

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Научная статья

УДК [624.21/8]

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2025-3/140-150>**Замена пролётных строений временно восстановленных мостов****Владимир Александрович Шкилёв^{1,✉}, Глеб Александрович Аверченко¹,
Екатерина Анатольевна Чабина¹, Семён Владимирович Варюхин²**¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация,² Транспортное управление Министерства транспорта и развития транспортной инфраструктуры
Запорожской области, Мелитополь, Российская Федерация

✉ v-shkilev@mail.ru

Аннотация. Исследование и разработка технологий замены пролётных строений временно восстановленных мостов, особенно актуальных в условиях военных действий, с целью минимизации перерывов в движении и обеспечения быстрого восстановления транспортной инфраструктуры. В статье рассмотрены различные методы замены пролётных строений, включая продольную накатку, поперечную сдвижку, использование плавучих опор и спаренную передвижку. Особое внимание уделено мостам с ездой по верху и по низу, а также учёту местных условий, таких как высота моста, длина пролётов и глубина воды. Предложены эффективные технологии замены пролётных строений, которые позволяют сократить время восстановления мостов и минимизировать перерывы в движении. Особенно выделены методы, применимые в условиях ограниченных ресурсов и сложной обстановки, например в зонах военных действий. Разработанные технологии замены пролётных строений являются актуальными для восстановления мостов в постконфликтных условиях и могут быть использованы для быстрого восстановления транспортной инфраструктуры с минимальными затратами времени и ресурсов.

Ключевые слова: пролётное строение, подмости, продольная накатка, подферменник, поперечная сдвижка, ферма, плавучие опоры

Для цитирования: Шкилёв В.А., Аверченко Г.А., Чабина Е.А., Варюхин С.В. Замена пролётных строений временно восстановленных мостов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 3(64). С. 140–150.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS

Original article

Replacement of spans of temporarily restored bridges**Vladimir A. Shkilev^{1,✉}, Gleb A. Averchenko¹, Ekaterina A. Chabina¹, Semen V. Varyukhin²**¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation,

✉ v-shkilev@mail.ru

² Transport Department of the Ministry of Transport and Development of Transport Infrastructure
of the Zaporozhye region, Melitopol, Russian Federation

Abstract. To research and develop technologies for replacing the spans of temporarily restored bridges, especially relevant in the context of military operations, in order to minimize traffic disruptions and ensure the rapid restoration of transport infrastructure. The article discusses various methods of replacing superstructures, including longitudinal rolling, transverse sliding, the use of floating supports and paired movement. Special attention is paid to bridges with riding on top and on the bottom, as well as taking into account local conditions such as bridge height, span length and water depth. Effective replacement technologies for superstructures have been proposed, which make it possible to reduce bridge restoration time and minimize traffic interrup-

tions. The methods used in conditions of limited resources and difficult situations, for example, in war zones, are particularly highlighted. The developed technologies for replacing span structures are relevant for the restoration of bridges in post-conflict conditions and can be used for the rapid restoration of transport infrastructure with minimal expenditure of time and resources.

Keywords: superstructure, scaffolding, longitudinal knurling, subfarm, transverse slide, truss, floating supports

For citation: Shkilev V.A., Averchenko G.A., Chabina E.A., Varyukhin S.V. Replacement of spans of temporarily restored bridges. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 3(64), pp. 140–150. (In Russ.).

Введение

Мосты являются важными объектами не только с точки зрения логистики территории и формирования эффективной транспортной сети, но и с военно-стратегической, так как во время боевых действий по мостам доставляется провизия, экипировка, необходимая военная техника и остальные ресурсы к участникам военных конфликтов. Отсюда, рассматриваемые искусственные сооружения часто подвергаются различным атакам, например на территориях ДНР и ЛНР (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Разрушенные мосты при военных действиях:

а – Азовсталь; б – Лисичанск

Fig. 1. Destroyed bridges during military operations:

а – Azovstal; б – Lisichansk

Также пострадали и другие мосты (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Разрушенные мосты при военных действиях:

а – мост через р. Калка; б – с. Старомарьевка

Fig. 2. Destroyed bridges during military operations:

а – bridge over the Kalka river; б – Staromariivka

При капитальном восстановлении мостов весьма часто встречающейся работой является работа по установке новых металлических пролётных строений [1]. Установка новых про-

лётных строений применяется на тех мостах, где доклейка ранее существовавшего временно восстановленного пролётного строения невыгодна или затруднительна, или нецелесообразна, или на тех мостах, где брешь, образованная от разрушения старого пролётного строения, была заполнена тем или иным способом, применяемым при временном восстановлении.

