

С. Ю. ТЕПЛЫХ

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

### QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF SURFACE RUNOFF FROM RAILWAY TRACKS

Проводится анализ и рассматривается характер фильтрации поверхностного стока в балластной призме железнодорожного пути, а также рассмотрены варианты миграции воды в верхнем и нижнем строении балластной призмы. Получена формула расхода дождевого, талого и фильтрационного стока. Уточнена формула расхода поверхностного стока с железнодорожного полотна, определены расходы общего поверхностного стока по площадям объектов железнодорожного транспорта. Установлено, что при просачивании поверхностной воды через верхнее и нижнее строение пути возникает два боковых выброса. Предложенная методика определения расходов поверхностного стока с железнодорожных путей позволяет использовать адаптированную методику, предложенную не для селитебных зон, что актуально для 90 % железнодорожного полотна, расположенного в РФ, в частности Куйбышевской железной дороги, расположенной в лесостепной и полустепной зонах.

**Ключевые слова:** поверхностный сток, дождевой сток, талый сток, железнодорожный путь, атмосферные осадки, просачивание, расчет расходов воды

**Баланс поверхностного стока участка железной дороги.** При поступлении поверхностного стока в водные объекты следует учитывать все составляющие его расхода, которые могут влиять качественно и количественно на изменение природных вод. При отсутствии дождевой сети поверхностные сточные воды отводятся по рельефу местности в нижерасположенные места: овраги, реки, озера. Изначально отведение поверхностных сточных вод предусматривалось только с твердых покрытий: автодорог, крыш домов и пр. В настоящее время железнодорожное полотно и железнодорожные станции не рассматриваются как объекты загрязнения поверхностных и грунтовых вод. Так, на железнодорожных путях, станциях и перегонах, в частности на железнодорожных станциях Самары, не предусмотрены мероприятия по сбору, отведению и очистке поверхностных сточных вод, и они стекают с балластной призмы, прилегающих территорий и непосредственно с железнодорожных путей.

Analysis is carried out and the nature of surface runoff filtration in the ballast prism of the railway track is considered, as well as options for water migration in the upper and lower structure of the ballast prism are considered. The formula of flow rate of rain, melt and filtration runoff is obtained. The formula for surface runoff consumption from the railway track was clarified, and the total surface runoff flow rates for the areas of railway transport facilities were determined. It was found that when surface water seeps through the upper and lower structures of the path. Two lateral ejections occur. The proposed methodology for determining the flow rates of surface runoff from railway tracks allows using an adapted methodology proposed not for residential zones, which is relevant for 90% of the railway bed located in the Russian Federation, in particular, the Kuibyshev railway road located in the forest-steppe and semi-steppe zones.

**Keywords:** surface runoff, rain runoff, melt runoff, railway track, precipitation, seepage, water flow calculation

Если в качестве объекта рассматривать железнодорожный путь, станции и мостовые переходы, следует уточнить следующее выражение баланса поверхностного стока для участка железной дороги:

$$X = Y + U + Z, \quad (1)$$

где  $X$  – атмосферные осадки (жидкие, твердые);  $Y$  – поверхностный сток;  $U$  – подземные воды (для достаточно больших площадей можно считать, что  $U = 0$ );  $Z$  – суммарное испарение (основное испарение на территории РФ происходит с поверхности воды водных объектов). В нашем случае рассматривается скопление поверхностной воды на балластной призме, соответственно  $Z \rightarrow 0$ , следовательно,  $Z = 0$  и соответственно

$$X = Y_c + Y_\phi, \quad (2)$$

где  $Y_c(Q_d, Q_t)$  – поверхностный сток (дождевой, талый), направляется на сброс по одной траек-

тории;  $Y\phi(Q\phi)$  – фильтрационный сток, соответственно уравнение принимает вид:

$$Q = Q_d + Q_t + Q_f. \quad (3)$$

В работе [1] проводится анализ и рассматривается характер фильтрации поверхностного стока в балластной призме железнодорожного пути, а также рассмотрены варианты миграции воды в верхнем и нижнем строении балластной призмы (рис. 1).

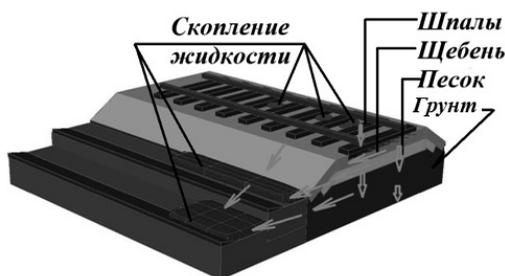


Рис. 1. Варианты направления движения поверхностных сточных вод в верхнем и нижнем строении балластной призмы

Поверхностные сточные воды стекают с поверхности балластной призмы или просачиваются через нее. Затем атмосферные осадки двигаются в боковом направлении в месте соединения верхнего и нижнего строения пути (между щебнем и песком), а также в теле нижнего строения железнодорожного пути (между песком и грунтом). Следовательно, необходимо осуществлять отвод сточных вод и их очистку с целью предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод, обеспечения экологической безопасности, а также надежности железнодорожной балластной призмы [1].

