

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/13SATS226.pdf>

DOI: 10.15862/13SATS226 (<https://doi.org/10.15862/13SATS226>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Баранов, Т. М. Безопасность транспортных систем с учетом взаимного влияния тоннельных и мостовых конструкций / Т. М. Баранов // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://t-s.today/PDF/13SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/13SATS226.

For citation:

Baranov T.M. Safety of transport systems, taking into account the mutual influence of tunnel and bridge structures. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(2): 13SATS226. Available at: <https://t-s.today/PDF/13SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/13SATS226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.21

Баранов Тимофей Михайлович

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия

Доцент кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: Baranov-87@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3981-6413>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=926740

Безопасность транспортных систем с учетом взаимного влияния тоннельных и мостовых конструкций

Аннотация. Обеспечение безопасности транспортных систем в условиях стесненной застройки и сложных инженерно-геологических условий требует учёта взаимного влияния близкорасположенных сооружений. Особую актуальность эта задача приобретает при пересечении мостовых и тоннельных конструкций, связанных единой геотехнической средой. Взаимодействие таких объектов может приводить к перераспределению напряжений в грунтовом массиве, дополнительным деформациям фундаментов и изменению напряжённо-деформированного состояния обделок.

В статье на примере реального виадука, расположенного над действующим транспортным тоннелем и штольней, рассмотрены особенности оценки их взаимного геотехнического влияния в статической постановке. Расчеты влияния выполнены в трехмерной модели в программе GTS NX.

Рассмотрены случаи нагружения виадука эксплуатационными нагрузками и воздействиями и при этом установлено, напряженно-деформированное состояние несущих конструкций тоннеля и штольни практически не изменяется при их приложении. Рассмотрена аварийная ситуация падения поезда с виадука, по результатам расчетов дополнительные усилия в обделках тоннеля и штольни не превышают усилий при сейсмических воздействиях и не носят опасный характер. Одновременно с этим изменение грунтовой среды вокруг тоннеля, связанного с разуплотнением, выносом грунта в пространство тоннеля, повреждением обделок и вывалами грунта ведет к повреждению фундаментов виадука, кренам опор и нарушению геометрии пути на виадуке.

В статье разработаны предложения по геотехническому мониторингу виадука для обеспечения безопасной эксплуатации транспортной системы.

Ключевые слова: геотехническое влияние; тоннель; чугунные обделки; мост; виадук; повреждения фундаментов; буронабивные столбы; ударные воздействия; падение локомотива; геотехнический мониторинг

Введение

Целью данной работы является иллюстрация неравнозначного и разнонаправленного влияния мостовых и тоннельных сооружений, связанных единой геотехнической средой [1]. Влияние нагрузок и воздействий с мостового сооружения на тоннель и обратное влияние изменения геотехнической среды возле тоннеля на расположенные над ним мосты оказывается неравномерным. Данная задача рассматривается на конкретном примере, но полученные качественные результаты могут и должны учитываться при проведении работ по строительству новых и реконструкции существующих тоннелей.

Расчеты напряженно-деформированного состояния в задачах взаимного влияния имеют как аналитические решения [2], так и широко представленные в инженерной практике численные подходы, используемых автором.

Характеристики сооружений

Виадук расположен на 1 пути железнодорожной линии III категории. Основным пересекаемым препятствием являются ущелье, глубина ущелья 21–22 м до уровня головки рельса и автомобильная дорога IV категории, расположенная в 3 и 4 пролетах. Виадук пересекает ось транспортной части тоннеля и ось штольни, угол пересечения осей виадука и тоннеля составляет 70°. Оси транспортного тоннеля и штольни проходят под землей в створе третьего пролета виадука, отметки заложения фундаментов промежуточных опор № 2 и № 3 находится ниже отметок обратного свода тоннеля и штольни на 1,2–2,2 м, при этом глубина расположения тоннеля в данном месте составляет примерно 23 метра. Расстояние в свету между столбами и обделкой тоннеля и штольни составляет 3–3,5 м.

Виадук построен по расчетной схеме $15,80 + 4 \times 33,60 + 3 \times 15,80$ м на кривой радиусом 293 м в плане и уклоне 16,6 ‰ в профиле. Полная длина сооружения составляет 212,73 м. Конструкции виадука запроектированы в северном исполнении (зона «Б») под расчетную нагрузку С14.

Конуса подходных насыпей отсыпаны скальным грунтом и укреплены каменной наброской толщиной 60 см. Общая сейсмичность района в месте расположения строительной площадки путепровода согласно СП 14.13330.2018¹ составляет 9 баллов. Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов для района — 4,50 м. Общие виды виадука представлены на рисунке 1.

Конструкция сборно-монолитных устоев № 0 и № 8 массивная, обсыпного типа. Фундаменты опор на естественном основании, выполнены в открытых котлованах из монолитного бетона класса В20.

Промежуточная опора № 1 столбчатого типа, сооружена на пяти буронабивных сваях диаметром 1,5 м, выполненных из монолитного бетона класса В25. Сваи объединены высоким свайным ростверком, выполненным из железобетона, на котором устроены монолитные подферменники.

¹ СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Стандартинформ, 2018.

Конструкция сборно-монолитных однопутных промежуточных опор № 2–4 стоечная с наклонными железобетонными стойками круглого сечения диаметром 80 см и полыми внутри, объединенных поверху монолитным ригелем. Фундаменты из буронабивных свай (сокр. БНС) диаметром 1,5 м в количестве 9 штук для опор № 2, 3 и 8 штук для опоры № 4, объединенных мощным свайным ростверком высотой 3 м из монолитного железобетона класса В25. На ригелях размещен один монолитный подферменник под все опорные части. Общая высота опор от верха ростверка до верха ригеля составляет 14,29 м. Общие виды опор приведены на рисунке 2.

Сборные промежуточные опоры № 6 и 7 приняты рамной конструкции. Тело каждой опоры состоит из железобетонных рам, стойки которых поверху объединены железобетонными ригелями с монолитными консолями под установку опор контактной сети. Низ стоек рам заделан в стаканы фундаментных блоков, а сами фундаментные блоки опираются на плоские фундаментные плиты.



Рисунок 1. Общий вид виадука: а — правый фасад; б — вид с опоры № 8 (фото автора)

В схеме виадука применены балочные пролетные строения двух типов: железобетонные и сталежелезобетонные. Пролетные строения № 1, 6–8 с расчетными пролетами по 15,80 м — железобетонные, балочные, ребристые, под один путь с ездой поверху на балласте.



