

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД С ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Э. И. Михневич, доктор технических наук, профессор

Е. А. Василевская, студентка

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведен сравнительный анализ применяемых методик расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых с городских очистных сооружений в естественные водные объекты. Он показал, что значения допустимых концентраций, назначаемые с учетом наилучших доступных технологий и дифференцированные по эквивалентной численности населения, значительно превышают значения по расчетным формулам и в среднем в 10–20 раз выше ПДК. Разработаны формулы для определения длины участка водотока, на котором допускаемые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах снижаются до значений ПДК. На этой длине нельзя допускать еще один сброс сточных вод с очистных сооружений во избежание экологического ущерба водному объекту. Показано, что для повышения точности значения коэффициента, учитывающего гидравлические условия смешения сточных вод с водой водотока, следует вводить в расчетную формулу коэффициент Шези и функцию скоростного коэффициента, а не принимать осредненное значение их произведения. Если очищенные сточные воды отводятся в естественный водоток через водопроводящий канал, то рекомендуется учитывать ассимилирующую способность канала.

Ключевые слова: *очистные сооружения, водные объекты, ассимилирующая способность водотока, методика нормирования отведения сточных вод, допустимые концентрации загрязняющих веществ.*

Abstract

E. I. Mikhnevich, E. A. Vasileuskaya

ANALYSIS OF THE CURRENT SYSTEM OF NORMALIZATION OF SEWAGE DISCHARGES FROM URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS INTO WATER BODIES AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ITS IMPROVEMENT

A comparative analysis of the applied methods for calculating the permissible concentrations of pollutants in sewage discharged from urban wastewater treatment plants into natural water bodies is given. It showed that the values of permissible concentrations assigned taking into account the best available technologies and differentiated by the equivalent population significantly exceed the values according to the calculation formulas and an average of 10–20 times higher than MPC. Formulas for determining the length of a section of a watercourse in which the permissible concentrations of pollutants in treated wastewater are reduced to MPC values are developed. At this length, one should not allow another discharge of wastewater from treatment plants in order to avoid environmental damage to the water body. It is shown that in order to increase the accuracy of determining the coefficient taking into account the hydraulic conditions for mixing wastewater with water of the watercourse, Shesí's coefficient and the function of the speed coefficient should be entered into the calculation formula, and not the average value of their product should be taken. If the treated wastewater is discharged into natural watercourse through the water channel, it is recommended to take into account channel assimilative capacity.

Keywords: *wastewater treatment plants, water bodies, the assimilating capacity of a watercourse, the method of normalization sewage discharges, permissible concentrations of pollutants.*

Введение

Сточные воды, поступающие из городских очистных сооружений, как правило, сбрасываются в естественные водные объекты. Чтобы не наносить ущерб экологической системе этих объектов, разработаны нормативно-правовые документы [1–8], согласно которым

производится расчет допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений. Основой методики таких расчетов является учет ассимилирующей способности водотока с определением допустимой концентрации в контрольном

створе на расстоянии 500 м от места сброса сточных вод. В 2006–2010 гг. значения предельно допустимых концентраций (ПДК) значительно различались для двух категорий водотоков: рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения [1–3]. Более строгие требования предъявлялись к нормированию сброса сточных вод в водотоки рыбохозяйственного назначения. Используемые современные экономически целесообразные технологии очистки сточных вод не могли обеспечить эти требования, и водопроводно-канализационные предприятия были вынуждены платить большие штрафы [9, 10].

Развитие водоочистных технологий в 2000–2010 гг. и попытка гармонизировать нормативно-правовые документы Беларуси со странами Евросоюза изменили концептуальные подходы к этой проблеме. В результате по шести основным загрязняющим компонентам в очищенных сточных водах допустимые их показатели и концентрации назначаются в зависимости от эквивалентного числа жителей в населенном пункте (табл. 1). Для проектируемых сооружений допустимые значения умножаются на коэффициент 0,85. Нормирование допустимых сбросов очищенных сточных вод с производственных предприятий регламентируется нормативно-правовыми документами [5, 7] и отражено в работе [11].

