

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

УДК 625.745; 699.8

Исследование процесса надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов

Канд. техн. наук В. А. Гречухин¹⁾, магистр техн. наук А. Ю. Лосев²⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),²⁾ГП «Белгипродор» (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Мосты являются наиболее сложными, трудоемкими и дорогостоящими элементами дорожной сети Республики Беларусь. Поэтому их строительство и эксплуатация должны осуществляться на высоком технологическом уровне. Одним из современных промышленных методов является цикличная продольная надвигка больших пролетных строений, дающая возможность отказаться от дорогостоящих вспомогательных сооружений и сократить сроки строительства. В зависимости от условий судоходства и длины пролета продольную надвигку применяют в нескольких вариантах: без аванбека, с аванбеком, с «верхним» шпренгелем в виде вантовой системы, со шпренгелем, расположенным под пролетным строением. При использовании метода цикличной продольной надвигки процесс изготовления пролетного строения концентрируется на берегу. Основная задача исследования – выбор экономичного, быстрого и технологически простого вида цикличной продольной надвигки с наименьшими ресурсо- и трудозатратами. Проведено сравнение надвигки пролетного строения с использованием специально сооруженных в пролете временных опор и по капитальным опорам с помощью аванбека. Выводы, сделанные на основании расчетов конструктивных элементов металлической части пролетного строения по несущей способности сечений элементов при надвигке, а также в процессе омоноличивания железобетонной плиты и на стадии эксплуатации, показали, что монтаж пролетного строения с применением временных опор не снижает расход стали по сравнению с вариантом без них. Результаты проведенных исследований апробированы совместно с ГП «Белгипродор» при проектировании моста через р. Сож.

Ключевые слова: мосты, строительно-монтажные работы, цикличная продольная надвигка, вспомогательные сооружения, аванбек, стапель, временные опоры

Для цитирования: Гречухин, В. А. Исследование процесса надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов / В. А. Гречухин, А. Ю. Лосев // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 485–492. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

Investigation of Launching Process for Steel Reinforced Concrete Framework of Large Bridges

V. A. Grechukhin¹⁾, A. Yu. Losev²⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),²⁾ State Enterprise “Belgiprodor” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Bridges are considered as the most complicated, labour-consuming and expensive components in roadway network of the Republic of Belarus. So their construction and operation are to be carried out at high technological level. One of the modern industrial methods is a cyclic longitudinal launching of large frameworks which provide the possibility to reject usage of expensive auxiliary facilities and reduce a construction period. There are several variants of longitudinal launching according to shipping conditions and span length: without launching girder, with launching girder, with top strut-framed beam

Адрес для перепискиГречухин Владимир Александрович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 268-63-03
vag_ftk@bntu.by**Address for correspondence**Grechukhin Vladimir A.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 268-63-03
vag_ftk@bntu.by

in the form of cable-stayed system, with strut-framed beam located under span. While using method for the cyclic longitudinal launching manufacturing process of span is concentrated on the shore. The main task of the investigations is to select economic, quick and technologically simple type of the cyclic longitudinal launching with minimum resource- and labour inputs. Span launching has been comparatively analyzed with temporary supports being specially constructed within the span and according to capital supports with the help of launching girder. Conclusions made on the basis of calculations for constructive elements of span according to bearing ability of element sections during launching and also during the process of reinforced concrete plate grouting and at the stage of operation have shown that span assembly with application of temporary supports does not reduce steel spread in comparison with the variant excluding them. Results of the conducted investigations have been approved in cooperation with state enterprise "Belgiprodor" while designing a bridge across river Sozh.

