

Научная статья

УДК 626.86

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-3/82-95>

## Конструкция, способ строительства и метод расчета дренажа автомобильных тоннелей

Виктор Владимирович Пчелкин, Кристина Сергеевна Семенова<sup>✉</sup>,  
Станислав Олегович Владимиров

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,

Москва, Российская Федерация

✉ [kristi11.05.88@yandex.ru](mailto:kristi11.05.88@yandex.ru)

**Аннотация.** Целью работы является разработка конструкции, способа дренажа и обоснование метода расчета на примере автомобильного тоннеля «Сколково». В статье дана новая конструкция дренажа и метод его расчета, для увеличения результативности осушительного действия в условиях эксплуатации автомобильных тоннелей. Рекомендуемая конструкция дренажа, способ его строительства (получен патент на изобретение) и метод расчета проверены при осушении автомобильного тоннеля «Сколково». Показано, что сооружение дренажных систем, осуществляющееся в XXI веке, требует вдумчивого подхода к использованию опыта предыдущего периода при проектировании и эксплуатации дренажных систем и применения новых перспективных, экономически выгодных решений.

**Ключевые слова:** вертикальный дренаж, водоприемная способность, геотекстиль, дренажное устройство, мелиорация, фильтрующая обсыпка, осушительная сеть

**Для цитирования:** Пчелкин В.В., Семенова К.С., Владимиров С.О. Конструкция, способ строительства и метод расчета дренажа автомобильных тоннелей // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 3(60). С. 82–95.

Original article

## Design, construction method and method for calculating drainage of road tunnels

Victor V. Pchelkin, Kristina S. Semenova<sup>✉</sup>, Stanislav O. Vladimirov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

✉ [kristi11.05.88@yandex.ru](mailto:kristi11.05.88@yandex.ru)

**Abstract.** The purpose of the work is to develop a design, a drainage method and substantiate the calculation method using the example of the Skolkovo automobile tunnel. The article presents a new drainage design and a method for calculating it to increase the effectiveness of the drainage action under operating conditions of automobile tunnels. The recommended drainage design, the method of its construction (a patent for the invention was received) and the calculation method were tested when draining the Skolkovo automobile tunnel. It is shown that the construction of drainage systems carried out in the 21st century requires a thoughtful approach to using the experience of the previous period in the design and operation of drainage systems and the use of new promising, cost-effective solutions.

**Keywords:** vertical drainage, water intake capacity, geotextile, drainage device, land reclamation, filter sprinkling, drainage network

**For citation:** Pchelkin V., Semenova K., Vladimirov S. Design, construction method and method for calculating drainage of road tunnels. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 3(60), pp. 82–95. (In Russ.).

## Введение

Автомобильный тоннель «Сколково» расположен в районе пос. Сколково, в 1,5 км от Московской кольцевой дороги. Он был построен для улучшения транспортной связи с Москвой инновационного кластера «Сколково» и Московской школы управления (МШУ).

В составе трассы: автодорожный тоннель на подъезде к МШУ «Сколково» протяженностью 632 м и путепровод тоннельного типа протяженностью 417 м с рамповыми участками. В тоннеле предусмотрено движение в одностороннем направлении. Ширина проезжей части тоннеля 7 м. Высотный габарит автодорожного тоннеля 5,5 м.

Абсолютные отметки дневной поверхности места сооружения комплекса изменяются от 144,76 до 150,40 м, перепад высот составляет 5,64 м.

Подземная часть тоннеля опущена под уровень грунтовых вод на глубину от 2,8 до 7,0 м. На площади Сколковского тоннеля грунтовые воды встречены на глубине 1,6–5,0 м на абсолютных отметках 140,95–144,35 м. Следовательно, центральная часть тоннеля находится под грунтовыми водами. Водовмещающими породами являются четвертичные песчано-глинистые отложения. Грунтовая вода снаружи просочилась через стыки внутрь заглубленной центральной части тоннеля и образовала в них слой до 0,5 м. В связи с этим возникла необходимость строительства дренажной системы. Учитывая гидрогеологические условия, величину затопления подземной части тоннеля, невозможность строительства горизонтального пристенного дренажа, был выбран вертикальный дренаж.

Для осушения тоннелей использовали водосборники, которые устанавливали на уровне аварийного затопления датчиков уровня воды. Водосборники сооружали под тоннелями в местах наибольшего залегания воды RU 2 032 023 [1]. Они не предназначены для постоянного отвода значительного объема грунтовых вод. В настоящее время современных конструкций вертикальных скважин для осушения тоннелей, подземных частей зданий и сооружений применяют скважины, заполненные разным по толщине слоя фильтрующим материалом по вертикали от поверхности земли, патент RU 178378 U1 [2] или фильтрующей обсыпкой из сыпучих материалов, размещенную в кольцевом промежутке между центральной водосборной фильтровой колонной и ограждающей трубой с различными отдельными особенностями RU 178373 U1, RU 2330916C1 [3, 4]. Недостатком таких скважин является повышенная сложность строительства и большие трудозатраты на ее изготовление из-за большого количества применяемых конструктивных элементов, для поддержания работоспособности глубокой дренажной скважины и предотвращения коагулятивности обсыпки требуется периодическая очистка скважины.

Анализ открытых источников показал, что для рассматриваемых условий отсутствует необходимая конструкция дренажа, способ его строительства и метод расчета. Поэтому принято решение разработать конструкцию дренажа и обосновать метод расчета, необходимые для нормальной работы автодорожного тоннеля. На способ строительства вертикального дренажа был получен патент на изобретение [5].

## Гидрогеологические условия

Согласно гидрогеологическому разрезу (НИИОСП им. Н.М. Герсевича) с поверхности до глубины 0,5–3,5 м участок покрыт техногенными грунтами (th1v) песчано-глинистого состава с примесью строительного мусора.