Для назначения ПДК принципиально изменилось деление поверхностных водных

объектов на категории. В отдельную категорию выделены объекты, используемые для размножения, нагула, зимовки, миграции рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных, причем и для этой категории объектов нормируются только пять показателей качества воды [5]. Все остальные поверхностные водные объекты отнесены к категории «иных», куда вошли почти все водотоки рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения. При такой действующей системе нормирования значения допустимых показателей и концентраций (табл. 1), назначаемые для шести загрязняющих веществ в очищенных сточных водах, превышают ПДК примерно в 10–20 раз. Поэтому очень актуальным является совершенствование существующей методики расчета в плане определения длины участка водотока L , в конце которого будет достигнута ПДК благодаря его ассимилирующей способности. В данной работе предпринята попытка найти аналитическое решение, которое позволило бы определить длину такого участка. Чтобы не нанести ущерб экологической системе реки, на участке длиной L не следует допускать еще один сброс сточных вод из очистных сооружений населенного пункта, расположенного в акватории этого участка с концентрацией загрязняющего вещества, превышающей ПДК. Ниже участка может быть разрешен очередной сброс очищенных сточных вод.

Таблица 1 – Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод, удаляемых в процессе биологической очистки [5, 6]

Эквивалент населения (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения)	Значение показателей			Концентрация загрязняющих веществ		
	хпк _{ср} , мгО ₂ /куб.дм	БПК ₅ , мгО ₂ /куб.дм	взвешанные вещества, мг/куб.дм	аммоний-ион, мгN/куб.дм	азот общий, мг/куб.дм	фосфор общий, мг/куб.дм
До 500 человек (до 30 кг/сут)	125	25	30	25	–	–
501–2000 человек (от 30 до 120 кг/сут)	120	25	25	20	–	–
2001–10 000 человек (от 120 до 600 кг/сут)	100	20	25	15	25	4,5
10 001–100 000 человек (от 600 до 6000 кг/сут)	80	20	20	15	20	3,0
Более 100 001 человека (более 6000 кг/сут)	70	15	20	10	20	2,0

При соответствующем обосновании и согласовании с природоохранными органами в отдельных случаях может быть разрешена концентрация загрязняющего вещества, превышающая ПДК, в конце расчетного участка.

В различные годы издан ряд документов Минприроды по нормированию сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты: инструкции 2006 г. [1], 2008 г. [2] с изменениями и дополнениями 2009 г. [3], 2017 г. [4,5]; ТКП 2012 г. [6]; Постановление 2015 г. [7]; ЭкоНП 2017 г. [8], в которых излагается методика расчета допустимых сбросов в водные объекты загрязняющих веществ в составе сточных вод. Эти методики имеют те или иные различия в определении параметров, входящих в расчетные формулы. Так, для определения коэффициента смешения вначале вводился параметр L (длина участка смешения), который принимался 500 или 1000 м в зависимости от назначения водотока, а затем ограничились его значением $L = 500$ м. В инструкции 2008 г. [2] для определения коэффициента турбулентной диффузии рассчитывался коэффициент Шеши S и функция скоростного коэффициента M , а в действующих нормативных документах [6, 8] рекомендуется принимать в формуле (1) осредненное значение параметра $MC/g = 200$. Проведенный сравнительный анализ этих двух аспектов учета данного параметра показал, что он может в 1,1–1,5 раза отличаться от принятого постоянного значения в зависимости от гидравлического радиуса поперечного сечения водотока и его коэффициента шероховатости.

Сравнительный анализ ранее применяемых и действующих методик расчета допустимых концентраций

Сравнительные расчеты по обоснованию допустимых концентраций выполнены для очистных сооружений проектируемых (г. Полоцк) и функционирующих (г. Лунинец) по двум загрязняющим веществам: азоту аммонийному и фосфору общему. Расчеты для сооружений г. Полоцка выполнены по условиям сброса очищенных сточных вод в р. Западная Двина, а для сооружений г. Лунинца – в р. Припять через Лунинецкий канал. Расчет допустимой концентрации загрязняющего вещества в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, $C_{дс}$, мг/дм³,

Больше всего сомнительных нововведений отмечено в инструкции 2008 г. [2], где необоснованно введен коэффициент 0,8 к значению ПДК, имеется ошибка в расчетной формуле. Эти и другие неточности аргументированы в статье А. Н. Колобаева [10].

