

Уласевич В.П., Костюк О.В.

ГИБКИЕ БАЛОЧНО-ВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ В КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМАХ УСИЛЕНИЯ ПЕРЕКРЫТИЙ

Актуальность задачи. На предприятиях РБ в условиях резкого удорожания стоимости и уменьшения объемов капитального строительства главным резервом экономии материальных и трудовых ресурсов в строительстве становится проблема продления долговечности существующих зданий. Проектные решения построенных ранее зданий отличаются тем, что их долговечность и долговечность отдельных конструкций существенно отличались. Анализ результатов обследования показал, что наиболее уязвимыми конструкциями зданий являются междуэтажные и чердачные перекрытия, основными несущими элементами которых являются балки и балочные системы, работающие на изгиб. Это убедительно доказывает усредненная долговечность важнейших несущих конструкций, изложенная по данным исследований [2] в табл. 1.

Как видно из табл. 1, усредненные сроки службы практически всех типов перекрытий ниже, чем у фундаментов и несущих стен здания. А это значит, что даже в идеальных условиях эксплуатации для того, чтобы выдержать нормативные сроки надежности для здания в целом, неизбежно потребуется усиление несущих конструкций перекрытий. Наименьшей долговечностью обладают балочные перекрытия с балками из прокатной стали и деревянных брусев. Так, в сравнении с долговечностью кирпичных стен нормативные сроки службы деревянных перекрытий меньше долговечности стен практически в 2,5 раза. Такие перекрытия были широко распространены в зданиях различного назначения, возводимых в первой половине 20-го столетия, однако до сего времени проблема их усиления по-прежнему актуальна, особенно для чердачных перекрытий.

С появлением балочных систем перекрытий из монолитного и сборного железобетона их нормативная долговечность в сравнении с металлодеревянными и деревянными повысилась практически в два раза. Однако проблема усиления перекрытий и из железобетона по-прежнему актуальна, так как в процессе эксплуатации зданий межремонтные сроки могут быть существенно сокращены при выходе из строя ограждающих конструкций, выполняющих защитные функции от

атмосферных воздействий и неблагоприятной внешней среды.

Анализ конструктивных схем усиления балочных систем и методик их расчета. Необходимость усиления балочных систем конструкций вызвана возможностью воздействия на них комплекса факторов, снижающего эксплуатационную надежность. Главными из этих факторов являются:

- недостатки конструктивной схемы здания, заложенные в процессе проектирования;
- низкое качество несущих конструкций или материалов, из которых они изготовлены;
- неудовлетворительная эксплуатационная среда, вызванная нарушениями технологических процессов, температурно-влажностного режима, неисправностью систем вентиляции;
- нарушение правил технической эксплуатации зданий, связанные во многих случаях с недостаточной квалификацией персонала службы технической эксплуатации здания;
- нарушения технологии ремонтных работ.

Таким образом, часто уже в период нормативного срока эксплуатации зданий становится актуальной задача о продлении их срока службы путем усиления несущих конструкций.

В научных исследованиях, посвященных проблеме усиления балочных систем перекрытий, достаточно внимания уделялось и уделяется конструированию систем усиления с учетом работы материала усиливаемого элемента (дерево, металл, железобетон). Доказательством этому служат многочисленные конструктивные решения, изложенные в учебной, научной и нормативной литературе [1, 2, 6].

Из нормативных актов РБ, посвященных методике усиления железобетонных конструкций, следует отметить «Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84* "Усиление железобетонных конструкций"», разработанное ГП «Стройтехнорм» (авторы Д.Н. Лазовский и Т.М. Пецольт). Пособие содержит указания по проектированию, расчету и оценке надежности усиления железобетонных конструкций с проверкой сечений в растянутых и сжатых зонах при кручении, местном сжатии и продавливании, с изменением статической и расчетной схемы.