Под техногенными грунтами залегают современные отложения пролювия (prQ111) представленные:

- суглинком пылеватым полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции;
- песками пылеватыми водонасыщенными с включениями дресвы и щебня до 5%;
- песками (flg11Q0-d) средней плотности, с прослоями песков от пылеватых до крупных, с включением дресвы щебня и гравия до 10%.

Подстилаются пески черными юрскими глинами (j3v).

На площади Сколковского тоннеля грунтовые воды встречены на глубине 1,6–5,0 м на абсолютных отметках 140,95–144,35 м. Водовмещающими породами являются четвертичные песчано-глинистые отложения. Водоупором являются юрские черные глины, залегающие на глубине 32–35 м. Сведений о коэффициенте фильтрации не приведено. Дебит центральной скважины по данным кустовых откачек колеблется от 1,38 до 2,47 м<sup>3</sup>/ч. Параметры коэффициента фильтрации определены по литературным источникам.

Таким образом, в месте расположения тоннеля имеет место грунтовый тип водного питания, а сам тоннель находится в затопленном и подтопленном состоянии. Подземная часть тоннеля опущена под уровень грунтовых вод на глубину от 2,8 до 7,0 м. Следовательно, центральная часть тоннеля находится под грунтовыми водами.

Методом осушения при грунтовом типе водного питания является понижение уровня грунтовых вод. Гидростатическое давление, воздействуя на стены и дорожное основание тоннеля, приводит к просачиванию грунтовых вод в тоннель через строительные швы.

### Обоснование типа дренажа

В настоящее время существуют несколько способов осушения линейных сооружений глубокого заложения, в том числе тоннелей. При этом наиболее распространены горизонтальный и вертикальный дренажи. Горизонтальный дренаж укладывают двумя способами: с помощью открытой проходки и с помощью прокола [6, 7].

Строительство горизонтального дренажа открытой проходкой в рассматриваемых условиях потребует устройства системы водопонижения с помощью иглофильтров, а также сооружения шпунтовой стенки. Сооружение шпунтовой стенки потребует забуривание в грунт стальных труб. Этот способ строительства дренажа является наиболее трудоемким и дорогостоящим. Кроме того, строительство этого дренажа потребует большего времени в сравнении с вертикальным дренажем.

Возможно строительство горизонтального дренажа способом горизонтального прокола. Для этого необходимо устройство 6 опускных колодцев диаметром не менее 2 метров, с целью размещения в них оборудования для прокола. При их монтаже потребуются водопонижение иглофильтрами. В сравнении с вертикальным дренажем он также более дорогостоящий и трудоемкий.

Строительство вертикального дренажа может быть выполнено двумя способами: способом буровой скважины и опускного дренажного колодца. Вертикальный дренаж применим, при таком геологическом строении толщи грунтов, где имеются мощные крупнозернистые или галечниковые водовмещающие слои с напорным питанием без сплошных водоупорных прослоек. Проницаемость водоносного слоя ( $T$ ) должна составлять более 100 м<sup>2</sup>/сут [8].

$$T = k \cdot m, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации водоносного слоя, м/сут;

$m$  – мощность этого слоя, м.

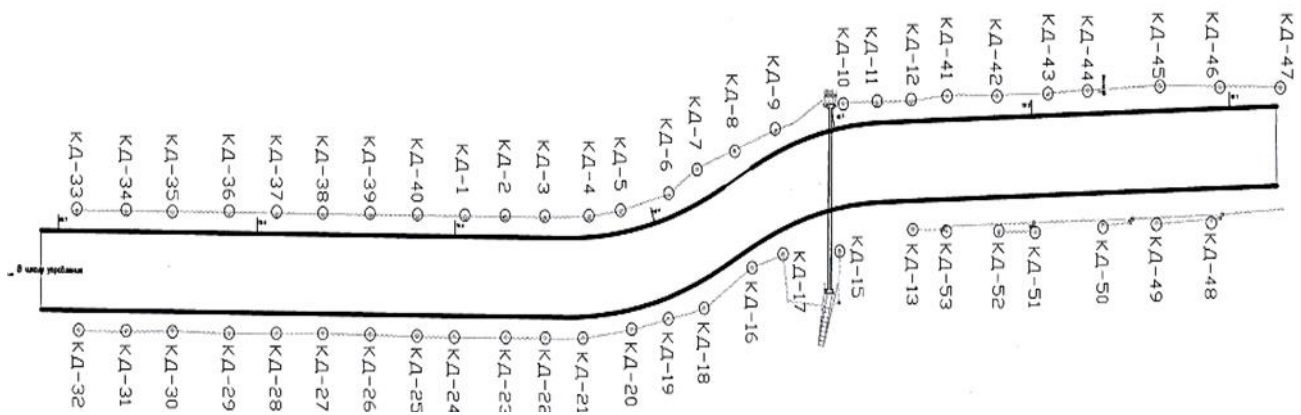
В рассматриваемых условиях (тоннель в Сколково)  $T = 5 \times 25 = 125$  м<sup>2</sup>/сут.

С этой точки зрения устройство вертикального дренажа целесообразно.

Строительство вертикального дренажа способом буровой скважины, может быть выполнено при помощи специальной техники. Достоинством этого способа является быстрота проходки скважины. Эти обстоятельства определили выбор данного способа строительства вертикального дренажа.

Для снятия гидростатического давления грунтовых вод на тоннель, необходимо: устройство вертикального дренажа вдоль всей трассы тоннеля с двух сторон; монтаж насосно-силового оборудования; устройство коллектора для отвода дренажных вод в водоприемник.

Вертикальный дренаж предназначен для понижения уровня грунтовых вод. В плане вертикальный дренаж расположен с двух сторон тоннеля на расстоянии 1,8 м от стен (рис. 1).

