Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering https://t-s.today
2022, Том 9, № 4 / 2022, Vol. 9, No 4 https://t-s.today/issue-4-2022.html
URL: https://t-s.today/PDF/05SATS422.pdf
DOI: 10.15862/05SATS422 (https://doi.org/10.15862/05SATS422)

Долговечность сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов на пути их реновации

Белуцкий И.Ю., Лазарев И.В.

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лазарев Игорь Витальевич, e-mail: Lazarev_igor_v@mail.ru

Аннотация. В статье представлены конструктивно технологические аспекты реконструкции сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов по проектам, разработанным кафедрой «Мосты, основания и фундаменты», в настоящее время «Автомобильные дороги», воплощенные в практику на реальных объектах транспортной инфраструктуры на дорогах Дальнего Востока. Приведены данные, отражающие состояние реконструируемых пролетных строений в части дефектов железобетонной плиты проезда и анализ этих дефектов. Представлены принципиальные соображения в части мероприятий призванных обеспечить устойчивость балок в процессе проведения реконструкционных работ. Приведены данные по годам постройки, ремонта, реконструированных мостовых сооружений, на основе которых допустимо сделать выводы о сроке службы пролетных строений с учетом проведенных реконструкционных мероприятий, показывающих эффективность предлагаемых конструктивных мер, продлевающих срок работоспособности и срок службы пролетного строения. Анализ технического состояния сталежелезобетонных мостов акцентирует внимание на приоритетах совершенствования конструктивно-технологических решений проекта в сохранении работоспособного состояния сооружения (модернизация связующих элементов, замена изношенной плиты проезда на новую железобетонную или ортотропную) в отличие от организационно-технологических мер в составе профилактических, планово предупредительных работ по сохранению работоспособного состояния и эффективности конструктивных предложений в восстановлении потребительских свойств пролетных строений сталежелезобетонных мостов и мостовых сооружений в целом. Представленная в статье информация указывает на эффективность технологического вмешательства в отличие от организационно технологических мер в составе планово предупредительных работ, носящих пассивный характер и не оказывающих существенного влияния на увеличение грузоподъемности пролетного строения.

Ключевые слова: сталежелезобетонные пролетные строения; реконструкция; долговечность

The lasting quality of road bridges steel-reinforced concrete superstructures on the way to renovation

Igor Yu. Belutsky, Igor' V. Lazarev

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Corresponding author: Igor' V. Lazarev, e-mail: Lazarev_igor_v@mail.ru

Abstract. The article presents constructive technological aspects of the reconstruction of steel-reinforced concrete superstructures of road bridges, based on projects developed by the "Bridges and Foundation Engineering" department, currently known as "Roads". These projects have been implemented on actual transportation infrastructure objects in the Far East region. The article provides data reflecting the condition of the reconstructed superstructures in terms of defects in the reinforced concrete slab of the passage, along with an analysis of these defects. It also presents fundamental considerations regarding measures aimed at ensuring the stability of beams during the reconstruction process.

The article provides data on the years of construction, repair, and reconstruction of bridge structures, which can be used to draw conclusions about the service life of superstructures, taking into account the reconstruction measures implemented. The effectiveness of the proposed constructive measures is also demonstrated, as they extend the operational capacity and service life of the superstructure.

The technical condition analysis of steel-reinforced concrete bridges focuses on improving the structural and technological solutions of the project, such as modernizing connecting elements and replacing worn-out slabs with new reinforced concrete or orthotropic ones. This approach is contrasted with organizational and technological measures that are part of preventive, planned maintenance work aimed at maintaining the working condition and effectiveness of constructive proposals in restoring consumer properties of steel-reinforced concrete bridges superstructures and bridge structures in general.

The information presented in the article indicates the effectiveness of technological interventions, as opposed to passive, organizational, and technological measures as part of scheduled preventive work that does not have a significant effect on increasing the load capacity of the superstructure.

Keywords: steel-reinforced concrete superstructures; reconstruction; durability

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons "Attribution" («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons "Attribution" 4.0 Global License

Введение

Introduction

Сталежелезобетонные пролетные строения в автодорожных мостах нашли широкое применение для перекрытия больших пролетов при строительстве мостов через значительные водные преграды, как известно, получив свое распространение с конца 50-х годов [1]. На сегодняшний день отмеченные пролетные строения, в том числе запроектированные и построенные по проекту ЦНИИПСК № 43282, продолжают эксплуатироваться и в наше время [2]. Вопрос оценки долговечности пролетных строений сталежелезобетонных мостов, как и повышение нормативного срока их службы, являются сложными задачами, для решения которых необходимо учесть множество факторов [3–5].

Сталежелезобетонные пролетные строения уже сами по себе являются многоэлементными конструкциями, в которых железобетонная плита проезда, главные балки пролетного строения, элементы связей имеют разные запасы грузоподъемности соответственно разный срок службы. Практика обследований эксплуатируемых пролетных строений показывает, что быстрее всего утрачивает работоспособность железобетонная плита проезда и узлы ее объединения с металлическими балками, при достаточно удовлетворительном состоянии главных балок. Данный факт, в свою очередь, диктует основную концепцию реконструкционных работ и, следовательно, продление срока эксплуатации мостового сооружения.

Описание реализованных проектов реконструкции разработанных ТОГУ

Description of implemented reconstruction projects developed by Pacific National University

В публикации [6] представлены примеры реализации конструктивных предложений кафедры «Автомобильные дороги» Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ), направленных на восстановление потребительских свойств сталежелезобетонных мостов, как правило, на каждом из объектов реновации в органичной связи решены все основные задачи концепции[1], относительно обеспечения безопасности движения при развитых габаритах проезда, защищенных

[1] Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России / Минтранс России (утв. № ИС-1146-Р от 25.12.2002 г.), РОСАВТОДОР. — М., 2003. — 68 с.

