

УДК 628.3:625.1

А.К. СТРЕЛКОВ

доктор технических наук, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

С.Ю. ТЕПЛЫХ

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

П.А. ГОРШКАЛЕВ

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

**ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ***STUDING QUALITY CHARACTERISTICS OF SURFACE RUNOFF COMING FROM RAILWAYS*

В статье представлены сведения по исследованию, направленным на определение и изучение качественных характеристик (в частности концентраций загрязняющих веществ) поверхностного стока с железнодорожных станций. Исследования проводились на железнодорожных станциях Самары. Приводится классификация железнодорожных путей по загрязненности балласта, что в свою очередь влияет на концентрации загрязняющих веществ в поверхностном стоке. Определены критерии отнесения железнодорожного пути к пункту классификации. Выявлена и математически описана зависимость концентраций загрязняющих веществ в поверхностном стоке от загрязненности балласта железнодорожного пути.

Ключевые слова: качественные характеристики стока, классификация загрязненности балласта, железнодорожные станции.

Настоящие исследования были направлены на определение загрязненности балласта и поверхностных сточных вод с железнодорожных станций Самары. Сущность проведенных исследований заключалась в определении загрязненности нефтепродуктами и взвешенными веществами поверхностной сточной воды с железнодорожных путей. Для проведения эксперимента были выбраны семь железнодорожных станций: Школьная (1 путь), Речная (6 путей), Толевая (5 путей), Киркомбинат (3 пути), Стахановская (4 пути), Безымянка (3 пути), Мирная (4 пути).

Определялась существующая величина загрязненности железнодорожных станций, и находились величины загрязнения поверхностной сточной воды

The article provides the results of the research aimed at determining and studying quality characteristics, i.e. concentration of pollutants, of surface runoff from railways. The research was made at Samara railway stations. The classification of railways is given according to ballast pollution which in its turn influences the concentration of pollutants in the surface runoff. Criteria for putting the railway in the appropriate classification item have been worked out. There have been found and mathematically described the dependence of pollutants' concentration in the surface runoff from railway ballast pollution.

Keywords: surface runoff, classification of ballast pollution, railway stations.

нефтепродуктами и взвешенными веществами. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: изучались закономерности загрязнения путей железнодорожных станций; определялись величины загрязнения железнодорожных путей на станциях; вычислялись концентрации загрязнений в поверхностной сточной воде с территории станций; изучались закономерности изменения величины загрязнения поверхностных сточных вод с железнодорожных путей от загрязнения балласта.

Эксперимент по определению загрязненности балласта и нахождению концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов в поверхностном стоке проводился следующим образом:

Отнесение пути к категории загрязненности по классификации.

Подготовка проб и проведение химических анализов.

Изучение концентраций загрязнений поверхностного стока

Классификация загрязненности балласта [1, 2]. На железнодорожных станциях выполнялось визуальное обследование с отнесением загрязненности балласта каждого пути к разработанной классификации (табл. 1).

В разработанной классификации загрязненности балласта железнодорожных путей нефтепродуктами имеется пять категорий загрязненности: 1 - чистый, 2 - малозагрязненный, 3 - среднезагрязненный, 4 - загрязненный, 5 - сильнозагрязненный (табл. 1).

Разработаны и сформулированы критерии, по которым производилось отнесение каждого изучаемого пути к категории загрязнения, которые представлены далее.

К категории загрязненности балластной призмы нефтепродуктами – «чистый» относится балластная призма, не имеющая видимых загрязнений нефтепродуктами. Было установлено, что к ним относятся балластные призмы железнодорожных путей станций Самары: станция Речная 1-й и 6-й пути.

К «малозагрязненной» балластной призме относится балластная призма железнодорожного пути, по которому передвигаются в основном пригородные поезда и поезда, не перевозящие нефтепродукты. Данная категория характеризуется следующими особенностями: на путях есть отдельные небольшие пятна нефтепродуктов, размер пятен не превышает 70-100 мм, количество пятен на 1 м² - не более 5. На исследованных станциях было обнаружено 12 железнодорожных путей, имеющих эту категорию загрязненности: станция Школьная 1-й путь, станция Речная 3-й путь, станция Толевая 1-й, 2-й и 3-й пути, станция Киркомбинат 1-й и 2-й пути, станция Стахановская 3-й и 4-й пути, станция Безымянка 3-й путь, станция Мирная 3-й и 4-й пути.