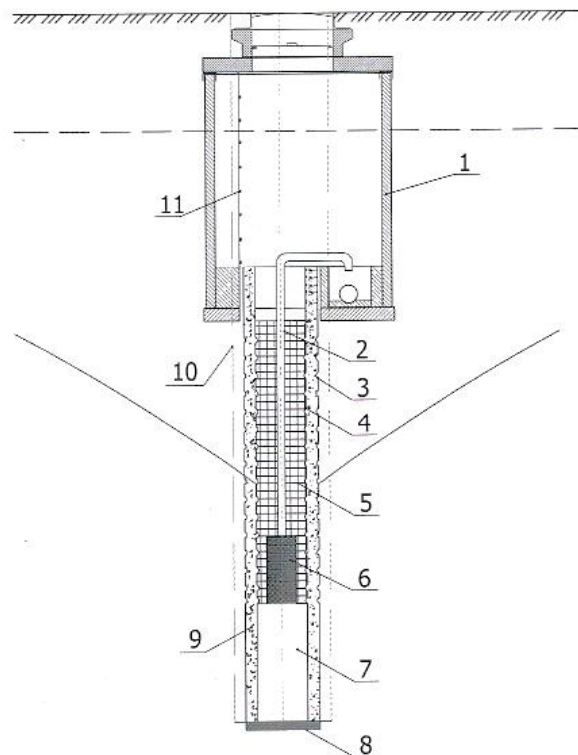


**Рис. 1. Схема расположения вертикального дренажа вдоль автодорожного тоннеля «Сколково»: КД – колодец**

Fig. 1. The layout of the vertical drainage along the Skolkovo highway tunnel: КД – well

### Конструкция и способ строительства дренажа

Конструкция вертикального дренажа представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Конструкция вертикального дренажа:**

**1 – кондуктор; 2 – водоподъемная труба, соединённая с насосом; 3 – наружная перфорированная стальная труба; 4 – внутренняя перфорированная стальная труба; 5 – фильтровая обмотка из геотекстиля; 6 – дренажный насос; 7 – отстойник; 8 – поддон для предотвращения вымыва песчано-гравийной засыпки; 9 – песчано-гравийная засыпка; 10 – обсадная труба; 11 – лестница**

Fig. 2. Vertical drainage design: 1 – conductor; 2 – water lifting pipe connected to the pump;

3 – external perforated steel pipe; 4 – internal perforated steel pipe; 5 – filter winding made of geotextile;

6 – drainage pump; 7 – sump; 8 – heel to prevent washing out of sand and gravel filling;

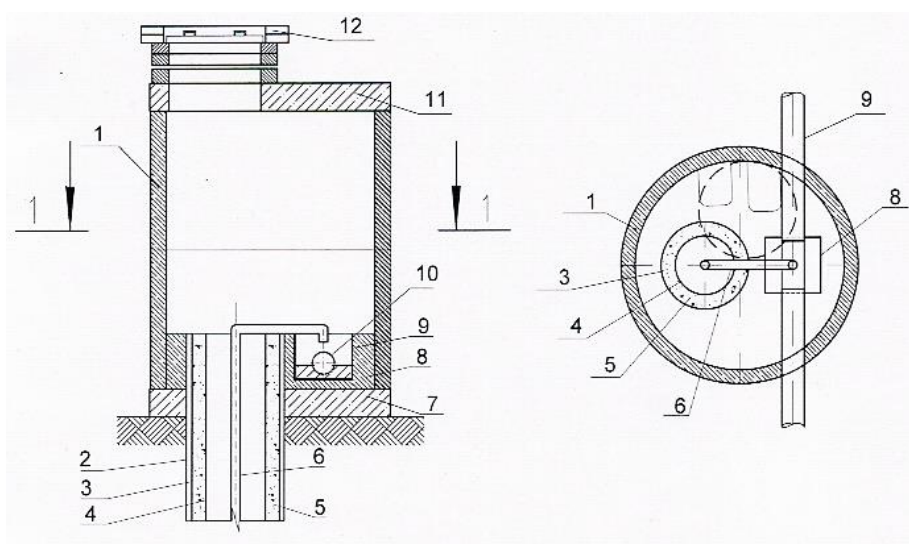
9 – sand and gravel filling; 10 – casing pipe; 11 – stairs

Бурится скважина, которая крепится обсадной трубой диаметром 820 мм. После в нее опускаются две стальные трубы диаметром 630 и 426 мм. Перед опусканием стальные трубы

предварительно перфорируют. Перфорация представляет собой щели длиной до 5 см, или круглые отверстия диаметром 1–3 см. Площадь перфорации должна составлять 2% от площади перфорированной части труб. Расстояния между пропилами или круглыми отверстиями – 15 см. После перфорации трубу диаметром 426 мм оборачивают в 1 слой геотекстиля, который крепится к трубе медной проволокой или хомутами. В нижней части труб устраивают пятку против вымыва песчано-гравийной обсыпки.

После опускания труб 630 и 426 мм полость между ними засыпают фильтрующим материалом (песчано-гравийной смесью). Засыпку фильтрующего материала следует вести через трубу, периодически поднимая ее для предотвращения деформации геотекстиля. Далее трубу диаметром 820 мм вынимают. С поверхности земли монтируют кондуктор, который представляет собой колодец КК-15-20. Трубы 630 и 426 мм обрезают на уровне 20–25 см выше плиты днища. В кондукторе размещают электрический щит, выходы стальных труб диаметром 630 и 426 мм, напорный трубопровод с обратным клапаном и шаровым краном. Через колодец КК-15-20 проводится опускание и поднятие насоса в скважину вертикального дренажа. В колодце устраивается лестница.

Совместно со скважиной-дреной устраивается система отвода воды в ручей, которая представляет трубу ПНД диаметром 160 мм, уложенную вдоль тоннеля с двух сторон. Сопряжение напорного трубопровода с трубой осуществляется с помощью водобойного ящика, установленного в кондукторе (рис. 3). Отверстия входа-выхода труб ливневой канализации из кондуктора заделывают песчано-цементным раствором.



**Рис. 3. Сопряжение вертикального дренажа с водоотводящим коллектором, с помощью кондуктора:**

- 1 – железобетонное кольцо; 2 – обсадная труба; 3 – наружная перфорированная стальная труба; 4 – внутренняя перфорированная стальная труба; 5 – засыпка фильтрующим материалом; 6 – труба ПНД от насоса; 7 – железобетонное днище колодца; 8 – бетон; 9 – металлический водобойный ящик; 10 – коллекторная труба ПНД; 11 – железобетонная плита перекрытия; 12 – люк чугунный**

Fig. 3. Coupling of vertical drainage with a drainage collector, using a conductor: 1 – reinforced concrete ring; 2 – casing pipe; 3 – outer perforated steel pipe; 4 – inner perforated steel pipe; 5 – filling with filter material; 6 – HDPE pipe from the pump; 7 – reinforced concrete bottom of the well; 8 – concrete; 9 – metal water-hole box; 10 – HDPE collector pipe; 11 – reinforced concrete slab; 12 – cast iron hatch

После установки насоса, подключения электрического тока, устройства системы автоматического включения-выключения насоса и сооружения водоотводного коллектора система вертикального дренажа готова к работе.



Вода закачивается насосом в водоподъемную трубу, которая переходит в напорный трубопровод, а по нему сбрасывается в водобойный ящик, из которого вода самотеком отводится в ручей.

Для откачки воды из вертикальной дрены используется насос Grundfos SQ 2-35.

Следует отметить, что глубина заложения тоннеля переменная, поэтому глубина заложения скважин-дрен будет переменной. Максимальная глубина заложения скважины-дрены 15,0 м, минимальная 5,0 м.

Отметки включения-выключения насосов задаются при монтаже.

### Расчет вертикального линейного дренажа

Расчет предлагаемой конструкции вертикального дренажа состоит из определения следующих позиций: радиуса кривой депрессии (влияние дренажа в сторону от тоннеля); расхода (дебита) дренажа; притока воды в дренаж; снижения напора посередине между дренами ряда, подбор насосов вертикального дренажа. Определение всех позиций предлагаемого вертикального дренажа увязаны в единую методику расчета.

Радиус кривой депрессии от центра дренажа при равномерной фильтрации подбирают по формуле Е.Е. Керкиса [9]:

$$R\sqrt{lg R - lg r_0 - 0,217} = 0,66\sqrt{k/WS_0(2H - S) - 0,5r_0}, \quad (2)$$

где  $r_0$  – радиус равновеликого круга, к которому приводится реальный контур проектируемого дренажа, м;

$R$  – радиус действия дренажа, при расчете радиуса кривой депрессии  $R = R_2$ , м;

$W$  – инфильтрационное питание (в весеннем периоде), м/сут;

$S$  – требуемое понижение уровня грунтовых вод (рис. 3)

$k$  – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;

$H$  – расстояние от подошвы дренируемого пласта до непониженного уровня воды;

$$W = \frac{m_1 n}{1000t}, \quad (3)$$

где  $m_1$  – количество осадков в снеге за зимний период, мм;

$n$  – коэффициент инфильтрации (для мелкозернистых песков  $n = 0,25$ );

$t$  – расчетный период во время весеннего снеготаяния (5 сут.).

$$k = \frac{k_1 h_1 + k_1 h_1 + \dots + k_1 h_1}{\sum h_n}, \quad (4)$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициент фильтрации соответственно верхнего подстилающего и  $n$ -го слоя грунта  $k_n$ , м/сут;

$h_1, h_2, h_n$  – мощность соответственно верхнего подстилающего и  $n$ -го слоя грунта, м;

Дебит совершенных вертикальных дрен при их работе в безнапорных условиях и в установившемся режиме определяем по формуле А.В. Романова [10, 11]:

$$Q = \frac{\pi k(2H_s - S)S}{\ln \frac{\sigma}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}}. \quad (5)$$

Приток воды в совершенную вертикальную дренаж определяем по формуле:

$$Q^1 = \frac{Q}{\Phi_c}, \quad (6)$$

где  $\Phi_c$  – фильтрационное сопротивление совершенной скважины;

$$\Phi_c = \frac{4\pi L_1(L - L_1)}{2\sigma L} + 2 \ln \frac{2\sigma}{2\pi r_c}. \quad (7)$$

Дебит несовершенных вертикальных дрен при их работе в безнапорных условиях и в установившемся режиме, предлагается определять по следующей формуле С.К. Абрамова [12,13], м<sup>3</sup>/сут:

$$Q = 2\pi kS \left[ \frac{2h_{cp} - S}{\ln \frac{Rn}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}} + \frac{2T\beta}{(1 + \beta)N} \right], \tag{8}$$

$$\Phi_C = \frac{4\pi L_1(L - L_1)}{2\sigma L} + 2 \ln \frac{2\sigma}{2\pi r_c}, \tag{9}$$

где

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_s}{3}, \tag{10}$$

$$h_s = S + \frac{l}{2}, \tag{11}$$

$l$  – длина водоприемной части скважины (или фильтра);

$S$  – понижение напора воды в дренах ряда, м;

$\sigma$  – половина расстояния между дренами в ряду;

$r_c$  – радиус дрен, м;

$R_1$  – радиус кривой депрессии от центра дренажа, до стены подвала, м;

$R_2$  – расстояние от границы области питания до контура дренажа, м;

$L = R_1 + R_2$  – расстояние между областями питания и естественного дренажа.

$$\beta = \frac{N}{\xi_0}, \tag{12}$$

$$T = H_s - S, \tag{13}$$

$$N = \ln \frac{\sigma}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}, \tag{14}$$

$$\xi_0 = \frac{T}{l} \left[ 2\ell n \frac{4T}{r_c} - f \left( \frac{l}{\sigma L} \right) \right] - 1,38. \tag{15}$$

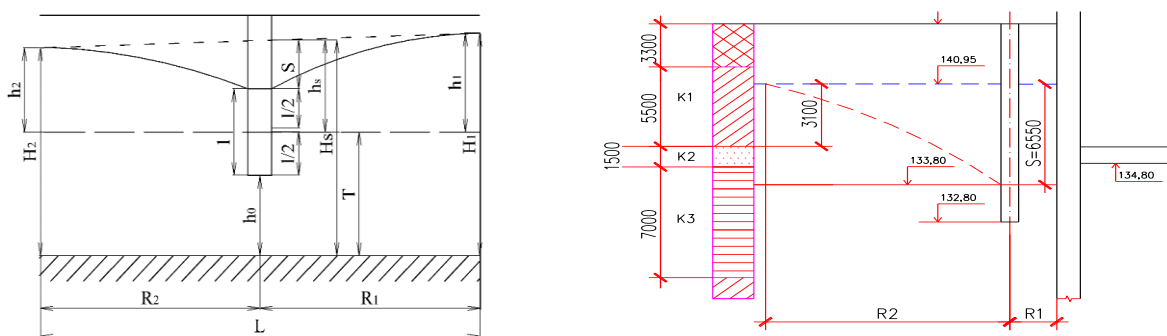


Рис. 4. Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа несовершенного типа.

Fig. 4. The scheme for the calculation of a single-line vertical drainage of an imperfect type

Приток воды в несовершенную вертикальную дренаю определяем по формуле:

$$Q^1 = \frac{Q}{\Phi_C + \zeta'}, \tag{16}$$

где

$\Phi_C$  – фильтрационное сопротивление совершенной скважины;

$\zeta$  – дополнительное сопротивление на несовершенство дренажа.

$$\Phi_C = \frac{4\pi L_1(L - L_1)}{\sigma L} + 2\ell n \frac{\sigma}{2\pi r_c}. \tag{17}$$

Дополнительное сопротивление на несовершенство дренажа  $\zeta$  зависит от степени врезки дренажа в пласт и расстояния от рассматриваемой точки до дрены. Значения  $\zeta$  даны в табл. 1 [14].

Таблица / Table 1

**Определение дополнительного сопротивления**  
Determination of additional resistance

$l/M$	Значения $\zeta$ при значениях $M/r$ , равных									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	0,00423	0,135	2,3	12,6	35,5	71,9	94	126	149	169
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,091	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11	12,4
0,7	0,00055	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,53	5,19
0,9	0,00005	0,0015	0,025	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

Условные обозначения:  $M$  – мощность напорного (водоносного) пласта;  $l$  – длина фильтра скважины;  $r$  – радиус скважины или расстояние до рассматриваемой точки. Для пластов со свободной поверхностью  $M = h_e - 0,5S_{др}$ ;  $l = l_0 - 0,5S_{др}$ , где  $l_0$  – разность отметок естественного уровня грунтовых вод и низа рабочей части скважины

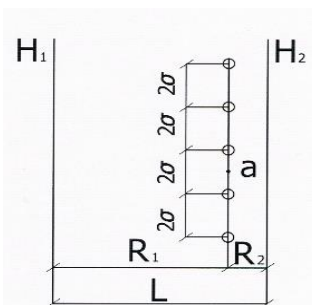
Определение величины пониженного напора посередине между дренами ряда в безнапорных условиях для несовершенных дрен используем формулу С.Ф. Аверьянова [12, 13]:

$$H_a = H_s - S \left( 1 - 0,22 \frac{2 \times \sigma}{R} \right) \beta \alpha, \tag{18}$$

где  $H_s$  – непониженный уровень подземных вод в месте расположения ряда дрен, м;  
 $S$  – понижение напора воды в дренах ряда, м;

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}. \tag{19}$$

Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа при заданных напорах на границе (в плане) показана на рис. 5.



**Рис. 5. Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа при заданных напорах на границе (в плане)**

**Fig. 5. Scheme for the calculation of single-line vertical drainage at specified pressures at the boundary (in plan)**

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{2\sigma}{R} B}, \tag{20}$$

где  $B = f\left(\frac{\sigma}{r_c}\right) = 0,73 \lg \frac{\sigma}{\pi r_c}$  определяется по графику рисунок 6;

$r_c$  – радиус дрен, м.



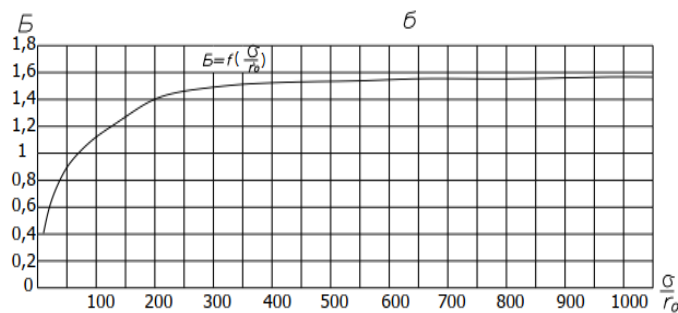


Рис. 6. График для определения величины Б

Fig. 6. The graph for determining the value of B

Коэффициент несовершенства дрен определяем по формуле:

- в сторону области питания

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{m}{R_1} A}; \tag{21}$$

- в сторону естественного дренажа

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{m}{R_2} A}; \tag{22}$$

$$A = 1,47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi(l+d)}{2m}} \text{ (определяется по графику на рис. 7);}$$

$d$  – диаметр дрен.

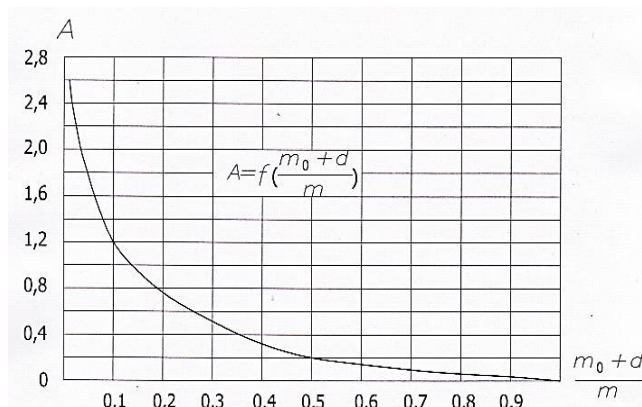


Рис. 7. График для определения величины А

Fig. 7. Graph for determining the value of A

$$\alpha = \frac{1}{1 + 1,47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi \ell}{2T}}}. \tag{23}$$

$$T = \frac{H_S + h_0}{2}, \tag{24}$$

где  $h_0$  – высота столба воды в дренах ряда (от подошвы пласта), м.

**Подбор насосов вертикального дренажа** на основе определения суммарного объема откачиваемой жидкости за один цикл и цикла откачки-наполнения.

Рабочий объем скважины – дрена, л:

$$W_1 = Sh = \pi \cdot r^2 h. \tag{25}$$

Время откачки воды из рабочего объема, с:

$$t_{\text{откачки}} = \frac{W}{Q_{\text{нс}}}, \tag{26}$$

$Q_{\text{нс}}$  – производительность насоса л/с;

Объем воды в скважину-дрену за время откачки, л:

$$W_2 = qt, \tag{27}$$

$q$  – приток воды в скважину-дрену, л/с.

Суммарный объем откачиваемой жидкости за один цикл:  $W = W_1 + W_2$ ,

$$t_{\text{наполнения}} = \frac{W_1}{Q_{\text{нс}}}. \tag{28}$$

Время цикла откачки – наполнения составляет  $t = t_{\text{наполнения}} + t_{\text{откачки}}$ , с.

Количество включений-выключений насоса в час:

$$N = \frac{60}{t(\text{в мин})}. \tag{29}$$

Оптимальное количество включений-выключений насоса в час составляет 3 – 6.

### Обсуждение результатов

Результаты расчета понижения уровня грунтовых вод 53 вертикальными дренами представлены в таблице 2.

Таблица / Table 2

**Результаты расчета вертикального дренажа**  
The results of the calculation of vertical drainage

№ Скв.	$K$ , м/сут	$R$ , м	$H_0$ , м	Глубина Скв.-жины, м	Дебит скв., м <sup>3</sup> /сут	Приток воды в скв., м <sup>3</sup> /сут	Фильтрац. сопротивл. сверш. дрены	Фильтрац. сопротивл. несоверш. дрены	Кол-во включ. / выключ. в час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3,28	81	0,78	11,73	133,2	21,3	6,24	–	5,51
2	3,4	98	0,8	10,72	201,6	25,9	7,77	–	6
3	1	50	1,13	10,35	45,2	7,15	6,32	–	2,52
4	1,29	52	0,99	11,6	51,1	8,09	6,32	–	2,08
5	4,31	265	3,97	14,28	1257	35,62	5,29	30	6,59
6	3,36	238	1,39	12,62	921	26,12	5,29	30	5,49
7	3,69	239	2,38	13,88	863	23,43	5,84	31	5,19
8	3,21	240	1,17	14,08	1344	45,31	5,92	23,7	7,39
9	2,41	205	0,95	13,05	639	19,82	5,93	26,3	4,55
10	1,97	185	0,77	14,3	604	18,79	5,84	26,3	4,35
11	1,47	67	0,53	13,2	73,5	12,87	5,71	–	3,71
12	1,85	83	1	13,8	127,7	18,7	6,83	–	3,71
13	1,85	83	1	12,67	127,7	18,7	6,83	–	3,71
14	1,47	67	0,53	12,5	73,5	12,87	5,71	–	3,71
15	1,97	185	0,77	12,22	604	18,79	5,84	23,42	4,35
16	0,81	50	2,26	13,3	40,5	6,65	6,09	–	1,73
17	3,32	244	2,76	13,61	978,7	30,83	6,32	25,42	4,9
18	3,05	231	2,75	13,95	986,8	35,64	8,91	17,78	6,58
19	3,66	208	2,8	15	2455	70,2	6,27	28,7	10
20	4,31	265	3,97	14,77	1257	35,62	5,29	30,00	6,59
21	3,50	221	1,55	11,77	765,3	25,06	7,88	22,65	4,40
22	3,30	238	1,13	11,60	995	27,97	8,09	27,52	4,66
23	3,44	213	1,53	12,65	921	35,60	8,09	17,78	5,19

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	4,14	237	1,51	11,68	936	23,57	8,01	31,70	4,21
25	0,99	46	1,71	9,78	40,5	6,65	6,09	–	1,73
26	0,41	31	2,61	8,95	16,30	2,59	6,29	–	0,71
27	3,33	163	2,10	8,65	355	10,73	7,67	24,41	2,49
28	3,18	171	2,27	7,80	276	8,05	7,68	26,61	1,98
29	3,75	184	2,21	6,90	427	12,24	7,68	27,21	2,97
30	3,97	175	2,21	6,91	521	17,67	7,51	21,98	3,61
31	3,54	135	1,30	5,00	164	4,42	6,97	30,13	1,16
32	3,54	131	1,43	5,80	149	4,04	6,94	30,00	1,14
33	3,32	175	2,26	8,8	385	10,25	7,65	29,93	2,41
34	3,34	172	2,15	8,8	366	16,49	7,69	14,51	3,4
35	3,97	175	2,1	9,3	521	17,67	7,51	21,98	3,61
36	3,75	184	2,21	9,3	427	12,24	7,68	27,21	2,97
37	3,18	171	2,27	9,8	276	8,05	7,68	26,61	1,98
38	3,33	163	2,1	9,79	355	10,73	7,67	25,41	2,49
39	0,41	31	2,61	10,3	16,3	2,59	6,29	–	0,71
40	0,99	46	1,71	9,74	40,5	6,65	6,09	–	1,73
41	3,17	107	2,08	13,39	243,3	35,99	6,76	–	11,36
42	2,5	46	0,78	13,76	38,7	5,75	6,73	–	2,71
43	3,55	137	0,45	11,5	377	57,47	6,56	–	6,03
44	3,21	119	0,57	10,75	298,3	45,47	6,56	–	5,7
45	2,66	95	0,72	9,25	183,2	27,92	6,56	–	4,63
46	3,44	101	2,93	9,1	207	31,56	6,56	–	4,96
47	3,29	90	1,08	8,44	362,9	33,08	7,57	3,4	5,02
48	3,44	101	2,93	8,35	207	31,56	6,56	–	4,96
49	2,66	95	0,82	9,25	183,2	27,92	6,56	–	4,63
50	3,21	119	0,58	10,75	298,3	45,47	6,56	–	5,7
51	3,02	92	0,55	10,96	208	31	6,65	–	3,3
52	2,5	46	0,78	11,01	38,7	5,75	6,73	–	2,71
53	3,17	107	2,08	11,87	243,3	35,99	6,76	–	11,36

Анализ таблицы 2 показывает, что коэффициент фильтрации ( $K$ ) водоносного слоя грунта был принят 8,04–8,74 м/сут. Радиус кривой депрессии вертикальных дрен при расчете оказался в диапазоне от 101 до 190 м, в зависимости от их глубины и фильтрационных свойств грунта. Минимальная глубина воды в вертикальных дренах была принята равной 0,75 м, в соответствии с габаритами насосов. Высота вертикальных дрен была запроектирована в соответствии с гидрогеологическими условиями и рельефом местности и составила 6,51–12,77 м. Согласно расчету, дебит вертикальных дрен оказался в пределах от 316,7 до 612,5 м<sup>3</sup>/сут, а приток воды в них составил 67,7–154,3 м<sup>3</sup>/сут. При этом фильтрационные сопротивления совершенных дрен получились равными 3,97–4,68, а несовершенных дрен – 4,47.

Из скважин-дрен выборочно были проведены пробные откачки. Результаты пробных откачек и расчетных значений притока воды в скважины-дрены представлены в таблице 3 и на рисунке 8.

Анализ данных таблицы 3 и графика на рис 8 показывает, что результаты пробных откачек и данные расчетных значений притока воды в вертикальные дрены совпадают на 96%. Это доказывает плотную связь между рассматриваемыми признаками, поэтому методику расчета можно рекомендовать для расчета вертикальных дрен.

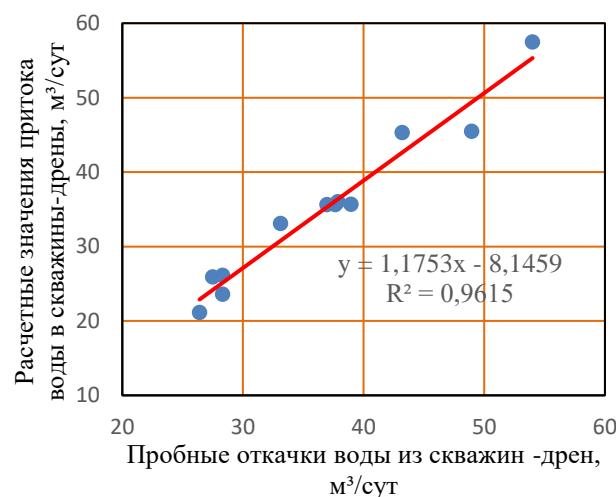
Вертикальные дрены работают совместно с насосом. Запроектирован один рабочий насос, другой запасной.

Таблица / Table 3

**Пробные откачки из скважин-дрен (фактические значения)  
и расчетные значения притока в них воды**

Test pumping from drainage wells (actual values) and calculated values of water inflow into them

№ скв.	Пробные откачки м³/сут	Расчетные значения м³/сут
1	26,40	21,12
2	27,51	25,90
5	36,96	35,62
6	28,31	26,12
8	43,20	45,31
18	38,96	35,64
23	37,66	35,60
24	28,33	23,57
41	37,86	35,99
43	54,00	57,47
44	48,97	45,47
47	33,12	33,08



**Рис. 8. Связь результатов пробных откачек с данными расчетных значений притока воды в скважины-дрены**

Fig. 8. Relationship between the results of test pumping and the calculated values of water inflow into drain wells

**Заключение**

Анализ открытых источников показал, что для рассматриваемых условий отсутствует необходимая конструкция дренажа, способ его строительства и метод расчета. Поэтому была разработана конструкция вертикального дренажа, способ его строительства и обоснован метод расчета, необходимые для нормальной работы автодорожного тоннеля «Сколково».

Предлагаемая конструкция дренажа, способ его строительства (получен патент на изобретение RU 2483162 C1). Результаты пробных откачек и данные расчетных значений притока воды в вертикальные дрены совпадают на 96%. Это доказывает плотную связь между рассматриваемыми признаками, поэтому методику расчета можно рекомендовать для расчета вертикальных дрен.

Функционирование без сбоев (2011–2024) данного вертикального дренажа доказывает его хорошую работоспособность и правильность предложенного технического решения.

Организациям по проектированию дренажных систем рекомендуем использовать, разработанную авторами конструкцию дренажа, способ его строительства и метод расчета при осушении автодорожных тоннелей.

#### ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

А. Пчелкин В.В. – разработка концепции и дизайна исследования; Б. Семенова К.С., В. Владимиров С.О. – сбор данных; А. Пчелкин В.В., Семенова К.С., В. Владимиров С.О. – анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors confirm contribution to the paper as follows: Victor V. Pchelkin – study conception and design; Kristina S. Semenova – data collection; Victor V. Pchelkin, Kristina S. Semenova, Stanislav O. Vladimirov – analysis and interpretation of results; draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflict of interest.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Россровский В.Г. Патент № 2032023 С1 Российская Федерация, МПК E02D 19/10. Способ осушения тоннелей и Устройство для его осуществления: № 5015886/33: заявл. 05.07.1991: опубл. 27.03.1995.
2. Пинчук П.С., Паштыков А.В., Пинчук Е.П. Патент на полезную модель № 178378 U1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Вертикальный дренаж: № 2017121087: заявл. 15.06.2017: опубл. 02.04.2018.
3. Ланис А.Л., Воробьев В.С., Пинчук П.С., Ряшенцев А.Н. Патент на полезную модель № 178373 U1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Дренажная скважина: № 2017108993: заявл. 17.03.2017: опубл. 02.04.2018.
4. Катюхин В.Я., Серебряников И.В., Соковых М.Г., Карачева Е.В. Патент № 2330916 С1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00, E03B 3/18. Дренажно-водозаборная скважина: № 2007107844/03: заявл. 02.03.2007: опубл. 10.08.2008.
5. Пчелкин В.В., Сметанин В.И. Патент № 2483162 Российская Федерация. Способ строительства вертикального дренажной системы: опубл. 27.05.2013, бюл. № 15.
6. Ясинецкий В.Г., Фенин Н.К. Организация и технология гидромелиоративных работ. Москва, Агропромиздат, 1986. 352 с.
7. Ходяков Е.А. Организация и технология гидромелиоративных работ. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. 16 с.
8. Голованов А.И., Айдаров И.П., Григоров М.С. [и др.]. Мелиорация земель. Санкт-Петербург: Лань, 2015. 832 с.
9. Пчелкин В.В. Осушение земель поселений. Москва: Спутник +, 2021. 178 с.
10. Романов А.В. Приток воды к водозаборам подземных вод и дренам // Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. Москва: Стройиздат, 1952.
11. Суркова, А.С. К вопросу об особенностях конструкции городских дренажных систем для осушения и защиты территории от подтопления // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 3. С. 148–156.
12. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. Москва, Госстройиздат, 1967.
13. Таджикибаева Н.Р., Мавлянова Н.Г. Инженерно-геологические условия г. Бухары и их влияние на сохранность дренажных памятников архитектуры // Инженерная геология. 2021. Т. 16, № 1. С. 60–73.
14. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / под ред. Н.Н. Веригина. Москва: Колос, 1970.

#### REFERENCES

1. Rossovsky V.G. Patent No. 2032023 C1 Russian Federation, IPC E02D 19/10. Method for draining tunnels and device for its implementation: No. 5015886/33: declared 05.07.1991: published 27.03.1995.



- (In Russ.).
2. Pinchuk P.S., Pashtykov A.V., Pinchuk E.P. Patent for Utility Model No. 178378 U1 Russian Federation, IPC E02B 11/00. Vertical drainage: No. 2017121087: declared 15.06.2017: published 04.02.2018. (In Russ.).
  3. Lanis A.L., Vorobyov V.S., Pinchuk P.S., Ryashentsev A.N. Patent for Utility Model No. 178373 U1 Russian Federation, IPC E02B 11/00. Drainage Well: No. 2017108993: declared 17.03.2017: published 04.02.2018. (In Russ.).
  4. Katyukhin V.Ya., Serebryanikov I.V., Sokovykh M.G., Karacheva E.V. Patent No. 2330916 C1 Russian Federation, IPC E02B 11/00, E03B 3/18. Drainage and water intake well: No. 2007107844/03: declared 02.03.2007: published 10.08.2008. (In Russ.).
  5. Pchelkin V.V., Smetanin V.I. Patent No. 2483162 Russian Federation. Possibility of constructing a vertical drainage system: published 27.05.2013, bulletin No. 15. (In Russ.).
  6. Yasinetsky V.G., Fenin N.K. Organization and technology of irrigation and drainage works. Moscow, Agropromizdat, 1986, pp. 318–321. (In Russ.).
  7. Khodyakov E.A. Organization and technology of hydromelioration works. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, 2023. 16 p. (In Russ.).
  8. Golovanov A.I., Aidarov I.P., Grigorov M.S. [et al.]. Land reclamation. Saint Petersburg, Lan Publ., 2015. 832 p. (In Russ.).
  9. Pchelkin V.V. Drainage of settlement lands. Moscow, Sputnik+ Publ., 2021. 178 p. (In Russ.).
  10. Romanov A.V. Water inflow to groundwater intakes and drains. *Issues of filtration calculations of hydraulic structures*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1952. (In Russ.).
  11. Surkova A.S. On the issue of the design features of domestic drainage systems for drainage and protection of the territory from flooding. *Bulletin of melioration science*, 2021, no. 3, pp. 148–156. (In Russ.).
  12. Abramov S.K. Underground drains in industrial and urban construction. Moscow, Gosstroyizdat, 1967. 169–174 p. (In Russ.).
  13. Tadjibaeva N.R., Mavlyanova N.G. Engineering and geological conditions of Bukhara and their influence on the preservation of ancient architectural monuments. *Engineering Geology*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 60–73. (In Russ.).
  14. Methods of filtration calculations of irrigation and drainage systems. Ed. N.N. Verigin. Moscow, Kolos, 1970. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Пчелкин Виктор Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Российская Федерация)

✉ 9766793@mail.ru, SPIN: 6299-5005, <https://orcid.org/0000-0003-3625-9949>

**Victor V. Pchelkin**, – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russian Federation)

**Семенова Кристина Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Российская Федерация)

✉ kristi11.05.88@yandex.ru, SPIN: 1426-1908, <https://orcid.org/0000-0002-4446-4435>

**Kristina S. Semenova**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Forestry and Land Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, 127550, Russian Federation)

**Владимиров Станислав Олегович** – старший преподаватель кафедры сельскохозяйственных мелиораций, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Российская Федерация)

✉ vladimirov\_so@rgau-msha.ru, SPIN: 2560-5281, <https://orcid.org/0009-0009-5468-3971>

**Stanislav O. Vladimirov**, Senior Lecturer of the Department of Agricultural reclamation of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию / Received: 22.04.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 28.08.2024.

Принята к публикации / Accepted: 20.09.2024.