Рисунок 2. Общий вид опор: а — Оп № 2; б — Оп № 3 (фото автора)

Пролетные строения № 2–5 балочные разрезные сталежелезобетонные цельносварные с ездой поверху на балласте. Полная длина балок пролетных строений равна 34,2 м, расчетные пролеты приняты по 33,6 м. Стальные балки пролетных строений изготовлены из легированной конструкционной малоуглеродистой стали марки 15ХСНД. Две главные балки двутаврового сечения, объединенные поперечными связями, и нижними продольными связями крестовой системы из уголков. Вертикальная стенка высотой 2480 мм и шириной 12 мм. Плита балластного корыта сборная, шириной 4,08 м, высотой 160 мм. Общий вид сталежелезобетонного пролетного строения представлен на рисунке 3.

Железобетонные пролетные строения установлены на тангенциальные опорные части, сталежелезобетонные — на секторные опорные части.



Рисунок 3. Сталежелезобетонное пролетное строение (фото автора)

Пересекаемый транспортный тоннель (ТТ) в районе расположения виадука выполнен из чугунных тубингов диаметром 8,5 м. Обделки штольни приняты из сборных железобетонных блоков диаметром 5,5 м. Фотографии обделок тоннеля в данном участке приведены на рисунке 4.

На рисунке 5 приведены план виадукта и тоннельного комплекса с указанием расположения свай фундаментов опор, а также общий вид виадукта.

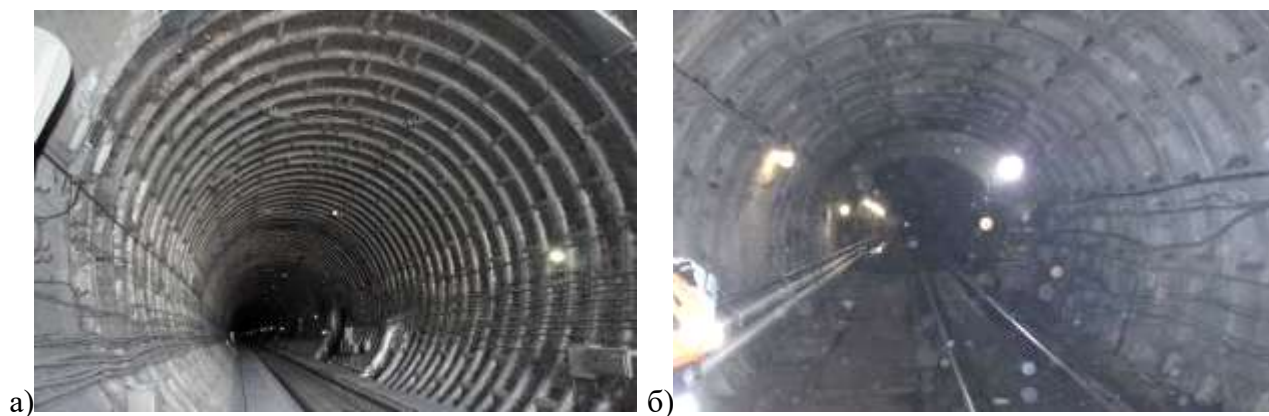


Рисунок 4. Виды на обделки тоннеля (а) и штольни (б) (фото автора)

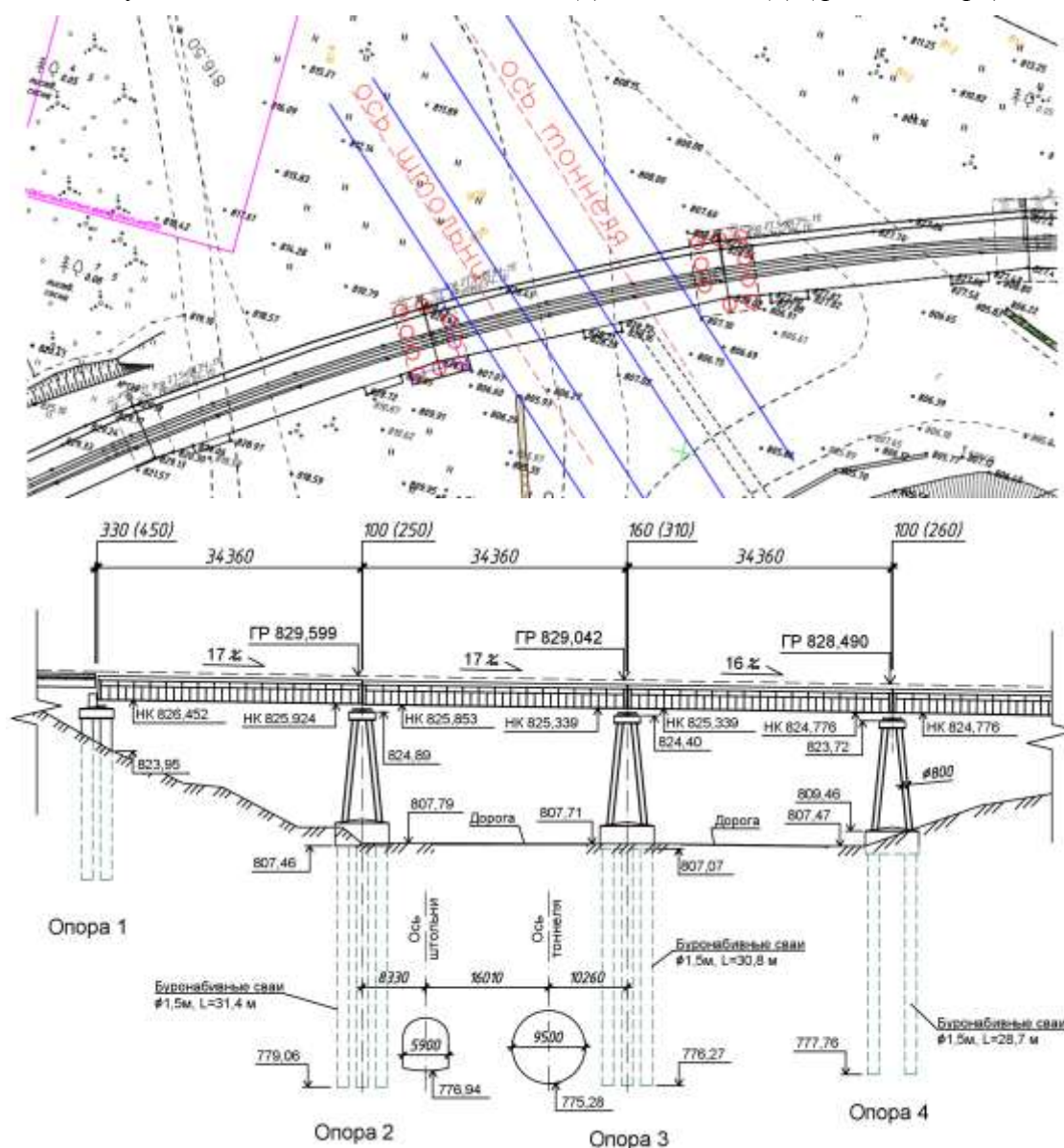


Рисунок 5. Маркшейдерский план с нанесенным планом тоннеля и фундаментов путепровода (схемы составлены автором)

Грунтовый массив на данном участке преимущественно состоит из маловлажных песков средней крупности.