«Среднезагрязненный» балласт имеет загрязнения, состоящие из пятен нефтепродуктов, достаточно близко расположенных друг к другу, так что при визуальном осмотре пути на большом расстоянии пятна кажутся единой полосой загрязнения, но они являются отдельными пятнами загрязнений. По данным железнодорожным путям передвигаются пассажирские и транспортные поезда, но проходящие в основном по «главным» путям, без продолжи-

тельных остановок. К ним относятся 2-й и 4-й пути станции Речная, 4-й путь станции Толевая, 3-й путь станции Киркомбинат, 1-й и 2-й пути станции Стахановская, 2-й путь станции Безымянка, 1-й и 2-й пути станции Мирная.

К «загрязненным» балластным призмам относятся те, по которым осуществляются частые перевозки нефтепродуктов и находящиеся в непосредственной близости от заливных станций. На путях этого класса уже нет отдельных пятен загрязнений, здесь присутствует сплошная полоса нефтепродуктов, проходящая параллельно пути. На исследованных станциях Самары было выявлено три пути, имеющих категорию «загрязненный»: 5-й путь станции Речная, 5-й путь станции Толевая, 1-й путь станции Безымянка.

«Сильнозагрязненная» балластная призма имеет полное поверхностное загрязнение нефтепродуктами всего пути. Это балластные призмы железнодорожных путей, находящихся на территории пропарочных или заливных станций, и железнодорожных путей, прилегающих к этим объектам. На территории исследуемых железнодорожных станций Самары не обнаружено пути, относящегося к этой категории загрязненности. В качестве примера «сильнозагрязненной» балластной призмы можно привести железнодорожные пути промывочно-пропарочной станции «Уруссу» (Куйбышевская железная дорога, Республика Татарстан). Были проведены исследования, направленные на определение величины загрязненности территории станции, часть путей которой относится к данной категории загрязненности. Результаты исследования приведены в табл. 1.

После визуального обследования с путей нами отбирались пробы балласта в размере 2,5-3,0 кг, пробы помещались в полиэтиленовые пакеты для сохранения загрязнений на щебне.

Подготовка проб для проведения химических анализов заключалась в следующем: из каждой пробы балласта отбиралось 1,5 кг щебня, далее механическим способом с поверхности щебня снимались загрязнения. Полученная проба представляла собой неоднородную массу. В табл. 1 и 2 приведены значения массы загрязнений, снятых с поверхности щебня железнодорожных станций.

В отобранных пробах определялось содержание нефтепродуктов. Химические анализы по нахождению концентраций загрязненности нефтепродуктами отобранных проб проводились в аккредитованной гидрохимической лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения СГАСУ.

Таблица 1

Категории загрязненности щебня нефтепродуктами

Категория загрязненности балласта	Название станции и номер пути	Масса снятых загрязнений m_z , г	Концентрация нефтепродуктов в пробе $C_{н/п}$, г/кг	Загрязненность щебня $Z_{щ}$, г/кг
Чистый	Речная, 1-й	Отс.	Отс.	Отс.
	Речная, 6-й	Отс.	Отс.	Отс.
Мало-загрязненный	Школьная, 1-й	0,25	294,56	0,049
	Речная, 3-й	0,15	305,66	0,031
	Толевая, 1-й	0,30	320,25	0,064
	Толевая, 2-й	0,20	333,56	0,044
	Толевая, 3-й	0,25	298,98	0,050
	Киркомбинат, 1-й	0,20	195,78	0,026-мин
	Киркомбинат, 2-й	0,25	188,36	0,031
	Стахановская, 3-й	0,30	377,60	0,076-макс
	Стахановская, 4-й	0,30	345,89	0,069
	Безымянка, 3-й	0,25	269,54	0,045
	Мирная, 3-й	0,20	199,35	0,027
	Мирная, 4-й	0,25	186,57	0,031
Средне-загрязненный	Речная, 2-й	3,75	136,17	0,340-мин
	Речная, 4-й	3,20	186,68	0,398
	Толевая, 4-й	3,65	182,90	0,445
	Коркомбинат, 3-й	4,05	183,73	0,496
	Стахановская, 1-й	4,00	139,83	0,373
	Стахановская, 2-й	4,25	147,50	0,418
	Безымянка, 2-й	3,90	214,49	0,558
	Мирная, 1-й	3,65	218,63	0,532
Загрязненный	Мирная, 2-й	4,10	217,63	0,595-макс
	Речная, 5-й	4,80	199,07	0,637-мин
	Толевая, 5-й	5,00	212,99	0,710
Сильно-загрязненный	Безымянка, 1-й	4,95	219,44	0,724-макс
	ППС «Уруссу», 1-й	1,90	890,87	1,128
	ППС «Уруссу», 2-й	2,14	800,21	1,142-макс
	ППС «Уруссу», 6-й	1,80	853,97	1,025
	ППС «Уруссу», 7-й	1,85	795,14	0,981-мин