современными ограждающими конструкциями, обеспечения требуемой грузоподъемности по условиям нормативных документов, действующих на момент проектирования, что в совокупности решает задачу улучшения транспортно-эксплуатационных показателей (ТЭП). Решение указанных задач наряду с восстановлением потребительских свойств сталежелезобетонных мостов продлевает срок их работоспособного состояния и срок службы. Далее покажем это на примере конкретных мостовых сооружений, как объектах внедрения конструктивных решений, предлагаемых кафедрой «Автомобильные дороги» (ТОГУ) в плане реновации объектов транспортной инфраструктуры.

В соответствии с концепцией улучшения состояния мостовых сооружений[1] считаем справедливым отметить, что инициатива реновации сталежелезобетонных мостов в деятельности ТОГУ впервые была заявлена в 1994 году и связана с заданием Примавтодора (г. Владивосток) по улучшению ТЭП моста через р. Илистая на 620 км автомобильной дороги федерального значения «Хабаровск — Владивосток». Проект моста по схеме 7х42,5 м с пролетными строениями проектировки ЦНИИПСК № 43282 габаритом Г-8+2х1,0 м под нагрузки Н-30, НК-80 в составе мостового перехода разработан Хабаровским институтом Дальгипротранс, строительство моста осуществлено Дорожно-мостостроительным районом № 4 Дальупрдора Хабаровск — Владивосток с вводом сооружения в эксплуатацию в 1970 г. В порядке предыстории отметим, что неудовлетворительное состояние плиты потребовало замены ее отдельных блоков в 1976 г. (1 блок), в 1979 г. (3 блока). К 1994 году было уже заменено 16 дефектных блоков плиты проезда.

Из всей информации по результатам обследования 1994 г. в интересующем плане нужно отметить, что состояние железобетонной плиты проезда характеризовалось дефектами, наиболее значимые из которых:

- повсеместно распространенные на нижней поверхности плиты трещины с шириной раскрытия 1 мм и более, ориентированные вдоль рабочей арматуры;
- картину надтреснутого бетона дополняла картина следов выщелачивания бетона и рыжие следы коррозии арматуры инициированной процессами карбонизации бетона;
- выколы и вывалы бетона в очагах деструктивных процессов;
- разрушение бетона поперечных швов с оголением арматуры заполнения швов;
- эрозия бетона бортовых элементов консолей плиты под действием морозобойных явлений.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Анализ дефектов плиты в качестве главенствующей причины их появления указал на отступления в составе бетона, нарушения технологии изготовления плит и неутешительный прогноз в отношении их работоспособности в дальнейшем.

При обследовании металлоконструкций кроме отдельных отступлений от проектных решений и дефектов (не влияющих принципиально на несущую способность пролетных строений, отражающих несовершенство отдельных узлов, устранимых в плане ремонтных работ) были зафиксированы деформации выпучивания верхних поясов в двух пролетах и потеря строительного подъема практически всеми балками. Среднее значение фактического остаточного строительного подъема по 14-ти балкам 7-ми пролетов составило $f_{\text{стр.о}}^{\text{ф}} = -2{,}09$ см.

Потеря строительного подъема могла быть обусловлена следующими причинами:

1. Не эффективным включением плиты в совместную работу с балками в связи с недоброкачественным бетоном; на это указывает сопоставление приращений прогибов за периоды 1970–1979 и 1979–1994 гг. что не позволило установить четкой тенденции к стабилизации деформаций.

2. Утрата строительного подъема могла быть связана с заменой отдельных разрушенных блоков плиты без воссоздания в балках пролетных строений напряженного состояния, соответствующего двухстадийной схеме их работы по проекту ЦНИИПСК № 43282; в связи с чем, передача усилий от суммарного действия постоянных нагрузок на стальную часть сечения могла спровоцировать пластические деформации в верхнем поясе на локальном участке замены разрушенного блока, а в зоне монтажного стыка (на заклепках) его податливость.

3. Недостаточной величиной начального строительного подъема $f_{\text{стр}} = 15$ см, задаваемой пролетным строениям их монтажной схемой по проекту ЦНИИПСК № 43282.

Расчеты подтвердили справедливость предположений. При отсчете от ординаты строительного подъема $f_{\text{стр}} = 15$ см значений прогибов стальной и сталежелезобетонной балки (с приведенным моментом инерции $I_{stb,kr}$) воспринимающих только постоянные нагрузки соответственно первой и второй стадий, вероятная величина остаточного строительного подъема может составить $f_{\text{стр.о}} = -0{,}31$ см.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Тогда в величине провисания балок вскрываются перемещения (1), дополняющие модель их деформированного состояния, которые логично отнести на счет податливости монтажных стыков, влияние которых на общие деформации пролетного строения было показано в монографии [7].

$$\Delta f_{\text{стр}} = f_{\text{стр.о}}^{\text{ф}} - f_{\text{стр.о}} = -1{,}78 \text{ см}, \quad (1)$$

Анализ деформированного состояния пролетных строений [7] подтвердил обоснованность наших предположений. Таким образом, состояние собственно железобетонной плиты и неблагоприятное влияние этого на работу пролетных строений в целом делало не эффективной дальнейшую эксплуатацию в прежнем качестве.

На основе и с учетом данных обследования было выдвинуто предложение по реконструкции пролетных строений путем полной замены железобетонной плиты новой с обеспечением развитого габарита проезда Г-8,8+2х0,75 принятого по согласованию с Заказчиком работ комитетом дорожного хозяйства администрации Приморского края.

В качестве основных задач в ходе выполнения расчетной части, проекта производства работ, рассматривались вопросы сохранения несущей способности пролетных строений, достаточной для пропуска нагрузок А11, НК-80 и воссоздания строительного подъема балок. Выбору варианта производства работ с реализацией поставленных задач предшествовали расчеты по оценке устойчивости пролетных строений в период монтажа старой и монтажа новой плиты и проработка возможных схем регулирования усилий для воссоздания строительного подъема.

Расчеты по проверке устойчивости пролетных строений в соответствии с п. 4.41 СНиП 2.05.03-84* (действующего на момент разработки проекта) с оценкой критического момента по решениям [8] на основе теории проф. В.З. Власова [9] показали необходимость конструктивных мер по обеспечению устойчивости балок. В качестве таких мер приняты временные промежуточные опоры, воспринимающие опирание пролетных строений в сечениях средних монтажных стыков.

