

Алефтин Николаевич КОЛОБАЕВ,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Водоснабжение и водоотведение"
Белорусского национального
технического университета

Ольга Константиновна НОВИКОВА,
аспирант
Белорусского национального
технического университета

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ НАПРАВЛЯЕМЫХ НА ОЧИСТКУ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ESTIMATING THE VOLUME OF SURFACE SEWAGE FROM INDUSTRIAL PLANTS FOR TREATMENT

В статье даны рекомендации по определению объемов поверхностных сточных вод, направляемых на очистку, на основании разработанного критерия относительной стабилизации качества поверхностного стока. В зависимости от вариантов отведения и очистки дождевых и талых сточных вод определены удельные значения количества загрязняющих веществ, выносимых с поверхностными сточными водами с территории площадок машиностроительных предприятий. Полученные результаты могут использоваться как при проектировании и эксплуатации очистных сооружений, так и оценке антропогенной нагрузки на природные водные объекты.

This article presents the recommendations on estimating the volume of surface sewage intended for treatment, on the basis of the developed criterion of relative stabilization of the surface sewage quality. Depending on the methods of disposal and treatment of rain and melted water, the specific values were estimated for the quantity of contaminants carried away together with the surface sewage from the area of the engineering plant premises. The results obtained can be used both for the design and maintenance of the sewage treatment plants and for the assessment of anthropogenic influence on natural water sources.

ВВЕДЕНИЕ

С поверхностным стоком значительное количество загрязняющих веществ вносится в водные объекты, вызывая их загрязнение и заиливание. Донные отложения, формирующиеся в дождливую погоду, нарушают жизнедеятельность микроорганизмов и отрицательно сказываются на биоценозе и процессах самоочищения [1]. Поэтому необходима разработка мероприятий, обеспечивающих снижение антропогенной нагрузки на водные объекты [2] и в первую очередь — повышение эффективности очистки поверхностного стока.

При проектировании и эксплуатации сооружений отведения и очистки поверхностных сточных вод с территории промышленных предприятий необходимо учитывать главную особенность этих вод: крайне неравномерное распределение во времени. Определение производительности очистных сооружений, исходя из максимальных расходов воды, связано с неоправданным удорожанием строительства, так как на полную мощность очистные сооружения будут работать крайне редко и в течение непродолжительного времени. В связи с этим зачастую предусматривается создание специальных регулирующих резервуаров, куда направляются поверхностные сточные воды при их расходах, близких к максимальным. Значения этих расходов обычно принимаются в процентах от максимальных величин поверхностного стока с рассматриваемой территории. При этом известный факт, что концентрации загрязняющих веществ снижаются по ходу дождя, учитывается лишь косвенно. Для выбора рациональной схемы отведения дождевых сточных

вод и определения расчетной производительности очистных сооружений немаловажным фактором является динамика смываемых загрязнений по ходу дождя. Авторами выдвинута гипотеза, что при снижении концентраций загрязняющих веществ по ходу дождя существует "точка перелома" или определенный предел, после которого концентрации загрязняющих веществ в дождевом стоке принимают сравнительно небольшие и устойчивые значения, сопоставимые с концентрациями загрязняющих веществ в выпадающих осадках. Критерием относительной стабилизации качества поверхностного стока может служить объем поверхностного стока, достаточного для смыва основного количества загрязняющих веществ с единицы водосбора, или критический слой активно используемых атмосферных осадков.

