

вольной радиально направленной уравновешенной системы сосредоточенных сил. Последнее позволяет совместно с системой разрешающих уравнений для гибкого стержня [3] сформулировать нелинейную контактную задачу о взаимодействии контурного кольца и радиальной сетки из гибких стержней, а, следовательно, создает условия для разработки общего метода расчета пологих гибких радиально-стержневых систем по деформированной схеме равновесия.

УДК 624.04

Уласевич В.П., Костюк О.В.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЙ ПРИ УСИЛЕНИИ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБКИХ БАЛОЧНО-ВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Необходимость усиления строительных конструкций вызывается набором факторов, препятствующих продолжению сохранять зданием или сооружением условий, обеспечивающих в процессе их эксплуатации требуемую надежность [1]:

- появлением в процессе эксплуатации недопустимых дефектов и повреждений, которые могут привести к развитию в конструкциях предельных состояний, нарушающих безотказность их работы, способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы;
- изменениями условий эксплуатации, вызванными необходимостью замены оборудования при реконструкции объекта, его тепловой реабилитацией, изменением внешних силовых воздействий, изменением архитектурно-конструктивных решений;
- аварийными повреждениями в результате стихийных или иных особых воздействий.

Существующие способы усиления несущих конструкций зданий и сооружений обычно классифицируют по степени капитальности, по величине и характеру нагруженности конструктивных элементов объекта, по конструктивным признакам и др.

Анализируя предложенные в литературе способы усиления элементов и систем строительных конструкций, следует сделать вывод, с одной стороны, о многообразии предлагаемых способов усиления существующих конструкций [2], а с другой, о необходимости повышения эффективности конструктивных схем усиления несущих конструкций, выполненных из различных строительных материалов (металлические, железобетонные, каменные, деревянные) [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов Э.Н. Введение в теорию вантовых систем. – М.: Стройиздат, 1969. – 208 с.
2. Москалев Н.С. Конструкции висячих покрытий. – М.: Стройиздат, 1980. – 331 с.
3. Уласевич В.П. Расчет однопоясных распорных систем из гибких стержней по деформированной схеме // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1977. – № 1. – с. 38-45.
4. Ржаницин А.Р. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1982. – 400 с.

Анализ выполненных нами работ по обследованию несущих конструкций зданий различного назначения показал, что наибольший объем работ при капитальном ремонте зданий приходится на усиление несущих конструкций покрытий. При этом из многочисленных способов усиления наиболее востребованными оказались способы усиления, связанные с изменением конструктивных схем работы конструкций и искусственным перераспределением усилий в элементах вновь образованной конструктивной системы усиления. С таких позиций представляют интерес различные комбинированные и шпренгельные системы, образованные установкой разгружающих кронштейнов [2], предварительно напряженных оттяжек и затяжек [3]. Примеры конструктивных схем балочно-вантовых систем для усиления металлических балок приведены на рис. 1.

На рис. 2 представлен пример усиления железобетонных ригелей связевого каркаса общественного здания, выполненного по серии ИИ-04-3. Необходимость в усилении ригелей покрытия многоэтажного здания возникла вследствие увеличения нагрузки на ригель при замене плоской кровли двускатной. Поверочные расчеты показали, что опорные реакции от продольных ферм кровли, возникшие при совместном действии постоянной (собственная масса конструкций кровли) и временной (снег) нагрузок, существующий ригель воспринять не может даже исходя из условий прочности по нормальным сечениям. Очевидно, что в связи с существенным увеличением расчетного значения снеговой нагрузки для районов Республики Беларусь и введением в действие СНБ 5.03.01-02, а так же необходимостью увеличения нагрузки при тепловой реабилитации, такая ситуация при ремонте кровель зданий может возникать достаточно часто.