Таблица 2

Пределы загрязненности балласта по категориям

Категория загрязненности балласта	Граничное значение, мг/кг	
	минимальное	максимальное
Чистый	Менее 0,02	0,02
Малозагрязненный	0,02	0,20
Среднезагрязненный	0,20	0,60
Загрязненный	0,60	0,80
Сильнозагрязненный	0,80	Более 0,80

Далее была рассчитана величина загрязненности щебня ($Z_{щ}$), которой является масса нефтепродуктов, приходящихся на один килограмм отобранного балласта. Данная величина определялась по формуле

$$Z_{щ} = \frac{C_{н/п} \cdot m_z}{1000 \cdot m_{щ}}, \quad \text{г/кг}, \quad (1)$$

где $C_{н/п}$ – концентрация нефтепродуктов в пробе загрязнений, снятых с балласта, г/кг; m_z – масса загрязнений, снятых с пробы щебня, г; 1000 – коэффициент, приводящий числитель и знаменатель к одним единицам измерения; $m_{щ}$ – масса щебня, взятого для исследований (1,5), кг.

Экспериментально полученные данные, по результатам обследования железнодорожных станций Самары, приведены в табл. 1. Пределы каждой категории загрязненности балласта приведены в табл. 2.

Из табл. 1 следует, что на железнодорожных станциях Самары обнаружено два пути, имеющих категорию загрязнения – «чистый». Отбор проб загрязнений с балласта данной категории пути отсутствует в связи с невозможностью его выполнения. Установлено, что на территории исследуемых станций Самары не обнаружено путей, имеющих категорию загрязнения – «сильно-загрязненный».

Для построения гистограммы, показывающей величину загрязненности щебня в зависимости от категории пути, определялись точки по оси $Z_{щ}$ как среднее арифметическое значение загрязненности по каждой категории в соответствии с формулой

$$Z_{щ(ср)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{щ(i)}}{n}, \text{ г/кг}, \quad (2)$$

где $Z_{щ(i)}$ – загрязненность щебня на путях n -й категории, г/кг;

n – число путей, имеющих n -ю категорию загрязненности.

Средние, максимальные и минимальные значения результатов экспериментов представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Анализ данных табл. 3 показывает, что разработанная классификация адекватно оценивает загрязненность балласта.

В таблице приведены средние, минимальные и максимальные значения, полученные экспериментально по каждой категории загрязненности.

Таблица 3

Результаты экспериментов

Категория загрязненности балласта	Значение загрязненности щебня, мг/кг		
	минимальное	среднее	максимальное
Чистый	Отс.	Отс.	Отс.
Малозагрязненный	0,026	0,04	0,076
Среднезагрязненный	0,340	0,46	0,595
Загрязненный	0,637	0,69	0,724
Сильнозагрязненный	0,981	1,07	1,142