В инструкциях прежних лет очень строгие требования предъявлялись к допустимым показателям и концентрациям сточных вод, отводимых коммунально-бытовыми очистными сооружениями. При современных технологиях очистки такие требования практически недостижимы. Подход к определению допустимых концентраций сточных вод на выходе из очистных сооружений, исходя из ПДК рек рыбохозяйственного назначения, был подвергнут критике в публикациях Ю. П. Седлухо [9] и А. Н. Колобаева [10]. В действующих нормативных документах [4, 8] требования по шести нормируемым загрязняющим компонентам существенно смягчены (табл. 1), по остальным веществам допустимые концентрации, как и ранее, рассчитывают по формулам (1–5).

В существующей методике расчета не учтено влияние ассимилирующей способности водопроводящего канала, через который поступают очищенные сточные воды в естественный водный объект. В этих случаях следовало бы оценивать концентрацию сточных вод на выходе из канала перед сбросом в естественный водоток. Для учета влияния ассимилирующей способности водопроводящего канала на допустимые концентрации загрязняющих веществ предложены формулы (6, 6а).

с учетом его ассимилирующей способности, производят в следующем порядке.

1. Определяют коэффициент турбулентной диффузии D , м²/с, по формуле

$$D = \frac{gh\vartheta}{MC}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

h – средняя глубина водотока в створе размещения выпуска сточных вод, м;

ϑ – средняя скорость течения воды в водотоке в створе размещения выпуска сточных вод, м/с;

M – функция скоростного коэффициента,
 $M = 0,7C + 6$;

C – коэффициент Шези, $m^{0,5}/c$, определяемый по формуле Н. Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n_{ш}} R^y,$$

где $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости русла водотока в контрольном створе;

R – гидравлический радиус поперечного сечения русла, м;

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1 \text{ м; } y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1 \text{ м.}$$

2. Находят коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения:

$$k_{гy} = k_{изв} k_{вып} \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (2)$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости русла, определяемый как отношение расстояния от створа размещения выпуска сточных вод до контрольного створа по фарватеру к расстоянию между ними по прямой;

$k_{вып}$ – коэффициент, зависящий от типа выпуска; $k_{вып} = 1,0$ – при береговом выпуске; $k_{вып} = 1,5$ – при русловом выпуске.

3. Определяют коэффициент смешения сточных вод с водой водотока $k_{см}$ по формуле И. Д. Родзиллера

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{гy} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гy} \sqrt[3]{L}}}, \quad (3)$$

где L – расстояние от створа размещения выпуска сточных вод до контрольного створа, м;

Q – расход воды в водотоке в створе размещения выпуска сточных вод, m^3/c . Принимается минимальный среднемесячный расход года 95 % обеспеченности [6];

q – расход сточных вод, сбрасываемых в водоток, m^3/c .

4. Определяют кратность разбавления сточных вод n :

$$n = 1 + k_{см} \frac{Q}{q}. \quad (4)$$

Расчет кратности разбавления сточных вод в воде водотока n применяется в случае соблюдения неравенства $10 \leq \frac{Q}{q} \leq 400$. Если

значение $\frac{Q}{q}$ составляет более 400, то n определяется при $Q = 400 q$. Если значение $\frac{Q}{q}$

составляет менее 10, расчет n не производится и допустимая концентрация устанавливается исходя из значений нормативов качества воды поверхностных водных объектов, за исключением загрязняющих веществ, для которых в нормативных правовых актах установлены Минприроды допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод [6, 8].

5. Рассчитывают допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{дс}$, mg/dm^3 , по формуле

$$C_{дс} = (n - 1)(C_{пдк} - C_{ф}) + C_{пдк}, \quad (5)$$

где $C_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация вещества в воде поверхностного водного объекта согласно установленным нормативам качества воды поверхностных водных объектов, mg/dm^3 ;

$C_{ф}$ – концентрация вещества в фоновом створе, mg/dm^3 .

При значении концентрации вещества в фоновом створе $C_{ф}$ больше, чем его предельно допустимая концентрация в воде поверхностного водного объекта $C_{пдк}$ расчет по формуле (5) не производится, и допустимая концентрация загрязняющего вещества $C_{дс}$ принимается равной концентрации вещества в фоновом створе $C_{ф}$ [8].

Допустимая концентрация азота аммонийного в сточных водах, сбрасываемых с очистных сооружений г. Полоцка в р. Западная Двина, принималась на уровне фоновой $C_{дс} = 0,64 \text{ } mg/dm^3$, т. к. его фоновая концентрация $C_{ф} = 0,64 \text{ } mg/dm^3 > C_{пдк} = 0,39 \text{ } mg/dm^3$. Допустимая концентрация фосфора в сточных водах, исходя из требований к р. Западная Двина, для которой $C_{пдк} = 0,2 \text{ } mg/dm^3$, фоновая концентрация $C_{ф} = 0,054 \text{ } mg/dm^3$ определялась по формуле (5).