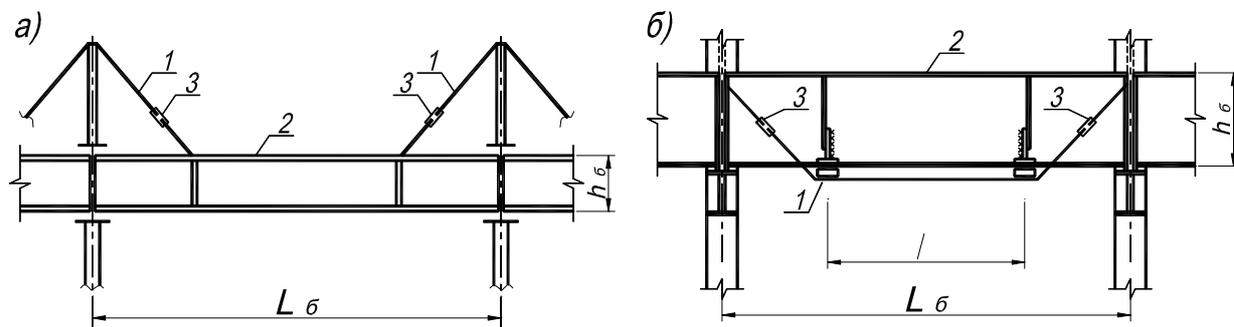


Рис. 1. Конструктивные схемы усиления

а) – металлических балок чердачного перекрытия; б) – металлических подкрановых балок

1 – предварительно напряженная ванта; 2 – усиливаемая конструкция; 3 – уст-ва для преднапряжения.

Костюк Ольга Васильевна, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

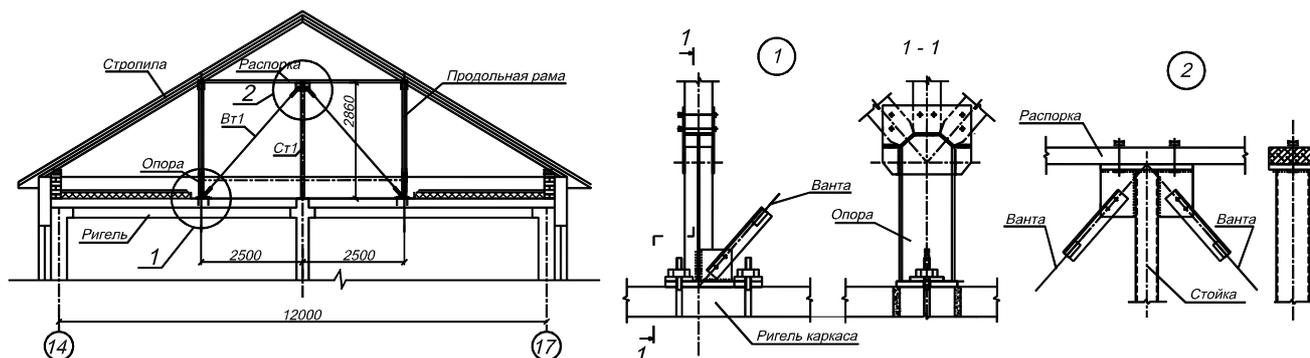


Рис. 2. Схема разгрузки ригеля покрытия включением его в балочно-вантовую систему.

С целью уменьшения реакций, передаваемых на ригель от опор продольных рам стропильной системы, нами предложена схема его разгрузки путем изменения его расчетной схемы – ригель, работающий как простая балка, преобразован в балочно-вантовую систему, конструктивная схема которой представлена на рис. 2.

С учетом особенностей статической работы таких систем и допущений, оговоренных в [4], их расчетные схемы можно объединить в общий класс задач строительной механики – *гибкие балочно-вантовые системы*. Поскольку ванты балочно-вантовых систем работают главным образом на растяжение, то при их конструировании они дают возможность применять высокопрочные стали и другие высокопрочные материалы. При этом под нагрузкой в вантах развиваются значительные продольные деформации, существенно влияющие на деформативность узлов всей балочно-вантовой системы усиления. Эта особенность требует при их расчете учета деформированной схемы равновесия. С точки зрения кинематического анализа образованная расчетная схема балочно-вантовой системы геометрически неизменяема и статически неопределима. Геометрическая неизменяемость обеспечивается достаточными величиной предварительного напряжения вант и изгибной жесткостью ригеля.