В последующих расчетах использованы следующие физико-механические характеристики грунтов: модуль деформаций 32 ГПа, объемный вес 19 кН/м³, коэффициент Пуассона 0,25, удельное сцепление 18 кПа, угол внутреннего трения 35°.

Расчеты взаимного геотехнического влияния конструкций

В целях определения критических мест виадука, мероприятий для мониторинга, а также степени взаимного геотехнического влияния близко расположенных сооружений проведены расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций тоннеля и виадука в целом.

Расчеты выполнены в программе midas GTS NX. Программный комплекс применим для моделирования и анализа таких сооружений, как тоннели, склоны, фундаменты, котлованы, грунтовые сооружения.

Расчет выполнен в пространственной постановке с использованием линейных свойств материалов для упругих объектов, таких как металлические и железобетонные тубинги, конструкции опор и пролетных строений виадука.

Податливость соединений обделок принята с учетом работы болтовых стыков на основе исследований [3]. Модель грунта упругопластическая Мора-Кулона.

В конечно-элементную модель включены грунтовый массив, обделки ТТ и штольни, фундаменты из буронабивных столбов и промежуточные опоры путепровода № 2 и 3, пролетные строения № 2, 3 и 4. Геометрический размер модели составляет 133×46×62 м, вид на модель приведен на рисунке 6.

Грунтовый массив выполнен объемными конечными элементами. Обделки тоннеля и штольни смоделированы элементами оболочки. Фундаменты путепровода смоделированы элементами балочного типа, дополнены интерфейсными элементами, описывающими контакт буронабивных свай с окружающим грунтом.²

Расчет напряженно-деформированного состояния включал в себя этапность приложения нагрузок и появления элементов:

стадия № 1. Расчет бытового давления грунтового массива;

стадия № 2. Включение в работу обделки ТТ и штольни;

стадия № 3. Устройство фундаментов из БНС опор № 2 и 3;

стадия № 4. Включение в работу остальных конструкций опор и пролетных строений;

стадия № 5. Приложение временных нагрузок на пролетные строения.

Стадия № 6. Моделирование аварийных расчетных ситуаций.

Постоянные нагрузки от веса грунтов и конструкций определены приложением гравитационной составляющей. Временные нагрузки на пролетные строения введены на все три смоделированных пролетных строения.

Напряженно-деформированное состояние системы от действия веса мостовых конструкций и полной комбинации временных нагрузок на путепровод без учета горного давления и иных нагрузок на обделки приведено в таблице 1.

² Пособие по расчетам MIDAS GTS NX.

В п. 3 таблицы приведены изгибающие моменты в обделках тоннеля и штольни от действия нагрузок на пролетные строения виадука и горного давления на обделки (с учетом нагрузок на виадук).

Изгибающие моменты в обделке от нагружения пролетных строений составляют 3 % от общих усилий от горного давления и находятся в пределах погрешности инженерных расчетов.

На рисунке 7 приведены графики изменения усилий в обделках на разных стадиях. Максимальные изменения моментов до 3 % в обделках происходили при строительстве путепровода.

При приложении временных нагрузок на путепровод изменение моментов наибольшее наблюдается в своде штольни до 1,5 %, а наименьшее в своде тоннеля — 0,5 % в сторону увеличения.

Загружения путепровода сказываются на напряженно-деформированном состоянии тоннельных обделок незначительно. Взаимное влияние находится на грани погрешности расчетов.