**Определение расхода поверхностного стока с железнодорожного пути.** Учитывая, что только 10 % крупных железнодорожных станций и мостовых переходов располагается в седлительной зоне, использование формул для расчета расходов поверхностных вод [2, 3] нецелесообразно, так как Куйбышевская железная дорога проходит по лесостепной и полустепной зоне. При этом следует рассматривать реальное неустановившееся движение поверхностных дождевых вод в упрощенном виде [4]. Получаем формулу расхода дождевого стока:

$$Q_d = 0,375 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} \cdot i_0^{0,5} F, \text{ л/с}, \quad (4)$$

где  $n_0$  – коэффициент шероховатости, принимается  $n_0 = 0,003$  [2];  $i_n$  – продольный профиль

уклона поверхности;  $i_0$  – поперечный профиль уклона поверхности;  $F$  – площадь стока, га.

Максимальный расход талых вод можно определить по редуccionной формуле Д.Л. Соколовского:

$$Q_T = \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \cdot \delta_1 \delta_2 F, \text{ л/с}, \quad (5)$$

где  $k_0$ ,  $h_p$ ,  $n$ ,  $\delta_1 = \frac{1}{A_n + 1}$ ,  $\delta_2 = 1$ ,  $F$  – коэффициенты (СП 33-101-2003), получаем формулу

$$Q_T = \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \cdot F \frac{1}{A_n + 1}, \text{ л/с}. \quad (6)$$

**Определение расхода фильтрационного стока железнодорожного пути.** Основными уравнениями, описывающими фильтрацию жидкостей в пористой среде, являются [1,2,4-6]: уравнение непрерывности

$$\frac{\partial(\rho \cdot m)}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{u}) = 0; \quad (7)$$

закон Дарси

$$0 = -\text{grad}(p) + \rho \cdot \vec{g} - \frac{\mu}{k} \cdot \vec{u}, \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $m$  – пористость среды (т. е. относительная доля объема открытых пор в данном материале);  $\vec{u}$  – скорость фильтрации жидкости;  $t$  – время фильтрации жидкости;  $p$  – давление жидкости;  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения;  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости;  $k$  – проницаемость (или коэффициент проницаемости) пористой среды [1].

Простейшим решением системы уравнений в однородной пористой среде является следующее [2,6,7]:

$$\begin{cases} p = 0, \\ \vec{u} = \frac{k \cdot \rho \cdot \vec{g}}{\mu} = C \cdot \frac{\vec{g}}{g} = \text{const}, \end{cases} \quad (9)$$

описывающее равномерное гравитационное стекание жидкости в пористой среде.

Расстояние (радиус), по которому движется жидкость, зависит от среды протекания и грунтов, соответственно от пористости грунта. Можно сделать вывод об уменьшении радиуса частиц грунта (щебень → песок → грунт), соответственно [2, 6, 7] площадь поперечного сечения трубок тока жидкости в различных средах проходит следующие слои: щебень → песок → грунт (рис. 2).

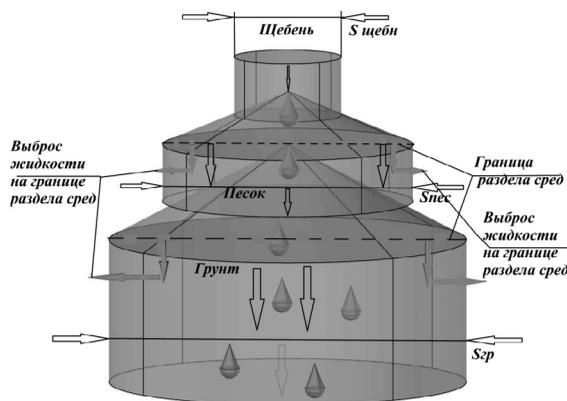


Рис. 2. Движение поверхностной воды в теле верхнего и нижнего строения пути

Следовательно, на границе верхнего и нижнего строения пути (щебень – песок), а также в теле нижнего строения железнодорожного пути (песок – грунт) происходит боковой выброс поверхностной воды вследствие расширения порового пространства, что ведет к образованию скопления атмосферных осадков (луж) вдоль железнодорожных путей [2, 6, 7].

Допустим,

$$R_{\text{макс}} = 11,7 \text{ м} / 4(\text{стороны}) = 2,925 \text{ м} [8].$$

$$\text{Тогда } Q_{\text{max}} = \pi \cdot C \cdot R_{\text{макс}}^2. \tag{10}$$

С учетом изменения вязкости сточной жидкости в связи с загрязнением нефтепродуктами и железом, а также при пересчете на площадь объекта формула будет иметь вид:

$$Q_{\phi} = C \frac{1}{k} F, \text{ л/с}, \tag{11}$$

где  $C$  – скорость фильтрации;  $k$  – коэффициент, зависящий от концентрации загрязнений поверхностных сточных вод;  $F$  – площадь стока, га.

