РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

RESEARCH DEVELOPMENT OF PRESTRESSED METAL CONSTRUCTION STRUCTURES

Изложен вклад российских и зарубежных ученых в создание теории расчета и практику внедрения в строящиеся объекты предварительно напряженных строительных металлических конструкций в период до конца XX столетия. На основании анализа публикаций в журналах ведущих научно-исследовательских, проектных институтов России сделан вывод о снижении количества теоретических и практических разработок предварительно напряженных металлических строительных конструкций в России в конце XX и начале XXI века. Приведен пример эффективности применения указанных конструкций в экстремальных районах Сибири и Дальнего Востока России. Показано, что применение таких конструкций может решить основную технико-экономическую задачу строительства: повышение несущей способности конструкций зданий и сооружений при снижении их массы и стоимости.

Ключевые слова: предварительное напряжение, строительные металлические конструкции, научно-исследовательские и проектные институты, высшие учебные заведения, публикации, эффективность.

The contribution of Russian and foreign scientists to the creation of the calculation theory and practice of introducing prestressed structural metal structures into objects under construction until the end of the XX century is described. Based on an analysis of publications in journals of leading research, design institutes in Russia, it is concluded that theoretical and practical developments in prestressed metal building structures in Russia were reduced in the late XX – early XXI centuries. An example of the effectiveness of using these structures in extreme regions of Siberia and the Russian Far East is given. It is shown that the use of such structures can solve the main technical and economic problem of construction, namely, increasing the bearing capacity of designs of buildings and structures while reducing their weight and cost.

Keywords: prestressing, metal structures, research and design institutes, higher educational institutions, publications, efficiency.

В работе академика Н. П. Мельникова [1] сформулированы основные пути повышения эффективности строительных металлических конструкций. Одним из них, по мнению автора работы, являются углубленные теоретические и экспериментальные исследования в области определения фактической несущей способности предварительно напряженных металлических строительных конструкций. Правомочность та-

кого подхода аргументированно доказана в материалах трех международных конференций (Дрезден, ГДР — 1963 г., Чехословакия — 1966 г. и Ленинград — 1973 г.), публикациях В. Г. Шухова, Е. И. Белени, Б. А. Сперанского, В. М. Вахуркина, Ю. В. Гайдарова, В. В. Бирюлева, а также их учеников. История развития предварительно напряженных металлических конструкций в России и за рубежом подробно изложена в дис-

сертации В. А. Кравчука [2]. Наибольший прогресс в России и за рубежом в области разработки теоретических основ и экспериментальных натурных исследований предварительно напряженных металлических конструкций следует отнести к 60–70-м годам XX века. К этому времени достаточно полно проведены исследования металлических балок, мачт, башен, центрально и внецентренно нагруженных стоек, предварительно напряженных затяжками. Разработана методика определения технико-экономических показателей [3, 4]. Обобщение исследований, выполненное Е. И. Беленей [5], показало, что предварительное напряжение позволяет повысить несущую способность металлических конструкций, их жесткость, общую устойчивость, а также модуль упругости материала конструкций. К этому времени следует отнести фундаментальную работу Б. А. Сперанского по изучению несущей способности металлических ферм, предварительно напряженных затяжками, а также исследования А. А. Воеводина, касающиеся применения предварительно напряженных струн для повышения несущей способности инженерных конструкций.

Экспериментальные и простейшие экономические исследования рассмотренных конструкций показали, что затяжное предварительное напряжение металлических конструкций имеет ряд серьезных недостатков: смещение затяжки с центра тяжести сечения конструкции приводит к его деформации, существует вероятность появления пластических деформаций в зоне анкеровки затяжек, увеличиваются трудозатраты и, следовательно, стоимость конструкций в случае установки дополнительных поддерживающих устройств в длинномерных конструкциях. Появилась необходимость в создании беззатяжных способов предварительного напряжения металлических конструкций, не уступающих, а в некоторых случаях и превосходящих по эффективности затяжные способы. В 1962 г. В. М. Вахуркиным [6] рассмотрена возможность формообразования разрезных предварительно напряженных металлических балок без затяжек посредством выгиба тавров или двутавров. Затем последовала работа В. В. Бирюлева [7] с предложением создавать предварительное напряжение в балках посредством смещения опор.