Выбор способа производства работ по установке нового пролётного строения зависит в первую очередь от того, насколько минимально по времени прерывается движение по мосту, а также зависит от высоты моста, от величины пролётов и от расположения проезжей части – по верху или по низу.

Материалы и методы

Мосты с ездой по верху дают возможность использовать пролётные строения временно восстановленного моста как подмости для продольной накатки вновь устанавливаемого пролётного строения, с ездой по низу по условиям габарита не всегда позволяют производить работы по данному экономичному способу [2].

Ввиду многообразия способов установки пролётных строений, а также местных условий, в данной статье рассмотрены наиболее эффективные способы для мостов с ездой по верху и по низу.

Типы пролётных строений, применяемых при временном восстановлении, весьма разнообразны. Тем более разнообразны пролётные строения, которые были подняты и реставрированы после их разрушения и использованы при временном восстановлении. Естественно, что старые, сменяемые пролётные строения в большинстве случаев будут иметь различную строительную высоту, отличающуюся от строительной высоты вновь устанавливаемых пролётных строений.

Если старое (сменяемое) пролётное строение имеет в сравнении с вновь устанавливаемым большую строительную высоту, то вывести на проектную отметку капитально восстанавливаемую опору невозможно.

Производить же её надстройку после сдвижки сменяемого пролётного строения обычным способом нельзя. Это потребует большего перерыва движения. Необходимо заблаговременно заготовить железобетонные блоки, которыми наращивается опора. Максимального сокращения времени на производство данной работы можно достигнуть, если наращивание опоры производить не по всей площади опоры, а только отдельными площадками для установки подферменных камней [3]. Площадь их должна быть определена расчётом в каждом конкретном случае. Последующая же окончательная наростка опоры может быть произведена после установки нового пролётного строения и открытия движения по мосту любым из возможных способов. Это может быть наростка железобетонными блоками либо обычной бетонировкой.

Если сменяемое пролётное строение имеет меньшую строительную высоту, чем вновь устанавливаемое, то опоры временного моста будут мешать установке нового пролётного строения. Это могут быть опоры, применяемые при временном восстановлении, и в большинстве случаев это будут опоры деревянные. Наиболее распространёнными типами опор, применяемыми при временном восстановлении, являются рамно-свайные и рамно-ряжевые. Значительно реже могут встретиться опоры металлические и постоянные (каменные, бетонные, железобетонные и металлические).

Если опоры деревянные, то они могут быть просто срезаны, обрушены. При этом следует обеспечить вылавливание леса из воды. Если это опоры сборно-разборные, то их необходимо разобрать.

Постоянные опоры требуют более трудоёмких технологических операций. Если производить срубку каменной или железобетонной опоры после сдвижки сменяемого пролётного строения, то это потребует большего количества времени. Поэтому в период подготовительных работ необходимо произвести срубку опоры до потребной отметки, а подлежащее смене пролётное строение поставить на клетку [4].

Для этого последнего этапа работы потребуется на некоторый отрезок времени перерыв в движении по мосту. Однако данная технологическая операция значительно сократит перерыв движения по мосту при замене пролётных строений. Срубку опоры можно производить только в том случае, если от верха подферменников до исторического горизонта высоких вод будет оставаться не менее 1 м. В противном случае придётся производить подъёмку пути на подходах к мосту.

При разности в высоте опорных частей и проезжей части вновь устанавливаемого и сменяемого пролётного строения, не превышающей 20–25 см, перестройку постоянных опор производить не следует. Получившийся подъём можно уничтожить путём подъёмки пути на подходах к мосту.

Несоответствие в ширине пролётных строений можно регулировать передвижкой подферменных камней. Если разница в ширине небольшая, можно допускать небольшую внецентренность, а подферменники оставить на прежнем месте.

Установка пролётных строений с ездой по верху

Пролётные строения с ездой по верху в зависимости от величины пролёта могут подаваться к месту установки по железной дороге в собранном виде либо собираться вблизи моста на сборочных подмостях [5].

Способ замены пролётных строений принципиально не меняется от того, как оно подано к мосту – в собранном виде или собирается у моста.

1-й способ – *способ продольной надвизки вновь устанавливаемого пролётного строения*, причём подлежащее уборке пролётное строение служит в качестве подмостей для накатки.

Пролётное строение поперечно выкатывается на ось пути и устанавливается на катки или тележки для продольной перекачки. После установки нового пролётного строения над опорами оно вывешивается, а старое убирается тем или иным способом.

Если строительная высота нового пролётного строения больше строительной высоты сменяемого, то первое сразу же опускается на постоянные опоры, а временные опоры разбираются.