Порядок использования временных опор, определенный с учетом результатов прогноза деформаций и оценки напряженного состояния пролетных строений был принят следующим:

- - в период демонтажа плиты временные опоры следят за высотным положением пролетных строений (при непрерывной их подклинке), гарантируют устойчивость балок изгибно-крутильной формы и, таким образом, обеспечивают безопасность работ при демонтаже плиты проезда;

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

- в период монтажа новой плиты до ее объединения с балками высотное положение временных опор, фиксирующих высотное положение балок после демонтажа старой плиты, остается постоянным.

Принятому порядку работы временных опор соответствуют статическая схема пролетных строений и сочетание постоянных нагрузок и усилий по следующим стадиям (рис. 1):

На 1-й стадии:

- собственный вес металлоконструкций воспринимается балкой пролетом $l = 42{,}5$ м, вес железобетонной плиты передается на трехпролетную балку со схемой 15,13 + 12,25 + 15,13 м, работающих стальным сечением.

На 2-й стадии:

- усилия регулирования как реакции временных промежуточных опор после их разгрузки и вес элементов мостового полотна (дорожная одежда, тротуары, ограждения) воспринимаются балкой пролетом $l = 42{,}5$ м, работающей объединенным сечением с учетом появления в бетоне деформации ползучести и усадки;
- усилия от временных нагрузок воспринимаются сталежелезобетонным пролетным строением $l = 42{,}5$ м, для которого геометрические характеристики сечения определяются с учетом начального модуля упругости бетона.

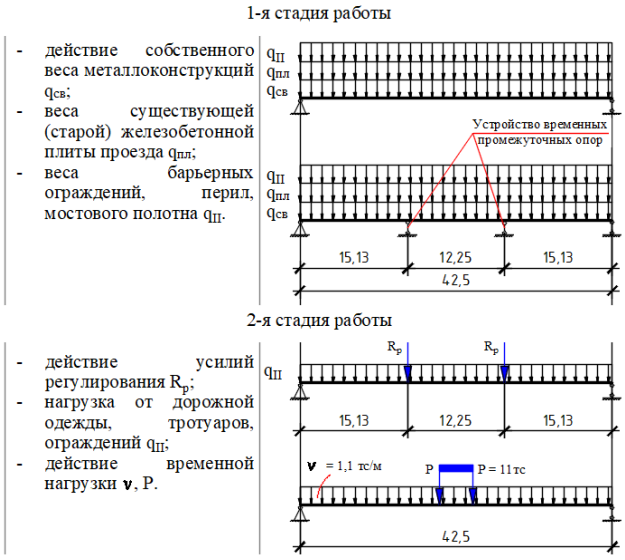


Рисунок 1. *Стадии регулирования усилий при реконструкции сталежелезобетонного пролетного строения с устройством новой железобетонной плиты (разработано авторами)*

Figure 1. *Force regulation stages during the reconstruction of a steel-reinforced concrete superstructure with the new reinforced concrete slab installation (developed by the authors)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Реализация выдвинутых предложений сопровождается интенсификацией работы бетона и связующих элементов по шву объединения балки и плиты. Поэтому участие временных опор в формировании напряженного состояния вновь создаваемой структуры пролетных строений, ограниченное началом их нагружения железобетонной плитой, было увязано с решением поставленных задач по обеспечению достаточной несущей способности, приемлемой геометрии строительного подъема, минимума работ по усилению связующих элементов и созданию безопасной технологии демонтажа старой и устройства новой плиты проезжей части, работы по усилению связующих элементов коснулись лишь последних двух крайних упоров на каждой из балок (в каждом из пролетов) и сводились к постановке вертикальных ребер жесткости, дублирующих существующие ребра жесткости.

а)

б)

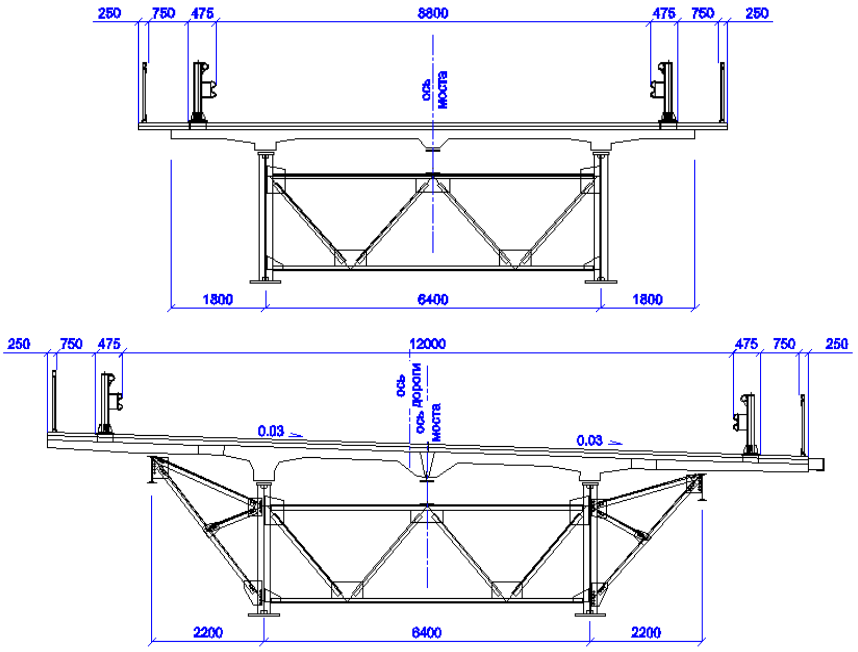


Рисунок 2. *Поперечное сечение пролетного строения моста через р. Тамга (односкатный профиль обусловлен расположением моста на кривой в плане): а) до реконструкции; б) после реконструкции (разработано авторами)*