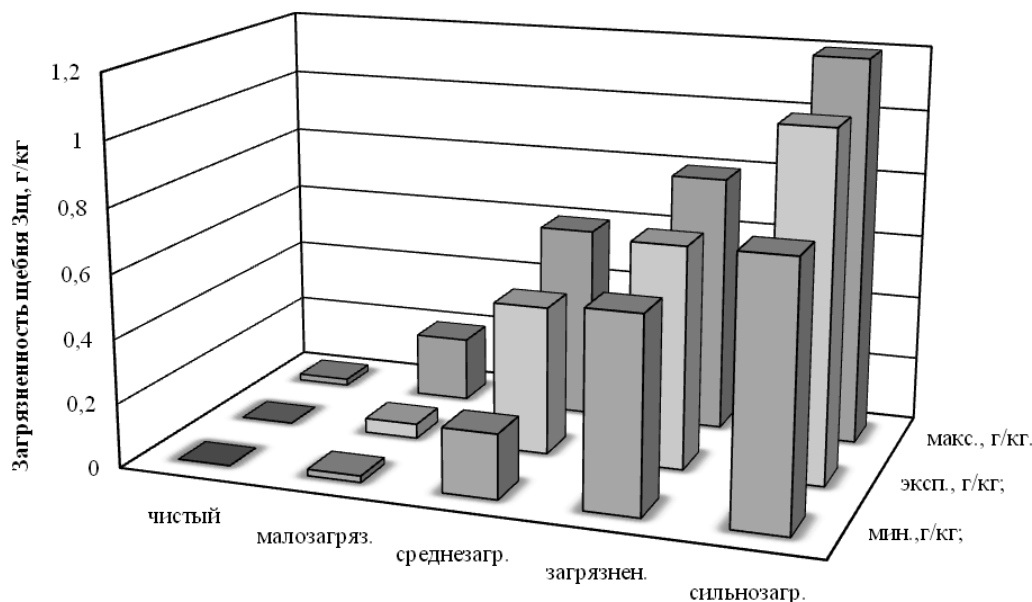


Рис. 1. Категории загрязненности балласта:

макс. – максимальное значение загрязненности балласта нефтепродуктами каждой категории загрязненности по предложенной классификации, г/кг; мин. – минимальное значение загрязненности балласта нефтепродуктами каждой категории загрязненности по предложенной классификации, г/кг; эксп. – значение загрязненности балласта нефтепродуктами полученные экспериментальным путем, г/кг

Изучение концентраций загрязнений поверхностного стока с железнодорожных путей. Для исследований были выбраны три железнодорожные станции Самары (Речная, Толевая и Безымянка) и ППС «Уруссу», охватывающие максимальный объем категорий загрязнения балласта. Пробы поверхностной сточной воды отбирались в начале ноября 2008 г. (на ППС «Уруссу» – 2006 г). Отбор проб производился во время выпадения дождя, продолжавшегося до начала отбора проб примерно 40-60 мин. Исследование поверхностной сточной воды заключалось в определении в ней концентраций нефтепродуктов и взвешенных веществ. Величина загрязненности поверхностных сточных вод с исследуемых железнодорожных станций представлена в табл. 4.

Предложен сравнительный коэффициент ($K_{cp}^{н/п}$), позволяющий определить отношение величины загрязненности щебня к величине загрязненности поверхностной сточной воды по нефтепродуктам (табл. 4).

$$K_{cp}^{н/п} = \frac{1000 \cdot Z_{щ}}{C_{н/п(ст)}}, \quad (3)$$

где 1000 – коэффициент, приводящий числитель и знаменатель к одним единицам измерения; $Z_{щ}$ – за-

грязненность щебня нефтепродуктами, г/кг; $C_{н/п(ст)}$ – концентрация нефтепродуктов в поверхностном стоке, мг/л.

Исходя из данных, представленных в табл. 4, и значений коэффициента $K_{cp}^{н/п}$, определим зависимость концентраций загрязненности поверхностных сточных вод от загрязненности балласта.

Ниже представлены графики, показывающие концентрации нефтепродуктов и взвешенных веществ по отношению к категории загрязненности балласта. График на рис. 2 показывает математическую зависимость загрязненности поверхностной воды нефтепродуктами от загрязненности балласта нефтепродуктами.

На рис. 2 не показана точка, характеризующая загрязненность 2-го пути станции Безымянка, это связано с отбраковкой результатов экспериментов, выполненной в соответствии с требованиями [3, 4, 5].

Полученную кривую можно описать зависимостью:

$$C_{н/п} = -524,9 \cdot Z_{щ}^3 + 860,6 \cdot Z_{щ}^2 + 69,47 \cdot Z_{щ} + 58,29, \quad (4)$$

мг/л,

где $C_{н/п}$ – концентрации нефтепродуктов в поверхностной воде, мг/л;

$Z_{щ}$ – величина загрязненности балласта, г/кг.