В табл. 1 представлены расчеты фильтрации поверхностной воды [2,6,7]. Для исследований были приняты типовые пористые среды, характерные для Самарской области и в частности для Куйбышевской железной дороги (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм).

Из табл. 1 видно, что чем более загрязнены железнодорожные пути, тем меньшее количество жидкости просачивается через балластную призму в связи с образованием непроницаемого слоя из-за нефтепродуктов, и тем меньше боковой выброс.

Следует свести уравнения (4), (6), (11) в одно, которое имеет вид:

$$Q = Q_d + Q_t + Q_{\phi},$$

Таблица 1

Исследование фильтрации поверхностной воды на железнодорожном пути при  $L = 2,925 \text{ м}$  (1/4 поперечного разреза железнодорожного пути при двухпутном пути  $L = 11,7 \text{ м}$ )

Ситуация для чистой балластной призмы	Результат	%
$Q < Q_{\text{гр}} = 0,059 \text{ л/с}$	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути	0–0,02
$0,059 \text{ л/с} = Q_{\text{гр}} < Q < Q_{\text{пес}} = 14,0 \text{ л/с}$	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает один боковой выброс воды (песок – грунт)	0,02– 4,7
$14,0 \text{ л/с} = Q_{\text{пес}} < Q < Q_{\text{щ}} = 269,0 \text{ л/с}$	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает два боковых выброса воды (щебень – песок, песок – грунт)	4,7– 89,6
$Q > Q_{\text{пес}} = 269,0 \text{ л/с}$	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает два боковых выброса воды (щебень – песок, песок – грунт)	89,6– 100

тогда

$$Q = \left( 0,375 \frac{1}{n_0} i_n^{1,66} i_0^{0,5} F \right) + \left( \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \frac{1}{A_t + 1} F \right) + \left( C \frac{1}{k} F \right). \quad (12)$$

Для обеспечения экологической безопасности, предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод, а также повышения надежности железнодорожных путей следует предусматривать водоотводящие лотки для сбора и отведения поверхностного стока с устройством накопительной емкости с последующей очисткой загрязненной сточной воды, предусмотрев при необходимости локальные очистные сооружения [8].

Все эксперименты проводились в три этапа: 1 – на экспериментальном участке железнодорожного пути; 2 – на железнодорожных путях полигона Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС); 3 – на путях 5-го класса (скорость менее 40 км/ч, грузонапряженность менее 5 млн. т/км в год) [1].

**1 этап – на экспериментальном участке железнодорожного пути.** Были проведены исследования на чистом экспериментальном участке балластной призмы железнодорожного пути для исключения мешающих условий и случайных загрязнений [1]. Было осуществлено новое строительство экспериментального участка железнодорожного пути с полотном длиной 3,5, шириной 5,5 м согласно нормативным документам и стандартам [9–14]. Для установки были использованы стандартные железнодорожные рельсы марки Р45 [12,14,15]. Межшпальное пространство составляло 543 мм согласно [13, 14] (рис. 3, 4).

Методика проведения эксперимента: подача воды на экспериментальную установку через дождеватель с расходом и интенсивностью согласно нормативным документам по Самарской области [16, 17]. Затем потоки разделялись согласно теории, представленной в [2]. Часть поверхностной жидкости, попадая на поверхность экспериментального участка, сразу стекала в водосборные лотки, расположенные на разном уровне; следующая часть жидкости, проникая в толщу балластного слоя железнодорожного пути, аккумулировалась в межпоровом пространстве щебеночного слоя, затем выбрасывалась в боковом направлении на разделе сред: щебня и песка, и грунта, а также стекая в водосборные лотки; еще одна часть жидкости через дренажные перфорированные трубы (расположены под шпалами и в межшпальных ящиках) и специальные водосборные емкости направлялась в водосборные



Рис. 3. Участок экспериментального железнодорожного пути

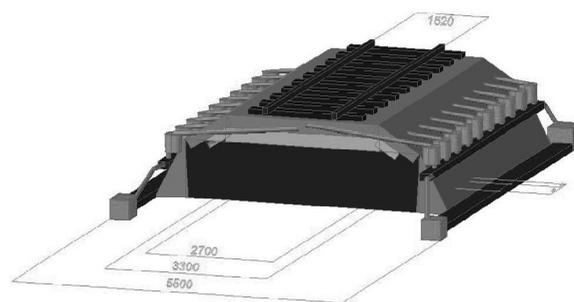


Рис. 4. Технологическая схема отвода поверхностного стока с участка железнодорожного пути

лотки. Система дренирования полупроизводственной экспериментальной установки представлена разным положением перфорированных дренажных труб. Одни уложены только в теле балластной призмы, другие расположены пересекая разделы среднего и верхнего строения железнодорожного пути – балластную призму и песок.

**2 этап – полупроизводственный эксперимент, на железнодорожных путях полигона СамГУПС.** На полигоне Самарского государственного университета путей сообщения нам была предоставлена площадка, состоящая из нескольких железнодорожных путей, где были проведены исследования по определению объемов поверхностного и талого стока. Был выбран участок – два пути, ширина каждого составляла 5,75 м, длина – 6,00 м (рис. 5). Участок железнодорожного пути выполнен согласно СП 261.1325800.2016, балласт устроен из щебня соответствующих фракций в соответствии с [18,19].