Таблица 1

Конструкции зданий	Наименование конструктивных элементов	Усредненные сроки службы для групп зданий, лет			
		I	II	III	IV
Сроки службы здания в целом		150	125	100	50
Фундаменты	– ленточные бутовые на сложном или цементном растворе, бетонные и железобетонные	150	125	100	–
	– ленточные бутовые на известковом растворе	–	–	–	50
Стены	– особо капитальные, каменные (кирпичные при $t=2.5\div 3.0$ кирпича) и крупноблочные	150	–	–	–
	– кирпичные обыкновенные при $t=2.0\div 2.5$ кирпича, крупноблочные и крупнопанельные	–	125	–	–
Перекрытия	– железобетонные сборные и монолитные	150	125	100	–
	– по металлическим балкам с бетонным заполнением по металлическим балкам	–	125	100	–
	– междуэтажные и чердачные деревянные по металлическим балкам	–	80	60	–
Кровля	– стропила и обрешетка деревянные	50	50	50	50
	– из волнистого асбоцементного шифера и асбоцементных плиток	30	30	30	30
	– из оцинкованной листовой стали	25	25	25	25
	– из черной листовой стали	15	15	15	15
	– из рулонных материалов ($2\div 3$ слоя)	12	12	12	12



Рис. 1. Классификация способов усиления несущих конструкций

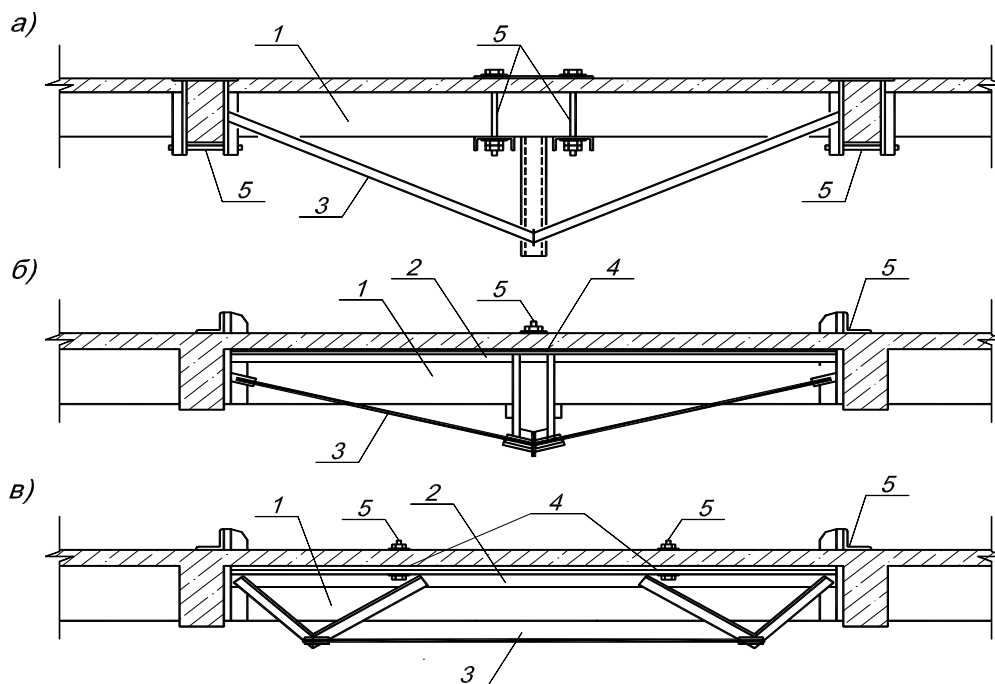


Рис. 2. Конструктивные схемы для усиления железобетонных балок

1 – усиливаемая балка; 2 – конструкции усиления; 3 – ванты-затяжки; 4 – места установки упор; 5 – стяжные болты и хомуты

Классификация наиболее распространенных способов усиления балочных систем перекрытий приведена на рис. 1, анализ которых позволил сделать вывод: наиболее эффективным способом усиления балочных систем является способ изменения расчетной схемы путем введения в балочную конструкцию дополнительных упругих опор с целью превращения простой балки в многопролетную неразрезную.

Чаще всего дополнительные упругие опоры получают путем устройства вант-затяжек (рис. 2), либо подвесной балок к системе прямолинейных вант (рис. 3). В результате балочная система преобразуется в качественно новую стержневую си-

стему – *комбинированную балочно-вантовую систему* (БВС), состоящую из высокопрочных вант и усиливаемых балок.