Keywords: bridges, building-and-erection works, cyclic longitudinal launching, auxiliary facilities, launching girder, building slipway, temporary supports

For citation: Grechukhin V. A., Losev A. Yu. (2017) Investigation of Launching Process for Steel Reinforced Concrete Framework of Large Bridges // *Science and Technique*. 16 (6), 485–492. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

Экономическое развитие Республики Беларусь напрямую связано с созданием развитой и эффективно работающей транспортной сети автомобильных и железных дорог. Мосты являются наиболее сложными, трудоемкими и дорогостоящими элементами, соответственно их строительство и эксплуатация также должны осуществляться на высоком технологическом уровне. Большие пролеты и динамические нагрузки на сооружения диктуют свои требования к их возведению. Кроме того, различный набор техники в подрядных организациях также влияет на технологию строительства мостов.

Качественное выполнение строительно-монтажных работ связано с широким применением типовых конструкций, изготовлением элементов в промышленных условиях и монтажом высокомеханизированными приемами.

Метод циклической продольной навигации (ЦПН) пролетных строений на сегодняшний день – один из наиболее востребованных при строительстве мостов с большими пролетами. При его применении обеспечивается возможность одновременного строительства опор. В результате можно отказаться от дорогостоящих вспомогательных сооружений, сократить сроки строительства и не ограничивать движение транспорта на период строительства.

Как показывает практика, в зависимости от условий судоходства и длины пролета продольная навигация может применяться в нескольких вариантах: без аванбека, с аванбеком, с «верхним» шпренгелем в виде вантовой системы, со шпренгелем, расположенным под пролетным строением. Преимуществом такой технологии является то, что пролетное строение собирается на берегу. Это значительно упрощает процесс контроля качества и позволяет организовать круглогодичный процесс производства работ.

Основная цель исследования – выбор оптимального типа циклической продольной навигации сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов.

Задачи, поставленные в ходе исследования:

- изучение основных методов продольной навигации;
- расчет и анализ сталежелезобетонного пролетного строения на стадии навигации и эксплуатации;
- определение по результатам расчетов оптимального метода продольной навигации пролетного строения.

Результаты исследований процесса навигации сталежелезобетонного пролетного строения апробированы совместно с ГП «Белгипродор» при проектировании моста через р. Сож (расчетная схема: $69 + 84 \cdot 5 + 69 = 558$ м).

Циклическая продольная навигация используется при сооружении сталежелезобетонных пролетных строений в виде неразрезных балок, изготавливаемых секциями на стапеле на одном из берегов реки [1–11].

Особенности метода:

- навигацию производят в пониженном уровне (на уровне подферменников) до устройства шкафной стенки устоя (для обеспечения минимальной величины опускания пролетного строения после навигации);
- шкафную стенку бетонируют после навигации пролетного строения, а затем досыпают насыпь подхода;
- при навигации применяют лебедки, полиспасты, гидравлические домкраты и специальные накаточные устройства.

Продольная навигация пролетных строений производится: с использованием специально сооруженных в пролетах временных опор; по капитальным опорам; с помощью перекаточных

и плавучих опор; по сплошным подмостям (на перекаточных тележках, платформах и т. д.).

В данном исследовании проведено сравнение двух наиболее часто применяемых разновидностей надвигки пролетного строения: с использованием специально сооруженных в пролете временных опор (вариант 1) и по капитальным опорам с помощью аванбека (вариант 2).

Монтаж пролетного строения по варианту 1

На технологической площадке устраиваются перекаточные опоры. Двумя кранами РДК-25 грузоподъемностью по 25 т на сборочных клетках собирается первая секция пролетного строения длиной 58,9 м с коротким аванбеком. Выверяется строительный подъем и производится монтаж перекаточных устройств. На опоре 1 закрепляются упоры для восприятия усилий от домкратов (рис. 1). На тыльном конце первой секции крепится тяговая траверса. Производится установка трех домкратов грузоподъемностью 185 т, объединенных общим маслопроводом от насосной станции НСП-400. Домкратами грузоподъемностью 20 т пролетное строение снимается со сборочных клеток и опускается на перекаточные опоры.