Если строительная высота нового пролётного строения меньше строительной высоты старого, то следует подготовиться к наростке постоянных опор. Уборка сменяемого пролётного строения при таком способе замены может быть произведена несколькими способами. Наиболее простой и быстрый способ – сбрасывание вниз, это возможно, только когда раскрепка сброшенного пролётного строения не вызовет больших технических затруднений и пролётное строение не может быть использовано в целом виде в другом месте.

Менее быстрый способ – опускание вниз сменяемого пролётного строения. Опускание можно провести следующим образом: сменяемое пролётное строение подвешивается при помощи полиспастов и лебёдок или талей, прикреплённых к нижним поясам надвинутого нового пролётного строения, временные освобождаются, и производится их разборка [6]. После этого подвешенное пролётное строение опускается вниз. Если же в наличии имеются суда достаточной грузоподъёмности, которые могут быть заведены в пролёт сменяемого пролётного строения, то пролёт опускается на эти суда и отводится в сторону.

При производстве работ в том случае, когда одно новое пролётное строение будет накрывать несколько старых, работа по опусканию сменяемых пролётных строений осложняется. Те сменяемые пролётные строения, которые опираются одним концом на те же опоры, на которых устанавливается новое, придётся в подвешенном состоянии продольно перекачать, иначе их нельзя будет опустить.

Ещё один способ – поперечная сдвижка сменяемого пролётного строения по эстакадам-подмостям. Способ прост, но требует значительных затрат на вспомогательные устройства. Дальнейшая уборка пролётного строения после его сдвижки может производиться разными способами. Если пролётное строение может быть увезено в целом виде, то оно может быть

выкачено на берег целиком; если оно подлежит расклепке, то может быть разобрано без выкатки на берег.

2-й способ – *продольная перекавка вновь устанавливаемого пролётного строения по отдельным опорам*. Использование сменяемых пролётных строений в качестве подмостей для надвигки по ним вновь устанавливаемых не всегда будет возможно.

При значительной разнице в ширине устройство накаточного пути на консолях поперечин может оказаться невозможным. В этом случае может быть рекомендован способ продольной надвигки по отдельным опорам, используя в качестве последних опоры временного моста.

Установка пролётных строений по такому способу возможна только для пролётных строений, имеющих нижний пояс прямолинейный. Опоры, применяемые при временном восстановлении, имеют ширину поперёк моста по верху примерно 3 м. Поэтому при накатке пролётных строений, имеющих большую ширину, необходимо устройство двух накаточных путей: одного – под продольными балками и другого – под поясами [7]. Временную опору следует перестроить, нарастив откосные сваи и усилив насадки (рис. 3).