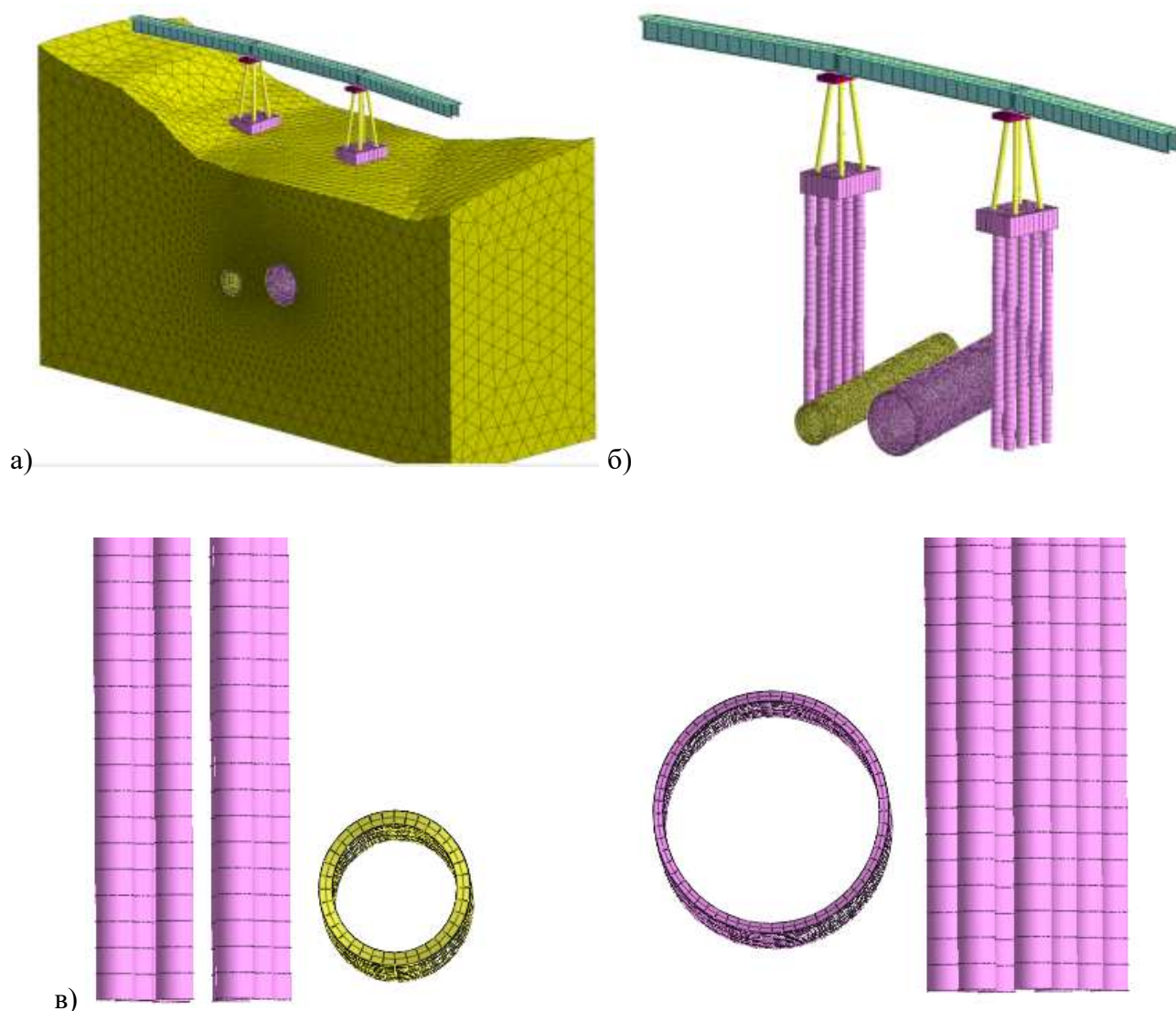
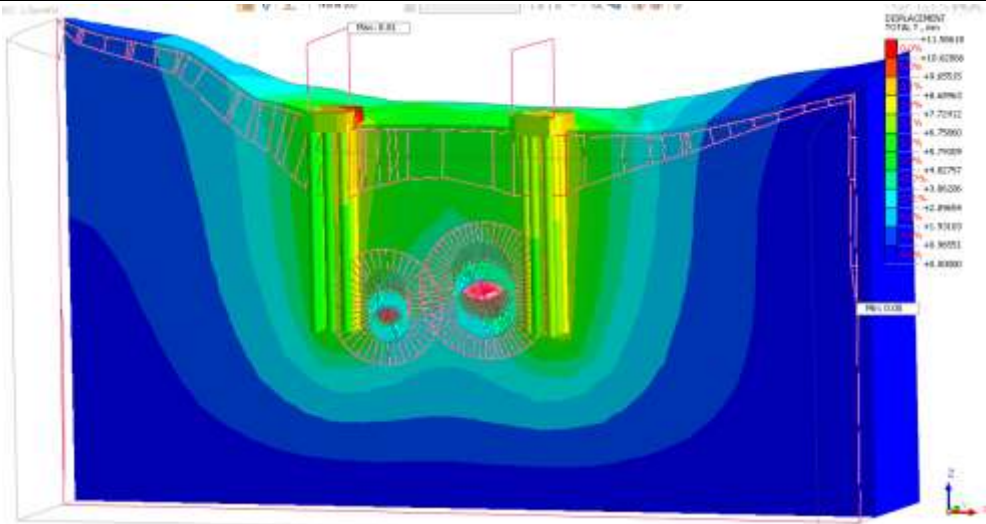
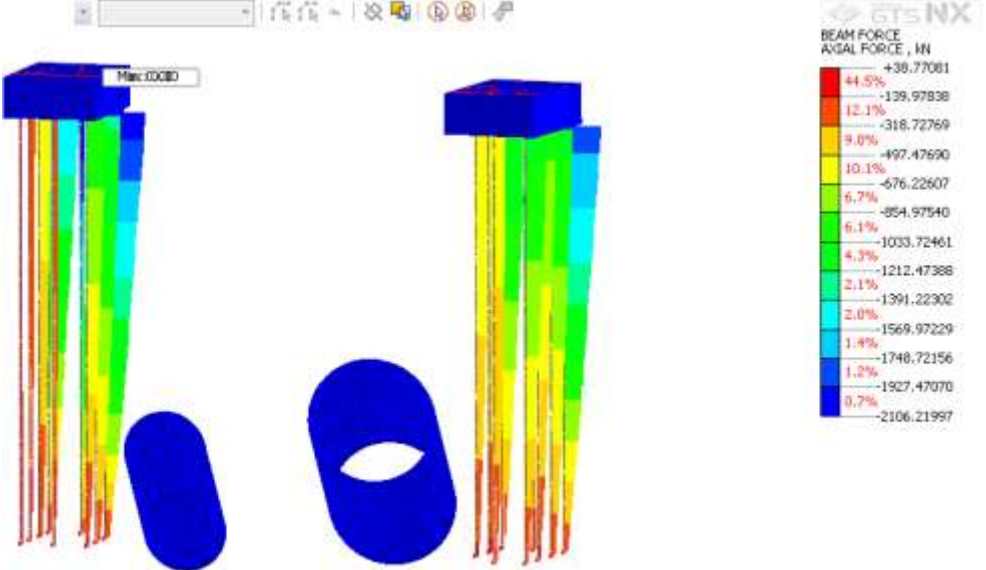
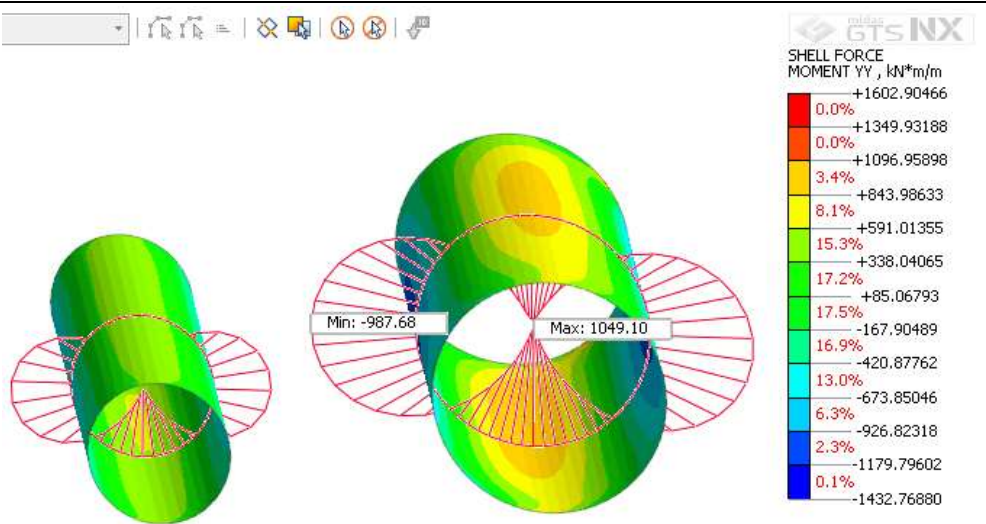


Рисунок 6. Общий вид конечно-элементной модели: а — полная модель; б — с отключенным грунтовым массивом; в — вид на сечение обделок тоннеля (скриншоты из модели автора)

Таблица 1

Напряженно-деформированное состояние системы виадук-тоннель

Описание	Эпюра
1. Общие перемещения фундаментов и грунта, мм	
2. Продольные усилия в сваях, кН	
3. Изгибающие моменты в обделках при действии полных нагрузок, включая горное давление, кНм/м	