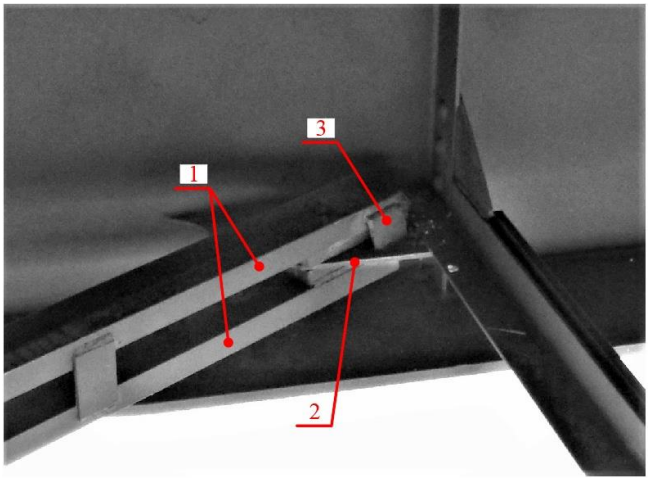
Figure 2. *Cross section of the bridge superstructure over the Tamga river (one-way slope profile is due to the bridge located on the curve in the plan): a) before reconstruction; b) after reconstruction (developed by the authors)*

Итак эффект внедрения конструктивных предложений кафедры «Автомобильные дороги» ТОГУ в улучшении транспортно-эксплуатационных показателей сталежелезобетонных мостов и одновременно продлевающих срок их работоспособного состояния и срок службы покажем на примере реконструкции сталежелезобетонных мостов на автомобильной дороге федерального значения «Уссури» Хабаровск — Владивосток на 293 км моста через реку «Тамга». Детальная характеристика моста, как объекта реконструкции с указанием режима

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

регулирования усилий, результатов оценки напряженного состояния поперечных сечений пролетных строений дана в монографии [10]. Чертежи трансформированного поперечного сечения пролетного строения, адаптированного к развитым габаритам плиты проезда, представлены на рисунке 2. В характеристике работы вновь созданного с развитыми габаритами пролетного строения заслуживает внимания следующее:

- участие горизонтальных связей в составе поперечного сечения пролетного строения вскрывает актуальность оценки усилий в горизонтальных связях, в которых идет накопление усилий от действия 1-й части постоянной нагрузки, большей в сравнении с проектной при увеличенных консолях и действия временной нагрузки естественно с увеличенным эксцентриситетом, в совокупности интенсифицирующие работу пролетного строения на кручение и соответственно работу горизонтальных связей как элементов замкнутого контура, что в свою очередь потребовало усиления узла соединения полураскоса горизонтальной связи с фасонкой горизонтальных связей посредством приварки планки, одним краем к полке швеллера полураскоса горизонтальной связи, другим краем к фасонке горизонтальных связей (рис. 3). Актуальность данного вопроса подтверждают работы проф. Новожиловой Н.И.[2]



1 — швеллер полураскоса горизонтальных связей; 2 — фасонка горизонтальных связей; 3 — планка усиления (верхний край планки приварен к полураскосу горизонтальных связей, нижний к фасонке горизонтальных связей)

1 — lateral strut channel kneepiece; 2 — lateral strut gusset plate; 3 — reinforcement bar (the upper edge of the bar is welded to the lateral strut kneepiece, the lower edge to the lateral strut gusset plate)

Рисунок 3. *Узел усиление связей (разработано авторами)*

Figure 3. *Node point (developed by the authors)*

[2] Новожилова Н.И. Усталость металла мостовых конструкций и способы ее учета: Уч. пособие. — Л.: ЛИСИ, 1985. — 86 с.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

В порядке заключения отметим, после завершения реконструкции мост введен в эксплуатацию в конце ноября 2014 г. Вводу моста в эксплуатацию предшествовали статические и динамические испытания. По результатам статических испытаний наиболее значимым результатом отмечается практическое равенство деформаций бетона по нижним фибрам вута плиты проезда и верхним поясам балок, что указывает на обеспечение совместной работы бетона плиты и металла балок благодаря эффективной работе связующих элементов, предложенных в проекте реконструкции [10].

Отдельного внимания заслуживают указания на необходимость тщательного анализа работы соединительной плиты и ее взаимодействия с элементами концевого участка балки пролетного строения. По результатам динамических испытаний был установлен период свободных колебаний по основной форме $T_{факт}$ = 0,368 с, который совершенно согласуется с результатами реализации конечно-элементной модели созданной в среде ПК Midas Civil которые составили T = 0,364 с [10].

Отдельной позицией, заслуживают внимания данные о том, что в колебательном процессе пролетного строения установлена тенденция перехода поперечных колебаний в вертикальной плоскости в крутильные колебания, что могло быть инициировано различием изгибных жесткостей балок и подпитываться сосредоточением масс в удлиненных консолях плиты проезда. Что могло быть инициировано различием изгибных жесткостей левой и правой балок, в соответствии со схемой (рис. 2), на котором отчетливо видны различные по высоте вуты ж.б. плиты проезжей части над левой и правой балками. В этой связи может быть интересным предложение по трансформации поперечного сечения пролетного строения в многосекционное сечение с наделением каждой из секций свойствами замкнутого контура.

Расчеты, проведенные в ХФ ОАО «Гипродорнии» определили экономическую выгоду реконструкции моста через реку Тамга в сравнении со строительством нового сталежелезобетонного моста по схеме 2х42,6 в размере 11,08 млн руб., а в сравнении со строительством нового железобетонного моста по схеме 3х33 м, экономическая выгода составила 11,712 млн руб. Таким образом, воплощение в жизнь конструктивных предложений, выдвинутых кафедрой, «Автомобильные дороги» (ТОГУ), позволило решить все основные задачи «Концепции»[1], а именно:

- безопасность транспортного и пешеходного движения при развитии габаритов и устройстве современных барьерных ограждений;

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

- несущая способность необходимая для пропуска нагрузок класса А14, Н14;
- автодорожный мост через р. Тамга, с требуемыми параметрами, сохранен в качестве действующего звена транспортной магистрали Хабаровск — Владивосток.