Таблица 4

Загрязненность поверхностной воды, сравнительный коэффициент				
Категория загрязненности балласта	Название станции и номер пути	Концентрация в/в в поверхностном стоке, мг/л	Концентрация н/п в поверхностном стоке, мг/л	Сравнительный коэффициент $K_{cp}^{н/п}$
Чистый	Речная, 1-й	1756,0	31,6	Отс.
	Речная, 6-й	1690,0	41,0	Отс.
Мало-загрязненный	Речная, 3-й	2030,0	77,0	0,40
	Толевая, 1-й	1906,0	86,0	0,74
	Толевая, 2-й	2016,0	59,3	0,74
	Толевая, 3-й	2042,0	67,2	0,74
	Безымянка, 3-й	2004,0	88,8	0,51
Средне-загрязненный	Речная, 2-й	1832,0	151,5	2,24
	Речная, 4-й	1835,0	186,0	2,14
	Толевая, 4-й	1686,0	164,0	2,71
	Безымянка, 2-й	1888,0	150,8	3,70
Загрязненный	Речная, 5-й	1468,0	380,0	1,68
	Толевая, 5-й	1566,0	388,6	2,10
	Безымянка, 1-й	1763,0	326,2	2,22
Сильно-загрязненный	ППС «Уруссу», 1-й	1125,0	438,5	2,54
	ППС «Уруссу», 2-й	1098,0	492,2	2,48
	ППС «Уруссу», 6-й	1183,0	448,5	2,29
	ППС «Уруссу», 7-й	1202,0	439,8	2,23

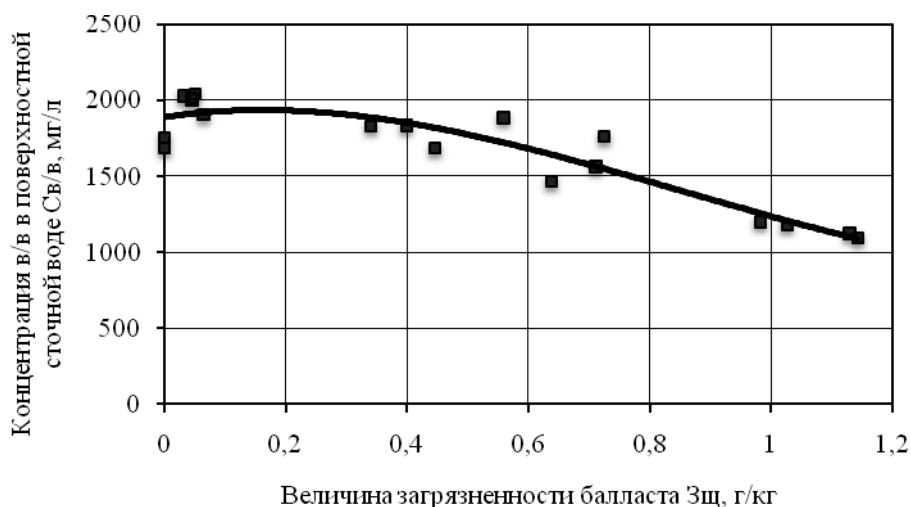


Рис. 2. Зависимость величины загрязненности поверхностной сточной воды нефтепродуктами от загрязненности балласта

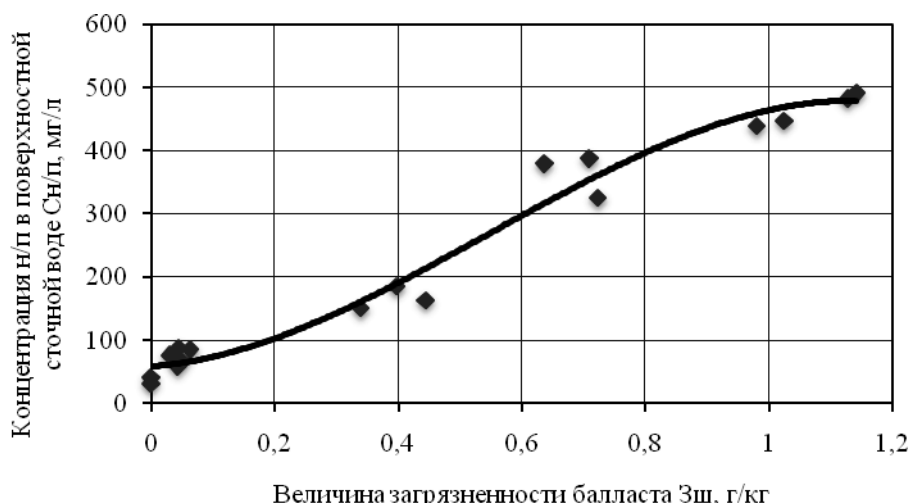


Рис. 3. Зависимость величины загрязненности поверхностной сточной воды взвешенными веществами от загрязненности балласта нефтепродуктами

Величина достоверности аппроксимации указанного выражения составляет:

$$R^2 = 0,974.$$

Далее представлен график (рис. 3), показывающий математическую зависимость загрязненности поверхностной сточной воды взвешенными веществами от загрязненности балласта нефтепродуктами.