Деформативность гибких балочно-вантовых систем меньше, чем мгновенно-жестких вантовых систем. Учитывая эту особенность, а так же возможность применения принципа квазилинеаризации, нами впервые разработана методика их деформационного расчета, основанная на методе конечных элементов в форме метода перемещений [4] и методе последовательных приближений. Это дало возможность выполнить широкомасштабный численный эксперимент, анализ результатов которого позволил разработать ряд конструктивных решений для усиления конструкций перекрытий [5].

Кроме того, выполненные теоретические исследования с использованием [4] в качестве математической модели, позволили сделать вывод: – если гибкие балочно-вантовые системы геометрически неизменяемы и статически неопределимы, то они могут быть предварительно напряжены. Это дает возможность, выполняя учет деформированной схемы равновесия, искусственно регулировать внутренние усилия в ригеле до оптимальных значений путем предварительного напряжения вант. Опыт применения предварительно-напряженных балочно-вантовых систем при усилении балочных элементов перекрытий, позволил сделать вывод, что искусственное регулирование усилий в гибких балочно-вантовых системах целесообразно для достижения следующих целей:

1. Для минимизации максимальных напряжений в усиливаемых элементах балочно-вантовых систем. Примером может служить система для усиления железобетонного ригеля, представленная на рис. 2;

2. Для возможности повысить устойчивость сжатых стержней балочно-вантовых систем путем предварительного напряжения вант до возможности воспринимать сжимающие

усилия. Примером могут служить исследования и опыт проектирования радиомачт, выполненные в [6] с целью повышения устойчивости стволков.

Самонапряженные состояния балочно-вантовых систем могут быть созданы путем предварительного напряжения вант независимо от ее напряженно-деформированного состояния, вызванного воздействием внешней нагрузки. Вышеназванные цели достигаются созданием в гибких балочно-вантовых системах требуемых самонапряженных равновесных деформированных состояний.

Количество самонапряженных состояний статически неопределимых стержневых систем равно числу «лишних» связей и соответствуют порядку уравнений деформаций. Самонапряженные состояния могут быть созданы предварительным напряжением независимо от величин внешних силовых воздействий. Поэтому величины предварительных напряжений существенно влияют на их общее напряженное и деформированное состояние и позволяют управлять им путем создания самонапряжений до требуемых величин.

Особенность гибких балочно-вантовых систем – наличие в системе элементов в виде гибких или жестких вант (гибких стержней), представляющих собой односторонние внутрисистемные связи, что требует при создании самонапряженных состояний учитывать ограничения на величины и знаки усилий в вантах.

В отличие от стержневых линейно-деформируемых статически неопределимых систем в статически неопределимых балочно-вантовых системах число независимых самонапряженных состояний только тогда равно числу лишних связей, когда на знаки усилий в вантовых элементах системы не накладываются жесткие ограничения. Наложение на ванты балочно-вантовых систем, обладающих свойствами односторонних связей, жестких ограничений – необходимое и достаточное условие для применения к ним *принципа квазиинвариантности* [4]. Если ванты представляют собой гибкие стержни, обладающие конечной изгибной жесткостью, то для соблюдения *принципа квазиинвариантности* в качестве жестких ограничений на усилие в вантах N_v , на них необходимо накладывать ограничение $N_v \leq P_c$, где P_c – критическая сила первого рода.

С учетом вышесказанного, проектировщикам, при усилении балочных систем способом замены их конструктивных схем на квазиинвариантные балочно-вантовые необходимо решать следующие задачи с применением метода деформационного расчета [4]:

1. Задачи о количестве независимых самонапряженных состояний, которые возможны для вантосто-стержневой системы при известных жестких ограничениях.