В пролете 1 монтируется временная опора из инвентарных металлоконструкций МИК-С. Домкратами грузоподъемностью 185 т пролетное строение перемещается в пролет 1 на расстояние 34,5 м. Производится заклинка пролетного строения на накаточных устройствах и демонтируются тяговые устройства. На сборочных клетках ведется монтаж блоков пролетного строения 5×21 м. Положение блоков при монтаже регулируется домкратами грузоподъемностью 20 т. Затем закрепляется толкающее устройство и конец пролетного строения

раскруживается с установкой на перекаточные устройства (рис. 2).

В пролете 2 монтируется временная опора из инвентарных металлоконструкций МИК-С, пролетное строение домкратами перемещается на 42 м и заклинивается на накаточных устройствах. Демонтируются тяговые устройства, и на сборочных клетках монтируются два блока пролетного строения длиной по 21 м. Закрепляется толкающее устройство. Конец пролетного строения раскруживается с установкой на перекаточные устройства. Толкающими устройствами пролетное строение перемещается до опоры 3 и надвигается на нее после выборки прогиба консоли.

В пролете 3 устанавливается временная опора, смонтированная на платформе ПМК из инвентарных металлоконструкций МИК-П и МИК-С. Пролетное строение надвигается в пролет на расстояние 42 м до временной опоры. Производится заклинка перекаточных устройств, демонтируются тяговые устройства и монтируются четыре блока пролетного строения. Затем монтируются тяговые обустройства и удаляется заклинка перекаточных обустройств. После перемещения пролетного строения до опоры 4, выборки прогиба и надвигки пролетного строения на опору 4 производится переустройство временной опоры на платформе ПМК.

Далее монтаж пролетного строения на технологической площадке ведется секциями по четыре блока и работы по надвигке с конвейерной сборкой выполняются аналогично.

Полностью собранное пролетное строение надвигается на опору 8 и домкратами грузоподъемностью 500 т поднимается на опорные клетки. После этого временные опоры и накаточные устройства демонтируются и пролетное строение теми же домкратами опускается на опорные части.