И можно определенно полагать, что новая железобетонная плита проезда, устроенная в соответствии с программой реновационных мер в составе проекта реконструкции сохранит срок работоспособности в пределах параметров долговечности, которые устанавливает таблица 1, методики расчетного прогнозировании[3]. Среднее значение параметра долговечности по данным таблицы 1 составляет 20 лет.

Другим не менее примечательным примером в плане реализации положений Концепции[1], в части восстановления потребительских свойств автодорожных мостов и продления их срока работоспособного состояния и срока службы является пример реконструкции моста через реку Амба [11] на 50 км автомобильной дороги Раздольное — Хасан в Приморском крае. Действительно по сведениям старожилов мост построен в 1953 г. и возвращенный в 2007 году в эксплуатацию в качестве мостового сооружения удовлетворяющего всем требованиям СНиП 2.05.03-84* является не только ярчайшим доказательством справедливости конструктивного направления и его продуктивности в возрождении мостовых сооружений, но и технической эффективности решения на основе синтеза вопросов трансформации компоновочных решений металлоконструкций пролетных строений, трансформации поперечных сечений плиты, регулирования усилий в несущих конструкциях, создания начальных напряжений, натяжением высокопрочной арматуры, устройством сдвигоустойчивых при многоцикловом нагружении связующих элементов для объединения в совместную работу бетона плиты и металла балки.

Для обозначенных выше сооружений, реконструкция которых была направлена на замену старой железобетонной плиты, новой железобетонной плитой в новом компоновочном исполнении, очевидно, будет справедлив учет корректирующего параметра долговечности на основе данных таблице 1 и равного $\Delta = 20$ годам.

Итак, для построения более целостной и статистически обоснованной картины данных о временн***ы***х интервалах продолжительности работоспособного состояния, стажа эксплуатации и срока службы сталежелезобетонных мостов с учетом хронологических

[3] Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Минтранс России. — М., 2002. — 140 с.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

событий, характерных для каждого из объектов исследования, к рассмотрению приняты:

- Сталежелезобетонный мост через реку Илистая на 620 км автомобильной дороги федерального значения «Уссури» «Хабаровск-Владивосток» [7].
- Сталежелезобетонный мост через реку «Тамга» на 293 км а.д. «Уссури» [10].
- Сталежелезобетонный мост через реку «Амба» на 50 км а.д. «Раздольное-Хасан» в Приморском крае [11].

Обобщение результатов

Results generalization

Ранее представленные мостовые сооружения как объекты внедрения предложений кафедры «Автомобильные дороги» ТОГУ дополним данными, с учетом которых становится очевидной целесообразность проведения в своевременном порядке конструктивных мер в решении задачи восстановления потребительских свойств и продления сроков работоспособности и сроков службы мостовых сооружений.

Далее, в таблице 1 для представленных объектов внедрения приведены данные по годам постройки, ремонта, и сопутствующие данные по стажу эксплуатации $Т_э$ и сроку службы с ориентацией на год идентификации (2021 г.).

В порядке обоснования механизма формирования данных таблицы 1 отметим следующее. Графа «Период после ремонта» включает две позиции, первая позиция $Т_{рем}$ представляет непосредственную разность между годом идентификации (2021 год) и годом ремонта. Вторая позиция $Т^{**}_{рем}$ включает корректирующий параметр времени Δ, учитывающий долговечность новых железобетонных элементов в работе сталежелезобетонных мостов; параметр времени Δ, принят на основе данных таблицы 2. Методики[3] со средним значением равным $\Delta = 20$ годам. Учет параметра времени Δ в определении $Т^{**}_{рем}$ продиктован необходимостью обеспечения большей объективности в оценке $Т^{**}_{рем}$ работоспособной эксплуатации новой железобетонной плиты проезда, а вместе с этим и всего сооружения с новыми железобетонными плитами на сталежелезобетонных мостах через реку Илистая, реки Амба и Тамга.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Таблица 1 / Table 1

Данные к определению продолжительности временных интервалов, периодов после ремонта, стажа эксплуатации, Тэ, срока службы Тсл

Data for determining the duration of time intervals, periods after repair, service life, Te, service life Tsl

Объект реновации и год его постройки Renovation object and year of its construction	Год ремонта Repair year	Период после ремонта Period after repair		Стаж эксплуатации объекта Object operating time $T_э \approx T_р$	ΔT^{**}	Срок службы сооружения The service life of the building $T_э + \Delta T^{**} + T_{сл}$
		$T_{рем}$	$T^{**}_{рем}$			
Мост через р. Илистая, 1970 г. Bridge over the Ilistaya river, 1970	1995	26	46	51	20	71 год
Мост через р. Тамга, 1972 г. Bridge over the Tamga river, 1972	2014	7	27	49	20	69
Мост через р. Амба, 1953 г. Bridge over the Ambariver, 1953	2007	14	34	68	20	88
Мост через р. Кабарга, 1973 г. Bridge over the Kabarga river, 1973	2020	1	26	48	25	73

Действительно, трудно согласиться с тем, что после устройства новой железобетонной плиты проезда срок ее работоспособности, а вместе с этим и всего сооружения в случае моста через реку Амба составит 14 лет, а моста через реку Тамга 7 лет. В аналогичном порядке после устройства нового ортотропного настила, его работоспособность и работоспособность пролетных строений моста через реку Кабарга, по мнению автора сборника лекций[4], может составить 23–25 лет.

С учетом того, что металлоконструкции пролетных строений моста через реку Кабарга после 48 лет эксплуатации сохранили потенциал для их использования в новых пролетных строениях с требуемыми габаритами и грузоподъемностью можно полагать, что будет более обоснованным, если корректирующий параметр времени Δ для металлоконструкций пролетных строений моста через реку Кабарга принять равным $\Delta = 25$ годам.

