

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СБРОСАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ-ПРИРОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ВОДНЫЙ БАССЕЙН

Соколов В.В., Дружинин Ю.О.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

sok@ipu.ru, ydruzhin@ipu.ru

Аннотация: Рассматривается методика составления расписания сбросов сточных вод предприятий-водопользователей, обеспечивающего предельно допустимую концентрацию загрязняющих веществ в водном бассейне.

Ключевые слова: мониторинг, распределенная управляющая система, статическое расписание, рациональное водопользование.

В настоящее время в нашей стране активно продвигается концепция систем мониторинга качества [1] и управления качеством [2] природных поверхностных вод. Эта концепция учитывает существующую методику составления регламентов сбросов загрязняющих веществ (ЗВ) предприятиями-водопользователями в водный бассейн. Ключевыми расчетными параметрами методики являются нормативы допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользования (НДС), выводимые из предельно допустимых концентраций (ПДК).

Известен ряд подходов к решению экологических задач, возникающих при составлении регламентов сбросов предприятий-природопользователей в водный бассейн. Для формирования модели водного объекта водоток разбивается на секции с постоянным расходом, в пределах которых все параметры модели можно принять постоянными, границы секций совмещаются с местами сброса сточных, в том числе и дренажных вод, водозаборами, устьями притоков, створами, в которых контролируется качество воды, и местами резкого изменения гидрометрических характеристик водотока. При совпадении места водозабора с местом сброса сточных, в том числе дренажных вод или устьем притока для этого водозабора вводится отдельная секция нулевой протяженности. Для каждого притока и основной реки помимо створов контроля качества воды указывается расчетный створ в устье и начальный створ и качество воды в истоке реки. Все створы нумеруются последовательно от истока к устью для каждого притока и основной реки. Аналогично нумеруются расчетные секции. Речная система представляется как ориентированный (в общем случае многостадийный) граф с вершинами или узлами, соответствующих местам сброса сточных, в том числе и дренажных вод, водозаборами, устьями притоков, створами, в которых контролируется качество воды, и местами резкого изменения гидрометрических характеристик водотока.

Большинство регламентов рассчитано на непрерывный сброс ЗВ предприятиями-природопользователями, что приводит к перемешиванию их стоков. В перемешанных таким образом стоках разных ЗВ, даже в случае их концентраций, много меньших предельно допустимых, могут

протекать реакции, в результате которых возможно появление непредсказуемых ядовитых или канцерогенных веществ.

Предприятия-природопользователи представляют собой точечные источники сбросов ЗВ. Для них характерна регулярность и их можно рассматривать как стационарные. Они фиксированы на местности, а нагрузки ЗВ оцениваются по непосредственным замерам, известным технологиям производства и т.д. Качество воды в заданном сечении водотока определяется суммарной нагрузкой от совокупности источников, объемов потока воды и последующего разбавлением и распада загрязняющих веществ в условиях установившегося течения. При преобладании на водосборе точечных источников концентрация ЗВ в водном объекте является гиперболической функцией потока, так как концентрация ЗВ в потоке сокращается при увеличении объема протекающей воды за счет разбавления.

Постановка задачи: имеется водный бассейн речной системы, представленный ориентированным графом $D = (V, E)$, имеющим N вершин ($N = |V|$), из которых N_1 соответствуют устьям притоков, N_2 – местам сброса сточных, в том числе и дренажных вод предприятий-водопользователей (точечных источников ЗВ), N_3 – точкам водозабора. Каждая дуга $\{u, v\} \in E$, ($u, v \in V$) соответствует отрезку реки и характеризуется средней скоростью потока \bar{v}_i , средней площадью сечения \bar{S}_i и длиной l .

Требуется составить такое расписание сбросов ЗВ для N_2 предприятий-водопользователей, по всем типам ЗВ, массой G_{ik} ($i \in (1, N_2), k \in (1, K)$), чтобы в каждой из N_3 точек водозабора выполнялось условие $C_{jk} < C_{kmax}$, $j \in (1, N_3), k \in (1, K)$. При этом для всего бассейна реки должно выполняться условие:

$$(1) \sum_{j=1}^{N_3} \sum_{k=1}^K (C_{jk} - C_{kmax}) \rightarrow 0, \quad j \in (1, N_3), k \in (1, K);$$

Параметром оптимизации является минимальный период времени T , в течение которого будет сброшена допустимая суммарная масса сбросов ЗВ G :

$$(2) G = \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{k=1}^K G_{ik}$$

Чтобы избежать увеличения концентрации веществ при сложении сбросов ЗВ от нескольких предприятий-водопользователей, расположенных на одной реке (или ее притоке), выпуски их должны быть упорядочены во времени. Это может быть достигнуто при наличии на предприятиях резервуаров достаточных для временного хранения ЗВ и специальной запорной арматуры, управляемой распределенной системой, работающей по статическому расписанию. (Расписание составляется в нескольких вариантах в зависимости от времени года).