На 3-й Международной конференции по предварительно напряженным конструкциям (Ленинград, 1973 г.) было внесено предложение создавать предварительное напряжение в разрезных балках изгибом стенки. В 1963 г. специалистами Ленинградского инженерно-строительного института [8] разработана методика предварительного напряжения балки вытяжкой ее нижнего пояса. С 1978 г. в Тихоокеанском государственном университете ведется планомерная работа по исследованию стальных балок, предварительно напряженных вытяжкой их стенки [2, 9, 10]. Профессор В. А. Кравчук в 2015 г. издал научную работу «Стальные стержни, предварительно напряженные без затяжек» [11], в которой привел результаты почти 30-летней работы по изучению теоретических основ и экспериментальным исследованиям биметаллических стальных балок, предварительно напряженных продольной вытяжкой тонкой стенки. Анализ работы балок, предварительно напряженных без затяжек (вытяжкой тонкой стенки, изгибом стенки, деформированием поясных листов), позволил А. Б. Пуховскому [12] внести предложение о возможности эксплуатации их в районах с повышенной сейсмичностью.

Начиная с 70-х годов XX столетия к работе по созданию эффективных конструкций, предварительно напряженных без затяжек, подключились и научно-исследовательские и проектные институты России. В ЦНИИСКе регулярно проводились координационные совещания по вопросу эффективного использования предварительно напряженных конструкций в практике строительства. Было выработано несколько основных направлений теоретического и экспериментального исследования конструкций, главные из которых можно свести к изучению работы:

- предварительно напряженных балочных, консольно-балочных и рамных систем;
- предварительно напряженных ферм из жестких и гибких стержней;
- предварительно напряженных опор различного назначения;
- напряженных листовых конструкций.

В ЦНИИпроектстальконструкция [13] разработаны предварительно напряженные панели стенового ограждения и плиты покрытий зданий. В ЦНИИСКе им. В. А. Кучеренко исследован

способ предварительного напряжения обшивки панелей посредством вытяжки ее в продольном направлении, а также распорным методом [14]. Дальнейшие исследования предварительно напряженных блоков покрытия, выполненные в ЦНИИПСК, освещены в работе [15]. Институтом ЦНИИпроектстальконструкция совместно с уральским ПромстройНИИпроект и Гипроникелем на стадии технического проекта Депутатского горно-обогатительного комбината (Республика Саха) рассмотрен вариант предварительно напряженных стеновых и кровельных панелей [16]. ЦНИИСКом в 1973 г. запроектировано объемно-блочное предварительно напряженное перекрытие хоккейного корта в Ярославле с пролетом 60 м [17]. В ЦНИИпроектстальконструкция разработаны узлы сопряжения ригеля с колоннами, способ повышения устойчивости сферических куполов с шестигранными ячейками путем предварительного напряжения отдельных узлов. ЦНИИмонтажспецстроем совместно с МИСИ в 1969 г. разработан проект предварительного напряжения двухслойных резервуаров.

К рассматриваемому периоду в мировой практике накоплен большой опыт предварительного напряжения оболочек для емкостей, резервуаров, трубопроводов, корпусов доменных печей, о чем подробно рассказано в работе [18]. Достаточно много уделялось внимания исследованию металлических предварительно напряженных конструкций и за пределами России. В Бельгии по проекту профессора Г. Маньяля построен ангар с двухпролетной предварительно напряженной фермой. В г. Харлоу (Англия) построено промышленное здание с несущими фермами, предварительно напряженными затяжками. В Меммингеме (Германия) создано здание ангара со сплошными рамами пролетом 60 м в качестве перекрытия, предварительно напряженными с помощью затяжек, размещенных на 28 м ниже оси ригеля. При строительстве мостовых переходов в Италии применено предварительное напряжение струн, зафиксированных на понтонах.

Этот неполный перечень исследований предварительно напряженных металлических конструкций позволяет утверждать, что к концу XX столетия в России и за рубежом была создана основательная, прошедшая экспериментальную проверку теоретическая база, посвященная во-

просам создания металлических конструкций с повышенной несущей способностью при существенном уменьшении их стоимости и массы.

К сожалению, начиная с 1990-х годов в России наблюдается резкое снижение объемов исследований в области строительных предварительно напряженных конструкций. Это не могло не сказаться на развитии научных исследований в указанной области.