Приведем примеры эффективных конструктивных схем БВС, примененных авторами статьи для усиления несущих конструкций перекрытий, необходимость в разработке которых возникла в процессе обследования зданий.

А. В строительном проекте 83/04 «Модернизация учебного корпуса УО ГПТУ-162», разработанного УП «Институт Брестстройпроект», применена разработанная нами балочно-вантовая система для усиления ригеля железобетонного каркаса при замене плоской кровли на скатную [4]. Такая ситуация

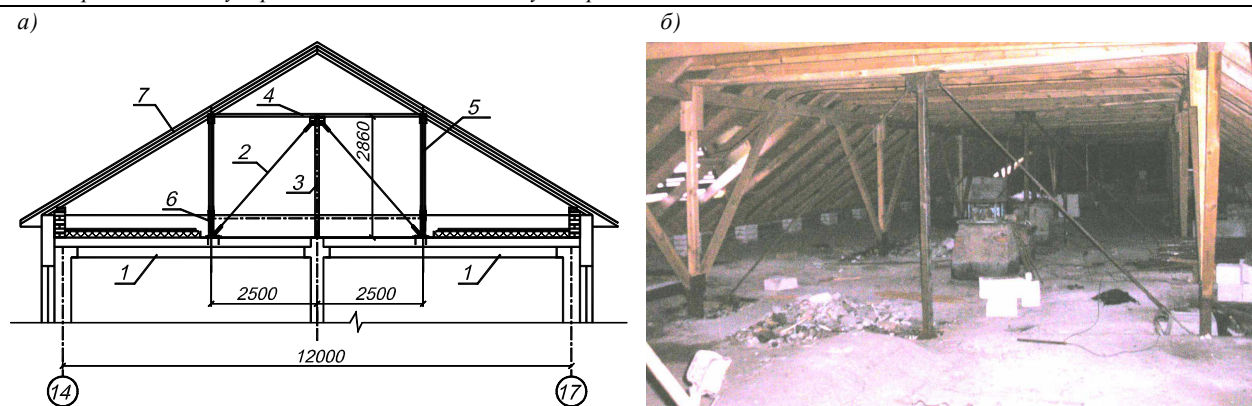


Рис. 3 Схема разгрузки ригеля перекрытия включением его в БВС

а) – Конструктивная схема перекрытия при устройстве скатной кровли;

б) – Чердачное перекрытие в процессе строительства скатной кровли взамен плоской:

1 – усилимые ригели каркаса; 2 – ванты (тяжи); 3 – стойка над колонной каркаса; 4 – распорка связей кровли; 5 – продольные фермы; 6 – стойка продольной фермы; 7 – стропила

возникла при оценке несущей способности железобетонного каркаса учебного корпуса ПТУ-162 г. Ивацевичи, когда в результате поверочного расчета было установлено, что железобетонный ригель не в состоянии воспринять реакцию от продольных ферм проектируемой скатной кровли, а колонны каркаса обладают достаточным резервом несущей способности.

Конструктивное решение балочно-вантовой системы, примененное для разгрузки железобетонного ригеля от реакций опор продольной фермы скатной кровли, демонстрирует рис. 3, а. Здесь опорная реакция от продольной фермы передается на стойку 6, закрепленную на верхней плоскости ригеля двумя самозаклинивающимися распорными болтами ГОСТ 28778-90. Реакция последней передается на ванты 2 с последующей передачей через стойку 3 на колонну, чем достигается существенное снижение величин опорной реакции стропильной системы, вызывающей изгибающий момент в ригеле как основное расчетное усилие. Поиск оптимального распределения усилий между ригелем, вантами и колонной выполнялся путем предварительного натяжения вант. Горизонтальная составляющая реакций, возникающая в месте сопряжения ригеля со стойкой 6, воспринимается ригелем совместно с горизонтальным диском плит перекрытия и металлическими элементами крепления ригеля к колонне, что делает вантово-балочную систему еще более эффективной.

В настоящее время строительные работы по проекту находятся на завершающей стадии (см. рис. 3, б).