Рис. 1. Сборка первой плети пролетного строения с коротким аванбеком

Fig. 1. Assembly of 1st segment for span with short launching girder

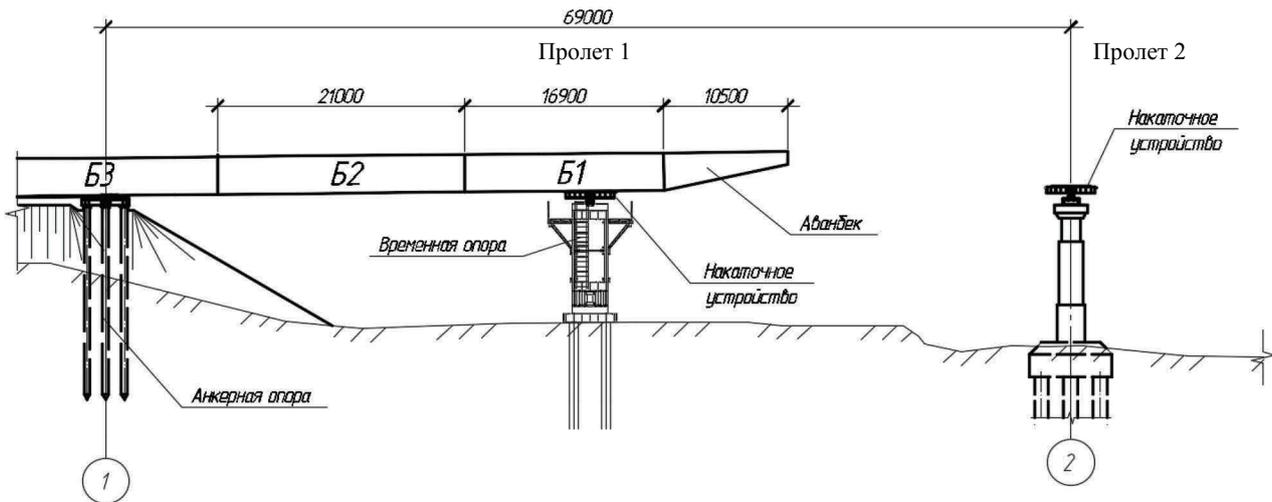


Рис. 2. Схема надвигки пролетного строения в пролете 1

Fig. 2. Scheme of launching for span in bay 1

В заключение производятся добетонирование шкафных стенок и досыпка насыпи. Укладываются плиты проезжей части моста, бетонируются стыки, устраиваются тротуары, перила и ограждение проезда.

Монтаж пролетного строения по варианту 2

На площадке для сборки и надвигки пролетного строения, расположенной на берегу, производится обустройство стапельных опор. На сборочных клетках собирается первая плеть пролетного строения с аванбеком длиной 31,5 м. Общая длина плети 90,4 м (рис. 3).

На пролетное строение навешивается толкающее устройство, на клетках выкладываются звенья тяг и устраивается их анкерка за анкерное устройство, установленное на устое. Пролетное строение снимается со сборочных клеток и опускается на накаточные устройства домкратами, которые на каждой опоре должны работать от своей насосной станции. Предварительно на крайней домкратной балке пролетного строения необходимо установить дополнительные ребра жесткости. Опускание пролетного строения на перекаточные устройства производят последовательно, начиная с опоры 1, залогами по 10 см на каждом из четырех опорных узлов домкратов.

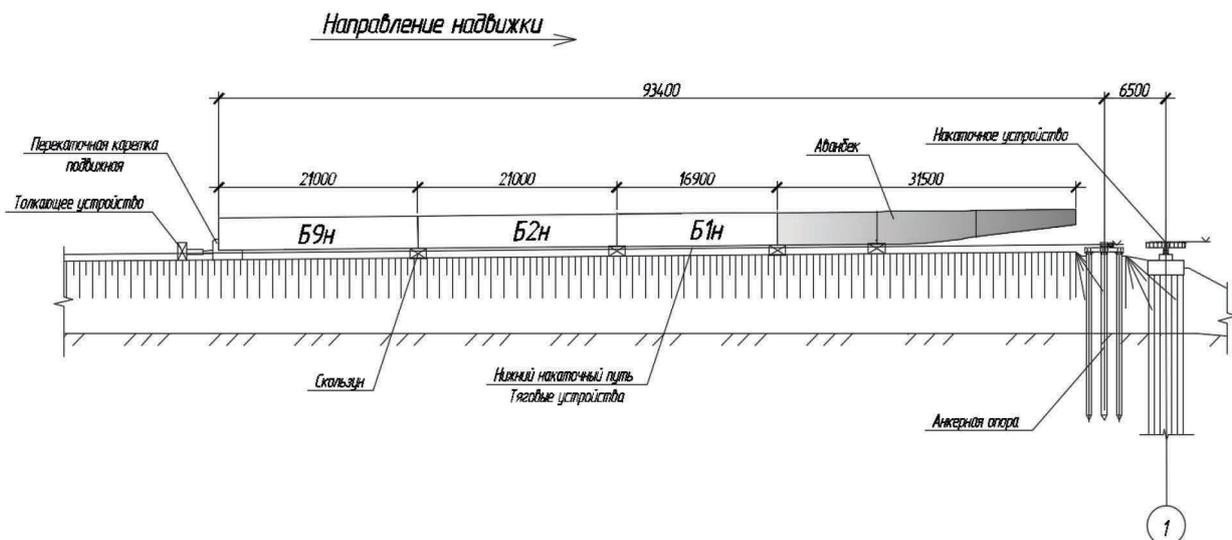


Рис. 3. Сборка пролетного строения с аванбеком на сборочных клетках

Fig. 3. Assembly of span with launching girder in assembled casings

При опускании (подъеме) пролетного строения со сборных клеток на накаточные устройства домкраты должны работать одновременно только в двух точках на одной из опор, где они установлены, опускание должно производиться равномерно без перекосов. При проведении данных операций на опорах выкладываются страховочные клетки, наращивание и разборка которых производится постепенно по мере подъема или опускания пролетного строения. Домкраты (помимо страховочных клеток) должны быть снабжены предохранительными полукольцами. При опускании (подъеме) пролетного строения превышение одного конца над другим в поперечном направлении допускается не более чем на 10 мм.