Поверхностный сток собирается с между-рельсового пространства и балластной призмы, затем направляется в водоотводной лоток длиной 6 м с последующим сбором и накоплением



Рис. 5. Экспериментальная установка железнодорожного пути:

- 1 – исследуемый железнодорожный путь;
- 2 – технологическая схема отвода поверхностного стока с участка железнодорожного пути;
- 3 – информационная надпись

сточной воды в емкости 0,8 м<sup>3</sup>. Интенсивность дождя принималась идентичной, согласно представленным данным Метеоагентства по Самарской области.

**3 этап – производственный эксперимент, на действующих путях.** Были выбраны пути 5-го класса, при разрешенной скорости менее 40 км/ч и при грузонапряженности менее 5 млн. т/км в год (рис. 6). На них установлены водоотводящие лотки длиной 10 м с уклоном 0,001–0,002.

*Исследования по определению расхода дождевого стока с железнодорожного пути (Q<sub>д</sub>).* Исследования проводились по всем этапам (табл. 2).

Учитывая структуру формулы, можно изменить существующий коэффициент 0,375, откорректировав его путем введения поправочного коэффициента, полученного эмпирически. Соответственно формула будет иметь вид:

$$Q_{д} = 0,26625 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} i_0^{0,5} F \text{ л/с.}$$

А формула, согласно [17], будет иметь вид:

$$Q_{д} = 5,6 \cdot 10^{-3} h_{см} \frac{\Psi_{mid}}{T_{д} + t_r} F, \text{ л/с.}$$

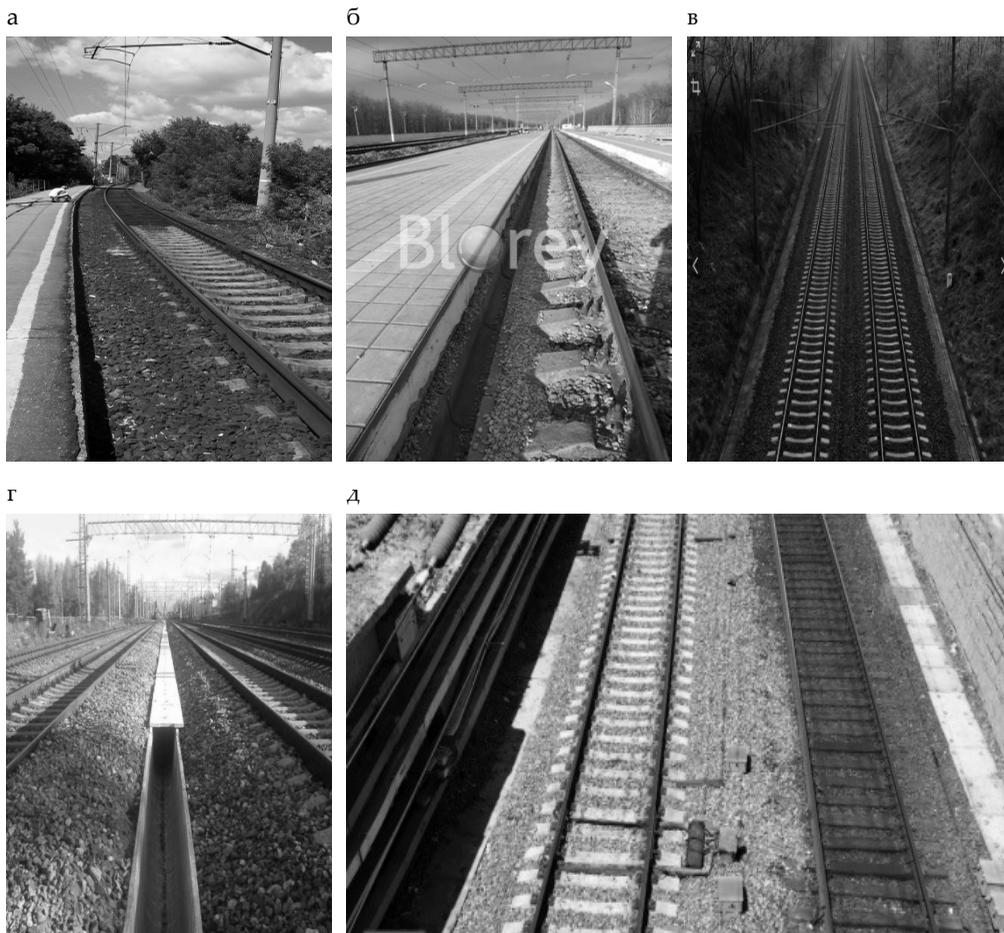


Рис. 6. Расположение лотков на железнодорожном пути: а, б – Самара; в, г – Самарская обл.; д – промплощадка, Самара