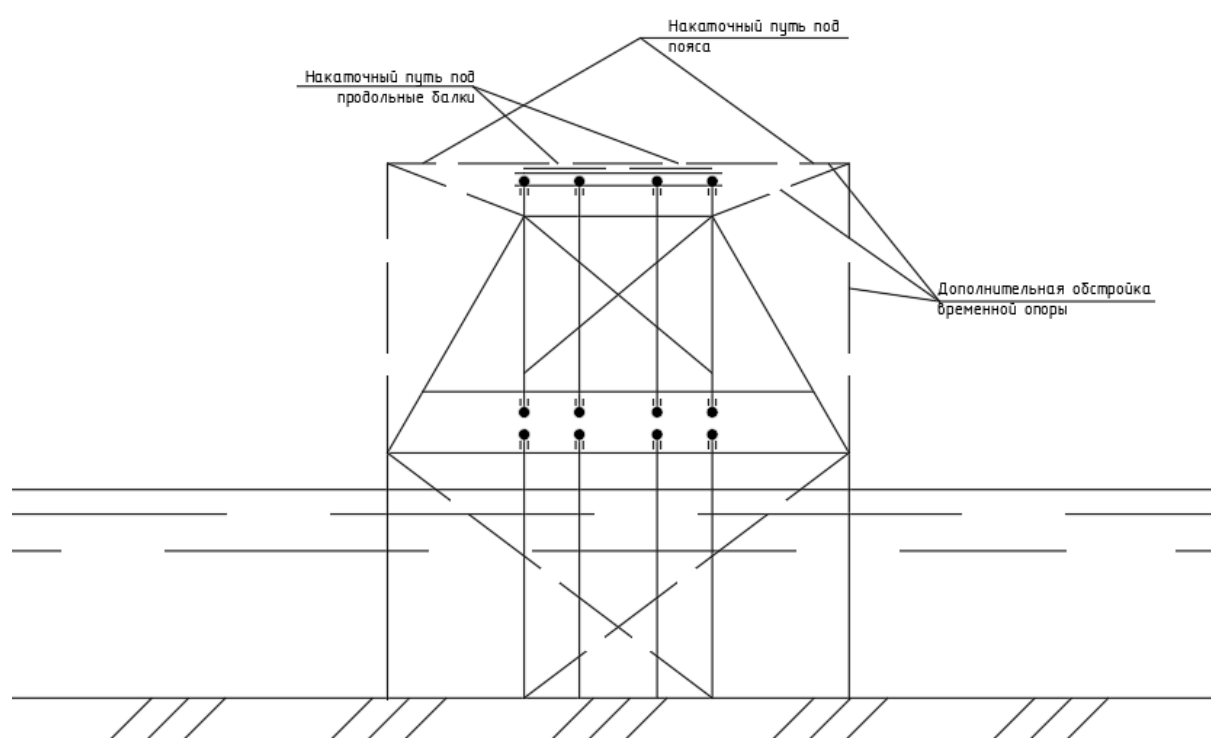


Рис. 3. Схематичное перестроение временной опоры при продольной надвигке по временным опорам моста

Fig. 3. Schematic reconstruction of a temporary support with a longitudinal slide on temporary bridge supports

Вылет консоли накатываемого пролётного строения должен быть определён расчётом и сравнен с величиной пролёта между опорами временных пролётных строений. Заранее можно сказать, что если производится замена пакетных пролётных строений из двутавровых или клёпанных балок, то консоль будет не более 18–19,5 м. Такая величина консоли для пролётных строений современной проектировки пролётом 55,0 м и выше усиления не потребует.

Для этого способа установки новых пролётных строений могут рекомендованы следующие способы уборки сменяемых:

- способ поперечной выкатки, как указывалось выше в первом способе замены;
- уборка кранами на железнодорожном ходу, если это позволяет их грузоподъёмность на необходимом вылете стрелы; уборка самоходным паровым, консольным краном или пилонном или уборка дерриками, установленными внизу, рядом с мостом;

в) уборка продольной выкаткой соединённых между собой пролётных строений или уборка продольной выкаткой с погрузкой прямо на подвижной состав при помощи козловых кранов, перемещаемых по подмостям вдоль моста.

Из трёх вышеназванных способов уборки сменяемых пролётных строений в первую очередь предпочтение следует отдать второму. В среднем время замены на уборку одного пролётного строения краном-пилоном составляет 5–7 часов.

Если вес пролётного строения велик и оно не может быть взято краном, то в отношении удовлетворения требованиям минимального перерыва движения предпочтение должно быть отдано способу поперечной выкатки сменяемого пролётного строения [8].

3-й способ – *спаренная передвижка вновь устанавливаемого и сменяемого пролётного строения*. Экономичный способ, почти исключаящий устройство подмостей для передвижек, а следовательно, эффективный при значительной высоте и длине моста. Ход работ представляется в следующем виде: новое пролётное строение устанавливается на ось моста на подходе и придвигается вплотную к сменяемому. Сменяемое пролётное строение поднимается так, чтобы нижние пояса того и другого находились на одном уровне. Под пояса подводятся перекаточные пути. Пролётные строения связываются между собой болтами и вместе передвигаются вдоль по оси моста. После установки над опорами пролётное строение разъединяется со сменяемым. Последнее, находясь на берегу, или сразу грузится на подвижной состав, или поперечно сдвигается с оси пути.

При таком способе замены трудозатратная работа по устройству соединения между пролётными строениями должна дать значительную экономию по сравнению с устройством подмостей, особенно если высота моста большая.

Перед началом работ следует произвести перерасчёт усилий в элементах ферм. Особое внимание должно быть обращено на элементы, находящиеся вблизи места соединения пролётных строений.

Заметим, что этот способ возможен только тогда, когда оба пролётных строения мало отличаются по ширине и высоте и если пролётные строения имеют горизонтальные нижние пояса.

Установка пролётных строений с ездой по низу

В этом случае сборка пролётного строения будет производиться у моста либо на берегу вблизи моста, на сборочных подмостях либо на подмостях, устроенных рядом со сменяемым пролётным строением.

Сборочные подмости и сборка пролётного строения производится на берегу рядом с путём. По окончании сборки производят продольную накатку вновь устанавливаемого пролётного строения, выстроенного вдоль моста, в пролёт подмостям, а затем – поперечную перекатку сменяемого и устанавливаемого пролётного строения [9].

По второму варианту сборка пролётного строения производится на сплошных подмостях рядом со сменяемым, а для подачи элементов на сборку устраивается эстакада небольшой высоты.