Снятие собранного пролетного строения со сборочных клеток и опускание его на накаточные устройства производится после геодезического контроля строительного подъема, установки и затяжки высокопрочных болтов во всех узлах. После установки на накаточные опоры пролетное строение выдвигается в пролет 1 на 31,5 м (свес аванбека от оси опоры 31,9 м).

После надвигки собранной секции пролетного строения в первый пролет до опоры 2 производится заклинка пролетного строения на перекаточных опорах. Толкающее устройство демонтируется. Во избежание продольного смещения пролета забиваются клинья между салазками и верхом накаточного устройства под поясом пролетного строения. Во избежание поперечного смещения пролет закрепляется в боковых упорах. Под конец надвинутой секции подводятся страховочные клетки с домкратами грузоподъемностью 100 т.

На сборочных клетках собирается вторая плеть длиной 105 м. После обеспечения угла строительного подъема между надвинутой и вновь собранной плетью (с помощью гидродомкратов) производится оформление замыкающего стыка. Затем вновь монтируется толкающее устройство и производится опускание пролетного строения на накаточные устройства. Собранные секции надвигаются в пролет 2 до достижения аванбеком опоры 3. Для въезда пролетного строения на опору производится выборка прогиба консоли надвигаемой плети и надвигка до оси опоры. По достижении аванбеком оси опоры надвигка останавливается,

домкратная штанга демонтируется. Надвигка этого этапа завершается после установки крайней домкратной балки пролетного строения на оси опоры 3. Толкающее устройство демонтируется.

Перед сборкой третьей плети производится выборка прогиба хвостовой части надвинутой плети. На сборочных клетках собирается третья плеть пролетного строения длиной 42 м. Вновь собранная плеть объединяется с ранее собранной аналогично вышеописанному.

Монтируется толкающее устройство, и пролетное строение выдвигается в пролет 3. При прохождении последних 25 м этого пролета проводятся мероприятия по ликвидации колебаний консоли, для чего на приемной опоре 4 монтируются специальные устройства, и надвигка должна производиться в течение одной смены. Демонтаж устройств для ликвидации колебаний выполняется сразу после расклинки клюва гуська на накаточных путях.

После подхода аванбека к опоре 4 устройства для ликвидации колебаний демонтируются и переносятся на следующую опору. Проводятся выборка прогиба консоли пролетного строения и надвигка последнего до установления домкратной балки на оси опоры 4. Надвигка пролетного строения продолжается до захода конца аванбека на накаточный путь. Под нижний пояс аванбека подводятся салазки для дальнейшей надвигки.

Подъем гидродомкратами производится залогами по 125 мм с установкой на домкраты страховочных колец. Демонтаж домкратной штанги производится после въезда аванбека на опору и установки его на трое салазок под каждой балкой.

Надвигка в следующие пролеты осуществляется аналогично схемам, описанным выше. После завершения этапа надвигки домкратная штанга поднимается в верхнее положение и раскрепляется временным креплением.

Для сборки седьмой, последней плети пролетного строения длиной 109 м устанавливается толкающее устройство и осуществляется надвигка. При въезде аванбека на береговую опору производится выборка прогиба консоли, монтируется арьербек и пролетное строение надвигается до захода оси крайней домкратной балки на ось опирания. Демонтируются аванбек

и арьербек. Пролетное строение устанавливается на постоянные опорные части.