Таблица 2

## Определение расхода дождевого стока

Площадь объекта ж.-д. транспорта, га	По формуле [16], л/с $Q_{дл} = 2,8 \cdot 10^{-3} h_{св} \frac{\Psi_{mid}}{T_{дл} + t_r} F$	По формуле [4], л/с $Q_{дл} = 0,375 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} i_0^{0,5} F$	1 этап – теоретический эксперимент на эксперимент. установке, л/с (при $F_{ес} = 0,002$ га, $q_{yA} = 0,0109$ л/с)	2 этап – полупроизводственный эксперимент, на полигоне СамГУПС, л/с (при $F_{ес} = 0,0035$ га, $q_{yA} = 0,0184$ л/с)	3 этап – производственный эксперимент, на путях 5-го класса, л/с (при $F_{ес} = 0,0055$ га, $q_{yA} = 0,0281$ л/с)
0,03	0,079	0,223	0,163	0,158	0,153
0,3	0,795	2,226	1,63	1,58	1,53
1	2,65	7,42	5,45	5,26	5,11
5	13,25	37,19	27,25	26,3	25,54
10	26,65	74,2	54,5	52,6	51,1
50	132,5	371,9	272,5	263	255,4
100	266,5	742	545	526	511
Уточненная формула	$Q_{дл} = 2,8 \cdot 10^{-3} h_{св} \frac{\Psi_{mid}}{T_{дл} + t_r} FK$	$Q_{дл} = 0,375 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} i_0^{0,5} FK$	При пересчете коэффициента $Q_{дл} = 0,26625 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} i_0^{0,5} F$		
Поправочный коэффициент к формуле	1,92–2,05	0,68–0,73			

**Исследования по определению расхода талого стока с железнодорожного пути ( $Q_t$ ).** Исследования проводились по трем этапам на полигоне СамГУПС (табл. 3).

Графическое изображение представлено эмпирическими зависимостями (рис. 7) [2, 6, 7].

Результаты исследований (до 14.30), показанные на рис. 7, сопоставимы с зависимостями, представленными в трудах [20–22]. Затем (с 14.30 до 20.00) выявлена более ярко выраженная гиперболическая зависимость снеготаяния. Гидрограф снеготаяния имеет степенную функцию (нагрев металла происходит более интенсивно).

Таблица 3

## Определение расхода талого стока

Площадь объекта ж.-д. транспорта, га	По формуле Д.Л. Соколовского, л/с $Q_T = \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \cdot F \frac{1}{A_s + 1}$	2 этап – полупроизводственный эксперимент на полигоне СамГУПС, л/с (при $F_{ес} = 0,0035$ га, $q_{yA} = 0,0032$ л/с)	3 этап – производственный эксперимент на путях 5-го класса, л/с (при $F_{ес} = 0,0055$ га, $q_{yA} = 0,0051$ л/с)
0,03	0,0315	0,027	0,028
0,3	0,315	0,27	0,28
1	1,05	0,914	0,93
5	5,25	4,57	4,66
10	10,5	9,14	9,3
50	52,5	45,7	46,6
100	105	91,4	93,0

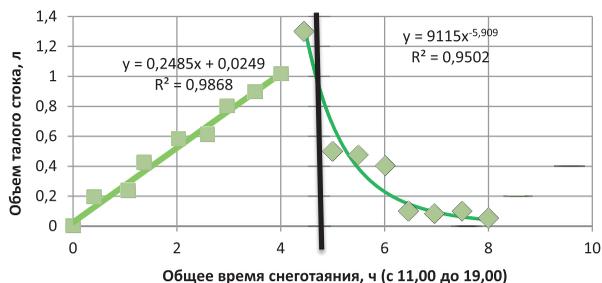


Рис. 7. График зависимости таяния снега (максимальное снеготаяние наблюдается в 15:00)

**Исследования по определению расхода фильтрационного стока с железнодорожного пути (Qф).** Для фильтрационного стока были проведены исследования на участке экспериментального железнодорожного пути [1]. Подача воды на установку варьировалась согласно характерной интенсивности дождя по Самарской области для определения зависимости коэффициента фильтрационного стока от интенсивности дождя.

Данные исследования подтверждают выводы о характере фильтрации и выброса жидко-

сти на границе сред [1]. Построен график зависимости коэффициента поверхностного стока от интенсивности дождя [1] (рис. 8).

Экспоненты, описывающие расположение точек уравнениями, имеют степенные функции (см. рис. 7, 8), это означает предварительное накопление жидкости в поровом пространстве балластной призмы и последующий ее выброс на разделе сред [1]. Расчеты сведены в табл. 4.