В незагруженной геометрически неизменяемой n раз статически неопределимой системе можно путем создания предварительного напряжения в n связях, получить n самонапряженных состояний с усилиями произвольной наперед заданной

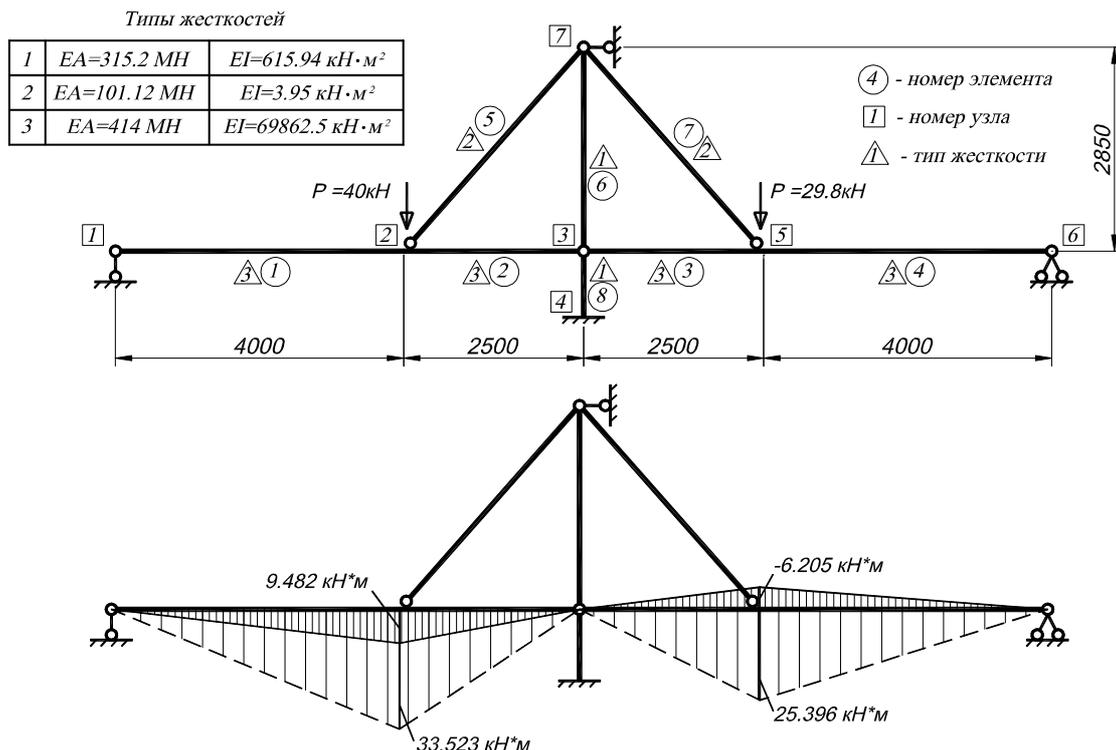


Рис. 3. Расчетная схема и эпюры изгибающих моментов в ригеле.

Таблица 1

№ элем	№ сечен	Усилия без преднапряжения			Усилия с преднапряжением			№ элем	№ сечен	Усилия без преднапряжения			Усилия с преднапряжением		
		N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)			N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)
1	1	0,000	0,000	8,381	0,000	0,000	2,371	5	1	24,224	0,000	0,000	45,000	0,000	0,000
	2	0,000	33,523	8,381	0,000	9,482	2,371		2	24,224	0,000	0,000	45,000	0,000	0,000
2	1	-15,974	33,523	-13,409	-29,676	9,482	-3,793	6	1	-31,503	-0,017	0,006	-67,649	-0,017	0,006
	2	-15,974	0,000	-13,409	-29,676	0,000	-3,793		2	-31,503	0,000	0,006	-67,649	0,000	0,006
3	1	-15,917	0,000	10,158	-29,611	0,000	-2,482	7	1	17,682	0,000	0,000	45,000	0,000	0,000
	2	-15,917	25,396	10,158	-29,611	-6,205	-2,482		2	17,682	0,000	0,000	45,000	0,000	0,000
4	1	-4,257	25,396	-6,349	0,068	-6,205	1,551	8	1	-55,070	0,034	-0,051	-68,960	0,041	-0,058
	2	-4,257	0,000	-6,349	0,068	0,000	1,551		2	-55,070	-0,017	-0,051	-68,960	-0,017	-0,058

величины. Как видно из сказанного – расчетная схема стержневой системы может быть произвольной, для которой записаны уравнения равновесия как в недеформированной, так и в деформированной схемах, а внутренние усилия могут не иметь ограничений на усилия. В произвольной геометрически *квазиинвариантной* балочно-вантовой системе с *n* лишними связями количество самонапряженных состояний равно *n* при учете ограничений на гибкие стержни и близкие к ним.