Сравнение выбранных вариантов навдвижки пролетного строения по расчетным характеристикам

Метод ЦПН, как правило, используют при навдвижке пролетов длиной 32–54 м. Его применение для более длинных пролетов нецелесообразно, так как приводит к перерасходу стали на аванбек и арьербек. Исходя из этого при проектировании моста через р. Сож с пролетами длиной до 84 м встал вопрос целесообразности применения варианта 2 и изначально в качестве основного рассматривался вариант 1 с применением временных опор, позволяющий уменьшить длину пролетов в два раза.

Для обоснования выбора одного из двух методов монтажа проведено исследование процесса навдвижки пролетного строения с использованием расчетного комплекса, который основан на методе конечных элементов (FEA/МКЭ) с применением ПК MIDAS CIVIL 2015.

Выводы, сделанные на основании расчетов конструктивных элементов металлической части пролетного строения по несущей способности сечений элементов при навдвижке, а также в процессе омоноличивания железобетонной плиты и на стадии эксплуатации, показали, что монтаж пролетного строения по варианту 1 не снижает расход стали по сравнению с вариантом 2. Связано это с тем, что на стадии омоноличивания и эксплуатации конструктивные элементы металлического пролетного строения по принятым сечениям главных балок не обладают необходимой несущей способностью.

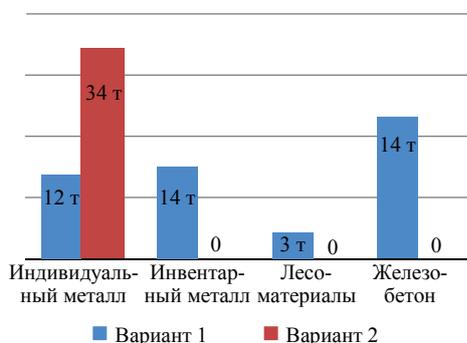


Рис. 4. Расход материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства

Fig. 4. Consumption of materials for special auxiliary facilities and devices

Сравнение вариантов по расходу материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства, трудоемкости работ и численности работающих

В связи с тем, что исследование процесса навдвижки пролетного строения моста через р. Сож не выявило преимуществ того или иного варианта, следующим показателем для сравнения был принят расход материалов. Согласно проведенной выборке получены такие результаты.

Вариант 1: индивидуальный металл на короткий аванбек – 12 т, инвентарный металл (МИК-С, МИК-П) – 14 т, лесоматериалы – 3 т, железобетонные сваи – 24 т.

Вариант 2: металл на аванбек – 34 т.

Из представленной выборки материалов видно, что по варианту 2 расход материалов меньше. Также стоит учесть, что на возведение и демонтаж временных опор требуются краны РДК-25, вибропогрузатель, плашкоут с краном для монтажа временной опоры в пролете 3 и квалифицированные рабочие.

По результатам сравнения по затратам материалов, трудоемкости работ и количеству рабочих предпочтение отдается варианту 2. Продольная навдвижка по капитальным опорам с применением аванбека позволит сэкономить 35 % стоимости материалов, 23 % заработной платы, 80 % стоимости эксплуатации машин и механизмов, 31 % затрат на транспорт. Графики расхода материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства и сметной стоимости при циклической продольной навдвижке по вариантам 1 и 2 представлены на рис. 4, 5 соответственно.