Полученные в таблице 1 данные по продолжительности временных интервалов, в частности периода после ремонта $(T^{*}_{рем})$, срока службы сооружения $(T_{сл})$, стажа эксплуатации $(T_э)$ идентифицированного со сроком работоспособности $(T_р)$, согласуются с ориентирами которые

[4] Боровик Г.М. Искусственные сооружения на железных дорогах: сборник лекций: учебное пособие: в двух частях. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. — 339 с.

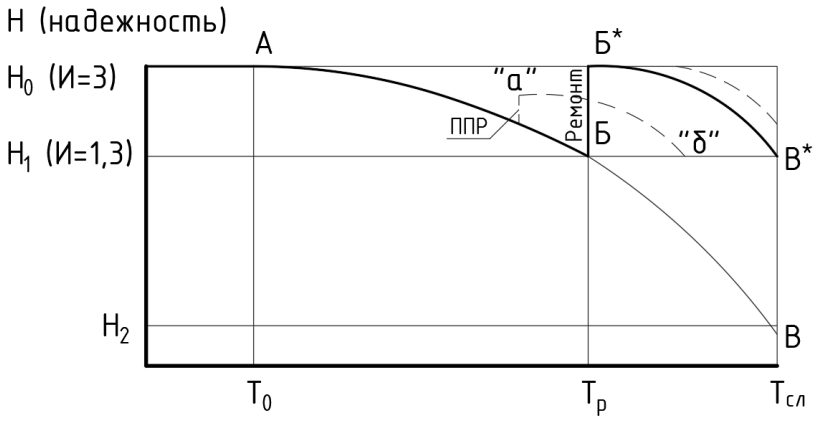
устанавливает «Концепция» а также с принципиальными положениями Финансовой политики идеологии содержания[1] или адекватной ей стратегией эксплуатации[3].

Итак, ориентиры Концепции в отношении продолжительности:

- работоспособной эксплуатации после ремонта желательно (25–30 лет);
- срока работоспособности $(T_р)$ 35–40 лет;
- предельного срока службы сооружения $(T_{сл})$ до 60–70 лет.

По данным таблицы 1, период после ремонта составляет 26–46 лет; стаж эксплуатации 48–68 лет; срок службы сооружения 69–88 лет. Таким образом, сопоставление ориентиров «Концепции» и соответствующих им временных интервалов по таблице 1 показывает, что своевременные меры по реновации сталежелезобетонных мостов дают результаты, органично согласующиеся с принципиальными положениями «Концепции»[1], предусматривающими инвестиции в необходимом объеме для поддержания эксплуатируемых мостов в работоспособном состоянии и в достаточном объеме инвестиции для развития и строительства новых объектов транспортной инфраструктуры.

В графе «Стаж эксплуатации» приведены данные как разность между годом идентификации (2021 год) и годом постройки моста как объекта исследования. Данные графы «Стаж эксплуатации» по сути, представляются констатацией эффективности предложенных конструктивных мер сопровождающих ремонт объекта и привносящих в него дополнительные ресурсы, продлевающие срок его работоспособности и срок его службы (рисунок 4 пунктирные линии Б-Б).



T_0 — *период приработки;* $T_р$ — *работоспособность;* $T_{сл}$ — *предельный срок службы*

T_0 — burn-in period; T_r — performance; T_{sl} — service life limit

Рисунок 4. *График снижения надежности сооружения*[1]

Figure 4. *Structure reliability degradation diagram*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Таким образом, установленный стаж эксплуатации, найденный с учетом фактического состояния сооружения на момент ремонта и с учетом реальных условий эксплуатации каждого из представленных объектов, можно принять в качестве ориентира срока работоспособности $T_р$, а сумма $(T_р + \Delta T^{**})$, где ΔT^{**} может быть принята в качестве ориентира срока службы ($T_{сл}$) сталежелезобетонных пролетных строений обследованных объектов с акцентом внимания на том, что своевременные меры по реновации сталежелезобетонных мостов позволяют успешно решить основные задачи «Концепции» по обеспечению:

- безопасного движения;
- требуемой грузоподъемности;
- повышения срока службы сооружения;
- разумно взвешенного распределения финансовых потоков, достаточных для сохранения в работоспособном состоянии эксплуатируемых мостов, необходимых для строительства новых объектов и развития транспортной инфраструктуры.

Безусловно предлагаемые в качестве ориентиров сроки работоспособного состояния и срока службы, величины $T_э \approx T_р$ и $(T_э + \Delta^{**})$ действительно являются ориентирами названных временных интервалов. Поскольку границы срока работоспособности и срока службы сооружения пока не привязаны к графику изменения индекса надежности, трактующего границы указанных важнейших этапов функционирования сооружения с позиции обеспеченности требуемого уровня вероятности безотказной работы несущих конструкций. Вместе с тем, представленные материалы отражают данные по конкретным мостовым сооружениям, на которых, как объектах реновации решены предусмотренные концепцией основные задачи улучшения состояния мостовых сооружений:

1. Улучшена безопасность и комфортность транспортного и пешеходного движения устройством развитых габаритов и ограждений соответствующей удерживающей способностью, устройством непрерывной проезжей части в составе температурно-неразрезных пролетных строений в случае с железобетонной плитой проезда, и в случае с ортотропной плитой проезжей части.
2. Увеличена грузоподъемность пролетных строений, отвечающая требованиям СП 35.13330, внедрением предварительного напряжения посредством пучков высокопрочной напрягаемой арматуры, регулирования усилий выдомкрачиванием пролетных строений на временных опорах; объединение балок и

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

железобетонной плиты проезда на связующих элементах, сдвигоустойчивых при многоцикловом нагружении.

Представленный в статье материал заслуживает внимания еще и потому, что привязанный к конкретным мостовым сооружениям с их историей по датам строительства, ввода в эксплуатацию, ремонта, реконструкции со ссылкой на проектные решения, позволяет оценить эффективность и работоспособность отдельных вариантов реконструкции их надежность в долговременной перспективе и на этой основе с учетом информации других источников сформировать базу данных наиболее приемлемых технических решений, для которых качественная оценка таких показателей как работоспособность и срок службы может быть дана с привлечением теоретических построений, изложенных в работе В.И. Шестерикова [12]. В дополнение следует отметить тот факт, что на сегодняшний день в действующем СП 35.13330.2011 (приложение 6) приведены минимальные проектные сроки службы и сроки службы до первого ремонта мостов и конструктивных элементов мостовых сооружений, дополнительно представленные в таблица 2. Также отмечено, что срок службы несущих конструкций после ремонта должен быть не меньше 25 лет (п. 5.2 СП 35.13330.2011).