Полученную кривую можно описать зависимостью

$$C_{\text{в/в}} = 811,2 \cdot Z_{\text{щ}}^3 - 2072 \cdot Z_{\text{щ}}^2 + 608,3 \cdot Z_{\text{щ}} + 1891, \text{ мг/л}, \quad (5)$$

где $C_{\text{в/в}}$ – концентрации нефтепродуктов в поверхностной воде, мг/л;

$Z_{\text{щ}}$ – величина загрязненности балласта, г/кг.

Величина достоверности аппроксимации представленного выражения составляет:

$$R^2 = 0,868.$$

Представленные выше уравнения (4) и (5) являются математическими зависимостями, полученными с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Данные зависимости являются аппроксимацией экспериментально полученных результатов по значениям концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов в поверхностной сточной воде.

Результаты экспериментов показали, что величина загрязненности поверхностной сточной воды по нефтепродуктам прямо пропорциональна величине загрязнения балласта, а концентрации взвешенных веществ обратно пропорциональны величине за-

грязности балласта. Снижение концентрации взвешенных веществ в поверхностном стоке с увеличением загрязненности балласта нефтепродуктами объясняется тем, что большее количество нефтепродуктов может связать и задержать больше минеральных частиц загрязнения (взвешенных веществ в стоке). Таким образом, мы имеем концентрации взвешенных веществ в поверхностных сточных водах, собранных с загрязненного пути, ниже концентраций взвешенных веществ в поверхностном стоке, собранном с малозагрязненного пути.

Для выявления теоретических значений загрязненности поверхностной сточной воды от величины загрязненности балласта можно пользоваться рассчитанными и построенными графиками (рис. 4 и 5).

Полученными графиками и формулами можно пользоваться при определении концентраций за-

грязняющих веществ (нефтепродуктов и взвешенных веществ) в поверхностных сточных водах с железнодорожных путей с различной загрязненностью.

Выводы:

1. Составлена классификация загрязненности балласта железнодорожных путей по нефтепродуктам: 1 - чистый, 2 - малозагрязненный, 3 - среднезагрязненный, 4 - загрязненный, 5 - сильнозагрязненный.

2. Определены критерии отнесения железнодорожного пути к пункту классификации: чистый - не имеет видимых загрязнений нефтепродуктами; малозагрязненный - на путях есть отдельные небольшие пятна нефтепродуктов, размер пятен не превышает 70-100 мм, количество пятен на 1 м² - не более 5; среднезагрязненный - имеет загрязнения, состоящие из пятен нефтепродуктов, достаточно близко рас-

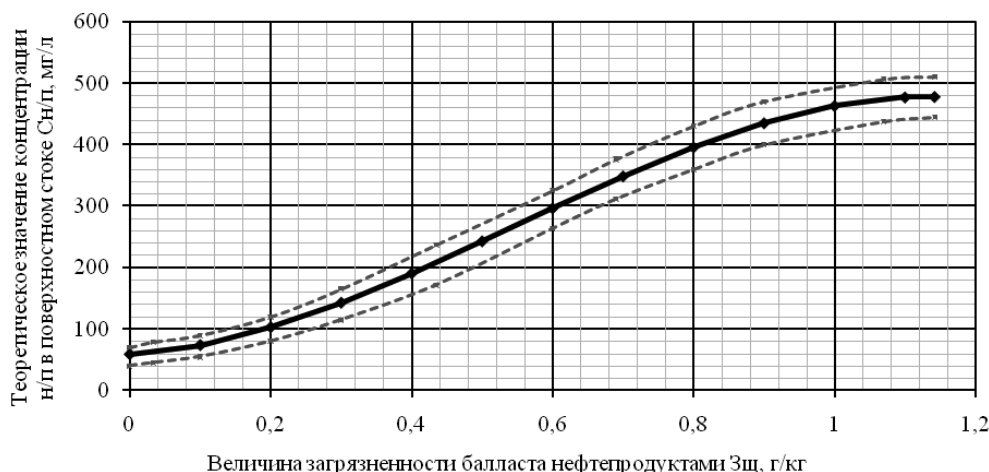


Рис. 4. Теоретические пределы зависимости концентраций загрязнений поверхностной сточной воды нефтепродуктами от загрязненности балласта