В расчетах для очистных сооружений г. Луниноца учитывался тот фактор, что сточные воды после очистки сбрасываются в р. Припять через Лунинецкий канал. Поэтому расчет допустимой концентрации $C_{дс}$ загрязняющих веществ выполнен с учетом ассимилирующей способности Лунинецкого канала и р. Припять. Лунинецкий канал относится к категории культурно-бытовых водотоков, а р. Припять, в которую поступают воды канала, смешанные

с очищенными сточными водами, является водотоком рыбохозяйственного водопользования. ПДК азота аммонийного для р. Припять $C_{\text{ПДК}} = 0,39 \text{ мг/дм}^3$, для канала $C_{\text{ПДК}} = 2 \text{ мг/дм}^3$. ПДК фосфора для реки $C_{\text{ПДК}} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$, для канала $C_{\text{ПДК}} = 1,2 \text{ мг/дм}^3$. Фоновая концентрация азота аммонийного в контрольном створе р. Припять $C_{\text{ф}} = 0,14 \text{ мг/дм}^3$, а в канале $C_{\text{ф}} = 0,4 \text{ мг/дм}^3$. Фоновая концентрация фосфора в контрольном створе реки $C_{\text{ф}} = 0,15 \text{ мг/дм}^3$, в канале $C_{\text{ф}} = 0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Для определения концентрации загрязняющих веществ на выходе из промежуточного водотока предложена формула

$$C_{\text{к}} = \frac{C_{\text{ст}} + (n-1)C_{\text{ф}}}{n}, \quad (6)$$

где $C_{\text{ст}}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе из очистных сооружений. Соответственно, допустимая концентрация веществ на выходе из очистных сооружений при рассчитанной допустимой концентрации на выходе из канала $C_{\text{дк}}$ будет:

$$C_{\text{дс}} = nC_{\text{дк}} - (n - 1)C_{\text{ф}}. \quad (6a)$$

Эта формула позволяет вести расчет допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах при условии сброса вод в системы, состоящие из водотоков различного назначения.

В расчетах допустимых концентраций сточных вод из условия их отведения в р. Припять учитывался суммарный расход воды на выходе из канала $q = 0,7 + 0,06 = 0,76 \text{ м}^3/\text{с}$ и фактическая концентрация в ней загрязняющих веществ.

Допустимая концентрация азота аммонийного и фосфора в воде на выходе из канала $C_{\text{дк}}$, исходя из требований к реке рыбохозяйственного назначения, определялась по формуле (5).

Исходные данные для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах приведены в табл. 2, а результаты расчета – в табл. 3.

Сравнительный анализ выполненных расчетов по ранее применяемой методике и по действующим нормативным документам (см. табл. 1) показал, что значение допустимой концентрации азота аммонийного по действующей методике при смешении сточных вод с р. Западная Двина в 20 раз больше, чем расчетное значение по прежней методике. Значение допустимой концентрации фосфора общего соответственно больше в 1,5 раза. При смешении сточных вод с р. Припять значения $C_{\text{дс}}$ для азота аммонийного по новой методике в 11,7 раза больше, чем по прежней, а с учетом ассимилирующей способности канала – только в 1,3 раза. По фосфору без учета ассимилирующей способности канала $C_{\text{дс}}$ по новой методике в 7,3 раза больше, а с учетом его ассимилирующей способности – только в 1,8 раза. Оба эти значения, принятые по новой методике, значительно превышают ПДК для естественных водотоков по обоим ингредиентам (по азоту аммонийному – в 38 раз, по фосфору общему – в 15 раз). В соответствии с нормативным документом ПДК для указанных загрязнителей составляют соответственно по азоту аммонийному $0,39 \text{ мг/дм}^3$, по фосфору общему – $0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета допустимых концентраций