2. Задача о способах регулирования усилий путем создания самонапряженных состояний, возможных для гибкой балочно-вантовой системы.

Основная цель предварительного напряжения балочно-вантовых систем – создание искусственным путем самонапряженных состояний в конструкции, стержне или на их участке для повышения несущей способности, снижения деформативности или напряжений под действием эксплуатационных нагрузок и других воздействий.

3. Задача о последовательности создания предварительного напряжения в вантах гибких балочно-вантовых систем вплоть до требуемых величин усилий (напряжений).

Данная задача неизбежно возникнет при включении несущих конструкций, подлежащих усилению, в состав балочно-вантовой системы, так как при расчете необходимо исследовать

расчитываемые деформированные состояния, как для стадии монтажа, так и для стадии эксплуатации.

4. Задача об определении необходимых величин усилий предварительного напряжения.

Эту задачу необходимо решать с учетом жестких ограничений, исключающих возможное наступление в стержнях системы предельных состояний I и II групп. Особенности этих ограничений зависят кроме всего вышесказанного от механических характеристик материала конструкций (металл, железобетон, дерево и др.), которые в расчетных схемах учитываются принятыми жесткостными характеристиками входящих в систему стержней (таблица 1).

С учетом вышесказанного интересен опыт усиления железобетонного ригеля, основные принципы конструктивной схемы которого представлены на рис. 2. В табл. 1 представлены результаты исследований, на основе которых конструктивная схема внедрена в проект капитального ремонта здания. На рис. 3 показана эпюра изгибающих моментов в ригеле. Пунктирной линией указана величина изгибающего момента в ригеле без предварительного напряжения вант; сплошной линией указаны величины изгибающих моментов, обеспечивающие требуемую надежность [1]. Результаты численного исследования наглядно демонстрируют необходимость предварительного напряжения

вант и наличия самонапряженного участка образованной на базе ригеля балочно-вантовой системы.

Краткие выводы. Искусственное регулирование усилий балочных систем (балок, ферм и других балочных систем), подлежащих усилению путем создания на их базе гибких балочно-вантовых систем, – эффективный способ оптимизации напряженно-деформированного состояния усиливаемого конструктивного элемента.

При расчете балочно-вантовых систем необходим учет деформированной схемы равновесия, так как линейный расчет может дать существенную погрешность, и тем самым основные напряжения в усиливаемом конструктивном элементе представить соизмеримыми с дополнительными в виду существенного различия в работе под нагрузкой конструктивной схемы и линейной расчетной.

Способы создания предварительного напряжения в балочно-вантовых системах разнообразны и зависят от количества внутренних связей, с помощью которых могут быть достигнуты самонапряженные состояния системы.

В лишних связях гибких балочно-вантовых систем, если они не относятся к числу безусловно необходимых, а системы удовлетворяют условиям квазиинвариантности и статической неопределимости, можно задать предварительное напряжение таким, что усилия в них будут равны требуемой наперед заданной величине.

При наличии в балочно-вантовых системах вант в виде гибких стержней, обладающих конечной изгибной жесткостью, диапазон несущей способности может быть повышен вплоть до потери устойчивости одним из гибких стержней.

УДК 674.028.3

Жук В.В., Куши К.М., Замойская Н.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕРЕВЯННЫМ КАРКАСОМ И ФАНЕРНОЙ ОБШИВКОЙ НА ПРОВОЛОЧНЫХ СКОБАХ

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы значительно возросли объемы жилищного строительства на селе. Этому способствует принятая правительством Республики Беларусь программа по возрождению села, предусматривающая ежегодное строительство не менее пяти домов усадебного типа в каждом сельхозпредприятии и возможность получения кредита на жилищное строительство на льготных условиях (под 3% годовых).