Если известно расстояние l между двумя предприятиями-водопользователями или предприятием-водопользователем и местом водозабора, то при что известных скорости потока \bar{v} , среднем сечении данного водного отрезка \bar{S} и ПДК C_{max} , то допустимая масса ЗВ G в сбросе расположенного выше по течению предприятия-водопользователя составят соответственно:

$$(3) G = C_{max} l \bar{S}$$

Расписание выпуска ЗВ для двух предприятий-водопользователей составляется следующим образом. Положим, что l_i расстояние между i -м и $i+1$ -м предприятием-водопользователем, расположенным ниже по течению, а l_{i+1} – расстояние между $i+1$ -м предприятием-водопользователем и $i+2$ -м предприятием-водопользователем или k -м водозабором. В зависимости от соотношения этих расстояний возможны два варианта составления расписания.

1. Если $l_i > l_{i+1}$, то выпуск ЗВ начинается с i -ого водопользователя в момент времени t_i , то $i+1$ -е предприятие-водопользователь начинает в момент времени:

$$(4) \begin{cases} t_0 = t_i \\ t_{i+1} = t_0 + \frac{l_i - l_{i+1}}{\bar{v}} \end{cases}$$

2. Если $l_i < l_{i+1}$, то выпуск ЗВ начинается с $i+1$ -ого водопользователя в момент времени t_{i+1} , а i -й водопользователь

$$(5) \begin{cases} t_0 = t_{i+1} \\ t_i = t_0 + \frac{l_{i+1} - l_i}{\bar{v}} \end{cases}$$

Таким образом, в случае, если у нас имеется несколько источников ЗВ, то мы находим сначала самый протяженный участок (с наибольшим расстоянием l до следующего источника ЗВ или водозабора), а затем вычисляем относительно него времена начала слива остальных источников ЗВ.

Учет влияния притоков.

Если приток реки не содержит ЗВ, то в основной поток добавляется участок, в котором, начиная с места притока изменяются характеристики отрезка реки: скорость потока \bar{v} , средняя площадь сечения участка реки \bar{S} , что изменяет время прохождения через данный участок.

Если на притоке расположены предприятия водопользователи, то для них вычисляются свои расписания, которые могут быть включены в глобальное (для всех предприятий-водопользователей данного бассейна) расписание.

Менее желателен вариант, когда концентрации ЗВ в притоке суммируются с концентрациями ЗВ в основном потоке.

В случае, если сбросы ЗВ от всех заводов-водопользователей укладываются в один цикл, то продолжительность этого цикла T определяется как:

$$(6) T = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{l_i}{\bar{v}_i}; N = N_1 + N_2 + N_3$$

В случае, если выбранный вариант составления расписания сбросов ЗВ, допускает суммирование концентраций от притоков с основным потоком, то тогда продолжительность цикла T определяется как:

$$(7) T = \sum_{j=1}^{N_4-1} \frac{l_j}{\bar{v}_j}$$

где N_4 число узлов, соответствующих наиболее длинному пути в графе, т.е. главной реке.

Вследствие воздействия различных природных явлений следует учесть разброс скоростей перемещения сбросов ЗВ по реке и предусмотреть некоторые промежутки между сбросами ЗВ Δt_i . Тогда с учетом этих промежутков полное время цикла составит:

$$(8) T^* = T + \sum_{i=1}^{N-1} \Delta t_i$$

Данное расписание предполагает, что осуществляется сброс консервативных ЗВ, которые подвергаются только разбавлению. Более детальный расчет изменения концентрации ЗВ должен учитывать также процессы их растворения, осаждения и т.д.

Предлагается алгоритм, предусматривающий следующие шаги:

1. Водозаборы, расположенные выше по течению ближайших к истоку источников ЗВ, исключаются из рассмотрения.

2. В каждой ветви графа вычисляются последовательные времена сброса и продолжительности сброса такие, чтобы концентрация ЗВ в местах водозабора была не выше безопасной (4-7).

3. Выбирается направление обхода, по которому происходит объединение притоков.

4. Начинается обход с вершин графа, сопровождающийся составлением расписания потоков, полученных при объединении двух ребер графа, т.е. один из них «конкатенируется» с другим, при этом длина потоков увеличивается, а полученные ранее времена в одном из них (добавляемом), корректируются.

6. Если число полученных в результате объединения вершин не равно 1, то повторяется п. 4.

7. Если число полученных в результате объединения вершин равно 1, то расписание считается составленным.

Предложенный алгоритм может быть применен и для построения расписаний сброса ЗВ внутри самого предприятия-водопользователя, имеющего сложную систему трубопроводов.

Литература

1. Баренбойм Г.М., Венецианов Е.В., Авандеева О.П. и др. Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. М.: Научный мир, 2016. – 462 с.

2. *Степановская И.А., Авандеева О.П.* Цифровой подход к управлению качеством поверхностных вод / Труды 11-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018, Москва). М.: ИПУ РАН, 2018. Т.2. С. 239-245.