№ п/п	Исходные параметры	г. Полоцк, р. Западная Двина	г. Лунинец, Лунинецкий канал	г. Лунинец, р. Припять
1	Длина L , км	0,5	11,2	0,5
2	Средняя скорость течения воды, м/с	0,81	0,23	0,4
3	Средняя глубина воды h , м	2,3	0,7	1,5
4	Гидравлический радиус R , м	2,0	0,5	1,5
5	Расчетный расход воды Q , м ³ /с	50,2	0,7	28,1
6	Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш}}$	0,025	0,026	0,025
7	Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с	46,12	32,6	43,4
8	Коэффициент извилистости $k_{\text{изв}}$	1,15	1,0	1,2
9	Функция скоростного коэффициента M , м ^{0,5} /с	38,28	28,8	36,4
10	Средний расход сточных вод q , м ³ /с	0,463	0,06	0,76

Таблица 3 – Результаты расчета допустимых концентраций

№ п/п	Расчетные параметры	г. Полоцк, р. Западная Двина		г. Лунинец, Лунинецкий канал		г. Лунинец, р. Припять	
		азот аммонийный	фосфор общий	азот аммонийный	фосфор общий	азот аммонийный	фосфор общий
1	Коэффициент турбулентной диффузии D, м ² /с	0,01		0,00168		0,00373	
2	Коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, k _{гв}	0,32		0,304		0,204	
3	Коэффициент смешения k _{см}	0,0964		0,986		0,096	
4	Кратность разбавления сточных вод n	11,45		12,5		4,55	
5	Допустимая концентрация C _{дс} , мг/дм ³	0,64	1,73	20,4	11,6	11,4* 1,28**	1,68* 0,38**

Примечание. * – допустимая концентрация на выходе из очистных сооружений; ** – допустимая концентрация на выходе из канала.

Методика определения длины участка водотока для снижения концентраций до уровня ПДК

Учитывая, что $(n - 1) = k_{см} \frac{Q}{q}$, запишем уравнение (5) в следующем виде:

$$C_{дс} = k_{см} \frac{Q}{q} (C_{пдк} - C_{ф}) + C_{пдк}, \quad (7)$$

где

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}. \quad (8)$$

Разницу между допустимой концентрацией загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений C_{дс} и ПДК, которую необходимо компенсировать за счет ассимилирующей способности водотока, можно определить по уравнению

$$C_{дс} - C_{пдк} = k_{см} \frac{Q}{q} C_{пдк} - k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф}, \quad (9)$$

откуда
$$C_{пдк} = \frac{C_{дс} + k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф}}{1 + k_{см} \frac{Q}{q}}. \quad (10)$$

Представим уравнение (10) в следующем виде:

$$C_{пдк} + k_{см} \frac{Q}{q} C_{пдк} - C_{дс} - k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф} = 0, \quad (11)$$

или

$$(C_{пдк} - C_{ф}) k_{см} \frac{Q}{q} = C_{дс} - C_{пдк}, \quad (12)$$

откуда

$$k_{см} = \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} = \frac{1 - e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}. \quad (13)$$

Приведем уравнение (13) к следующему виду:

$$\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} + \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \cdot \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} - 1 + e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} = 0, \quad (14)$$

которое можно записать в виде равенства

$$\left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) \cdot e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} = 1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q}. \quad (15)$$

Прологарифмировав выражение (15), получим уравнение

$$\ln \left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) - k_{гв} \sqrt[3]{L} \ln e = \ln \left(1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \right), \quad (16)$$

из которого, после преобразования, получим расчетную формулу для определения значения длины L (м) участка водотока:

$$L = \left[\frac{\ln \left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) - \ln \left(1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \right)}{k_{гв}} \right]^3. \quad (17)$$

Для конкретных видов загрязнителей при заданных значениях C_{дс} и C_{пдк}, принимаемых по действующей методике, это уравнение может быть представлено в упрощенном виде. Рассмотрим наиболее характерные загрязняющие вещества, сбрасываемые в водотоки из очистных сооружений городов с эквивалентным числом жителей 10 001–100 000.

Азот общий. Допустимая концентрация в очищенных сточных водах $C_{дс} = 20 \text{ мг/дм}^3$, а предельно допустимая концентрация этого вещества составляет $C_{пдк} = 5 \text{ мг/дм}^3$. Длина L при известных значениях фоновой концентрации C_{ϕ} может быть выражена следующими простыми формулами:

$$\text{при } C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{1,56 - \ln\left(1 - 3,75 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (18)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{1,79 - \ln\left(1 - 5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (19)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{2,14 - \ln\left(1 - 7,5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (20)$$

Фосфор общий.