Углубленный анализ тематики публикаций в журналах *International Journal for Computation Structural Civil Engineering* (2012–2018); «Academia. Архитектура и строительство» (2013–2018); «Вестник Волгоградского ИСИ. Серия “Строительство и архитектура”» (2010–2018) показал полное отсутствие в них публикаций, касающихся теоретического и экспериментального исследования и практики внедрения стальных предварительно напряженных строительных конструкций. Анализ публикаций в журнале «Промышленное и гражданское строительство» за период с 2010 по 2018 г. показал, что в нем только одна публикация (2014, № 12) касается исследуемой темы. В журнале «Вестник МГСУ» за период с 2010 по 2018 г. таких публикаций также нет.

Исключение составляют 19 публикаций авторов настоящей статьи и их аспирантов, представленные в журналах «Вестник гражданских инженеров» — 2; «Вестник ВСГУТУ» (Улан-Удэ) — 6 и «Вестник ТОГУ» — 11.

Следует отметить, что в журналах «Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета» (2016, № 3) и «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета» (2010, № 2) есть упоминание о работах над предварительно напряженными металлическими конструкциями. Под руководством заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора В. И. Коробко в Орловском государственном университете также ведутся исследования указанных конструкций. Вместе с этим наблюдается явный спад в научных разработках прогрессивных металлических конструкций.

Между тем применение предварительно напряженных металлических конструкций позволяет успешно решать технико-экономическую задачу строительной отрасли, связанную с воз-

ведением надежных сооружений, прежде всего на территориях, находящихся в экстремальных условиях их эксплуатации. При строительстве промышленных, жилых, общественных зданий, а также инженерных сооружений в Сибири и на Дальнем Востоке следует учитывать природно-климатические условия этих районов. Строительство в этих экстремальных климатических условиях, естественно, требует применения строительных конструкций, позволяющих при обеспечении их надежности решать вопрос экономической эффективности построенных зданий.

В своих работах авторы статей [19–21] отмечают весьма существенное значение для Дальневосточного региона России, занимающего около 42 % территории России, важности исследований в области повышения эффективности строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. Регион находится в буферной зоне России, и связь ее со странами Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) неизбежно будет осуществляться через территорию региона, а это требует интенсивного его развития. Заметим, что АТР — это 18 стран и территорий. Здесь проживает 40 % населения всего мира, производится 54 % мирового валового продукта.

С учетом отличительных особенностей Дальневосточного региона, а также низкого уровня транспортных коммуникаций удорожание строительства в нем, по данным НИИЭС, может достигать до 50 % (Республика Саха). Снижение стоимости строительства может быть достигнуто за счет применения эффективных материалов (алюминиевых сплавов и сталей повышенной прочности). По мнению академика Н. П. Мельникова [1], использование сталей повышенной и высокой прочности даст снижение массы конструкций от 17 % (сталь С33–С40) до 50 % (сталь С60). В Дальневосточном регионе эффект от использования экономичных профилей проката, низколегированных и высокопрочных сталей в 1,2–1,4 раза выше, чем в центральных районах.

Одним из кардинальных путей снижения транспортных расходов при строительстве на Дальнем Востоке является переход на массовое применение легких, прежде всего биметаллических конструкций. Техничко-экономический анализ показывает, что сметная стоимость на 5,1–29,4 %, а трудовые затраты на монтаже цель-

нометаллического здания на 37 % ниже, чем при строительстве железобетонного. В промышленном строительстве из общих затрат на здания всех видов на долю одноэтажных приходится около 80 %, в сельскохозяйственном строительстве — 95 %, причем 30 % стоимости строительства одноэтажных промышленных и 45 % сельскохозяйственных зданий составляют расходы на покрытия. Поэтому совершенствование конструктивных решений покрытий имеет первостепенное значение. Применение стальных несущих покрытий вместо железобетонных особенно эффективно при строительстве крупных промышленных зданий.

Оценивая целесообразность и эффективность металлических конструкций для строительства в районах Дальнего Востока с позиции их надежности, следует иметь в виду, что наибольшее количество аварий здесь связано с низким сопротивлением хрупкому разрушению, одной из причин которого является низкая температура, характерная для Дальневосточного региона. Установлено, что 50 % всех разрушений происходит при нагрузках не больше 0,6–0,7 расчетных. В большинстве случаев исходная точка разрушений находится в зонах концентрации напряжений, вызванных сварочными работами, как правило, в зонах присоединения ребер жесткости (47 %) и опорных ребер (27 %). Значительно меньше подвержены хрупким разрушениям участки без ребер жесткости, причем сплошные конструкции имеют меньшую склонность к образованию трещин, чем сквозные. Решение проблемы повышения несущей способности, местной устойчивости отдельных элементов, снижения концентрации напряжений и повышения жесткости может быть найдено путем массового применения для каркасов зданий и сооружений, в частности, для несущих элементов биметаллических предварительно напряженных тонкостенных стальных конструкций. Этот прием позволит повысить несущую способность конструкций до 30 %, жесткость — до 13 %, местную устойчивость отдельных элементов более чем в 5 раз, общую устойчивость конструкций — до 60 %, что сопровождается повышением их выносливости [2].