Б. Пространственный блок покрытия, объединивший в себе в единое целое несущие конструкции кровли и гибкую балочно-вантовую систему усиления деревянных балок перекрытия разработан и применен нами в строительном проекте 03/14.01 для усиления деревянных балок чердачного перекрытия цеха №1 хлебозавода г. Гродно. Принципиальное конструктивное решение изложено на рис. 4. Балка жесткости 5 выполнена из стального уголка $\angle 140 \times 9$, образуя для усилимых деревянных балок чердачного перекрытия в месте соединения ее с вантами дополнительные упругие опоры. Опорные реакции балочно-вантовой системы передаются от вант 6 на узлы продольных деревянных ферм 7 стропильной системы кровли так, что балка жесткости подхватывает усилимые деревянные балки перекрытия 1 посередине. При этом деревянные балки перекрытия начинают работать по двухпролетной неразрезной схеме с равными пролетами, уменьшенными в два раза, что увеличивает их несущую способность практически в 5 раз. Наличие устройств для создания предварительного натяжения вант дает возможность перераспределения внутренних усилий до оптимальных значе-

ний [3]. В настоящее время строительный проект 03/14.01 на капитальный ремонт здания завершен.

На примерах усиления ригеля каркаса административного здания ПТУ-162 в г. Ивацевичи и деревянных балок чердачного перекрытия цеха №1 хлебозавода г. Гродно доказана эффективность БВС и для малых пролетов. При этом монтаж рассматриваемых конструктивных решений БВС для усиления перекрытий показал, что работы по сборке достаточно просты, могут быть выполнены быстро, в стесненных условиях и без остановки технологических процессов.

К методике проектирования балочно-вантовых систем. Опыт проектирования БВС показал, что такие системы, со статической точки зрения, обладают рядом особенностей, важнейшими из которых являются следующие:

- Балочно-вантовым системам свойственна повышенная деформативность, так как входящие в них ванты, обладая высокими прочностными характеристиками, имеют относительно невысокую продольную жесткость. *Эта особенность требует при их проектировании учета деформированной схемы равновесия, порождающей геометрическую нелинейность.*
- Если балочно-вантовые системы статически неопределимы, то они могут быть предварительно напряжены. Это дает возможность регулировать внутренние усилия в таких системах до оптимальных значений.
- Ванты балочно-вантовых систем являются элементами, обладающими свойствами односторонних связей, поэтому для соблюдения принципа *квази неизменяемости* в процессе расчета на усилие в вантах N_v , необходимо накладывать ограничение $N_v < P_3$, где P_3 – критическая сила первого рода.

Для статического расчета БВС сложной стержневой структуры, содержащих в своем составе высокопрочные ванты, рекомендуется применять разработанный авторами метод расчета по деформированной схеме, обладающий достоинствами численного решения МКЭ для стержневой системы и высокой степенью сходимости. Метод расчета построен на принципе последовательных увязок силовых и деформационных параметров [4] и учитывает на стадии расчетной схемы геометрическую нелинейность, влияние которой на ее напряженно-деформированное состояние при переходе из исходного состояния в деформированное, существенное. Точность метода обоснована аналитическим решением КЭ «*прямолинейный гибкий стержень*» [7], а возможность его практического применения определена программой для ПК SdCAD,