Уборка старого и установка нового пролётного строения производятся путём поперечной перекатки по устроенным для этой цели эстакадам [10]. Таким образом, в первом варианте – более низкие подмости для сборки пролётного строения, но тяжёлые для продольной накатки. Во втором варианте – более высокие подмости для сборки, но лёгкие для подачи элементов на сборку. В конечном итоге стоимость работ по тому или иному варианту будет зависеть от целого ряда местных факторов: высоты моста, глубины воды, длины моста и др. [11].

Рассмотрим возможные способы замены пролётных строений при сборке новых на берегу и в русле на подмостях.

1-й случай. Вновь устанавливаемое пролётное строение устанавливается рядом со сменяемым (может быть продольно выкачено или собрано на подмостях рядом), и оба сдвигаются поперечно. Для ускорения можно связать между собой оба пролётных строения и производить их поперечную передвижку одновременно.

Производя работы по такому способу, перерыв движения по мосту можно довести до минимума. Однако этот способ требует большого количества подмостей. Рассматривается два варианта:

а) сборка пролётного строения производится на берегу. Для этого потребуется устройство подмостей, во-первых, для сборки пролётного строения, во-вторых, для продольной накатки нового пролётного строения, в-третьих, для поперечной передвижки нового и старого пролётных строений и, в-четвёртых, для выкатки сменяемого пролётного строения на берег или разборки его на месте [12];

б) сборка вновь устанавливаемого пролётного строения производится рядом со сменяемым. В этом случае потребуется устройство подмостей, во-первых, для сборки пролётного строения, во-вторых, для поперечной перекачки сменяемого и нового пролётного строения и, в-третьих, для подачи элементов на сборку (небольшой высоты и лёгкие) и для продольной выкатки или разборки сменяемого.

Очевидно, что при равных условиях более выгодным вариантом будет второй. Однако следует иметь в виду, что работы по первому варианту следует производить при небольшой длине моста, небольшой высоте моста и глубине реки, а по второму варианту – при большой длине моста, большой высоте (8–10 м) и большой глубине реки.

2-й случай. Новое пролётное строение собирается на берегу, затем поперечно выкатывается на ось пути и по оси моста накатывается в пролёт. Сменяемое пролётное строение поднимается и перекачивается продольно по оси моста, а затем поперечно перекачивается для расклёпки [13]. В качестве подмостей могут быть использованы опоры временно восстановленного моста. Сборочные подмости строятся небольшой высоты. Подача элементов на сборку несложна.

3-й случай. При замене пролётных строений возможны ещё следующие комбинации способов:

а) сборка пролётного строения производится на берегу. Затем поперечно выкатывается на ось моста и продольно накатывается в пролёт. Сменяемое пролётное строение сдвигается поперечно;

б) новое пролётное строение собирается рядом со сменяемым. Сменяемое поднимается и продольно выкатывается на берег по оси моста и сдвигается поперечно для расклёпки. Вновь устанавливаемое поперечно сдвигается на освободившееся место.

Однако данные комбинации способов не дают больших преимуществ. Первый способ может быть рекомендован при замене одного пролётного строения в многопролётном мосту. Второй способ не даёт преимуществ: избегается постройка подмостей для поперечной выкатки сменяемого пролётного строения, но появляется работа по подъёмке этих пролётных строений.

Из рассмотренных выше трёх случаев замены пролётных строений в отношении удовлетворения их требованиям минимального перерыва движения по мосту лучше всех других являются способы, рассмотренные в 1-м случае.

Действительно, при хорошо проведённых подготовительных работах можно добиться минимального срока на производство работ на собственно поперечную передвижку пролётных строений. Большим преимуществом этого способа является также его универсальность. Таким образом, можно менять пролётные строения с ездой по верху и по низу, с параллельным и полигональным нижним поясом.

Рассмотрим ещё два способа замены, отличных от предыдущих.

Способ установки пролётных строений при помощи плавучих опор. Принцип этого способа состоит в следующем: судно достаточной грузоподъёмности обстраивается рамной надстройкой, высота которой назначается в зависимости от возвышения низа ферм над водой. Судно снабжается водным балластом. Изменяя его количество, можно поднимать и опускать плавучую опору. При помощи таких плавучих опор можно устанавливать и снимать целые пролётные строения. Собранные на берегу на подмостях пролётное строение выкатывается по пирсам на плавучие опоры и затем транспортируется к месту установки [14]. Процесс уборки –

обратный. Если невозможно обеспечить достаточное количество судов, то уборку сменяемого пролётного строения можно производить любым из возможных способов. Для ускорения производства работ следует отдать предпочтение поперечной выкатке. Работы по этому способу трудозатратны, особенно при большой высоте, когда вся система (две плавучие опоры и на них пролётное строение) имеют большую парусность, поэтому необходимо производить работы в тихую безветренную погоду.