Исследование целесообразности применения предварительно напряженных конструкций для

сейсмических районов Дальнего Востока, выполненное А. Б. Пуховским [14], показало, что такие конструкции позволяют снизить динамический прогиб на 30 %, напряжения до 10 %, изменить в лучшую сторону коэффициент удельной потери энергии, коэффициент податливости, пластичности, а также коэффициент поглощения энергии. Очень эффективно предварительное напряжение при усилении всех видов конструкций. В ряде случаев только оно может удлинить срок их эксплуатации. По мнению академика Н. П. Мельникова [1], предварительно напряженные конструкции обладают меньшей или весьма малой вероятностью разрушения по сравнению с обычными металлическими конструкциями. Предварительное напряжение конструкций позволяет расширить область применения высокопрочных сталей в конструкциях различного назначения. Следует иметь в виду, что предварительное напряжение позволяет снизить массу конструкций. Особо следует отметить исключительную эффективность биметаллических стальных конструкций предварительного напряжения, выполняемого без затяжек.

Применение балок, предварительно напряженных без затяжек, в качестве ригелей покрытий и перекрытий связевого или рамного металлического каркаса, строящихся в Дальневосточном регионе, снижает их массу на 23 % [2]. Замена решетчатых прогонов ЦНИИпроектстальконструкцией на предварительно напряженные посредством вытяжки стенки того же пролета снижает их массу от 28 % при равномерно распределенной нагрузке на прогон $q = 0,81$ кН/м и до 38,9 % — при $q = 14,0$ кН/м. При этом трудоемкость изготовления (чел./ч) предварительно напряженного прогона пролетом 12 м снижается на 21,2 %, стоимость изготовления — на 15,4 %; стоимость монтажа блока из двух ферм пролетом 24 м с холодной кровлей из профилированного настила, уложенного на предварительно напряженные прогоны пролетом 12 м, снижается на 6,4 %, а трудоемкость монтажа — на 6,5 %. Стоимость «в деле» предварительно напряженных прогонов по сравнению с соответствующей стоимостью решетчатых прогонов ЦНИИпроектстальконструкции снижается на 12,5 %. Весьма важно отметить, что беззатяжное предварительное напряжение стальной составной

балки посредством продольной вытяжки стенки повышает ее местную устойчивость больше чем в 4 раза. При этом можно не устанавливать промежуточные ребра жесткости по стенке и, в конечном итоге, резко снижается вероятность появления концентраторов сварочных напряжений и хрупких разрушений при эксплуатации конструкции в районах Севера России. Учитывая, что тонкостенные балки с гибкостью стенки до 560 составляют (в диапазоне внешних нагрузок 30–60 кН/м) от 0,96 до 1,05 массы типовых ферм [1], выполненных из уголкового профиля, замена таких балок предварительно напряженными принесет существенную экономическую выгоду.

Выводы

1. Неоправданное снижение интенсивности научных разработок предварительно напряженных металлических конструкций в ведущих научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтах России и, вслед за ними, в высших учебных заведениях страны, а также отсутствие практики внедрения таких конструкций на строительных объектах ведет к значительному удорожанию строительства, особенно в окраинных территориях России.

2. Отказ от внедрения в строительство жилых, общественных, промышленных зданий, а также инженерных сооружений прогрессивных тонкостенных металлических конструкций, прежде всего предварительно напряженных, не способствует успешному развитию отрасли «Строительство».

Библиографический список

1. Мельников Н. П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.
2. Кравчук В. А. Металлические строительные конструкции, предварительно напряженные продольной деформацией стенки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1998. 38 с.
3. Лихтарников Я. М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. М.: Стройиздат, 1968. 264 с.
4. Стрелецкий Н. С., Стрелецкий Д. Н. Проектирование и изготовление экономических металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1964. 360 с.