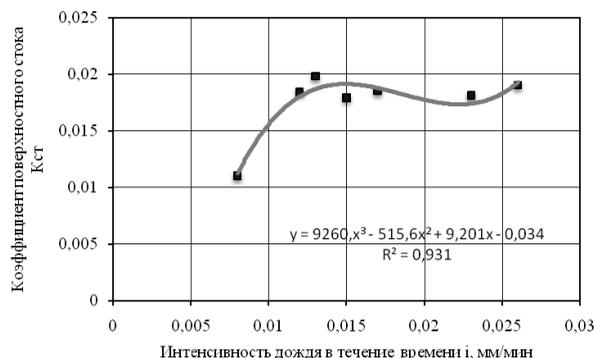


Рис. 8. Изменения коэффициента стока от интенсивности дождя на экспериментальный участок железнодорожного пути

Таблица 4

Варианты поведения жидкости при ее просачивании при L = 2,925 м [1] (1/4 поперечного разреза железнодорожного пути при двухпутном пути L = 11,7 м)

Ситуация для чистой балластной призмы	Результат	Ситуация для загрязненной (1/1,23) балластной призмы	Ситуация для загрязненной (1/2,27) балластной призмы
$Q < Q_{гр} = 0,059 \text{ л/с}$ 0–0,02 %	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути	$Q < Q_{гр} = 0,048 \text{ л/с}$ 0–0,016 %	$Q < Q_{гр} = 0,026 \text{ л/с}$ 0–0,008 %
$0,059 \text{ л/с} =$ $Q < Q_{гр} < Q_{пес} =$ 14,0 л/с 0,02–4,7 %	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает один боковой выброс воды (песок – грунт)	$0,048 \text{ л/с} =$ $Q_{гр} < Q < Q_{пес} =$ 11,38 л/с 0,016–3,8 %	$0,026 \text{ л/с} =$ $Q_{гр} < Q < Q_{пес} =$ 6,17 л/с 0,008–2,06 %
$14,0 \text{ л/с} =$ $Q_{пес} < Q < Q_{щ} =$ 269,0 л/с 4,7–89,6 %	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает два боковых выброса воды (щебень – песок, песок – грунт)	$11,38 \text{ л/с} =$ $Q_{пес} < Q < Q_{щ} =$ 218,7 л/с 3,8–72,67 %	$6,17 \text{ л/с} =$ $Q_{пес} < Q < Q_{щ} =$ 118,5 л/с 2,06–39,5 %
$Q > Q_{пес} = 269,0 \text{ л/с}$ 89,6–100 %	Поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной, щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает два боковых выброса воды (щебень – песок, песок – грунт)	$Q > Q_{пес} =$ 218,7–260,8 л/с 72,67–86,93 (100) %	$Q > Q_{пес} =$ 118,8–143,6 л/с 39,5–47,9 (100) %

Из табл. 4 можно сделать следующий вывод: чем более загрязнены железнодорожные пути, тем меньшее количество жидкости просачивается через балластную призму в связи с образованием непроницаемого слоя из-за нефтепродуктов. Соответственно боковой выброс меньше [1]. Расчеты по пло-

щади железнодорожного объекта сведены в табл. 5.

Следует свести все расчеты расходов в одну табл. 6 согласно формуле

$$Q = \left( 0,26625 \frac{1}{n_0} i_n^{1,66} i_0^{0,5} F \right) + \left( \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \frac{1}{A_n + 1} F \right) + \left( C \frac{1}{k} F \right), \text{ л/с.}$$

Таблица 5

Определение расхода фильтрационного стока

Площадь объекта ж.-д. транспорта, га	По формуле $Q_{\max} = C \frac{1}{k} F$ , л/с	1 этап – теоретический эксперимент на эксперим. установке, л/с (при $F_{\text{ес}} = 0,002$ га, $q_{\text{ya}} = 0,000059$ л/с)
0,03	0,00078	0,000885
0,3	0,0078	0,00885
1	0,026	0,0295
5	0,13	0,147
10	0,26	0,295
50	1,3	1,47
100	2,6	2,95

Таблица 6

Определение общего расхода стока, л/с

Площадь объекта ж.-д. транспорта, га	По формуле $Q_{\text{д}} = 0,26625 \frac{1}{n_0} \cdot i_n^{1,66} \cdot i_0^{0,5} F$	По формуле Д.Л. Соколовского $Q_r = \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \cdot F \frac{1}{A_n + 1}$	По формуле $Q_{\max} = C \frac{1}{k} F$	Общий сток Q
0,03	0,223	0,0315	0,00078	0,255
0,3	2,226	0,315	0,0078	2,55
1	7,42	1,05	0,026	8,496
5	37,19	5,25	0,13	42,57
10	74,2	10,5	0,26	84,96
50	371,9	52,5	1,3	425,7
100	742	105	2,6	849,6

### Выводы

1. Уточнена формула расхода поверхностного стока с железнодорожного полотна: общий вид  $Q = Q_{\text{д}} + Q_r + Q_{\text{ф}}$ , математическое выражение

$$Q = \left( 0,26625 \frac{1}{n_0} i_n^{1,66} i_0^{0,5} F \right) + \left( \frac{k_0 h_p}{(F+1)^n} \frac{1}{A_n + 1} F \right) + \left( C \frac{1}{k} F \right).$$

Определены расходы общего поверхностного стока по площадям объектов железнодорожного транспорта.