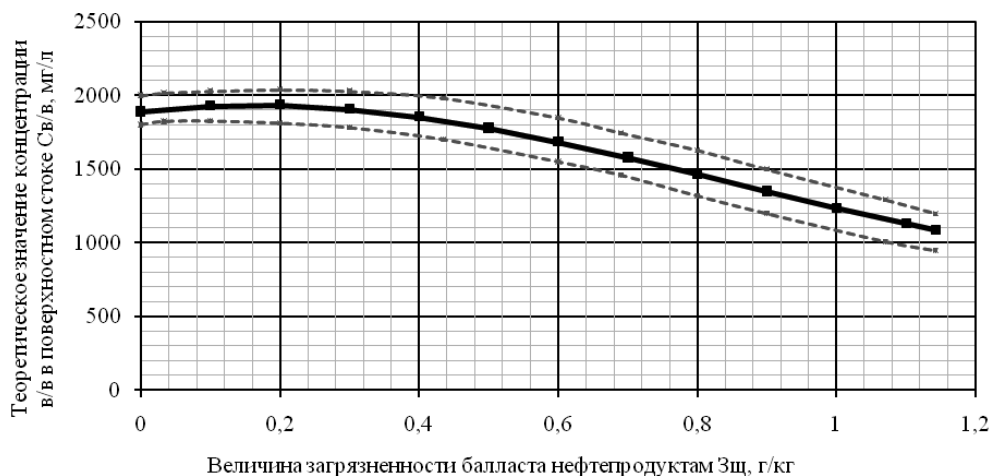


Рис. 5. Теоретические пределы зависимости концентраций загрязнений поверхностной сточной воды взвешенными веществами от загрязненности балласта

положенных друг к другу так, что при визуальном осмотре пути на большом расстоянии пятна кажутся единой полосой загрязнения, но они являются отдельными пятнами загрязнений; загрязненный - на путях присутствует сплошная полоса нефтепродуктов, проходящая параллельно пути; сильнозагрязненный - полное поверхностное загрязнение нефтепродуктами всего пути.

3. Определены граничные значения загрязненности балласта железнодорожных путей, принадлежащего к каждой категории классификации: чистый - 0,00-0,02 г/кг; малозагрязненный - 0,02-0,20 г/кг; среднезагрязненный - 0,20-0,60 г/кг; загрязненный - 0,60-0,80 г/кг; сильнозагрязненный - более 0,80 г/кг.

4. Определены закономерности изменения загрязненности поверхностных сточных вод с железнодорожных путей в зависимости от категории загрязненности балласта железнодорожного пути:

$$C_{н/п} = -524,9 \cdot Z_{ц}^3 + 860,6 \cdot Z_{ц}^2 + 69,47 \cdot Z_{ц} + 58,29, \text{ мг/л,}$$

$$C_{о/о} = 811,2 \cdot Z_{ц}^3 - 2072 \cdot Z_{ц}^2 + 608,3 \cdot Z_{ц} + 1891, \text{ мг/л,}$$

где $C_{н/п}$ - концентрации нефтепродуктов в поверхностной воде, мг/л;

$C_{о/о}$ - концентрации взвешенных веществ в поверхностной воде, мг/л; $Z_{ц}$ - величина загрязненности балласта, г/кг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрелков, А.К. Методика определения категории загрязненности железнодорожных путей [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 66-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР университета за 2008 г. / СГАСУ. - Самара, 2009. - С. 109-111.
2. Теплых, С.Ю. Методика определения класса загрязненности железнодорожных станций города Самары [Текст] / С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев // Республиканская научная конференция по проблемам архитектуры и строительства: тезисы докладов / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. - Казань, 2009. - С. 202-203.
3. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко; изд. второе перераб. - М.: Наука, 1978. - 399 с.
4. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / В.Е. Гмурман. - М.: Высш. школа, 1979. - 400 с.
5. Закс, Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л. Закс; пер. с нем. В.Н. Варыгина. - М.: Статистика, 1976. - 599 с.