5. Беленя Е. И. Предварительно напряженные металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1963. 324 с.
6. Вахуркин В. М. Предварительно напряженные стальные конструкции (область применения и основные направления развития) // Металлические конструкции: сб. науч. тр. ЛИСИ. 1962. № 43. С. 35–53.
7. Бирюлев В. В. Металлические конструкции с регулированием напряжений. Новосибирск: Новосибирский инженерно-строительный институт, 1978. 85 с.
8. Клинов И. Г. К расчету бестросовых предварительно напряженных балок с учетом пластических деформаций // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1968. № 5. С. 29–37.
9. Иодчик А. А. Исследование напряженно-деформированного состояния стальных тонкостенных балок, предварительно напряженных изгибом тавра: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2013. 23 с.
10. Чебровский А. А. Совершенствование методики расчета стальных балок, предварительно напряженных вытяжкой стенки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2015. 22 с.
11. Кравчук В. А. Стальные стержни, предварительно напряженные без затяжек. М.: АСВ, 2015. 552 с.
12. Пуховский А. Б. Предварительно напряженные металлические конструкции для сейсмических районов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1987. 37 с.
13. Трофимов В. И., Михайлов Г. Г. Анализ статической работы и расчет мембранных панелей, предварительно напряженных в одном направлении // Алюминиевые конструкции. Вып. 4. М.: Стройиздат, 1974.
14. Фридман Г. С. К расчету металлических блоков покрытия с предварительно напряженной обшивкой // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1978. № 3. С. 59–64.
15. Трофимов В. И., Дукарский Ю. М. Исследование мембранных панелей с распорным способом предварительного напряжения // Алюминиевые конструкции. Вып. 4. М.: Стройиздат, 1974. С. 42–55.
16. Беленя Е. И., Фридман Г. С. Статическая работа и расчет металлических блоков покрытия с предварительно напряженной обшивкой // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1979. № 2. С. 26–32.
17. Ломбардо И. В. Объемно-блочное предварительно напряженное покрытие хоккейного корта в г. Ярославле // Доклады III Междунар. конф. по предварительно напряженным конструкциям. Л., 1973. Т. 2.
18. Беленя Е. И., Астряб С. М., Рамазанов Э. Б. Предварительно-напряженные металлические листовые конструкции. М.: Стройиздат, 1979. 192 с.
19. Кравчук В. А. Некоторые пути повышения эффективности строительства в Дальневосточном реги-

оне // Научное обеспечение технического и социального развития Дальневосточного региона: сб. науч. ст. к 55-летию Тихоокеанского гос. ун-та. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2013.

20. Кравчук Е. В., Кравчук В. А. Формирование кластера на основе инноваций // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 319–324.

21. Несметов В. В. Снижение материалоемкости строительства в условиях Сибири и Дальнего Востока. Л.: Стройиздат, 1986. 135 с.

References

1. Mel'nikov N. P. *Metallicheskie konstruksii. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Metal structures. Current state and prospects of development]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983, 540 p.
2. Kravchuk V. A. *Metallicheskie stroitel'nye konstruksii, predvaritel'no napryazhennye prodol'noy deformatsiyey stenki. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Metal building structures prestressed by longitudinal deformation of the wall. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 1998, 38 p.
3. Likhtarnikov Ya. M. *Metallicheskie konstruksii. Metody tekhniko-ehkonomicheskogo analiza pri proektirovanii* [Metal structures. Methods of technical and economic analysis in the design]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1968, 264 p.
4. Streletskiy N. S., Streletskiy D. N. *Proektirovanie i izgotovlenie ehkonomicheskikh metallicheskikh konstruksiy* [Design and manufacture of economic metal structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1964, 360 p.
5. Belenya E. I. *Predvaritel'no napryazhennye metallicheskie konstruksii* [Prestressed metal structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1963, 324 p.
6. Vakhurkin V. M. *Predvaritel'no napryazhennye stal'nye konstruksii (oblast' primeneniya i osnovnye napravleniya razvitiya)* [Prestressed steel structures (scope of use and main directions of development)]. Sb. nauch. tr. LISI «Metallicheskie konstruksii» [Coll. sci. works of LISI "Metal structures"]. Leningrad, 1962, no. 43, pp. 35–53.
7. Biryulev V. V. *Metallicheskie konstruksii s regulirovaniem napryazheniy* [Metal structures with stress regulation]. Novosibirsk, Coll. sci. works LISI, 1962, 85 p.
8. Klinov I. G. *K raschetu beztrosovykh predvaritel'no napryazhennykh balok s uchetom plasticheskikh deformatsiy* [To the calculation of prestressed beams without steel wire ropes taking into account plastic deformations]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – News of higher educational institutions. Construction and architecture, 1968, no. 5, pp. 29–37.
9. Iodchik A. A. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stal'nykh tonkostennykh*

balok, predvaritel'no napryazhennykh izgibom tavra. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Investigation of the stress-strain state of steel thin-walled beams prestressed by bending of the T-beam. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Ulan-Udeh, 2013.