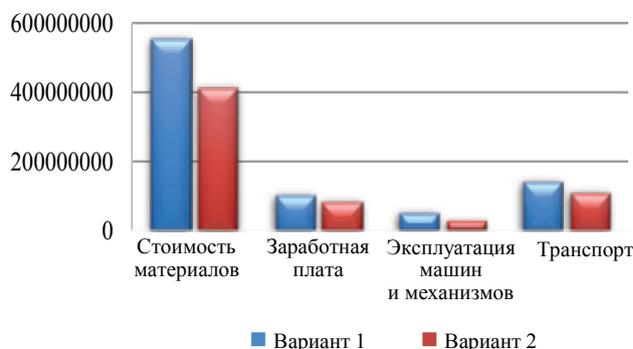


Рис. 5. Сметная стоимость циклической продольной навдвижки по вариантам

Fig. 5. Estimated cost of cyclic longitudinal launching according to variants

Сравнение вариантов по продолжительности монтажа пролетного строения

Главным отличием монтажа пролетного строения по вариантам 1 и 2 является то, что работы по надвигке пролетного строения с временными опорами ограничены периодами между паводками (в пролете 3 временная опора устраивается при низкой воде, а в пролетах 2, 4, 5, 6 – при значительном расчетном уровне высоких вод). В связи с этим монтаж пролетного строения по варианту 1 невозможен

в период весеннего половодья, что увеличивает сроки монтажа. Также стоит отметить, что требуется время на монтаж, демонтаж и перестановку временных опор в последующие пролеты.

В целом вариант 2 имеет меньшие трудоемкость и время монтажа пролетного строения. Исходя из календарных графиков, представленных в табл. 1, 2, монтаж пролетного строения по варианту 2 закончится на три месяца раньше, чем по варианту 1, что сократит сроки строительства моста.

Таблица 1

Календарный график по варианту 1
Schedule diagram for variant 1

Наименование вида работ	Распределение объемов СМР по кварталам										
	1-й год			2-й год				3-й год			
	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Сооружение нового моста на левой полосе											
Подготовительные работы								—			—
Сооружение береговых опор	—				—						
Сооружение промежуточных опор											
Сооружение пролетного строения											
Устройство мостового полотна											
Устройство конусов и дамб		—									
Временные здания и сооружения											

Таблица 2

Календарный график по варианту 2
Schedule diagram for variant 2

Наименование вида работ	Распределение объемов СМР по кварталам										
	1-й год			2-й год				3-й год			
	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Сооружение нового моста на левой полосе											
Подготовительные работы								—			—
Сооружение береговых опор	—				—						
Сооружение промежуточных опор											
Сооружение пролетного строения											
Устройство мостового полотна											
Устройство конусов и дамб		—									
Временные здания и сооружения											

ВЫВОДЫ

1. Создана BIM-модель моста и исследовано сталежелезобетонное пролетное строение на стадиях надвигки и эксплуатации, разработаны календарные графики.

2. Рассмотрены главные факторы и на основании расчетных характеристик, трудоемкости работ, расхода материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства и продолжительности строительства выбран наиболее экономичный, быстрый и менее трудоемкий вариант монтажа пролетного строения.

3. По результатам исследований, можно сделать вывод об эффективности применения метода циклической продольной надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов на примере проектируемого моста через р. Сож на автодороге М-8.

4. Результаты исследований применены при проектировании моста через р. Сож, что позволило сократить сроки строительства, ресурсо- и трудозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каньшин, Е. Строительство мостов по технологии циклической продольной надвигки. Опыт Германии / Е. Каньшин // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетр. национ. ун-та железнодорож. тр-та. 2010. № 33. С. 106–110.
2. Бычковский, Н. Н. Строительство металлических мостов: в 2 ч. / Н. Н. Бычковский, С. И. Пименов, С. К. Пшенников. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. Ч. 2.
3. Пестряков, А. Н. Продольная и поперечная надвигка / А. Н. Пестряков. Екатеринбург: Федеральное агентство железнодорож. тр-та, Уральский гос. ун-т путей сообщения, 2010. 29 с.
4. Курлянд, В. Г. Строительство мостов / В. Г. Курлянд, В. В. Курлянд. М.: МАДИ, 2012. 177 с.
5. Сталежелезобетонные мосты / Н. Н. Бычковский [и др.]. Саратов: Федеральное агентство по образованию, Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. 588 с.
6. Бычковский, Н. Н. Металлические мосты: в 2 ч. / Н. Н. Бычковский, А. Ф. Данковцев. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. Ч. 1. 364 с.
7. Способ надвигки мостового пролетного строения: пат. № 2209872 РФ, МПК E01D21/06 / К. К. Нежданов, А. К. Нежданов, В. А. Туманов; дата публ. 10.08.2003.
8. Способ циклической продольной надвигки неразрезного железобетонного пролетного строения моста: пат. № 2242559 РФ, МПК E01D21/00 / П. П. Куракин, В. Н. Коротин, В. В. Чаленко, С. В. Дударев, А. С. Мелконян, Е. Н. Бирюков, С. В. Потапов; дата публ. 20.12.2004.
9. Захаров, Л. В. Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов / Л. В. Захаров, Н. М. Колоколов, А. Л. Цейтлин. М.: Транспорт, 1983. С. 98–107.