Таблица 2 / Table 2

Минимальные сроки службы и сроки до первого ремонта мостов и конструктивных элементов мостовых сооружений

Minimum service life and time until the first repair of bridges and structural elements of bridge structures

Конструктивная часть Structural part	Элемент конструкции Structural element	Срок службы, годы Working life, years	Срок до первого ремонта, годы Time to first repair, years
Пролетные строения автодорожных и городских мостов Road and city bridges superstructures	Стальные и сталежелезобетонные: Steel and steel-reinforced concrete: - длиной до 60 м - length up to 60 m - длиной 60 м и выше - length 60 m and above	70 100	40 50

Опираясь на данные представленные в таблице 1 в отношении существующих эксплуатируемых сооружений, данные таблице 2 (повторяющей положения СП 35.13330.2011), следует, что обеспечение нормативной продолжительности срока службы мостовых сооружений возможно только при эффективном конструктивном вмешательстве, что подтверждает опыт реконструкции реальных объектов (табл. 1).

В статье [13] на основе величины индекса надежности (единого показателя надежности), приведена методика, на основании которой выполняется оценка надежности конструкции в любой момент времени с учетом дефектов и возможных повреждений. Таким образом, вскрывается

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

вопрос, о актуальности разработки и включения в действующие нормативные документы методики по прогнозированию сроков службы, что также отмечают авторы публикаций [14; 15] в отношении производственных зданий.

Выводы и заключение

Summary and conclusions

В порядке обобщения представленного опыта восстановления работоспособности эксплуатируемых сталежелезобетонных мостов считаем уместным обратить внимание на то, что ключевым условием успешного производства работ по реконструкции сталежелезобетонных мостов в технологической части производства является возведение под пролетным строением временных опор, использование которых:

- минимизирует риски потери сплошностенчатыми балками устойчивости изгибно-крутильной формы;
- формирует условия для свободы маневра крановых агрегатов и транспортных средств, необходимо сопровождающих демонтаж старой плиты и устройство новой плиты проезда, в металле или железобетонном исполнении;
- создает основу для регулирования усилий с целью наиболее эффективного использования прочностных свойств материалов в обеспечении ресурса несущей способности и грузоподъемности пролетных строений.

Следует отметить, что безальтернативным условием обеспечения максимальной продолжительности сроков работоспособности и срока службы, является выполнение работ по реконструкции сооружения в период его работоспособного состояния.

А в научно-методическом обосновании выбора последовательности технологических операций значимую роль сыграли полученные решения [6; 7; 10] по оценке устойчивости изгибно-крутильной формы сплошностенчатых балок при работе их на действие монтажных нагрузок, сопутствующих надвижке пролетных строений, а также устройству плиты проезжей части при организации работ, предусматривающей пропуск рабочего движения по одной полосе проезжей части и одновременно с этим пропуск транзитного движения по другой полосе проезжей части.

Весомым аргументом в пользу реального воплощения выдвинутых предложений является успешно проведенная в 1995 году реконструкция сталежелезобетонного моста по схеме 7х42,5 через реку Илистая на 620 км автомобильной дороги федерального значения Хабаровск — Владивосток.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Прошедшие 27 лет успешной эксплуатации совершенно согласуются с требованиями Концепции[1], устанавливающей 25–30 лет работоспособной эксплуатации после ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Стрелецкий, Н.Н.** Сталежелезобетонные пролетные строения мостов / Н.Н. Стрелецкий. — Москва: Транспорт, 1981. — 360 с.
2. **Боровиков, А.Г.** Оценка грузоподъемности сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов / А.Г. Боровиков, В.М. Картопольцев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2013. — № 4. — С. 273–279. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20935834 (дата обращения: 02.10.2022).
3. **Осипов, В.О.** Долговечность металлических пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов / В.О. Осипов. — Москва: Транспорт, 1982. — 287 с.
4. **Быстров, В.А.** Проблемы обоснования режимов фактической динамической нагруженности и ресурса долговечности конструкций сталежелезобетонных автодорожных и городских мостов / В.А. Быстров, Н.В. Козак, Д.А. Ярошутин. — DOI https://doi.org/10.15862/06SATS419 // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 4. — С. 06SATS419. — URL: https://t-s.today/06SATS419.html (дата обращения: 02.10.2022).
5. **Феоктистова, Е.П.** Оценка остаточного усталостного ресурса металлических балок сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Е.П. Феоктистова. — DOI https://doi.org/10.15862/15SATS319 // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 3. — С. 15SATS319. — URL: https://t-s.today/15SATS319.html (дата обращения: 02.10.2022).
6. **Белуцкий, И.Ю.** Практика реновации сталежелезобетонных мостов в восстановлении их потребительских свойств / И.Ю. Белуцкий, И.В. Лазарев, А.В. Лапин // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2022. — № 2. — С. 28–34.
7. **Белуцкий, И.Ю.** Совершенствование методов оценки работоспособности эксплуатируемых сталежелезобетонных пролетных строений / И.Ю. Белуцкий. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — 280 с.
8. **Белуцкий, И.Ю.** Расчет пролетных строений сталежелезобетонных мостов на монтажные нагрузки: Монография / И.Ю. Белуцкий, И.В. Лазарев. — Владивосток: Дальнаука, 2021. — 131 с.
9. **Власов, В.З.** Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов. — Москва: Физматгиз, 1959. — 532 с.
10. **Белуцкий, И.Ю.** Конструктивно-компоновочные решения и моделирование работы элементов сопряжений температурно-неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений / И.Ю. Белуцкий, Чжао Цзянь. — Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2015. — 231 с.
11. **Белуцкий, И.Ю.** Восстановление функциональных параметров сталежелезобетонных мостов / И.Ю. Белуцкий, В.Е. Казаринов, Б.А. Марухин // Транспортное строительство. — 2009. — № 5. — С. 8–10. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23283839 (дата обращения: 14.10.2022).
12. **Шестериков, В.И.** Оценка долговечности мостов с различными конструкциями пролетных строений / В.И. Шестериков // Труды НПО Росдорнии. — 1993. — № 6. — С. 157–167.
13. **Потапкин, А.А.** Оценка ресурсов мостов с учётом дефектов и повреждений / А.А. Потапкин // Повышение надежности строящихся и эксплуатируемых мостов. Сборник / Павловск: ДУИЦ, 1996.
14. **Бережнов, К.П.** Прогнозирование долговечности конструкций фабрик алмазодобывающей промышленности / К.П. Бережнов, В.С. Суплецов // Промышленное и гражданское строительство. — 2010. — № 4. — С. 13–15. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=13621598 (дата обращения: 14.10.2022).