$C_{дс} = 3 \text{ мг/дм}^3$; $C_{пдк} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$.

$$C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{2,92 - \ln\left(1 - 17,5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (21)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,19 - \ln\left(1 - 23,3 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (22)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,58 - \ln\left(1 - 35 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (23)$$

Выводы

1. Значения допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений, приведенные в табл. 1 с учетом наилучших доступных технологий и дифференцированные по эквивалентной численности населения, значительно превышают значения, получаемые по расчетным формулам, и в среднем в 10–20 раз выше ПДК.

2. В тех случаях, когда очищенные сточные воды отводятся в естественный водоток через водопроводящий канал, следует учитывать его ассимилирующую способность. Это позволяет увеличить значения допустимых концентраций

Аммоний-ион.

$C_{дс} = 15 \text{ мг/дм}^3$; $C_{пдк} = 0,39 \text{ мг/дм}^3$.

$$C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,87 - \ln\left(1 - 46,83 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (24)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{4,15 - \ln\left(1 - 62,43 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (25)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{4,55 - \ln\left(1 - 93,65 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (26)$$

Для наглядного представления влияния соотношения Q/q и коэффициента гидравлических условий $k_{гy}$ на длину L нами составлены графики для двух загрязняющих веществ (аммоний-иона и фосфора общего), допустимые концентрации которых нормируются по эквивалентному числу жителей в пределах 10 001–100 000 чел. при значении фоновой концентрации $C_{\phi} = 0,4C_{пдк}$ и значениях $k_{гy} = 0,2; 0,3; 0,4$ (рисунок).

Расчеты, выполненные по приведенным выше формулам, и представленные графики показывают, что на ассимилирующую способность водного потока и, следовательно, длину участка водотока L , на котором назначаемые допускаемые концентрации снижаются до уровня ПДК, большое влияние оказывает соотношение расходов воды в реке и сбрасываемых очищенных сточных вод, а также коэффициент гидравлических условий, причем более строгие требования к длине участка предъявляются для вещества аммоний-ион.

загрязняющих веществ в очищенных сточных водах, сбрасываемых из очистных сооружений. Концентрацию загрязняющих веществ на выходе из канала рекомендуется определять по предложенной нами формуле (б), а допустимую концентрацию на выходе из очистных сооружений – по (ба).

3. Для повышения точности значения коэффициента $k_{гy}$, учитывающего гидравлические условия смешения сточных вод с водой водотока, следовало бы ввести в расчетную формулу (1) для определения коэффициента турбулентной диффузии по действующей методике

произведение скоростного коэффициента и его функции, а не принимать его осредненное значение, т. к. это произведение может в 1,1–1,5 раза отличаться от принятого постоянного значения в зависимости от гидравлического радиуса поперечного сечения водотока и его коэффициента шероховатости.

4. Расчет длины участка водотока, на котором допустимая концентрация загрязняющих

веществ в очищенных сточных водах снижается до значений ПДК, можно производить по разработанной нами формуле (17), а для частных случаев – по формулам (18–26). На этой длине нельзя допускать еще один сброс сточных вод с очистных сооружений населенного пункта, находящегося в акватории этого участка, во избежание высокой антропогенной нагрузки на поверхностный водный объект.