Производить работы по этому способу целесообразно на больших реках. Устройство надстройки над судном – технологически сложная работа, как и обстройка самого судна. Поэтому выгодно неоднократное использование плавучих опор на других мостовых переходах той же речной системы, а может быть, и того же бассейна.

Для этого необходимо предусмотреть в конструкции надстройки над судном устройство, дающее возможность плавно изменять высоту последней.

Преимущество данного способа состоит в исключении устройства подмостей. Серьёзным препятствием к производству работ по этому способу, помимо сложности самой работы, является заводка судов в пролёт, которая не всегда возможна из-за загромождения русла обломками старых пролётных строений или большого количества временных опор. Несмотря на сложность данной технологии, метод эффективен в тех случаях, когда длина, высота моста и глубина реки велики. Когда возможность устройства подмостей исключена, а требования эксплуатации участка не позволяют дать длительного перерыва движения на мосту, данный способ замены является единственным возможным.

Ещё один способ, применимый при езде по верху и по низу, обеспечивает замену пролётных строений и бесперебойное движение с сохранением графика поездов. Это возможно при *сборке нового пролётного строения на месте существующего*, если расстояние между собираемыми фермами более расстояния между фермами в существующем пролётном строении или если при уменьшении расстояния между существующими фермами сохраняется соответствующий габарит.

Иногда этот метод работы приводит к использованию старой проезжей части с усилением или сменой её лишь впоследствии. Принцип замены представлен на рис. 4.

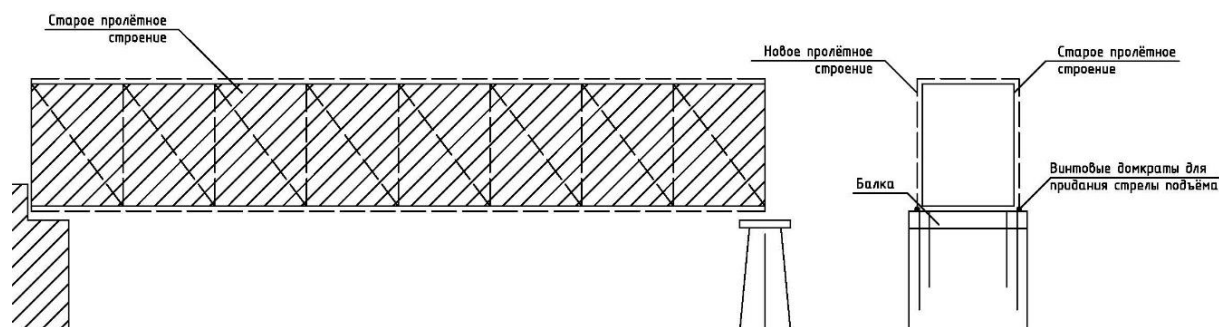


Рис. 4. Схема принципа сборки нового пролётного строения на месте существующего

Fig. 4. Schematic of the principle of assembling a new superstructure in place of an existing one

Иногда условия судоходства на реке или иные условия не дают возможности устраивать вообще какие-либо подмости. В таких случаях при смене используются старые пролётные строения в качестве подмостей, как указывалось выше, для перекаток или в качестве подмостей для сборки с подвешиванием их (старых пролётных строений) к особым поддерживающим конструкциям, устанавливаемым на опорах. Более легко это осуществляется при двухпутном движении. При одном пути это неизбежно повлечёт большие перерывы движения. Схематически порядок работ на двухпутном мосту может быть следующим. Производится сплетение путей с обеих сторон перед мостом. Затем размыкается путь, и одно из сменяемых пролётных строений подготавливается к спуску со своих опор. В пролётных строениях с ездой

по верху перед спуском при помощи газовой резки отрезаются опорные узлы и ближайшие к опорным узлам панели. После отрезки опорных узлов по концам пролётного строения ставят временные поперечные связи. Сменяемое пролётное строение опускается на опоры на такую высоту, чтобы после укладки на нём сборочного настила можно было пользоваться им в качестве подмостей для сборки нового пролётного строения на старом, последнее подвешивается к новому при помощи особых болтов, и оба сдвоенных пролётных строения одновременно опускаются вниз, так чтобы новое встало на предназначенное проектом место. Вслед за этим старое удаляется совершенно. Металл опускается или на землю, или принимается на баржи.

В условиях послевоенного восстановительного периода транспорт будет работать с максимальным напряжением [15]. Это, безусловно, поставит перед восстановительными организациями задачу производить работы по капитальному восстановлению искусственных сооружений без перерыва движения или же с минимальными перерывами. Из описанных способов этому условию с максимальной универсальностью для частных условий конкретного мостового перехода будет удовлетворять способ поперечной сдвижки сменяемого и вновь устанавливаемого пролётного строения.