Составлена автором

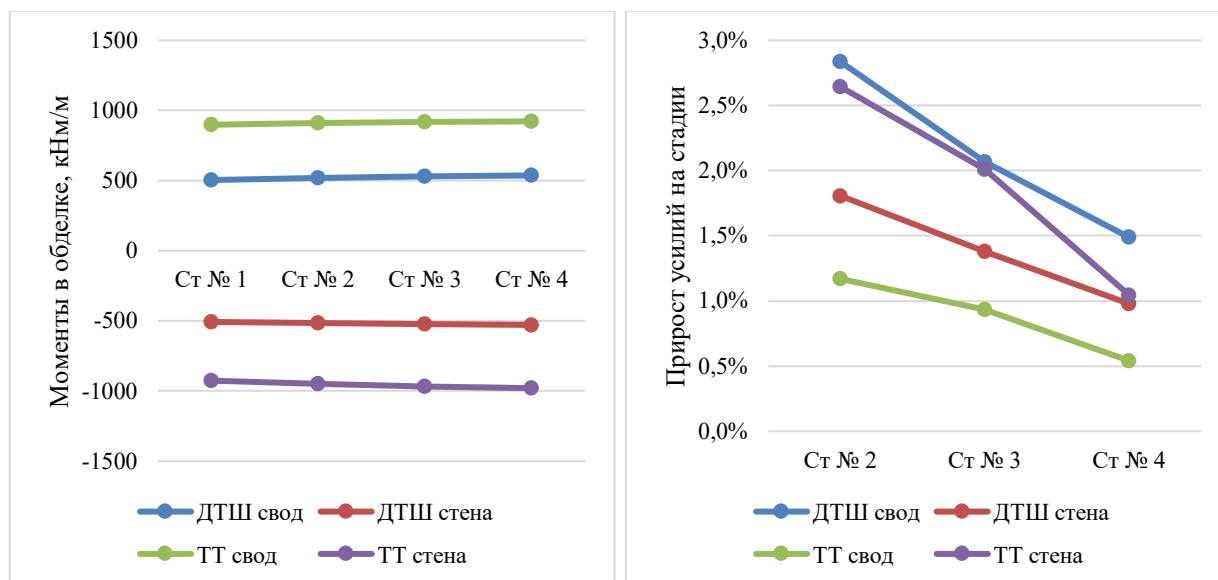


Рисунок 7. Моменты в обделках на разных стадиях (рисунок автора)

Аварийные техногенные нагрузки на тоннель со стороны виадука

Любая геотехническая система окружена внешней средой и взаимодействует с ней. Не составляет исключения система «мост-тоннель», для которой внешнюю среду можно разделить на три группы: (1) железнодорожный подвижной состав на мосту и связанные с ним воздействия; (2) подвижной состав и воздействия от него внутри тоннеля; (3) геодинамические воздействия вмещающего тоннель и фундаменты моста горного массива [4].

Первая группа воздействий внешней среды в первую очередь связана со статическими нагрузками со стороны перемещающегося по мосту подвижного состава: вертикальными от веса, горизонтальными от сил центростремительного ускорения и торможения. Эти нагрузки передаются через опоры на фундаменты и грунтовый массив, окружающий тоннель. Так же с этими нагрузками будут связаны динамические воздействия, вибрации.

Удары транспортных средств, которые могут происходить в аварийных ситуациях, создают колоссальные нагрузки в местах, которые оказались подвержены удару [5]. Корректное определение этих нагрузок связано с решением сложной задачи взаимодействия ударяющихся объектов, их деформаций, и деформаций мест удара. Часто такая задача имеет множество неопределимых параметров, связанных с:

- силой удара и направлением приложения этой силы;
- место приложения силы удара;
- размеры пятна передачи нагрузки;
- распределения приложения импульса силы по времени.

Обычно расчеты на ударные воздействия при авариях транспортных средств производят с целью оценки риска и обеспечения безопасности. Вероятность такого события оценивается функцией распределения нагрузки F_c в момент удара транспортного средства о сооружение³:

³ JSCC Probabilistic model code. Part 2: Load Models. — Joint Committee on Structural Safety, 2001.

$$P_f(T) = n \cdot T \cdot \lambda(x, t) \cdot \iint P(F_c(x, y)) \cdot f_s(y) \cdot dx \cdot dy ,$$

где:

n — число транспортных средств в единицу времени, интенсивность движения;

T — период, для которого оценивается вероятность;

$\lambda(x, t)$ — интенсивность отказа, как функция координаты вдоль трассы x и времени t ;

$f_s(y)$ — распределение начального положения тела поперек трассы по координате y ;

$P(F_c(x, y))$ — вероятность отказа конструкции при наличии механического или человеческого отказа на транспортном средстве в точке с координатами (x, y) .

Принимая во внимание факторы риска отказа технической системы железной дороги, описанные в работе [6], предварительно можно дать верхнюю оценку влияния падения поезда с виадука на грунт с расположенным под ним тоннелем. Для этого применим допущение, что поезд схематизируется системой с одной степенью свободы, обладающей некоторой эквивалентной жесткостью k (Н/м) и массой m (кг). В таком случае максимально возможная сила удара определяется как [7]:

$$F_c = v_c \sqrt{km} ,$$

где:

v_c — скорость тела в момент удара о поверхность, при свободном падении равная $v_c = \sqrt{2gh}$ без учета начальной скорости;

h — высота падения тела, в данном случае 20 м;

g — ускорение свободного падения 9,8 м/с²;

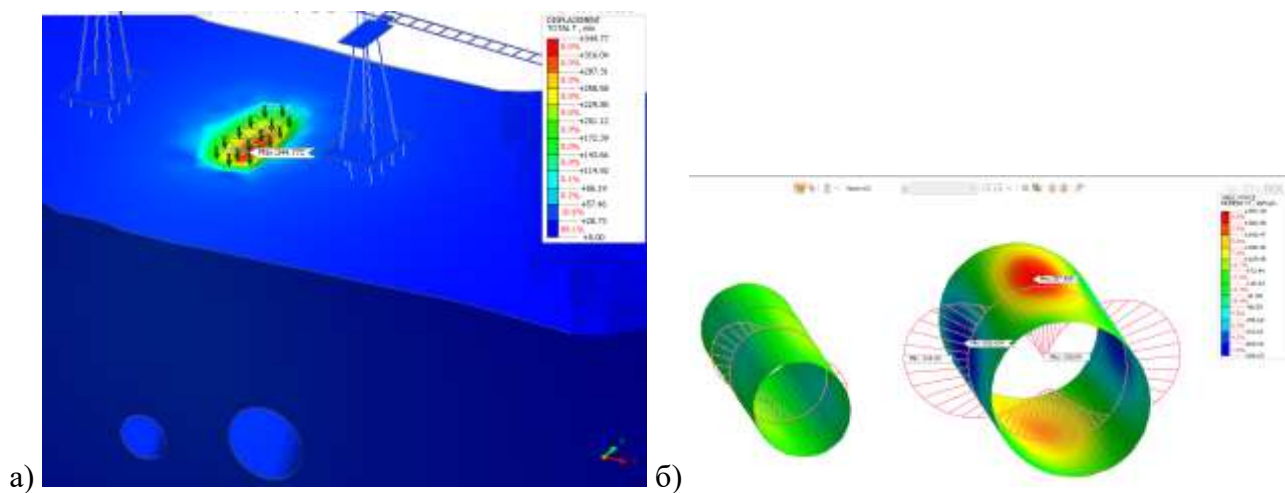
К оценке эквивалентной жесткости k допустимы разные подходы, например, предложенные в книге⁴ и статье [8] Дж. Риеры применительно к удару самолета. Он схематизировал фюзеляж как жесткопластический стержень, обладающий распределенной по длине массой и предельной энергией разрушения.