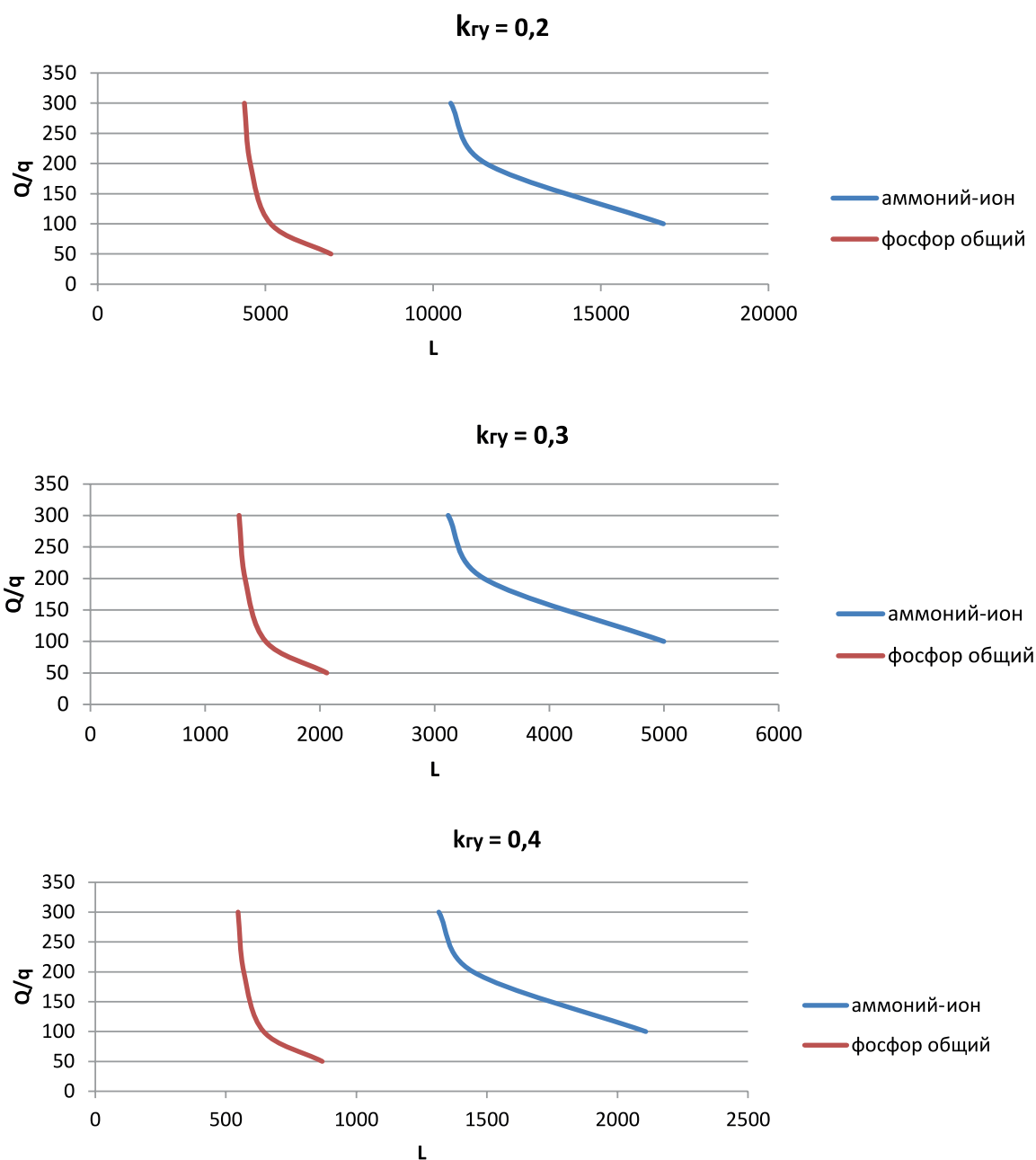


Рисунок – Зависимость длины участка водотока L от соотношения расходов Q/q и коэффициента гидравлических условий k_{ry} для загрязнителей: аммоний-иона и фосфора общего

Библиографический список

1. Инструкция по нормированию сброса сточных вод в поверхностные водные объекты : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 20.01.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 6 с.
2. Инструкция о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в водные объекты : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 29.04.2008. – Минск : Минприроды, 2008. – 25 с.
3. Об изменениях и дополнениях Инструкции о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в водные объекты : постановление М-ва природы Респ. Беларусь, 29.12.2009, № 2
4. Инструкция о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 26.06.2017 № 16. – Минск : Минприроды, 2017. – 13 с.
5. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природы Респ. Беларусь, 26.05.2017, № 16. – 19 с.
6. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : ТКП 17.06-08.2012 (02120). – Минск: Минприроды, 2012. – 69 с.
7. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление М-ва природы Респ. Беларусь 30.03.2015, № 13. – 17 с.
8. Экологические нормы и правила : ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. – Минск : Минприроды, 2017. – Раздел 7. – С. 25-30.
9. Седлухо, Ю. П. Проблемы очистки сточных вод и нормирования их сброса в городскую канализацию и водные объекты / Ю. П. Седлухо // Вода. – 2010. – № 4 (155). – С. 16-19.
10. Колобаев, А. Н. Совершенствование нормативов, регламентирующих отведение сточных вод в поверхностные водные объекты / А. Н. Колобаев // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 51-55.
11. Дубенок, С. А. Расчет нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты / С. А. Дубенок. – Минск: БНТУ, 2017. – 37 с.

Поступила 25.07.2019