Авторы также предлагают теоретическое выражение для определения критического слоя осадков в зависимости от водопроницаемости почв, их поглощающей способности, уклона местности и процента смываемых загрязнений [3]. Корректность предложенного выражения для численного определения вышеупомянутого критерия подтверждена специальными экспериментальными исследованиями на одном из машиностроительных предприятий. На основании этого критерия разработана излагаемая в статье методика расчета объемов поверхностных сточных вод, направляемых на очистку. Кроме того, приведены расчетные удельные концентрации загрязняющих веществ в дождевых и талых сточных водах, отводимых с территории предприятий машиностроения в зависимости от схемы отведения этих вод и степени их очистки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ НАПРАВЛЯЕМЫХ НА ОЧИСТКУ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Согласно разработанным ФГУП "НИИ ВОДГЕО" рекомендациям [4], на очистные сооружения должна отводиться наиболее загрязненная часть поверхностного стока, которая образуется в периоды выпадения дождей, таяния снега и от мойки дорожных покрытий в количестве не менее 70 % годового объема стока для селитебных территорий и площадок предприятий, близких к ним по загрязненности, и всего объема стока с площадок предприятий, территория которых может быть загрязнена специфическими веществами с токсичными свойствами или значительным количеством органических веществ. По разработанным рекомендациям [4] величина слоя осадков, сток от которых подвергается очистке в полном объеме, определяется путем построения графика функции распределения вероятности суточного слоя жидких атмосферных осадков за теплый период года на основании данных многолетних наблюдений метеостанций за атмосферными осадками для конкретной местности и принимается равной суточному слою осадков от малоинтенсивных часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности, равной 0,05–0,10 года.

Таким образом, согласно вышеупомянутой методике, величина суточного слоя осадков определяется только на основании статистических данных о количестве осадков за дождь из условия отведения на очистку не менее 70 % годового объема поверхностного стока, и не учитываются особенности площадок водосбора. В связи с этим результаты расчета являются укрупненными значениями для всех площадок, располагаемых в рассматриваемом городе.

В настоящее время в Республике Беларусь не существует единого нормативного документа, регулирующего вопросы отведения поверхностных сточных вод, их разделения и определения расходов дождевых и талых сточных вод, поступающих на очистку.

Авторами данной статьи предлагается производить расчеты для каждой площадки промышленного предприятия и определять объемы направляемых на очистку поверхностных сточных вод с учетом относительной стабилизации качества дождевых сточных вод после выпадения критического слоя осадков.

По результатам ранее проведенных исследований [3, 5] рекомендуется направлять на очистку весь объем поверхностных сточных вод, образующихся в холодный период года, и наиболее загрязненную часть дождевых сточных вод (до достижения критического слоя осадков), образующихся в теплый период. Менее загрязненная часть дождевых сточных вод может использоваться на технологические нужды предприятия (в частности на подпитку оборотных систем водоснабжения), отводиться без очистки в городскую дождевую канализацию или (после нефтесборных устройств) в природные водные объекты.

Реализация рекомендаций по отведению поверхностных сточных вод достаточно проста при эксплуатации

очистных сооружений: на основании данных простейших устройств по измерению осадков регистрируется момент достижения критического слоя осадков и прекращается (после формирования поверхностного стока от этих осадков) отведение дождевых вод на очистные сооружения. При проектировании очистных сооружений учет относительной стабилизации качества дождевых сточных вод должен проводиться на основании специальных расчетов.

Согласно [6], объем поверхностного стока, отводимого за теплый период года (т. е. объем дождевых сточных вод), определяется по формуле

$$W_d = 10h_d \cdot k_d \cdot F, \quad (1)$$

где W_d — объем отводимого стока за теплый период года, м³;

h_d — среднееголетний слой осадков за теплый период года, мм, принимается согласно приложению 1 [6];

F — площадь водосбора, га;

k_d — коэффициент стока дождевых вод, принимается равным средневзвешенной величине для всей площади водосбора с учетом средних значений коэффициентов стока для различного рода поверхностей согласно приложению 2 [6];

10 — коэффициент приведения в соответствие размерностей h_d и F для получения величины W_d , м³.

Количество поверхностного стока, поступающего на очистные сооружения в теплый период года, определяется из условия отведения на очистку наиболее загрязненной части стока, формирующейся при выпадении осадков до расчетного критического значения. Таким образом, предлагается объем поверхностных сточных вод, направляемых на очистку в теплый период года, определять по уточненной формуле

$$W_d^{oc} = 10h_d^{oc} \cdot k_d \cdot F, \quad (2)$$

где h_d^{oc} — среднееголетний слой осадков за теплый период года, мм, сток от которых подвергается очистке.