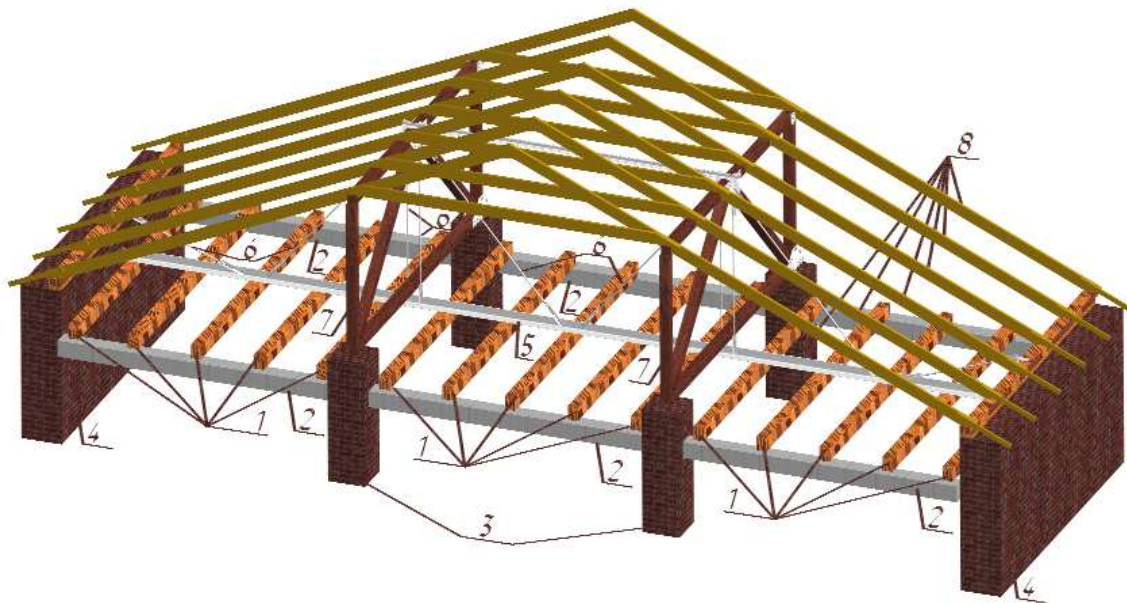
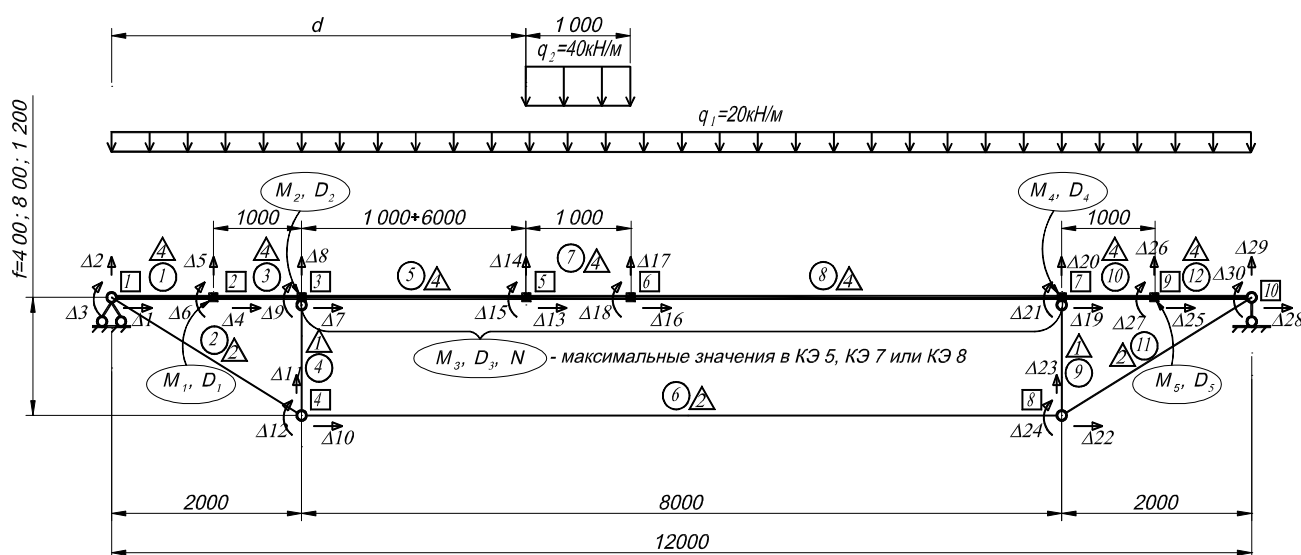


Рис. 4. Конструктивная схема блока покрытия с балочно-вантовой системой

1 – усилимые деревянные балки; 2 – существующие металлические балки; 3 – кирпичные столбы; 4 – кирпичные стены; 5 – балка жесткости БВС; 6 – ванты БВС; 7 – продольные фермы; 8 – стропила



Условные обозначения

- - узлы модели
- - конечные элементы (КЭ)
- △ - тип жесткости
- - жесткое сопряжение стержней в узлах системы
- - шарнирное сопряжение стержней в узлах системы

Типы жесткостей

1	2L 63x5	EA=252.371 МН	EI=95.1 кН·м ²
2	2 22	EA=152.053 МН	EI=4.6 кН·м ²
3	I №50	EA=2060 МН	EI=81837.62 кН·м ²

Рис. 5. Расчетная схема МКЭ шпренгельной системы

разработанной авторами на языке программирования математической среды MathCAD.