10. Опыт продольной надвигки неразрезных железобетонных пролетных строений / М. В. Фельдман [и др.]; под ред. Д. Я. Нагевича. М.: Оргтрансстрой, 1973. 23 с. (Экспресс-информация / Центр. ин-т нормат. исследований и науч.-техн. информации «Оргтрансстрой» М-ва трансп. стр-ва).
11. Способ перемещения строительного элемента: пат. № 1583510 СССР, МПК E04G 21/14, E01D 21/06, E01D 19/14 / Т. Д. Федорова, М. Ю. Федорова; дата публ. 07.08.1990.

Поступила 13.03.2017

Подписана в печать 24.05.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Kanshin E. (2010) Building Bridges on the Linear Technology Cyclic Sliding: the German Experience. *Nauka i Progress Transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo Natsional'nogo Universiteta Zheleznodorozhnogo Transporta = Science and Transport Progress. Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport*, (33), 106–110 (in Russian).
2. Bychkovsky N. N., Pimenov S. I., Pshenichnikov S. K. (2007) *Construction of Metallic Bridges. Part 2*. Saratov, Saratov State Technical University (in Russian).
3. Pestryakov A. N. (2010) *Incremental Launching and Transversal Sliding*. Ekaterinburg, Ural State University of Railway Transport. 29 (in Russian).
4. Kurliand V. G., Kurliand V. V. (2012) *Construction of Bridges*. Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. 177 (in Russian).
5. Bychkovskii N. N., Akatov V. P., Velichko V. P., Pimenov S. I. (2007) *Steel Reinforced Concrete Bridges*. Saratov, Saratov State Technical University. 588 (in Russian).
6. Bychkovsky N. N., Dankovtsev A. F. (2005) *Metallic Bridges. Part 1*. Saratov, Saratov State Technical University. 364 (in Russian).
7. Nezhdanov K. K., Nezhdanov A. K., Toumanov V. A. (2003) *Method for Launching of Bridge Superstructures*: Patent Russian Federation No 2209872 (in Russian).
8. Kourakin P. P., Korotin V. N., Tchalenko V. V., Doudarev S. V., Melkonyan A. S., Birioukov E. N., Potapov S. V. (2004) *Method for Cyclic Incremental Launching of Continuous Reinforced Bridge Superstructure*. Patent Russian Federation No 2242559 (in Russian).
9. Zakharov L. V., Kolokolov N. M., Tseitlin A. L. (1983) *Assembled Continuous Reinforced Bridge Superstructure*. Moscow, Transport Publ., 98–107 (in Russian).
10. Fel'dman M. V., Alekseev V. V., Yastrubinskii V. L. [et al.], Nagevich D. Ya. (ed.) (1973) *Experience in Incremental Launching of Continuous Reinforced Bridge Superstructures*. *Express-Information*. Moscow, "Orgtransstroy" Publishing House. 23 (in Russian).
11. Fedorova T. D., Fedorova M. Yu. (1990) *Method for Displacement of Construction Elements*: Patent USSR No 1583510 (in Russian).

Received: 13.03.2017

Accepted: 24.05.2017

Published online: 28.11.2017