Среднееголетний слой осадков за теплый период года, сток от которых подвергается очистке, определяется на основании данных многолетних наблюдений за осадками для конкретной местности [7] в зависимости от критерия относительной стабилизации качества поверхностного стока в виде критического слоя осадков (определяется по установленной ранее зависимости [3] для каждой площадки предприятия).

Если расчетное значение критического слоя осадков H находится в интервале $1,0 < H \leq 5,0$ (интервал, в который попадают расчетные значения критического слоя осадков для большинства промышленных предприятий), то среднееголетний слой осадков за теплый период года, сток от которых подвергается очистке, определяется по формуле

$$h_d^{oc} = N_1 \cdot h_{1cp} + N_2 \cdot h_{2cp} + N_3 \cdot h_{3cp} + (N_4 + N_5 + N_6 + N_7) \cdot H, \quad (3)$$

где N_1 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $0,1 < h \leq 0,5$ мм;
 h_{1cp} — среднесуточный слой осадков, мм, $h_{1cp} = (0,1 + 0,5)/2 = 0,3$;
 N_2 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $0,5 < h \leq 1,0$ мм;
 h_{2cp} — среднесуточный слой осадков, мм, $h_{2cp} = (0,5 + 1,0)/2 = 0,75$;
 N_3 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $1,0 < h \leq 5,0$ мм;
 h_{3cp} — среднесуточный слой осадков, мм, $h_{3cp} = (1,0 + 5,0)/2 = 3,0$;
 N_4 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $5,0 < h \leq 10,0$ мм;
 N_5 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $10,0 < h \leq 20,0$ мм;
 N_6 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков $20,0 < h \leq 30,0$ мм;
 N_7 — число дней в теплый период года с суточным слоем осадков более 30 мм;
 H — критический слой осадков, мм.

На основании анализа расчетных данных о зависимости слоя осадков, сток от которых подвергается очистке, от величины критического слоя осадков в пакете STATGRAPHICS Plus for Windows подобраны уравнения, описывающие функциональную зависимость $h_d^{oc} = f(H)$ для некоторых городов Беларуси:

— для г. Гомеля $h_d^{oc} = 1,65 + 74,56H - 6,55H^2 + 0,27H^3 - 0,00397H^4$ (коэффициент корреляции $R^2 = 0,97$);
 — для г. Лиды $h_d^{oc} = 3,95 + 80,4H - 6,56H^2 + 0,254H^3 - 0,00359H^4$ (коэффициент корреляции $R^2 = 0,98$).

Расчет объема поверхностного стока, отводимого за холодный период года, остается без изменений. Он проводится на основании [6] по формуле

$$W_T = 10h_T \cdot k_T \cdot F, \quad (4)$$

где W_T — объем отводимых талых вод за холодный период года, м³;
 h_T — среднегодовое количество осадков соответственно за холодный период года, мм, принимается по приложению 1 [6];
 F — площадь водосбора, га;
 k_T — коэффициент стока талых вод.

Общий годовой объем поверхностных сточных вод равен:

$$W = W_d + W_T. \quad (5)$$

Общий годовой объем поверхностных сточных вод, направляемых на очистку, определяется по формуле

$$W^{oc} = W_d^{oc} + W_T. \quad (6)$$

На основании проведенных расчетов по формулам (1)–(6) применительно к площадкам предприятий машиностроения Республики Беларусь определены объемы направляемых на очистку дождевых сточных вод в зависимости от специфических условий формирования качественных показателей поверхностного стока. Их значения приведены в таблице 1. Суммарный объем отведения на очистку поверхностных сточных вод (дождевых и талых) составляет 64 %–72 % от общего годового объема поверхностных сточных вод, что соответствует отечественным и зарубежным нормам проектирования систем дождевой канализации. Однако предлагаемые расчеты позволяют дифференцировать объемы направляемых на очистку поверхностных сточных вод в зависимости от специфических условий площадок промышленных предприятий.