Необходимость учета геометрической нелинейности в расчетах БВС наглядно демонстрирует пример расчета, приведенный в [4], в котором показано, что пренебрежение геометрической нелинейностью может привести к ошибке значений величин внутренних усилий в сравнении с линейным расчетом на 30÷80%.

Для простейших БВС типа шпренгельных (рис. 2) учет геометрической нелинейности так же важен, так как при применении вант, изготовленных из высокопрочных материалов, он может уточнить усилия более чем на 12%.

Для подтверждения этого рассмотрим результаты расчета шпренгельной системы, выполненного по программе SdCAD [7], расчетная схема которой представлена на рис. 5. Ставилась задача отыскать положение участка равномерно распределенной нагрузки $q_2=40 \text{ кН/м}$ от технологического оборудования на стальной прокатной балке перекрытия, для которого проявятся наибольшие изменения усилий и деформаций между линейным и деформационным расчетом.

На графике (рис. 6, а) представлены результаты выполненных исследований. Здесь видно, что максимальное изменение изгибающих моментов M_3 , полученных по деформационной и линейной схемам расчета, достигается при пологости

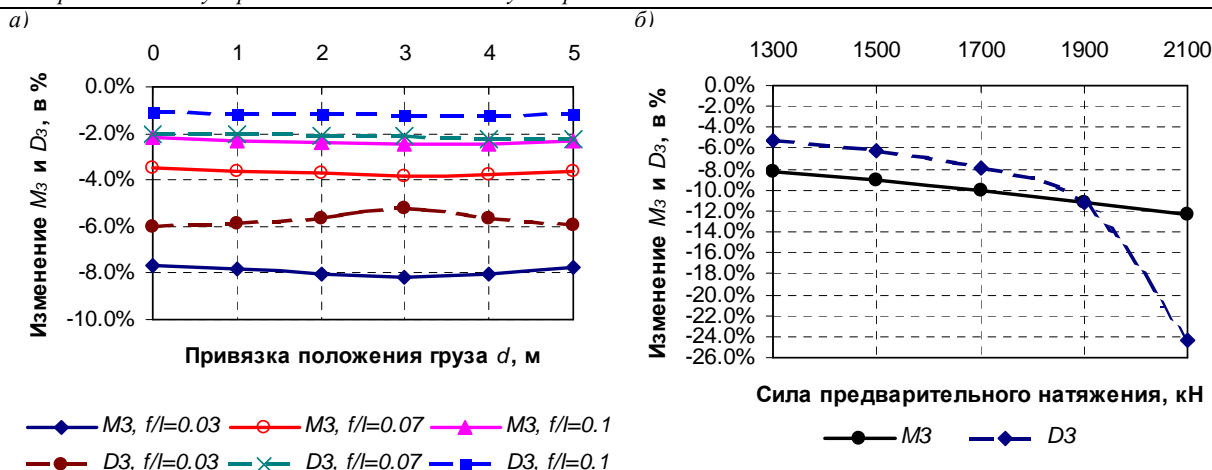


Рис. 6. Изменение изгибающих моментов (M_3) и вертикальных перемещений (D_3) при деформационном расчете в сравнении с линейным расчетом:
 а) при различных положениях груза на балке, усиленной шпренгелем;
 б) при увеличении силы предварительного натяжения (для положения груза на балке $d=3$ м и пологости системы $f/l=0.03$)