Заключение

В ходе научной работы были изучены и предложены несколько технологий замены пролётных строений временно восстановленных мостов. Приведённые технологии будут эффективными для мостов с определёнными видами конструкции, приведёнными выше. Данные методы являются особенно актуальными, так как ремонт и строительство искусственных сооружений после завершения каких-либо боевых действий и наступления мирного времени являются одной из первоочередных задач для восстановления транспортно-логистической системы населённых пунктов.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Г.А. Аверченко – разработка концепции и дизайна исследования; В.А. Шкилёв, Е.А. Чабина, С.В. Вaryukhin – сбор данных, анализ и интерпретация результатов; В.А. Шкилёв – подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

G.A. Averchenko – study conception and design; V.A. Shkilev, E.A. Chabina, S.V. Varyukhin – data collection, analysis and interpretation of results; V.A. Shkilev – draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

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

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев Е.В., Толстых Н.Е. Реконструкция мостов как требование безопасности // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сборник научных статей Международной научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 15 марта 2023 года. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2023. С. 208–211.
2. Макаров А.В., Калиновский С.А., Ерещенко Т.В., Павлова М.А. Вопросы экономичного восстановления эксплуатационных свойств мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 4(81). С. 96–103.
3. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Капитальное восстановление массивных опор мостов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 30–55.
4. Шалин А.Н. Техника и конструкции для восстановления железнодорожных мостов // Актуальные проблемы проектирования, строительства и восстановления искусственных сооружений на железных дорогах, с учётом опыта СВО: Сборник научных трудов по материалам отраслевой научно-практической конференции, Санкт-Петербург – Петергоф, 18 апреля 2024 года.

- Санкт-Петербург – Петергоф: Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, 2024. С. 8.
5. Глазунов В.А. Технология выбора вариантов восстановления железнодорожных мостов через водные преграды на современном этапе // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. 2020. № 2(49). С. 40–46.
 6. Белуцкий И.Ю., Лазарев И.В., Лапин А.В. Практика реновации сталежелезобетонных мостов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2021. Т. 21. С. 8–16.
 7. Панкратьев К.А., Парахненко И.Л. Технология замены пролётных строений на железнодорожных мостах // Техника и технологии наземного транспорта: Материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 14 декабря 2022 года. Нижний Новгород: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Нижний Новгород, 2022. С. 191–198.
 8. Шапиро Д.М., Агарков А.В., Чан Тхи Тхюи Ван. Пространственный нелинейный деформационный расчёт балочных пролётных строений автодорожных мостов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. № 2(10). С. 29–37.
 9. Ахмедов Р.М. Планирование и управление ремонтом и реконструкцией автодорожных мостов // Universum: технические науки. 2021. № 3-2(84). С. 18–25.
 10. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев [и др.]. Санкт-Петербург: Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации, 2015. 312 с. EDN: UBVISB
 11. Ермошин Н.А., Гурьянов А.В., Лазарев Ю.Г. [и др.]. Экономико-математическое моделирование процессов эксплуатации, технического прикрытия и восстановления автомобильных дорог. Санкт-Петербург: ООО «Р-КОПИ», 2022. 228 с. EDN: QPWBEZ
 12. Kerpatsoglou K., Karlaftis M.G., Bitsikas T., et al. A methodology and decision support system for scheduling inspections in a bridge network following a natural disaster // Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management – Bridge Maintenance, Safety, Management. 2006. P. 32–41. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000129](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000129)
 13. Бокарев С.А., Прибытков С.С., Ефимов С.В. Остаточный ресурс железобетонных пролётных строений железнодорожных мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20, № 3. С. 169–183.
 14. Васильев К.А., Борисов В.А., Аверченко Г.А. Понтонные (наплавные) мосты из некондиционных труб полиэтилена низкого давления // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 37–45.
 15. Zhao J., Zuo M.J., Cai Z., Si S. Post-disaster recovery optimization for road-bridge network considering restoration ability and economic loss // Annual Reliability and Maintain. 2020. P. 364–397. DOI: <https://doi.org/10.1109/rams48030.2020.9153632>

REFERENCES

1. Zaitsev E.V. Reconstruction of bridges as a safety requirement. *Technologies, Machines and Equipment for the Design and Construction of Agricultural Facilities*, 2023, Mar 15. Kursk: Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, 2023. P. 208–211. (In Russ.).
2. Makarov A.V., Kalinovskii S.A., Ereshchenko T.V., Pavlova M.A. Some aspects of restoration of functional qualities of bridges. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*, 2020, iss. 4, pp. 96–103. (In Russ.).
3. Averchenko G.A., Borisov V.A., Vasiliev K.A. Major restoration of massive bridge supports. *Modern Transportation Systems and Technologies*, 2021, no. 7(3), pp. 30–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst20217330-55>
4. Shalin A.N. Machinery and structures for the restoration of railway bridges. *Actual Problems of Design, Construction and Restoration of Artificial Structures on Railways, Taking into Account the Experience of SVO*, 2024 Apr 18. Saint Petersburg – Peterhof: Military Academy of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev, 2024. P. 8. (In Russ.).