Таблица 1. Расчетные объемы поверхностных сточных вод с территории предприятий машиностроения

Наименование	ГП "Гомельский завод литья и нормалей"		РУП "Гомельский завод самоходных комбайнов"		РУП "Гомсельмаш"	ОАО "Лидмаш"
	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 1	Площадка 2		
Объем поверхностных сточных вод в холодный период года, тыс. м ³	102,4	116,7	36,3	59,2	108,9	79,1
Объем поверхностных сточных вод в теплый период года, тыс. м ³	195,2	197,6	68,3	98,2	210,7	135,6
Годовой объем поверхностных сточных вод, тыс. м ³	297,6	314,3	104,7	157,4	319,6	214,7
Критический слой осадков, мм	3,5	4,5	3,8	4,9	4,1	4,2
Объем дождевых сточных вод, направляемых на очистку в теплый период года, тыс. м ³	86,9	103,3	32,0	53,9	103,9	47,2
Годовой объем поверхностных сточных вод, направляемых на очистку, тыс. м ³	189,3	220,1	68,3	113,1	212,8	153,3
Процент отведения поверхностных сточных вод на очистку (за год в целом), %	64	70	65	72	67	71

Таблица 2. Укрупненные значения удельного выноса загрязняющих веществ, кг/(год-га), при различных вариантах отведения и очистки поверхностных сточных вод

Наименование вещества	Площадка группы А, вариант отведения			Площадка группы Б, вариант отведения		
	"а"	"б"	"в"	"а"	"б"	"в"
БПК ₅	232	30	26	151	21	18
Взвешенные вещества	660	74	68	383	38	34
Нефтепродукты	18,8	3,5	3,0	13,5	2,4	1,9
Азот аммонийный	7,7	4,0	3,3	6,2	3,2	2,6
Фосфаты	1,6	1,1	1,0	1,2	0,9	0,8
Железо общее	13,7	7,6	6,2	10,0	4,9	3,8
Цинк	1,3	1,3	1,1	0,7	0,7	0,6
Никель	0,11	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07

Таким образом, используя критерий относительной стабилизации качества поверхностного стока можно более точно и обоснованно определить критический слой осадков, по достижении которого концентрации загрязняющих веществ в дождевых сточных водах примут сравнительно невысокие и устойчивые значения, а также объем дождевых сточных вод, который должен быть подвергнут очистке.

ВАРИАНТЫ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ВЫНОСИМЫХ С ТЕРРИТОРИИ ПЛОЩАДОК ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Оценка поверхностного стока по одному параметру (концентрации загрязняющих веществ) без привязки к количеству осадков и характеру выпадения дождей не позволяет дать точную характеристику поверхностного стока с урбанизированной территории. Только совместный учет как качественных, так и количественных характеристик дает возможность комплексно оценить влияние поверхностных сточных вод на состояние принимающих водных объектов.

Количество загрязняющих веществ, выносимых с территории предприятия, главным образом зависит от схемы их отведения, производительности, эффективности и режима работы очистных сооружений. В зависимости от вышеупомянутых факторов количественная оценка выноса может быть разной.

С учетом полученных ранее [3, 5] закономерностей формирования качества дождевых и талых сточных вод предлагается расчеты выноса загрязняющих веществ производить в зависимости от следующих вариантов (сценариев) их отведения и очистки:

а) дождевые и талые сточные воды с территории рассматриваемого предприятия отводятся непосредственно в водный объект без очистки и предварительного отстаивания в специальных резервуарах;

б) дождевые и талые сточные воды направляются на простейшие типовые очистные сооружения (включающие отстойники, нефтеловушки), причем очистке подвергается весь объем поверхностных сточных вод, формирующихся в холодный период года, и наиболее загрязненная часть дождевых сточных вод в теплый период (конкретный объем устанавливается согласно

разработанному авторами [3] критерию относительной стабилизации качества поверхностного стока);

в) для очистки поверхностных сточных вод используются новейшие прогрессивные технологии, обеспечивающие качество сточных вод на выходе очистных сооружений не ниже нормативов качества в водных объектах культурно-бытового водопользования; на очистку направляется весь объем поверхностных сточных вод в холодный период года и определенный на основании критерия относительной стабилизации качества объем дождевых сточных вод в теплый период (за вычетом объема стока с крыш зданий, который используется для подпитки оборотных систем водоснабжения).