Таблица 2

Дополнительная нагрузка q_2 , кН/м		40				
Предварительное натяжение P_n , кН		1300	1500	1700	1900	2100
Пологость f/l		0.03				
Привязка d распредел. нагрузки q_2 , м		3				
M_3 , кНм	Лин. расч.	-261.561	-221.361	-181.161	-140.96	-100.76
	Деф. расч.	-282.937	-241.557	-199.488	-156.72	-113.245
	относит. разность, %	-8.17%	-9.12%	-10.12%	-11.18%	-12.39%
D_3 , мм	Лин. расч.	-38.798	-30.285	-21.771	-13.258	-4.744
	Деф. расч.	-40.817	-32.193	-23.499	-14.733	-5.896
	относит. разность, %	-5.20%	-6.30%	-7.94%	-11.13%	-24.28%
N , кН	Лин. расч.	-871.011	-971.501	-1071.991	-1172.481	-1272.971
	Деф. расч.	-866.286	-965.748	-1064.821	-1163.502	-1261.794
	относит. разность, %	0.54%	0.59%	0.67%	0.77%	0.88%

системы $f/l=0.03$ и положении участка распределенной нагрузки q_2 на расстоянии $d=3$ м от левой опоры балки. В этом положении нагрузки, при выравнивании изгибающих моментов M_1 и M_3 путем предварительного натяжения элемента

№ 6, см. таблицу 2 (рис. 6, б), расхождение линейного и деформационного расчетов в значениях изгибающих моментов M_3 достигло 12.4%, а в вертикальных перемещениях D_3 – 24.3%

Важно, что при выполнении деформационного расчета автоматически решается задача об устойчивости всех стержневой системы, работающих в упругой стадии. А для стержневой системы, которые могут работать в упругопластической стадии, расчет дает достаточную информацию, которая необходима для принятия решения при переходе от расчетной схемы к конструированию элементов системы из конкретных материалов (сталь, железобетон, дерево, композитные материалы).

С учетом возможности деформационного расчета гибких стержневых систем произвольной структуры по программе SdCAD, предлагается следующая методика проектирования балочно-вантовых систем для усиления балок перекрытий, которая позволяет:

➤ Оценить состояние обследуемых балок и выполнить их расчет с целью определения внутренних усилий, напряжений и прогибов. При обнаружении, что обследуемые балки не

удовлетворяют предельным состояниям первой или второй групп, необходимо установить ту величину нагрузки, которую в состоянии воспринять усиливаемый элемент.

➤ Разработать конструктивную схему балочно-вантовой системы усиления и выполнить для нее расчет нескольких наиболее близко соответствующих расчетных схем в линейной и геометрически нелинейной постановке в интерактивном режиме.

➤ В процессе диалога в системе «Инженер-АРМ» программа для ПК должна иметь развитый интерфейс, позволяющий всесторонне проанализировать результаты расчета с целью:

- выбора геометрических параметров и конструктивных материалов для элементов системы, а также их механических характеристик, необходимых в процессе расчета для конструктивной и расчетной схем первого приближения;
- выполнения повторных или оценочных расчетов напряженно-деформированного состояния системы (одного или нескольких) с корректировкой ее геометрии и статико-геометрической структуры по результатам предыдущих деформационных расчетов;
- выполнения поверочных расчетов всех элементов системы, состоящих из разных материалов по физической природе и механическим характеристикам, на полученные

усилия и деформации, выявленные в результате деформационных расчетов;

- в случае необходимости, выполнить исследования по созданию в конструктивной схеме самонапряженных зон и искусственному регулированию усилий в них до оптимальных значений [5].

➤ И так до получения результатов, приемлемых с точки зрения проектировщика, чтобы приступить к подготовке чертежей на объект проектирования.

Такая схема расчета обеспечивает интегрированный подход в создании объекта проектирования, а также содержит элементы оптимизации, а поэтому в интерактивной постановке достаточна трудоемка. Возможность такого подхода к проектированию обеспечивает метод деформационного расчета систем [4], реализованный с учетом [7] в программе для ПК SdCAD. Кроме точности нелинейной математической модели метода, программа SdCAD позволяет проектировщику отыскивать параметры решаемой задачи достаточно быстро – за время, близкое к времени реакции проектировщика на осмысливание результатов расчета.

Выполненные исследования показывают, что в процессе проектирования гибких стержневых систем необходимо уделять достаточное внимание геометрической нелинейности. Особенно это важно для гибких балочно-вантовых систем, образованных в процессе усиления из исходных балочных систем перекрытий, так как недоучет нелинейности может привести к ошибкам в определении внутренних усилий и деформаций, существенно влияющим на их надежность.

