzhayushchei sredy. Materialy XII MNPMK 23-24 aprelya 2002. SPbGTURP, p. 39-47.
11. Shishkin A.I., Severina A.V., Sofiiskaya E.Yu. Ekologo-ekonomicheskoe modelirovanie v sisteme «vodopol'zovatel'-vodnyi ob'ekt» // Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii. Problemy prognozirovaniya i predotvrashcheniya chrezvychainykh situatsii i ikh posledstviy. SPb: Izd-vo SPbGETU «LETI». 2007. P. 107-112.
12. Shishkin A.I., Zhil'nikova N.A., Zamaraeva V.S. Optimizatsiya nagruzki na vodnyi ob'ekt s uchetom zadannykh ogranichenii po limitiruyushchim faktoram // Organizatsiya ratsional'nogo ispol'zovaniya poverkhnostnykh i podzemnykh vod. Ekologicheskoe normirovanie vybrosov na promyshlennykh predpriyatiyakh. Materialy NPK 2000. SPb: VNIIZhA. 2000. p. 63-67
13. Ponomareva L.S. Praktika normirovaniya sbrosa zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnye ob'ekty // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2008. № 6. P. 14-22.
14. Lysova T.I. Nailuchshaya sushchestvuyushchaya tekhnologiya kak sostavlyayushchaya okhrany prirody // *Ekologiya proizvodstva*. 2010. № 4. P. 57-59.
15. Sharenkov D.V., Shishkin A.I., Primenenie kontseptsii «Nailuchshikh sushchestvuyushchikh tekhnologii» (NST) v ramkakh ekologo-tekhnologicheskogo normirovaniya / Materialy XVI mezhotraslevoi mezhdunarodnoi konferentsii «Dopustimoe vozdeistvie na okruzhayushchuyu sredu i sovershenstvovanie sistemy ekologicheskoi bezopasnosti», GOUVPO SPbGTURP. SPb. 2009. p. 63-65.
16. Kryuchikhin E.M., Nikolaev A.N., Zhil'nikova N.A. // Vnedrenie nailuchshikh sushchestvuyushchikh tekhnologii v tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti (na primere OAO «Solikamskumprom») // 5-i Mezhdunarodnyi ekologicheskii forum «Den' Baltiiskogo morya». 2005. p. 63 – 67.
17. Glukhov V. V., Nekrasova T. P. Ekonomicheskie osnovy ekologii. // Ucheb. posobie / SPbGPU. 3-e izd. SPb: Piter, 2003. 383 p.
18. Shishkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie perenosa primesei i prognozirovanie sostava okruzhayushchei sredy // L.: Leningradskaya lesotekhnicheskaya akademiya. 1981. 123 p.
19. Semenova E.G., Kopychev V.A. Veroyatnostnaya model' otsenki riskov proekta razrabotki programmogo obespecheniya // *Voprosy radioelektroniki*, ser. Radiolokatsionnaya tekhnika. 2013 p. 122-130
20. Kutuzov A. L. Matematicheskie metody i modeli issledovaniya operatsii. Lineinaya optimizatsiya s pomoshch'yu WinQSB i Excel // Uchebn. posobie. SPb.: Izd-vo Politekhnikeskogo un-ta. 2004. 88 p.