Значительная часть введенных в эксплуатацию жилых домов имеет традиционное решение конструкций наружных стен – из газосиликатных блоков, кирпича или керамических камней. Такое конструктивное решение имеет свои достоинства (долговечность, высокая прочность конструкций и степень защищенности от возгорания, низкая подверженность атмосферным влияниям) и недостатки (трудоемкость возведения, необходимость отделки стен, ограничения по производству работ в зимнее время).

Практика строительства в США, Канаде, Швеции и России – странах, расположенных, как и наша Республика, в таких же, а в ряде случаев, и в более суровых климатических условиях, показывает, что основной метод строительства индивидуальных домов представляет собой их сборку из готовых конструкций (панельное домостроение) или из отдельных элементов, образующих каркас, с дальнейшей обшивкой их плитными материалами (каркасное домостроение). При этом наиболее гибкое планировочное и конструктивное решение

Усиление балок балочных систем путем создания в их пролете самонапряженных зон или включения их в предварительно напряженные балочно-вантовые системы эффективно, так как для вант возможно применение высокопрочных материалов, а поэтому при правильном подборе конструктивных решений, как правило, экономически обосновано.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: Госстрой СССР, 1988. – 10 с.
2. Хило Е.Р., Попович Б.С. Усиление строительных конструкций. – Львов: Вища школа, 1985. – 156 с.
3. Реконструкция промышленных предприятий / Под редакцией В.Д. Топчия, Р.А. Гребенника: В 2-х томах. Т. 1. – М.: Стройиздат, 1990. – 591 с.
4. Уласевич В.П., Костюк О.В. Деформационный расчет гибких балочно-вантовых систем методом конечных элементов в среде MathCAD // Вестник БГТУ – 2004. № 1(25): Строительство и архитектура. – С. 111–117.
5. Уласевич В.П., Костюк О.В. Блок покрытия с балочно-вантовой системой усиления чердачных перекрытий // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – Приложение: Материалы XI Межд. научн.-метод. межвуз. семинара «Перспективы развития новых технологий в стр-ве и подготовке инженерных кадров РБ», Брест, 25-27 ноября 2004 г.: В 2 ч. – 2004. – Ч. 1 – С. 149-152.
6. Беленя Е.И., Стрелецкий Н.Н. Металлические конструкции. Специальный курс: Уч. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.

имеют деревянные каркасные дома. Их конструктивной основой является каркас, состоящий из деревянных брусок различного сечения, установленных с шагом 400 – 600 мм, понизу и поверху объединенных горизонтальными элементами в жесткую раму. Каркас обшивается листовыми материалами на основе древесины, а в качестве утеплителя используется пенополистирол или минераловатные плиты.

Благодаря тому, что древесина и древесноплитные материалы имеют относительно небольшую плотность, высокие теплозащитные свойства, легко поддаются механической обработке и сборке, затраты на строительство панельных домов на 20 – 30% меньше, чем домов из кирпича и бетона. В свою очередь, стоимость заводского изготовления 1м² каркасного деревянного дома меньше на 30 – 40% стоимости 1м² панельного дома за счет сокращения расхода пиломатериалов на 20% и трудоемкости заводского изготовления в 2,5 – 3 раза. Кроме того, затраты на отопление (в расчете на 1м² площади) в 2 – 2,5 раза меньше, чем у домов, построенных из кирпича.

Можно предположить, что и в нашей Республике деревянные панельные и каркасные жилые дома будут востребованы не только по причине их меньшей стоимости и коротких сроков строительства (сдача дома «под ключ» составляет 8 – 12 недель) по сравнению с кирпичными домами, но и с учетом того, что древесина – местный, а значит, и дешевый строительный материал, запасы которого с течением времени способны пополняться, обеспечивая, таким образом,

Жук Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Замойская Надежда Владимировна, ассистент кафедры архитектурных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Куши Константин Михайлович, инженер-конструктор ООО «Облик».

Строительство и архитектура