Изложенная методика удобна при проектировании гибких балочно-вантовых систем для усиления балочных конструкций покрытий с изменением исходной конструктивной схемы.

Вывод. Приводятся основные этапы и принципы методики, которых рекомендуется придерживаться при проектировании гибких балочно-вантовых систем для усиления балочных конструкций покрытий. При этом особая роль отводится выбору расчетной схемы балочно-вантовой системы, методу ее расчета, учитывающему деформированную схему равновесия, и программе SdCAD для ПК, в которой этот метод реализован. Предложенная методика проектирования дает возможность предельно приблизить вычисленные усилия и деформа-

ции к реально действующим значениям в конструктивной схеме, что позволяет существенно снизить возможные ошибки обычно принятой процедуры расчета. Использование предложенной методики дает возможность выполнить расчет усиливаемых балочных конструкций по первой и второй группам предельных состояний с большей степенью надежности.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Онуфриев, Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений / Н.М. Онуфриев. – М.: Стройиздат, 1965. – 342 с.
2. Рогонский, В.А. Эксплуатационная надежность зданий / В.А. Рогонский, А.И. Костиц, В.Ф. Шеряков. – Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 280 с.
3. Уласевич, В.П. Блок покрытия с балочно-вантовой системой усиления чердачных перекрытий / В.П. Уласевич, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. – Приложение: материалы XI между. науч.-метод. междуз. семинара «Перспективы развития новых технологий в ст-ве и подготовке инженерных кадров РБ», Брест, 25-27 ноября 2004 г.: В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]; редкол.: Н. П. Блещик [и др.]. – Брест, 2004. – Ч.1 – С. 149–152.
4. Уласевич, В.П. Деформационный расчет гибких балочно-вантовых систем методом конечных элементов в среде MathCAD / В.П. Уласевич, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2004. – № 1(25): Строительство и архитектура. – С. 111–117.
5. Уласевич, В.П. Роль искусственного регулирования усилий при усилении несущих строительных конструкций с применением гибких балочно-вантовых систем / В.П. Уласевич, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2005. – № 2(32): Строительство и архитектура. – С. 36–39.
6. Хило, Е. Р. Усиление строительных конструкций / Е.Р. Хило, Б.С. Попович. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. университете, 1985. – 156 с.
7. Уласевич, В.П. Прямолинейный гибкий стержень как универсальный конечный элемент МКЭ гибких балочно-вантовых систем / В.П. Уласевич, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2007. – № 1(43): Строительство и архитектура. – С. 45-49.

Статья поступила в редакцию 29.01.07

УДК 547.044

Уласевич В.П., Уласевич З.Н., Якубовская О.А.

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОБАВКОЙ STG-3

Актуальность проблемы. В обстановке дефицита сырьевых ресурсов является весьма актуальной проблема получения вторичных ресурсов из отходов промышленных производств. В этой связи были проведены исследования по изучению отходов и стоков торфопредприятия «Гатча-Осовский» Брестской обл. с целью использования их как основы для получения химической добавки для бетонов [2]. Результаты исследований позволили получить товарный продукт, аттестованный РУПП «Стройтехнорм» как продукт утилизации суспензии торфяных гуминовых веществ – добавку для бетонов STG-3 ТУ РБ 0271613.379-2004 [3, 4].

Добавка STG-3 представляет собой раствор гуминовых веществ (хинных групп, фенольных гидроксидов, карбоксильных групп) и их растворимых солей (гуматов, фульва-

тов), полученных взаимодействием раствора щелочи NaOH и некоторых других веществ на жидкую торфяную смесь. Добавка предназначена для введения в бетонную смесь с целью ускорения твердения бетона при изготовлении изделий и конструкций. По количеству входящих в добавку STG-3 продуктов, она является однокомпонентной; по агрегатному состоянию – жидкая (Ж); по химической природе – органическая.

Возможность применения добавки STG-3 в конструктивных бетонах должна быть обоснована широкомасштабными теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными с целью определения и оценки основных свойств бетонов, модифицированных добавкой STG-3. Среди таких свойств первостепенное значение имеют:

Уласевич Зинаида Николаевна, кандидат технических наук, доцент Брестского государственного технического университета.

Якубовская Ольга Александровна, магистрант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура