ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ТОННЕЛЯХ ИЗ ОПУСКНЫХ СЕКЦИЙ

ПЕСТРЯКОВА Е.А.¹, ЗЕРНОВ И.И.², ХАРИТОНОВ С.С.¹

¹Российского университета транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

²АО «Метрогипротранс», г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены преимущества сооружения тоннеля из опускаемых секций через пролив Невельского, основные конструктивные элементы и технология строительства такого тоннеля. Описана проблема увеличения воздействий подвижного состава на конструкцию тоннелей, расположенных в слабых водонасыщенных грунтах при движении нагрузки с критическими скоростями. Отмечается, что в слабых грунтах критическая скорость определяется скоростью распространения поверхностных волн Релея. В ходе работы было замечено, что при достижении критических скоростей возможно существенное увеличение динамических воздействий на грунтовое основание. Представлена методика определения критических скоростей подвижной нагрузки в тоннелях с использованием преобразования Фурье и теории вычетов. Рассмотрен пример определения критических скоростей движения нагрузки с использованием представленной методики. Сделан вывод, что в настоящее время критические скорости движения нагрузки достижимы.

Ключевые слова: тоннель; опускаемые секции; пролив Невельского; критические скорости; преобразование Фурье.

EVALUATION OF CRITICAL SPEEDS OF TRAINS IN IMMERSED TUNNELS

PESTRYAKOVA E.A.¹, ZERNOV I.I.², KHARITONOV S.S.¹

¹Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

²JSC "Metrogiprottrans", Moscow, Russia

Abstract. The advantages of building a tunnel from lower sections through the Nevelskoy Strait are considered. The problem of increasing the impact of the rolling stock on the tunnel design when critical speeds are achieved is described. It is noted that in weak soils the critical speed is determined by the speed of propagation of Rayleigh surface waves. In the course of the work, it was noted that when critical speeds are reached, a significant increase in the dynamic impacts on the soil foundation is possible. A technique for calculating the tunnel for determining the critical velocities using the Fourier transform and the theory of residues is presented. An example of determining the critical speeds of the load movement using the presented methodology is considered. It is concluded that, at present, the critical speeds of the movement of the load are achievable.

Keywords: tunnel; lowering sections; the Nevelskoy Strait; critical speeds; Fourier transform.

Введение

К началу XXI века Российско-Японские отношения достигли наиболее высокого уровня развития, и активно развиваются в политической и экономической, где приоритет отдается торгово-экономическому сотрудничеству, сферах [1].

На фоне интенсификации Российско-Японских отношений появились сообщения об обсуждении возможности становления Японии континентальной державой с помощью России [2], что дает основания предполагать в будущем строительство транспортного перехода

материк-Сахалин-Хоккайдо. Идея о сооружении постоянного транспортного перехода через пролив Невельского появилась сто лет назад и теперь данный переход может стать частью международного транспорта коридора Европа-Россия-Япония через Сахалин. Этот путь сократит время доставки товаров из Японии в Европу в три раза по сравнению с традиционным маршрутом через Индийский океан и Суэцкий канал, сухопутная транспортировка грузов по железной дороге позволит сделать их доставку более дешевой и безопасной. Грузопоток на данном направлении мог бы составить до 30 млн тонн к 2030 году [3].

С учетом вышесказанного, одним из наиболее важных инфраструктурных проектов является организация транспортного перехода через пролив Невельского.

Необходимо обратить внимание на сложные инженерные условия в районе предполагаемого транспортного перехода, которые обусловлены высокой сейсмичностью района (более 8 баллов), резким отличием инженерно-геологических условий на материковой и островной частях планируемого перехода, наличием сильных ветров (ветры 15 м/сек и более – до 185 дней в году), ледовых явлений, высоких приливов и быстрых течений [4].

С учетом сложных инженерных условий и современных возможностей науки и техники в Российской Федерации, возможным эффективным решением перехода через пролив Невельского может стать тоннель из опускных секций.

Тоннели из опускных секций имеют ряд преимуществ при сравнении их с другими типами переходов при пересечении водных препятствий [5,6]. Представим эти преимущества.

1. Так как тоннели из опускных секций размещаются на небольшой глубине относительно дна водоема подходы к таким тоннелям являются относительно короткими.

2. Технология строительства тоннелей из опускных секций позволяет производить параллельно несколько секций на берегу, что ускоряет процесс строительства и особенно актуально в рассматриваемой авторами ситуации, так как скорейшая реализация проекта транспортного перехода создаст условия для интенсификации предметных переговоров России, Японии и Европы в отношении торгового сотрудничества.

3. Производство секций тоннеля не влияет на судоходство в регионе строительства.

4. Сечению тоннеля можно придать необходимую форму, что позволяет избежать излишка высоты сечения.

5. Эффективно использовать тоннели из опускных секций в регионах с повышенной опасностью природных рисков, таких как рассматриваемый регион, так как такие тоннели не подвержены нагрузкам от ледохода или штормов. Тоннели из опускных секций также могут быть эффективно использованы в районах с повышенной сейсмической опасностью.

6. При строительстве тоннеля из опускных секций, элементы тоннеля можно сооружать на большом расстоянии от места установки, что позволяет избежать опасных природных и техногенных воздействий района строительства и получить экономический эффект от упрощения доставки к месту сооружения секций строительных материалов, оборудования и рабочей силы.

Тем не менее сооружение тоннелей из опускных секций имеет и недостатки, которые в основном связаны с экологией района строительства. Сооружение таких тоннелей может влиять на место обитания рыб, течения и прозрачность воды. При пересечении трассы тоннеля из опускных секций и судоходного пути как правило требует специального согласования. Некоторые водоемы, имеют загрязненные отложения, которые требуют особого обращения. Так при пересечении трассы тоннеля из опускных секций с загрязненными отложениями может потребоваться регулируемое удаление грунта, которое позволит максимально уменьшить попадание загрязнения в воду, что может потребовать дополнительных вложений времени и средств.

В учебном пособии [7] приведены сведения по проектированию и строительству подводных транспортных тоннелей из опускных секций. Представлены основные методы расчёта опускных секций на стадии строительства и эксплуатации. Подробно описан отечествен-

ный опыт сооружения подводных тоннелей в нашей стране. Описаны нереализованные проекты вариантов тоннелей, разработанных в РФ. В частности, достаточно подробно представлены варианты проектов переходов через Керченский пролив и пролив Невельского. Таким образом можно заключить, что российские ученые и проектировщики готовы к реализации проектов сооружения тоннелей из опускных секций.

В связи с вышесказанным вариант реализации транспортного перехода через пролив Невельского в виде тоннеля из опускных секций может быть рассмотрен, как один из возможных.

Одними из наиболее важных критериев оценки предлагаемых вариантов, при реализации крупных инфраструктурных проектов, являются надежность и безопасность, в связи с чем основным вопросом, рассматриваемым в статье, будет оценка надежности конструкции тоннеля из опускных секций при движении по тоннельным путям поездов.

С учетом перспективного развития высокоскоростного движения в России, в статье будут определены критические скорости для тоннеля из опускных секций, что позволит оценить возможность применения высокоскоростного подвижного состава в предлагаемом варианте тоннеля.

1 Конструкция тоннелей из опускных секций

Можно выделить два основных типа тоннелей из опускных секций по способу изготовления секций: железобетонные; стальные. Стальные тоннели состоят из стального короба с ребрами жесткости и бетона, при бетонировании стальной короб выполняет роль опалубки. После бетонирования стальная и бетонная части конструкции работают совместно. Секции железобетонных тоннелей сооружаются с использованием арматурных каркасов или предварительно напряженных арматурных стержней.

При изготовлении стальных тоннелей из опускных секций стальная часть конструкции секций монтируется на берегу, а бетонирование производится после доставки секции к месту установки (на плаву). Секции железобетонных тоннелей практически полностью изготавливаются на берегу, после чего спускаются на воду. Секции стальных тоннелей обладают значительно большей плавучестью чем секции железобетонных тоннелей.

Исторически железобетонные тоннели имели преимущественно прямоугольную форму, что особенно эффективно при строительстве широких транспортных магистралей и комбинированных переходов для использования одновременно железнодорожным и автомобильным транспортом. На данный момент в Европе, Юго-Восточной Азии и Австралии практически все тоннели из опускных секций являются железобетонными. В Японии количество стальных и железобетонных тоннелей из опускных секций практически одинаково. В Северной Америке большинство таких тоннелей металлические, хотя есть и железобетонные.

Тоннели из опускных секций сооружают круглой, прямоугольной, многоугольной и изогнутой с плоским дном формы поперечного сечения. Преобладающей в США формой поперечного сечения является круговое сечение в многоугольном стальном кожухе (как правило восьмиугольном). Бетонирование секций стальных тоннелей производится на плаву, что прямо противоположно подходу, используемому при сооружении железобетонных тоннелей, секции которых спускаются на воду готовыми. Технологический процесс бетонирования стальных секций тоннелей организуют таким образом, чтобы обеспечить минимальные деформации конструкции секции и минимизировать возникающие в сечении напряжения. Стальные тоннели из опускных секций можно разделить на три типа по способу работы сечения секций: однородная оболочка, двойная оболочка, сэндвич.

Учитывая необходимость сооружения двухпутного железнодорожного перехода через пролив Невельского наиболее эффективным типом конструкции будет прямоугольная железобетонная, что позволит избежать избытка высоты сечения сооружения.

2. Железобетонные тоннели из опускных секций

В последнее время сооружение тоннелей из железобетонных секций стремительно развивалось. Достигнуты значительные успехи в проектировании, строительстве таких тоннелей, в использовании новых материалов и методов строительства, существенно уменьшилось водоцементное отношение и были предприняты шаги по снижению теплоты гидратации, что привело к уменьшению количества трещин, образующихся при твердении бетона. Уменьшение количества трещин является ключевым фактором для водонепроницаемости секций.

Достигнуты успехи в скорости производства тоннельных секций рассматриваемого типа. Так длина сегмента бетонирования секции полной ширины за одну операцию за долгие годы увеличилась с 10 м до 20 м, несмотря на большие требуемые для этого объемы бетона и процессы расширения-сжатия, которые происходят в бетоне в течении первых дней после бетонирования силу высокой температуры гидратации.

Для предотвращения появления трещин в бетоне при твердении применяется охлаждение бетона с применением погруженных в него рефрижераторных труб, создание новых типов бетонных смесей, низкотемпературный цемент, как например молотый гранулированный доменный цемент, экранирование бетона от стальных элементов.

Технологически, как правило, в первую очередь бетонируется дно секции, на следующем этапе бетонируются стены, а затем перекрытие. Однако разработаны технологии, позволяющие бетонировать стены и дно секции через перекрытие, что позволяет уменьшить количество строительных соединений снаружи секции. Поскольку строительные соединения наиболее чувствительны к протечкам, уменьшения их количества является целесообразным для обеспечения герметичности секции.

При сооружении секций из железобетона используется в том числе и преднапряжённый железобетон для восприятия изгибающих моментов и уменьшения растрескивания. Некоторые секции могут быть предварительно напряжены в поперечном направлении, а некоторые в продольном. Тщательная детализация и проработка процесса сооружения секции, а также качественное изготовление способны практически полностью устранить риск наличия в готовой секции опасных трещин в бетоне.

Торцы секции герметизируются временными перегородками, после чего котлованы или сухие доки заполняются водой, секции всплывают и их буксируют к месту установки (рис. 1).

Рисунок 1 - Транспортировка тоннельной секции

Секцию буксируют к месту установки над специально подготовленной траншеей, после чего секцию прикрепляют к опускающему устройству (кран, понтоны, баржа и т.д.) и заполняют балласты для погружения секции и установки в проектное положение (рис. 2).

Рисунок 2 – Схема процесса погружения тоннельной секции в подготовленную траншею

Балластом могут служить временные резервуары для воды внутри тоннельной секции, или конструкция секции, которая заполняется бетоном в месте установки. После установки секции в проектное положение ее соединяют с предыдущей секцией. После соединения соседних элементов откачивается вода, заполняющая свободное пространство между переборками соседних элементов. Далее завершаются фундаментные работы и работы по герметизации соединения между секциями. После чего аналогичным способом устанавливается следующая секция тоннеля. Затем могут быть удалены переборки соседних элементов и произведен внутренний осмотр тоннельной секции. По соображениям безопасности переборки в соединении с последним установленным элементом не демонтируются.

После проведения всех указанных операций пространство вокруг секции засыпается и, при необходимости, устраивается защитный слой из грунта и камней над перекрытием секции. Вариации метода строительства касаются главным образом применяемых материалов и местоположения участка изготовления секций тоннеля.

3. Особенности воздействий поездов на тоннели, расположенные на слабых грунтах

Подвижной состав при движении генерирует вибрации, интенсивность которых обусловлена большим количеством прогнозируемых и случайных факторов. Одним из определяющих и прогнозируемых факторов динамической нагрузки подвижного состава на конструкцию верхнего строения пути и искусственные сооружения является скорость движения - при возрастании скорости движения, в общем случае, увеличивается динамическая нагрузка. Однако, кроме непосредственной зависимости между скоростью движения нагрузки и уровнем воздействия на конструкцию, существуют эффекты увеличения вибраций, генерируемых рельсовым транспортом, и прогибов конструкции, по которой осуществляется движения, обусловленные скоростью распространения волн напряжений в конструкции и в основании и скоростью собственных колебаний конструкций [8]. Такие скорости называют критическими. При расположении тоннелей на слабых грунтах величины критических скоростей могут не высокими, так как определяются скоростями распространения поверхностных волн Рэлея.

В предыдущей статье авторов [9], были указаны ссылки на информацию о натурных испытаниях и теоретических исследованиях, которые наглядно показывают возможность достижения современным транспортом критических скоростей. Было также указано, что, осно-

вываясь на широком научном опыте, для транспортных сооружений, как определяющие степень надежности, можно выделить скорости распространения поверхностных волн Рэлея в подстилающем слое грунта и минимальные фазовые скорости изгибных волн, распространяющихся в конструкции пути.

В настоящей работе тоннель будет рассматриваться как балка на упруго-вязком основании, поэтому будет оцениваться фазовая скорость распространения изгибных волн в тоннельной обделке. При движении поездов со скоростями, близкими к критическим, вибрации и деформации тоннельной обделки могут существенно увеличиваться.

4. Определение критических скоростей в тоннелях, расположенных на слабых грунтах

При движении поездов в тоннелях, расположенных на слабых грунтах, при достижении поездами критических скоростей могут возникнуть повышенные вибрации, которые могут привести к разжижению грунтов и уменьшению их несущей способностью. Величины критических скоростей зависят жёсткости конструкции, по которой перемещается подвижная нагрузка скорости движения нагрузки.

Для определения критических скоростей движения поездов в тоннелях из опускных секций воспользуемся моделью балки Тимошенко [10] на упругом основании при воздействии постоянной силы, движущейся с постоянной скоростью (рис. 3). В таком случае модели балок Эйлера-Бернули и Рэлея можно рассматривать как частные случаи, полагая соответствующие параметры равными нулю.

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} - S \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{m^2 r^2}{\gamma GA} \frac{\partial^4 u}{\partial t^4} + ku = P\delta(x - Vt), \quad (1)$$

где $P\delta(x - Vt)$ – сосредоточенная сила, движущаяся с постоянной скоростью;

m , E , G – погонная масса и модули упругости при растяжении и сдвиге материала балки;

I , A , r – момент инерции, площадь, радиус инерции поперечного сечения балки;

$\gamma = A/A_{cm}$ – коэффициент, учитывающий влияние формы сечения на деформацию сдвига элемента балки;

A_{cm} – площадь стенки;

S – продольная сила;

k – коэффициент постели основания.

Для получения решения уравнения (1) воспользуемся преобразованием Фурье по двум переменным:

$$\begin{aligned} \tilde{f}(v, \omega) &= F[f(x, t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) e^{ivx} e^{i\omega t} dx dt \\ f(x, t) &= F^{-1}[\tilde{f}(v, \omega)] = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}(v, \omega) e^{-ivx} e^{-i\omega t} dv d\omega \end{aligned}, \quad (2)$$

где ω и v – параметры преобразования Фурье: круговая частота и волновое число.

Применим преобразование Фурье к уравнению (1), учитывая нулевые граничные условия при $x \rightarrow \pm \infty$, получим:

$$\left[EIV^4 - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) v^2 \omega^2 + Sv^2 - m\omega^2 + \frac{m^2 r^2}{\gamma GA} \omega^4 + k \right] U(v, \omega) = 2\pi P\delta(vV + \omega), \quad (3)$$

Рисунок 3 – Расчётная модель балки на упругом основании.
Продольная сила S может принимать и положительные и отрицательные значения

При выполнении преобразования Фурье использовались следующие свойства дельта функций Дирака [11]:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x-x_0)dx &= f(x_0) \\ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,t)\delta(x-x_0)\delta(t-t_0)dxdt &= f(x_0,t_0). \\ \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(\omega+a)t} dt &= 2\pi\delta(\omega+a) \end{aligned} \quad (4)$$

Из уравнения (3) получим выражение для изображения Фурье прогибов:

$$U(v, \omega) = \frac{2\pi P\delta(vV + \omega)}{EIv^4 - mr^2\left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right)v^2\omega^2 + Sv^2 - m\omega^2 + \frac{m^2r^2}{\gamma GA}\omega^4 + k}. \quad (5)$$

Применив обратное преобразование Фурье к полученному выражению (5), найдем функцию прогибов тоннеля:

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P \exp[-i(x-Vt)v]}{\left[EI + \frac{m^2r^2V^4}{\gamma GA} - mr^2V^2\left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right)\right]v^4 + (S - mV^2)v^2 + k} dv. \quad (6)$$

При выполнении обратного преобразования Фурье по частоте использовалось свойство функции Дирака. Вычисление интеграла (6) будет выполняться в комплексной плоскости с использованием контурного интегрирования и теории вычетов. Для этого необходимо найти корни знаменателя подынтегрального выражения, который представляет собой биквадратное уравнение:

$$\left[EI + \frac{m^2r^2V^4}{\gamma GA} - mr^2V^2\left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right)\right]v^4 + (S - mV^2)v^2 + k = 0. \quad (7)$$

Определитель биквадратного уравнения имеет вид:

$$\Delta = (S - mV^2)^2 - 4k\left[EI + \frac{m^2r^2V^4}{\gamma GA} - mr^2V^2\left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right)\right]. \quad (8)$$

При движении силы с критической скоростью по балке на сплошном упругом основании без демпфирования прогиб балки стремится к бесконечности. В таком случае знаменатель выражения (6) имеет кратные действительные полюса. Этим условиям соответствуют: $\Delta = 0$ и $\bar{S} - \bar{m}V^2 < 0$.

Два корня $v_1 = v_3 = -\frac{\bar{S} - \bar{m}V^2}{2}$ расположены в правой полуплоскости, корни $v_2 = v_4 = \frac{\bar{S} - \bar{m}V^2}{2}$ - в левой полуплоскости. Схема расположения корней на комплексной плоскости представлено на рисунке 5.

Рисунок 5 – Схема расположения корней знаменателя на комплексной плоскости при $\Delta = 0$ и $\bar{S} - \bar{m}V^2 < 0$

В остальных случаях, при $x - Vt \rightarrow \infty$, такое явление не наблюдается. Таким образом, уравнение (8) $\Delta = 0$ и неравенство $\bar{S} - \bar{m}V^2 < 0$ являются необходимыми и достаточными условиями для определения критических значений скоростей бесконечной балки на упругом основании при воздействии подвижной нагрузки.

Таким образом, выражение для определения критических скоростей для модели балки Тимошенко:

$$V_{cr}^2 = \frac{-2kr^2(\gamma G + E)A + \sqrt{4k^2r^4A^2(\gamma G + E)^2 + 4\gamma kEI GA(\gamma GA - 4kr^2)}}{m(\gamma GA - 4kr^2)}. \quad (9)$$

Для модели балки Рэлея без учета влияния сдвига, выражение для критической скорости можно представить в виде:

$$V_{cr}^2 = \frac{-2kr^2 + \sqrt{4k^2r^4 + 4kEI}}{m}. \quad (10)$$

Для модели балки Эйлера-Бернулли без учета влияния сдвига и вращения критическая скорость определяется простым выражением:

$$V_{cr}^2 = \sqrt{\frac{4kEI}{m^2}}. \quad (11)$$

Для определения коэффициента постели упругого основания воспользуемся выражением:

$$K = \sqrt{\mu(\lambda + 2\mu)}, \quad (12)$$

где μ и λ - константы Ляме, определяемые выражениями:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$
(13)

В качестве примера, определим критические скорости для тоннеля из опускных секций, используя для описания поведения обделки различные модели балки на упругом основании. При этом воспользуемся характеристиками грунтов, соответствующими условиям пролива им. Невельского. Поперечное сечение тоннеля показано на рисунке 6. Характеристики обделки и грунта представлены в таблице 1.

Рисунок 6 - Поперечное сечение тоннеля

Подставляя эти исходные данные в выражения (9), (10) и (11), получим значения критических скоростей, соответствующие разным моделям: для балки Тимошенко – 112, м/с, для балки Релея – 156,8 м/с, для балки Эйлера-Бернулли – 157,1 м/с. Заметим, что значение критической скорости для балки Тимошенко является самым минимальным.

Таблица 1 – Характеристики тоннеля и грунта

Параметр	Тоннельная обделка	Переслаивание песка мелко- и тонкозернистого водонасыщенного и ила
Плотность ρ , кг/м ³		1550
Модуль упругости E , МПа	36*10 ³	66,03
Модуль сдвига G , МПа		22,32
Коэффициент Пуассона		0,4
Коэффициент постели k , МПа		32,68
Погонная масса, кг/м	203340	
Площадь поперечного сечения A , м ²	71,87	
Момент инерции I , м ⁴	1326,68	
Радиус инерции r , м	4,29	
Коэффициент сдвига, γ	4.11	

При рассмотрении проблемы увеличения воздействий подвижного состава на конструкцию тоннелей, расположенных в слабых водонасыщенных грунтах при движении с критическими скоростями, были получены значения этих критических скоростей. Для модели балки Тимошенко – 112, м/с, что соответствует 403 км/ч. В настоящее время такие скорости достижимы, поэтому эта проблема требует особого внимания и дополнительного изучения.

5. Выводы по результатам исследования.

Исследованию были подвергнуты аспекты надежности конструкции тоннелей из опускных секций с точки зрения увеличения воздействия подвижного состава на тоннель, расположенный в слабых, водонасыщенных грунтах. На основании предложенного в работе решения по определению критических скоростей подвижной нагрузки в тоннелях с использованием преобразования Фурье и теории вычетов проведен расчет критических скоростей движения состава, для типичного грунта сложения дна водоема, и сделан вывод о достижимости таких скоростей на существующем уровне развития техники, и, как следствие, необходимости учета эффекта увеличения динамического воздействия состава на конструкцию, описанного в работе, при проектировании тоннелей из опускных секций и выборе параметров движения транспорта по таким тоннелям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулмаджидова П.С. Российско-японские отношения на современном этапе. Дис. канд. полит. наук. По спец. «Политические проблемы международных отношений и глобального развития». Москва. 2005.
2. Комсомольская правда [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Москва, 2017. URL: <https://www.kp.ru/daily/26728.4/3754385/> (дата обращения 27.05.2018).
3. Гудок [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Выпуск №113 (25782) 06.07.2015. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2015.07.06> (дата обращения 28.05.2018)
4. Главное управление МЧС России по Сахалинской области [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://65.mchs.gov.ru/folder/538217> (дата обращения 25.05.2018).
5. Курбацкий Е. Н., Нгуен Ван Хунг. Транспортные тоннели из опускных секций // Мир транспорта. 2014. № 6(55). С. 160 – 173.
6. Курбацкий Е. Н. Преимущества тоннелей из опускных секций при сооружении транспортных переходов через протяженные водные (морские) преграды // Метро и тоннели. 2014. № 4. С. 28—32.
7. Маковский Л.В., Кравченко В.В. М15 Подводные транспортные тоннели из опускных секций: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2016. 144 с.
8. Нгуен Чонг Там Воздействие высокоскоростных подвижных нагрузок на балки, плиты и полупространство. Дис. канд. техн. наук. По спец. «Строительная механика». Москва. 2015.
9. Зернов И. И., Пестрякова Е. А., Харитонов С. С. Воздействие высокоскоростного подвижного состава на верхнее строение пути и конструкции обделок тоннелей из опускных секций // Строительство и реконструкция. 2018. № 2 (76). С. 18-26.
10. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Ч. 1–2. М.: Наука, 1965. Ч. 1. 364 с.; Ч. 2. 480 с.
11. Гельфанд И. М., Шилев Г. Е. Обобщенные функции и действия над ними. М.: Добросвет, 2000. 400с.

REFERENCES

1. Abdulmadzhidova P.S. Rossiysko-yaponskiye otnosheniya na sovremennom etape. Dis. cand. polit. sci. Spec. "Politicheskiye problemy mezhdunarodnykh otnosheniy i global'nogo razvitiya" [Political problems of international relations and global development]. Moscow. 2005. (rus)
2. Komsomol'skaya pravda URL: <https://www.kp.ru/daily/26728.4/3754385/> (available on 27.05.2018).
3. Gudok URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2015.07.06> (data obrashcheniya 28.05.2018)
4. Glavnoye upravleniye MCHS Rossii po Sakhalinskoy oblasti URL: <http://65.mchs.gov.ru/folder/538217> (data obrashcheniya 25.05.2018).
5. Kurbatskiy Ye. N., Nguyen Van Khung. Transportnyye tonneli iz opusknykh sektsiy [Transport tunnels from descending sections]. *Mir transporta*. 2014. No 6(55). Pp. 160 – 173. (rus)
6. Kurbatskiy Ye. N. Preimushchestva tonneley iz opusknykh sektsiy pri sooruzhenii transportnykh perekhodov cherez protyazhennyye vodnyye (morskiye) pregrady [Advantages of tunnels from the descending sections when constructing transport junctions through extended water (sea) barriers]. *Metro i tonneli*. 2014. No 4. Pp. 28—32. (rus)

7. Makovskiy L.B., Kravchenko V.V. M15 Podvodnyye transportnyye tonneli iz opusknykh sektsiy [M15. Underwater transport tunnels from the descending sections: study guide]. Moscow: KNORUS, 2016. 144 p. (rus)
8. Nguyen Chong Tam Vozdeystviye vysokoskorostnykh podvizhnykh nagruzok na balki, plity i poluprostranstvo [Impact of high-speed moving loads on beams, slabs and half-space]. Dis. cand. tech. sci. Spec. "Structural Mechanics". Moscow. 2015. (rus)
9. Zernov I. I., Pestryakova Ye. A., Kharitonov S. S. Vozdeystviye vysokoskorostnogo podvizhnogo sostava na verkhneye stroyeniye puti i konstruksii obdelok tonneley iz opusknykh sektsiy [The impact of high-speed rolling stock on the superstructure and the design of immersed tunnels]. *Building and Reconstruction*. 2018. No 2 (76). Pp. 18-26. (rus)
10. Timoshenko S. P. Soprotivleniye materialov [Resistance of materials]. Parts 1–2. Moscow: Nauka, 1965. Part 1. 364 p.; Part 2. 480 p. (rus)
11. Gel'fand I. M., Shilov G. Ye. Obobshchennyye funktsii i deystviya nad nimi. Moscow: Dobrosvet, 2000. 400p. (rus)

Информация об авторах:

Пестрякова Екатерина Алексеевна

Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9,
старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
E-mail: usd.miit@gmail.com

Зернов Иван Игоревич

АО «Метрогипротранс»,
127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9,
инженер АО «Метрогипротранс».
E-mail: usd.miit@gmail.com

Харитонов Сергей Сергеевич

Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9,
аспирант кафедры «Мосты и тоннели».
E-mail: mr.kharitonov.94@mail.ru

Information about authors:

Pestryakova Ekaterina A.

Russian University of Transport (MIIT),
127994, Russia, Moscow, st. Obratsova, d 9, p. 9,
Senior Lecturer at the Bridges and Tunnels Department
Email: usd.miit@gmail.com

Zernov Ivan I.

JSC "Metrogiprottrans"
127994, Moscow, st. Obratsova, d 9, p. 9,
engineer JSC "Metrogiprottrans".
Email: usd.miit@gmail.com

Kharitonov Sergey S.

Russian University of Transport (MIIT),
127994, Russia, Moscow, st. Obratsova, d 9, p. 9,
Postgraduate student of the department "Bridges and tunnels".
E-mail: mr.kharitonov.94@mail.ru