15. **Корнилов, Т.А.** Вероятностная оценка расчетного срока службы строительных конструкций промышленных предприятий / Т.А. Корнилов, В.С. Суплецов // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 8. — С. 3–17. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26477161 (дата обращения: 14.10.2022).

Сведения об авторах:
Белуцкий Игорь Юрьевич — доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: mosttogu@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3881-2050
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=272934

Лазарев Игорь Витальевич — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: Lazarev_igor_v@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4677-7478
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1125495

Статья получена: 26.11.2022. Принята к публикации: 15.02.2023. Опубликована онлайн: 01.03.2023.

REFERENCES

1. Streletskiy N.N. Stalezhelezobetonnyye proletnyye stroyeniya mostov [Steel-reinforced concrete superstructures of bridges]. Moscow: Transport; 1981. (In Russ.).
2. Borovikov A.G., Kartopol'tsev V.M. Assessment of Load Capacity of Composite-Girder Bridge Spans. *Journal of Construction and Architecture*. 2013; (4): 273–279. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20935834 (accessed 2nd October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Osipov V.O. Dolgovechnost' metallicheskikh proletnykh stroyeniy ekspluatiruyemykh zheleznodorozhnykh mostov [Durability of metal superstructures of operated bridges]. Moscow: Transport; 1982. (In Russ.).
4. Bystrov V.A., Kozak N.V., Yaroshutin D.A. Problems of real dynamically loading mode and structure fatigue mode determination in composite steel-concrete city and road bridges. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019; 6(4): 06SATS419. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.15862/06SATS419.
5. Feoktistova E.P. Assessment of residual fatigue life of metal beam of reinforced concrete superstructures of road bridges. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019; 6(3): 15SATS319. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.15862/15SATS319.
6. Belutskiy I.Yu., Lazarev I.V., Lapin A.V. Praktika renovatsii stalezhelezobetonnykh mostov v vosstanovlenii ikh potrebitel'skikh svoystv [The practice of renovation of steel-reinforced concrete bridges in restoring their consumer properties]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2022; (2): 28–34. (In Russ.).
7. Belutskiy I.Yu. Sovershenstvovaniye metodov otsenki rabotosposobnosti ekspluatiruyemykh stalezhelezobetonnykh proletnykh stroyeniy [Improving the methods for assessing the performance of operated steel-reinforced concrete superstructures]. Vladivostok: Dal'nauka; 2003. (In Russ.).
8. Belutskiy I.Yu., Lazarev I.V. Raschet proletnykh stroyeniy stalezhelezobetonnykh mostov na montazhnyye nagruzki: Monografiya [Calculation of spans of steel-reinforced concrete bridges for installation loads: Monograph]. Vladivostok: Dal'nauka; 2021. (In Russ.).
9. Vlasov V.Z. Tonkostennyye uprugiye sterzhni [Thin-walled elastic rods]. Moscow: Fizmatgiz; 1959. (In Russ.).
10. Belutskiy I.Yu., Chzhao Tszyan' Konstruktivno-komponovochnyye resheniya i modelirovaniye raboty elementov sopryazheniy temperaturno-nerazreznykh stalezhelezobetonnykh proletnykh stroyeniy [Structural and layout solutions and modeling of the operation of interface elements of temperature-continuous steel-reinforced concrete superstructures]. Khabarovsk: Pacific National University; 2015. (In Russ.).

11. Belutskij I.Yu., Kazarinov V.E., Marukhin B.A. Restoration of Functional Parameters of Composite Bridges. *Transport construction*. 2009; (5): 8–10. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=23283839 (accessed 14th October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).

12. Shesterikov V.I. Otsenka dolgovechnosti mostov s razlichnymi konstruktsiyami proletnykh stroyeniy [Evaluation of the durability of bridges with different span structures]. *Trudy NPO Rosdornii*. 1993; (6): 157–167. (In Russ.)

13. Potapkin A.A. Otsenka resursov mostov s uchëtom defektov i povrezhdeniy [Estimation of bridge resources taking into account defects and damage]. In: Povysheniye nadezhnosti stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh mostov. Sbornik [Improving the reliability of bridges under construction and in operation. Collection]. Pavlovsk: Road Training and Engineering Center; 1996.

14. Berezhnov K.P., Supletsov V.S. Forecasting of Durability of Structures of Factories of The Diamond-Mining Industry. *Industrial And Civil Engineering*. 2010; (4): 13–15. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=13621598 (accessed 14th October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).

15. Kornilov T.A., Supletsov V.S. Probabilistic Assessment of Design Operation Life of Building Constructions of Industrial Enterprises. *Industrial And Civil Engineering*. 2016; (8): 3–17. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=26477161 (accessed 14th October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:
Igor Yu. Belutsky — Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: mosttogu@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3881-2050
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=272934

Igor' V. Lazarev — Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: Lazarev_igor_v@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4677-7478
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1125495

Submitted: 26th November 2022. Revised: 15th February 2023. Published online: 1st March 2023.