10. Chebrovskiy A. A. Sovershenstvovanie metodiki rascheta stal'nykh balok, predvaritel'no napryazhennykh vytyazhkoy stenki Diss. kand. tekhn. nauk [Perfection of methods of calculation of steel beams, prestressed by wall pulling. PhD in Sci. Tech. diss.]. Ulan-Udeh, 2015, 22 p.

11. Kravchuk V. A. Stal'nye sterzhni, predvaritel'no napryazhennye bez zatyazhek [Steel rods prestressed without bolting-up]. Moscow, ASV Publ., 2015, 552 p.

12. Pukhovskiy A. B. Predvaritel'no napryazhennye metallicheskie konstruksii dlya seismicheskikh rayonov. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Prestressed metal structures for seismic areas. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, MISI Publ., 1987, 37 p.

13. Trofimov V. M., Mikhaylov G. T. Analiz staticheskoy raboty i raschet membrannykh paneley, predvaritel'no napryazhennykh v odnom napravlenii [Analysis of static operation and calculation of membrane panels prestressed in one direction]. Alyuminievye konstruksii [Aluminum structures]. Iss. 4. Moscow, 1974.

14. Fridman G. S. K raschetu metallicheskh blokov pokrytiya s predvaritel'no napryazhennoy obshivkoy [On the calculation of metal covering blocks with prestressed cladding]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – News of higher educational institutions. Construction and architecture, 1978, no. 3, pp. 59–64.

15. Trofimov V. I., Dukarskiy Yu. M. Issledovanie membrannykh paneley s raspornym sposobom predvaritel'nogo napryazheniya [Research of membrane panels with a strut method of prestressing]. Alyuminivye konstruksii [Aluminium constructions]. Iss. 4. Stroyizdat Publ., Moscow, 1974. Pp. 42–55.

16. Belenya E. I., Fridman G. S. Staticheskaya rabota i raschet metallicheskh blokov pokrytiya s predvaritel'no napryazhennoy obshivkoy [Static work and calculation of metal blocks cover with prestressed casing]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – News of higher educational institutions. Construction and architecture, 1979, no. 2, pp. 26–32.

17. Lombardo I. V. Ob'emno-blochnoe predvaritel'no napryazhennoe pokrytie khokkeynogo korta v g. Yaroslavle [Volumetric-block prestressed covering of hockey court in Yaroslavl]. Trudy III Mezhdunarodnoy konferentsii po predvaritel'no napryazhennym konstruksiyam [Proc. of the III International conference on prestressed structures]. Leningrad, 1973, vol. 2.

18. Belenya E. I., Astryab S. M., Ramazanov Eh. B. Predvaritel'no napryazhennye metallicheskie listovye konstruksii [Prestressed metal sheet structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978, 192 p.

19. Kravchuk V. A. Nekotorye puti povysheniya ehffektivnosti stroitel'stva v Dal'nevostochnom regione [Some ways to improve the efficiency of construction in the Far East region]. Sb. nauch. Statey k 55 – letiyu Tikhoookeanskogo gosudarstvennogo universiteta «Nauchnoe obespechenie tekhnicheskogo i sotsial'nogo razvitiya Dal'nevostochnogo regiona» [Coll. sci. works devoted to the 55-th anniversary of Pacific State University "Scientific support of technical and social development of the Far Eastern region"]. Khabarovsk, TOGU Publ., 2013.

20. Kravchuk E. V., Kravchuk V. A. Formirovanie klastera na osnove innovatsiy [Formation of clusters on the basis of innovations]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2017, no. 2(61), pp. 319–324.

21. Nesterov V. V. Snizhenie materialoemkosti stroitel'stva v usloviyakh Sibiri i Dal'nego Vostoka [Reducing the materials' consumption in construction industry in Siberia and the Far East]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1986, 135 p.