Либо можно оценить упругую жесткость приведенной площади поперечного сечения, соответствующей деформации падающего локомотива. В данной задаче оценим эквивалентную жесткость вторым способом с учетом податливости грунта в месте падения, по которому $k = 10^8 \frac{H}{м}$.

При массе локомотива 100 тонн и скорости падения 20 м/с, максимальная сила удара будет $F_c = 6,3 \cdot 10^7$ Н. Эта сила распределится на некоторую площадь, и в псевдостатической постановке может быть приложена на участок поверхности, как показано на рисунке 8 а. В обделке тоннеля усилия при таком воздействии растут на 30 % (рис. 8 б). При сейсмических воздействиях, проходящие в грунтовой среде поперечные волны вызывают существенно большие усилия [9].

С точки зрения риск-ориентированного подхода с учетом малой вероятности такого события и незначительности изменения напряженно-деформированного состояния, можно снизить рассматриваемое влияние до незначительного [10–12].

⁴ Structural Analysis and Design of Nuclear Plant Facilities / Ed. J.D. Stevenson // ASCE, 1980.



Рисунке 8. Нагрузка от падения локомотива с виадука и вызываемые при этом усилия в обделках: а — распределенное давление нагрузки; б — изгибающие моменты в обделках, кНм/м (рисунок автора)

Влияние на виадук со стороны изменения геотехнической среды тоннеля

Изменение конструкции пути в транспортном тоннеле не ведет к изменению расчетных схем или нагрузок. Изменение несущих конструкций самих же обделок в свою очередь может привести к перераспределению усилий, в первую очередь — в фундаментах [13; 14]. В качестве расчетного случая аварийной ситуации для определения тенденций деформаций принято снижение жесткости участка обделки штольни длиной 19,5 м у фундаментов опоры № 2 (рис. 9), соответствующее вывалу породы, суффозии мелких частиц грунта в пространство тоннеля или разрушению обделки штольни.

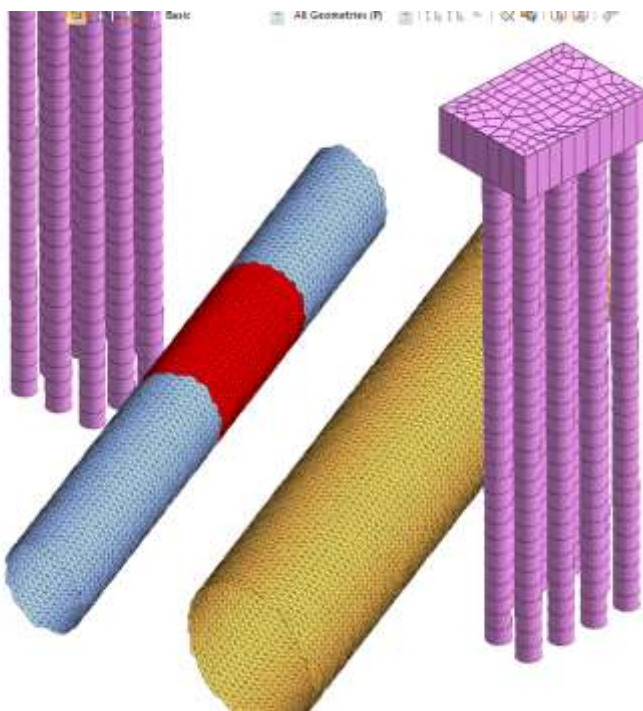


Рисунок 9. Ситуация снижения жесткости обделки (участок показан красным цветом) штольни возле фундаментов (рисунок автора)

Снижение жесткости обделок вплоть до обрушения обделки штольни ведет к разуплотнению грунта основания опоры и увеличению усилий в сваях. Изгибающие моменты увеличиваются в 2,2 раза, продольные силы — на 10 % (рис. 10), что может привести к разрушению фундамента. При этом будут фиксироваться перемещения опор, как приведено на рисунке 11.

Такие влияния с учетом их повышенной вероятности в условиях обводненности тоннеля и штольни являются более значимыми, чем влияние мостового сооружения на тоннель. В соответствии с СП 22.13330.2016⁵ для виадука следует организовать геотехнический мониторинг.

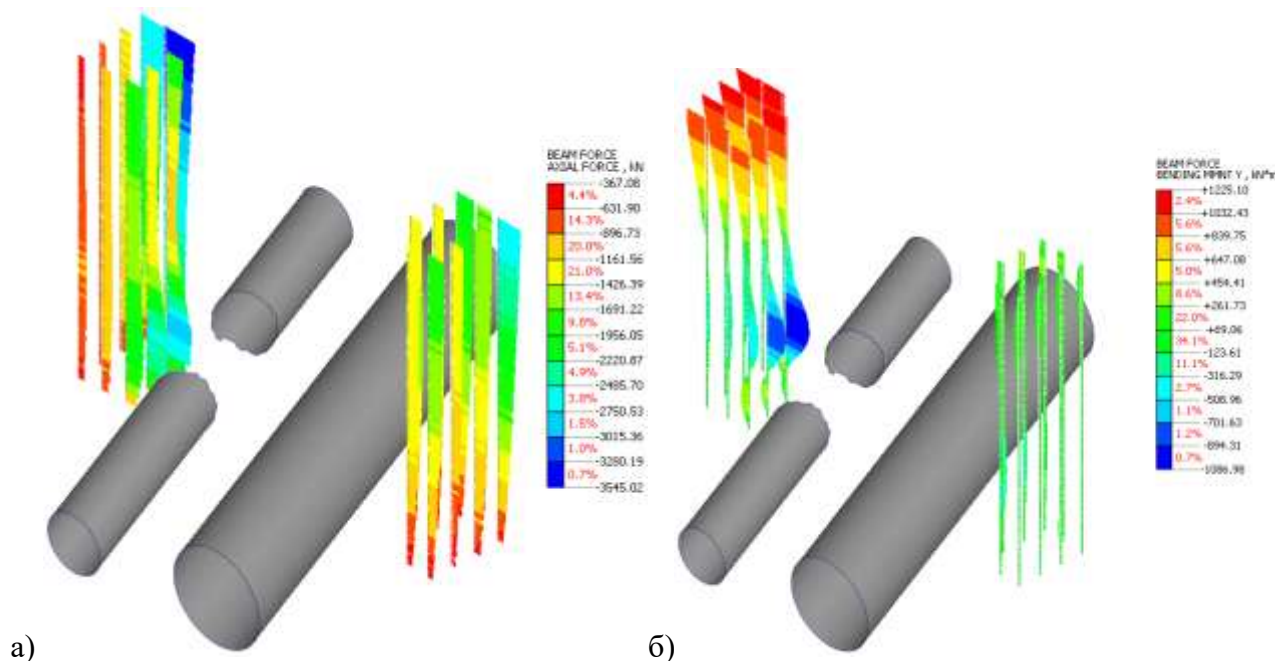


Рисунок 10. Усилия в сваях при разуплотнении грунт:
а — продольные силы, кН; б — изгибающие моменты, кНм (рисунок автора)

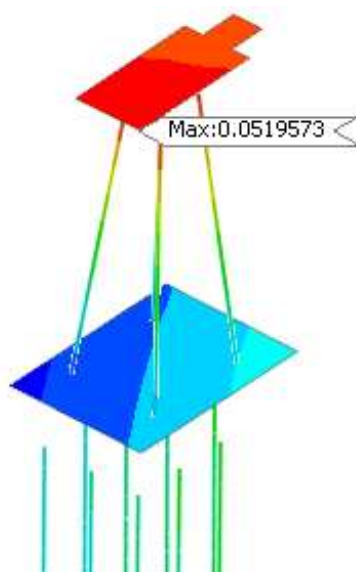


Рисунок 11. Перемещения промежуточной опоры № 2, м (рисунок автора)

⁵ СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: Стандартинформ, 2017.

Геотехнический мониторинг сооружений

Для обеспечения безопасности транспортной системы и контроля геотехнического взаимодействия сооружений при различных работах по реконструкции и эксплуатации системы в целом проводится геотехнический мониторинг.⁶

Подобный мониторинг может проводиться для основных несущих конструкций тоннеля и воздействий на тоннель [15–17]. Для наземной части виадука основными измеряемыми параметрами для мониторинга системы являются:

1. Крены высоких стоечных опор № 2 и 3 в двух плоскостях.
2. Динамическое поведение стоечных опор № 2 и 3.
3. Перемещения пролетных строений на опорных частях (контроль зазора между пролетными строениями на опорах № 2 и 3).

Трехосевые инклинометры устанавливаются на оголовки промежуточных опор, подверженных потенциальному влиянию деформаций тоннеля. Инклинометры служат для мониторинга наклона несущих элементов конструкций опор в составе автоматизированных систем мониторинга инженерных конструкций и для измерения параметров положения и движения для сигнализирования о тревоге, в случае критичного изменения положения объекта.

Параметры колебаний опор путепровода могут указывать на изменение жесткости конструкций. Мониторинг динамических характеристик можно осуществлять цифровыми акселерометрами с трёхкомпонентными чувствительными элементами. Датчик предназначен для измерения линейного ускорения и переменной составляющей виброускорения по трем взаимноперпендикулярным плоскостям.

Наряду с контролем кренов есть смысл измерять зазор между торцами пролетных строений, опирающихся на опоры № 2 и 3. Это можно осуществлять индукционными датчиками перемещений. Схема расположения датчиков приведена на рис. 12, количество датчиков и состав автоматизированной системы мониторинга сведен в таблице 2.

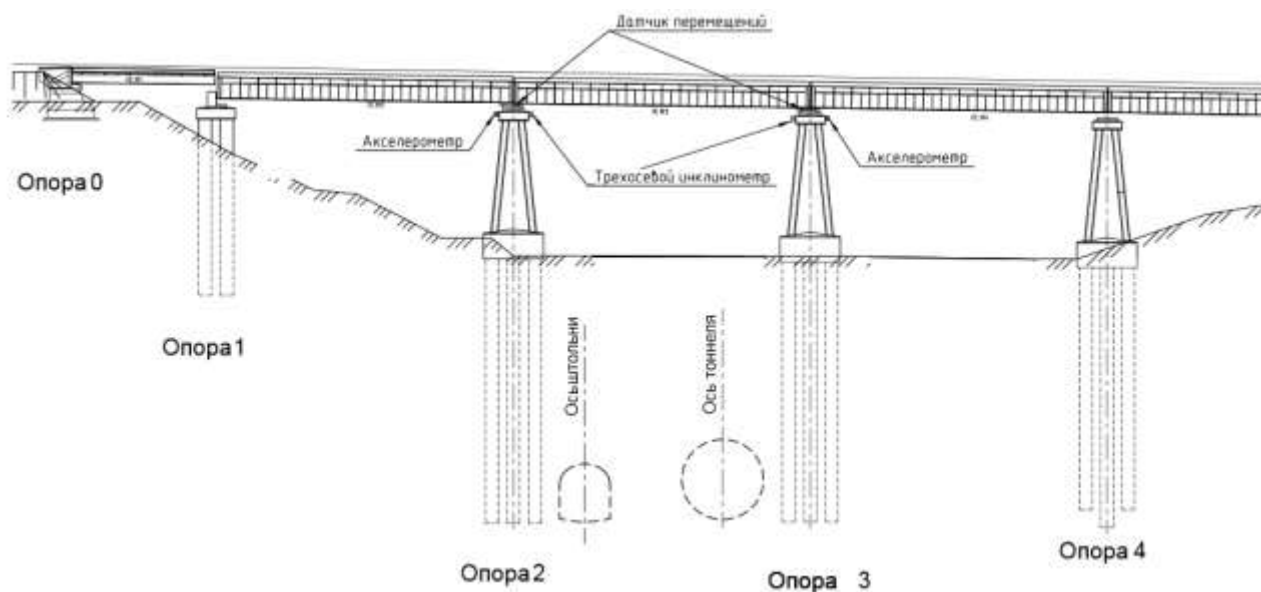


Рисунок 12. Принципиальная схема расположения датчиков мониторинга (схема автора)

⁶ СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга».

Таблица 2

Состав оборудования для мониторинга

	Оборудование	Кол-во
1	Цифровой трехосевой инклинометр	2
2	Датчики перемещений	4
3	Акселерометры трехосевые	2
4	Система регистрации, управления и сбора данных	1
5	Электротехнический шкаф с термостатированием, соединительные провода	1
6	Система электропитания	1

Составлена автором

Заключение

Влияние загрузки виадука временными нагрузками на усилия в обделках транспортного тоннеля и штольни не превышает 3 %. Можно считать, что любые аварийные ситуации, вплоть до падения поезда с виадука на поверхность над тоннелем не несут значительных рисков для конструкций тоннеля. В то же время аварийная ситуация, соответствующая разуплотнению грунта вследствие вывала породы, суффозии мелких частиц грунта в тоннель или снижения жесткости вплоть до разрушения обделки штольни возле фундаментов виадука, оценивается как недопустимая и ведущая к повреждению фундаментов виадука. В связи с этим на время эксплуатации подобных геотехнических систем в районе фундаментов мостов рекомендуется установка автоматизированных систем геотехнического мониторинга деформаций опор. В данном примере в систему должен входить мониторинг для контроля кренов, вибраций опор, а также зазора между торцами пролетных строений над этими опорами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Улицкий В. М. Геотехнические проблемы развития городов: монография / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. — Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. — 114 с. — ISBN 978-5-9902005-3-1. — EDN: [TARMZV](#). (дата обращения: 18.02.2026).
2. Оценка влияния заглубленных фундаментов на напряженное состояние обделок тоннелей / М. О. Лебедев, А. С. Саммаль, С. В. Анциферов, П. В. Деев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2024. — № 2. — С. 440–450. — EDN: [GGLVVP](#). (дата обращения: 18.02.2026).
3. Баранов Т. М. Жёсткость фланцевых стыков со связями растяжения сборных обделок тоннелей / Т. М. Баранов, Д. А. Зайнагабдинов // Мир транспорта. — 2022. — № 2(99). — С. 30–41. — DOI: [10.30932/1992-3252-2022-20-2-3](#). — EDN: [ZJTNZV](#). (дата обращения: 18.02.2026).
4. Зайнагабдинов Д. А. Транспортные тоннели и геодинамика горных массивов / Д. А. Зайнагабдинов, Н. М. Быкова // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 5(24). — С. 23. — EDN: [TKELKP](#). (дата обращения: 18.02.2026).
5. Бирбраер А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 594 с. — ISBN 978-5-7422-2370-2. — EDN: [QNOLOL](#). (дата обращения: 18.02.2026).

6. Резников Д. О. Построение многоуровневых моделей для оценки риска схода с рельсов железнодорожного поезда / Д. О. Резников // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ — 2020): сборник трудов V Международной научно-технической конференции в дистанционном формате, Москва, 27–29 октября 2020 года. — Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук, 2020. — С. 225–228. — EDN: [XAOKJN](#). (дата обращения: 18.02.2026).
7. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев [и др.]; под общей ред. А. В. Перельмутера. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. — 482 с.
8. Riera J.D. On the stress analysis of structures subjected to aircraft impact forces / J.D. Riera // Nuclear Engineering and Design. — 1968. — Т. 8. — С. 415–426. — DOI: [10.1016/0029-5493\(68\)90039-3](#). (дата обращения: 18.02.2026).
9. Баранов Т. М. Анализ работы бетонных обделок горных железнодорожных тоннелей в геодинамически активных районах / Т. М. Баранов, Д. А. Зайнагабдинов, Н. М. Быкова // Транспортные сооружения. — 2021. — Т. 8, № 1. — DOI: [10.15862/01SATS121](#). — EDN: [ZASPHI](#). (дата обращения: 18.02.2026).
10. Кочетков А. В. Риск-ориентированный подход при эксплуатации мостов / А. В. Кочетков, Ш. Н. Валиев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2024. — № 4(113). — С. 25–29. — EDN: [JIQEXA](#). (дата обращения: 18.02.2026).
11. Научные основы оценки предельного состояния мостовых сооружений по критериям допустимости риска нежелательного события / Ш. Н. Валиев, В. С. Надеждин, Д. А. Кочетков [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2024. — № 3. — С. 30–40. — DOI: [10.15593/24111678/2024.03.04](#). — EDN: [CJDFHJ](#). (дата обращения: 18.02.2026).
12. Лебедев М. О. Оценка и контроль геотехнических рисков при строительстве подземных сооружений на примере тоннелей БАМ / М. О. Лебедев, К. В. Романевич // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6, № 1. — С. 157–162. — DOI: [10.15372/FPVGN2019060127](#). — EDN: [QNQKQV](#). (дата обращения: 18.02.2026).
13. Нештатные ситуации при строительстве объектов метрополитена. Причины и ликвидация последствий / В. А. Швецов, В. Е. Меркин, А. А. Пискунов [и др.] // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 5(24). — С. 59. — EDN: [TKELYL](#). (дата обращения: 18.02.2026).
14. Быкова Н. М. Северо-Муйский тоннель из XX в XXI век / Н. М. Быкова, С. И. Шерман. — Новосибирск: Наука, 2007. — 186 с.
15. Надежность тоннельных конструкций при эксплуатации Северомуйского тоннеля / М. О. Лебедев, Ю. С. Исаев, А. Д. Басов [и др.] // Метро и тоннели. — 2019. — № 3. — С. 22–25. — EDN: [GQJHXI](#). (дата обращения: 18.02.2026).
16. Быкова Н. М. Напряжения в бетонной крепи тоннелей, находящихся в неоднородных горных массивах / Н. М. Быкова, Д. А. Зайнагабдинов, Т. М. Баранов // Транспортные сооружения. — 2022. — Т. 9, № 3. — DOI: [10.15862/07SATS322](#). — EDN: [OPTJYV](#). (дата обращения: 18.02.2026).
17. Лебедев М. О. Оценка и прогнозирование технического состояния обделки при эксплуатации транспортных тоннелей / М. О. Лебедев, К. П. Безродный, С. А. Шляев // Путь и путевое хозяйство. — 2019. — № 7. — С. 20–25. — EDN: [HBYIHA](#). (дата обращения: 18.02.2026).

Baranov Timofey Mihailovich

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

E-mail: Baranov-87@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3981-6413>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=926740

Safety of transport systems, taking into account the mutual influence of tunnel and bridge structures

Abstract. Ensuring the safety of transport systems in conditions of cramped buildings and difficult engineering and geological conditions requires taking into account the mutual influence of nearby structures. This task becomes particularly relevant at the intersection of bridge and tunnel structures connected by a single geotechnical environment. The interaction of such objects can lead to a redistribution of stresses in the soil mass, additional deformations of the foundations and a change in the stress-strain state of the lining.

Using the example of a real viaduct located above an existing transport tunnel and an adit, the article examines the features of assessing their mutual geotechnical influence in a static setting. The impact calculations were performed in a three-dimensional model in the GTS NX program.

The cases of loading a viaduct with operational loads and impacts are considered, and it is established that the stress-strain state of the supporting structures of the tunnel and the tunnel practically does not change when they are applied. The emergency situation of a train falling from a viaduct is considered, according to the calculation results, the additional efforts in the lining of the tunnel and tunnel do not exceed the efforts under seismic influences and are not dangerous. At the same time, changes in the soil environment around the tunnel, associated with decompression, removal of soil into the tunnel space, damage to lining and dumping of soil leads to damage to the foundations of the viaduct, rolls of supports and disruption of the geometry of the path on the viaduct.

The article develops proposals for geotechnical monitoring of the viaduct to ensure the safe operation of the transport system.

Keywords: geotechnical impact; tunnel; cast iron lining; bridge; viaduct; foundation damage; drilling poles; impact; locomotive fall; geotechnical monitoring