Вариант "а" соответствует максимальному, а вариант "в" — минимальному выносу загрязняющих веществ с площадок промышленных предприятий.

На основании серии проведенных расчетов определены укрупненные значения удельного выноса загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод для двух типовых групп площадок предприятий машиностроения в зависимости от приведенных вариантов отведения и очистки дождевых и талых сточных вод (таблица 2). К первой группе А относятся площадки, на которых сосредоточены производства, связанные с горячей высадкой и штамповкой металла, сварочное, окрасочное, гальваническое производство и склады горюче-смазочных материалов, а также осуществляется интенсивное движение транспорта. Для площадок группы Б характерны производства холодной высадки и штамповки металла, различных видов механической обработки, вспомогательные производства, размещение складов готовой продукции и служб предприятия.

Приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о том, что вынос загрязняющих веществ с территории основного производства (площадки группы А) в 1,2–2,6 раза выше, чем с территории вспомогательных производств (площадки группы Б), а экстремальные значения удельного выноса изменяются в достаточно больших пределах в зависимости от схемы отведения поверхностных сточных вод и степени их очистки. Все это необходимо учитывать при определении влияния антропогенной нагрузки от рассредоточенных источников загрязнения на экологическое состояние природных водных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 При проектировании и эксплуатации очистных сооружений поверхностных сточных вод необходимо учитывать крайне неравномерное распределение во времени их количества и особенно качества в летний период года.
- 2 Авторами разработана методика расчета объемов направляемых на очистку поверхностных сточных вод с учетом относительной стабилизации их качества (после выпадения критического слоя осадков) и типичного для рассматриваемого водосбора предприятия распределения интенсивности и продолжительности дождей в теплый период года.
- 3 Расчеты применительно к территориям предприятий машиностроения показали, что на очистные сооружения целесообразно направлять 64 %–72 % годового объема поверхностных сточных вод (весь объем в холодный период года и наиболее загрязненная часть дождевых сточных вод, формирующихся в теплый период) в зависимости от специфических условий площадок предприятия.
- 4 Для оценки влияния антропогенной нагрузки от расщедоточенных источников загрязнения на экологическое состояние природных водных объектов рекомендуется использовать приведенные в таблице 2 укрупненные значения удельного выноса загрязняющих веществ в составе поверхностного стока с территории площадок предприятий машиностроения в зависимости от вариантов отведения и очистки поверхностных сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированной территории: учеб. пособие для вузов / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. — М., СПб: АСВ, 2000. — 352 с.
2. Овчарова, Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: специальность 25.00.36 / Е. П. Овчарова; НАН Беларуси, Ин-т проблем использ. природ. ресурсов и экологии. — Минск, 2006. — 22 с.
3. Колобаев, А. Н. Учет особенностей формирования качества поверхностного стока с территории предприятий сельскохозяйственного машиностроения при строительстве и эксплуатации очистных сооружений / А. Н. Колобаев, О. К. Новикова // Вестник БНТУ. — 2009. — № 5. — С. 12–17.
4. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: утверждено ФГУП "НИИ ВОДГЕО" от 28.12.2005.
5. Колобаев, А. Н. Использование закономерностей формирования качества дождевых и талых вод с территории предприятий при их отведении и очистке / А. Н. Колобаев, О. К. Новикова // Строительная наука и техника. — 2009. — № 4(25). — С. 67–71.
6. Об утверждении инструкции о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в водные объекты: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.04.2008 № 43.
7. Справочник по климату Беларуси (Государственный кадастр по климату) / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, государственное учреждение "Республиканский гидрометеорологический центр". — Минск, 2007. — 113 с.

Статья поступила в редакцию 02.02.2010.