5. Glazunov V.A. The technology of choosing options for the restoration of railway bridges over water barriers at the present stage. *Regional Aspects of Management, Economics and Law of the North-Western Federal District of Russia*. 2020, no. 49(2), pp. 40–46. (In Russ.).
6. Beluckij I.Y. The practice of renovation of steel-reinforced concrete bridges. *The Far East. Highways and Traffic Safety: an International Collection of Scientific Papers*, 2021, no. 21, pp. 8–16. (In Russ.).
7. Pankratev K.A. Technology of replacement of superstructures on railway bridges. *Land Transport Equipment and Technologies*, 2022, Dec 14. Nizhny Novgorod: Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Transport University" in Nizhny Novgorod, 2022. P. 191–198. (In Russ.).
8. Shapiro D.M., Agarkov A.V., Chan Thi Thui Van. Spatial non-line deformative analysis of road bridge beam span. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2008, no. 2(10), pp. 29–37. (In Russ.).
9. Akhmedov R.M. Planning and management of repair and reconstruction of road bridges. *Universum: Technical Sciences*, 2021, no. 3-2(84), pp. 18–25.
10. Operation, restoration and technical cover of military highways / N.A. Ermoshin, Yu.G. Lazarev, S.V. Alekseev [et al.]. St. Petersburg: Federal state-owned Military Educational Institution of Higher Education "Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev" Ministries of Defense of the Russian Federation, 2015. 312 p. (In Russ.).
11. Ermoshin N.A., Guryanov A.V., Lazarev Yu.G. [et al.]. Economic and mathematical modeling of the processes of operation, technical cover and restoration of highways. St. Petersburg: OOO R-KOPI, 2022. 228 p. (In Russ.).
12. Kepaptsoglou K., Karlaftis M.G., Bitsikas T., et al. A methodology and decision support system for scheduling inspections in a bridge network following a natural disaster. *Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management – Bridge Maintenance, Safety, Management*, 2006, pp. 32–41. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000129](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000129)
13. Bokarev S.A., Pribytkov S.S., Efimov S.V. Residual life of reinforced concrete superstructures of railway bridges. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 169–183. (In Russ.).
14. Vasiliev K.A., Borisov V.A., Averchenko G.A. Pontoon (floating) bridges made of substandard low-density polyethylene pipes. *Transport systems and technologies*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 37–45. (In Russ.).
15. Zhao J., Zuo M.J., Cai Z., Si S. Post-disaster recovery optimization for road-bridge network considering restoration ability and economic loss. *Annual Reliability and Maintai*, 2020, pp. 364–397. DOI: <https://doi.org/10.1109/rams48030.2020.9153632>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шкилёв Владимир Александрович – бакалавр, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Российская Федерация),

✉ v-shkilev@mail.ru, SPIN: 9232-5530; <https://orcid.org/0009-0009-3739-5003>

Vladimir A. Shkilev – Bachelor, Civil Engineering Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russian Federation).

Аверченко Глеб Александрович – старший преподаватель, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Российская Федерация),

✉ averchenko_ga@spbstu.ru, SPIN: 1707-9958; <https://orcid.org/0000-0001-8813-545X>

Gleb A. Averchenko – Senior Lecturer, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation).

Чабина Екатерина Анатольевна – старший преподаватель, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Российская Федерация),

✉ bondar_ea@spbstu.ru, SPIN: 1978-6536; <https://orcid.org/0000-0002-9570-6051>

Ekaterina A. Chabina – Senior Lecturer, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation).

Варюхин Семён Владимирович – заместитель начальника транспортного управления Министерства транспорта и развития транспортной инфраструктуры Запорожской области (Мелитополь, Российская Федерация),

✉ semen.varyukhin@bk.ru, SPIN: 3752-6576; <https://orcid.org/0009-0003-0656-8385>

Semen V. Varyukhin – Deputy Head of the Transport Department of the Ministry of Transport and Transport Infrastructure Development of the Zaporizhia Region (Melitopol, Russian Federation).

Статья поступила в редакцию / Received: 03.04.2025.

Доработана после рецензирования / Revised: 11.09.2025.

Принята к публикации / Accepted: 24.09.2025.