2. Установлено, что поверхностная вода просачивается через верхнее и нижнее строение пути (грунт – суглинок, песок – речной,

щебень – гранитный 40×70 мм) по размерам железнодорожного пути. Возникает два боковых выброса воды (щебень – песок, песок – грунт), определен корректировочный фактор  $K_{\text{сред}} = 1,23 - 2,82$ , учитывающий влияние нефтепродуктов и железа общего на просачивание поверхностных вод через балластную призму.

$$\begin{aligned} Q_{\text{гр}} &= 0,016 - 3,8 \%; \\ Q_{\text{пес}} &= 3,8 - 72,67 \%; \\ Q_{\text{щб}} &= 72,67 - 86,93(100) \%. \end{aligned}$$

3. Установлено заключение о хорошей точности «приближения стопроцентной сходимости

сти» не только в тех случаях, когда сходимость действительно близка к 100 %, но и при сходимости от 40 до 100 %.

4. Установлена зависимость коэффициента поверхностного стока от интенсивности дождя в течение времени  $y = 9260, x^3 - 515,6x^2 + 9,201x - 0,034$ .

5. На новых условно «чистых» железнодорожных путях наблюдались пиковые значения коэффициента поверхностного стока 0,0174 – 0,00179 при средней интенсивности дождя 0,016 – 0,022 мм/мин, что подтверждает практические значения и доводы. Предложенная методика определения расходов поверхностного стока с железнодорожных путей позволяет использовать адаптированную методику, предложенную не для селитебных зон, что актуально для 90 % железнодорожного полотна, расположенного в Российской Федерации, в частности для Куйбышевской железной дороги, расположенной в лесостепной и полустепной зонах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрелков А.К., Теплых С.Ю. Определение расхода фильтрационного стока железнодорожного пути // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сб. ст. / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара, 2020. С. 272–280.
2. Анализ и характеристика фильтрации поверхностного стока в балластной призме железнодорожного пути / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, Н.С. Бухман, А.М. Саргсян // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 12. С. 63–72.
3. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ОАО «НИИ ВОДГЕО». М., 2014. 88 с.
4. Парахневич В.Т. Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков. Изд. второе, перераб. М.: Инфра-М, Новое знание, 2015. 368 с.
5. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде // Институт компьютерных исследований. М. – Ижевск, 2004. 628 с.
6. Бухман Н.С., Теплых С.Ю., Бухман Л.М. Динамика впитывания жидких загрязнений в пористый грунт // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 4 (132). С. 51–59.
7. Математическое моделирование загрязнения водотоков поверхностным стоком с железнодорожного полотна / Н.С. Бухман, С.Ю. Теплых, А.К. Стрелков, П.А. Горшкалев // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 12. С. 44–52.
8. Железнодорожный путь Поволжья: сб. науч. тр. / под общ. ред. В.А. Покацкого. Самара: СамГУПС, 2012. Вып. 1. 157 с.: ил.
9. Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Горшкалев П.А. Технологические схемы сбора, отведения и очистки поверхностных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 73–78.
10. Шанайца П.С., Москалев Н.В. Железнодорожный транспорт // Сер. Экология: экспресс-информ. М., 2004. №2. С. 1–32.
11. Усс Р.А. Современное решение по укреплению балластной призмы железнодорожных путей [Электронный ресурс] Режим доступа: www.jdpsmt.ru (дата обращения: 08.05.2021).
12. Организация строительства и реконструкции железных дорог / И.В. Прокудин, Э.С. Спиридонов, И.А. Грачев, А.Ф. Колос, С.К. Терлецкий. М.: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2008. 736 с.
13. Кантор И.И. Изыскания и проектирование железных дорог. М.: Академкнига, 2003. 288 с.
14. Ашпиз Е.С. Железнодорожный путь / Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2013. 544 с.
15. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации № 286 от 09.02.2018. М.: Транспорт, 2018. 161 с.
16. СНиП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 72 с.
17. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. М.: Минрегион России, 2018. 91 с.
18. Шлюндт С.А., Самуйлов В.М. Экологические проблемы, связанные с работой железнодорожного транспорта // Организация производства и труда на транспорте в современный период: сб. науч. тр. Вып. 51 / Уральский ГУПС. Екатеринбург, 2006. С. 30–33.
19. Друзов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов // Серия: Методы в химии. Изд.: Лаборатория знаний (ранее «БИНОМ. Лаборатория знаний»). 2-е изд. (эл.). М., 2015. 273 с.
20. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Оптимизация процесса водоотведения в крупных городах. М.: АСВ, 2013. 182 с.
21. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. 352 с.: ил.
22. Алексеев М.И. Расчет расхода и объема талого стока с урбанизированных территорий // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 7. С. 46–49.

## REFERENCES

1. Strelkov A.K., Teplykh S.Yu. Determination of the flow rate of the filtration runoff of the railway track. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies]. Samara, 2020, pp. 272–280. (In Russian).
2. Strelkov A.K., Teplykh S.Yu., Buchman N.S., Sargsyan A.M. Analysis and characterization of surface runoff filtration in the ballast prism of the railway track.

*Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary equipment], 2015, no. 12, pp. 63–72. (in Russian)

3. JSC "NII VODGEO". *Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochestki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska ego v vodnye ob'ekty* [Recommendations for Calculation of Systems for Collection, Diversion and Treatment of Surface Runoff from Residential Areas, Sites of Enterprises and Determination of Conditions for Its Release into Water Bodies]. Moscow, 2014. 88 p.

4. Parakhnevich V.T. *Gidraulika, gidrologiya, gidrometriya vodotokov* [Hydraulics, hydrology, hydrometry of watercourses]. Moscow, Infra-M, New knowledge, 2015. 368 p.

5. Masket M. *Techenie odnorodnykh zhidkostey v poristoy srede* [Flow of homogeneous liquids in porous medium]. Moscow, Izhevsk, Institute for Computer Research, 2004. 628 p.

6. Bukhman N.S., Teplykh S.Yu., Bukhman L.M. Dynamics of absorption of liquid contaminants into porous soil. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov* [Problems of gathering, processing and transportation of oil and petroleum products], 2021, no. 4(132), pp. 51–59. (in Russian)

7. Bukhman N.S., Teplykh S.Yu., Strelkov A.K., Gorshkalev P.A. Mathematical modeling of pollution of watercourses by surface runoff from the railway bed. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary equipment], 2018, no. 12, pp. 44–52. (in Russian)

8. Pokatskiy V.A. *Zheleznodorozhnyy put' Povolzh'ya* [Railway track of the Volga region], Samara, SamGUPS, 2012, no. 1, 157 p.

9. Strelkov A.K., Teplykh S.Yu., Gorshkalev P.A. Technological schemes for the collection, disposal and treatment of surface wastewater of railway transport enterprises. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 3, pp. 73–78. (in Russian)

10. Shanaytsa P.S., Moskalev N.V. *Zheleznodorozhnyy transport. Seriya ekologiya* [Rail transport. Ecology series]

11. Uss R.A. *Sovremennoe reshenie po ukrepleniuyu ballastnoy prizmy zheleznodorozhnykh putey* (Modern solution to strengthen the ballast prism of railway tracks) Available at: [www.jdpsmt.ru](http://www.jdpsmt.ru) (accessed 8 May 2021)

12. Prokudin I.V., Spiridonov E.S., Grachev I.A., Kolos A.F., Terletsky S.K. *Organizatsiya stroitel'stva i rekonstruktsii zheleznykh dorog* [Organization of construction and reconstruction of railways]. Moscow, 2008. 736 p.

13. Kantor I.I. *Izyskaniya i proektirovanie zheleznykh dorog* [Railway Survey and Design]. Moscow, Akademkniga, 2003, 288 p.

14. Ashpiz E.S. *Zheleznodorozhnyy put'* [Railway track]. Educational and Methodological Center for Education at the railway station transport, 2013. 544 p.

15. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii № 286 ot 09.02.2018* [Rules for technical operation of railways of the Russian Federation No. 286 dated 09.02.2018]. Moscow, Transport, 2018. 161 p.

16. SNiP 2.04.03 - 85. Sewerage system. External networks and structures. Moscow, CITP of the USSR Gosstroy, 1986. 72 p. (In Russian)

17. SP 32.13330.2012. Sewerage system. External networks and structures. Updated version of SNiP 2.04.03-85. Moscow, Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 2018. 91 p. (In Russian)

18. Schlundt S.A., Samuilov V.M. Environmental problems related to the operation of railway transport. *Organizatsiya proizvodstva i truda na transporte v sovremennyy period* [Organization of production and labor in transport in the modern period]. Yekaterinburg, Ural GUPS, Vol. 51, 2006, pp. 30–57. (In Russian)

19. Drugov Yu.S., Rodin A.A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefi i nefteproduktov* [Environmental Analyses for Oil and Petroleum Product Spills]. Moscow, Knowledge Laboratory, 2015. 273 p.

20. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. *Optimizatsiya protsessa vodootvedeniya v krupnykh gorodakh* [Optimization of the water disposal process in large cities]. Moscow, ASV, 2013. 182 p.

21. Alekseev M.I., Kurganov A.M. *Organizatsiya otvedeniya poverkhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannykh territoriy* [Organization of drainage of surface (rain and melt) runoff from urbanized territories]. Moscow, ASV, Saint Petersburg, SPbGASU, 2000. 352 p.

22. Alekseev M.I. Calculation of flow rate and volume of melt runoff from urbanized territories. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary equipment], 2011, no. 7, pp. 46–49. (in Russian)

Об авторе:

#### ТЕМНЫХ Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: [kafvv@mail.ru](mailto:kafvv@mail.ru)

#### TEPLYKH Svetlana Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: [kafvv@mail.ru](mailto:kafvv@mail.ru)

Для цитирования: Темных С.Ю. Количественные характеристики поверхностного стока с железнодорожных путей // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 4. С. 42–51. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.6.

For citation: Teplykh S.Yu. Quantitative characteristics of surface runoff from railway tracks. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 42–51. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.6.