

гами в сочетании с фронтальным методом решения систем линейных алгебраических уравнений высоких порядков позволяет найти любую собственную частоту или группу собственных частот в заданном диапазоне и соответствующие собственные формы при любом распределении масс [3, 4, 5, 6].

Задача динамического расчета на малую вибрационную нагрузку вне резонансных зон сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно амплитуд динамических перемещений:

$$(J - \theta^2 M) \Delta V = \Delta F, \quad (7)$$

где θ – круговая частота вынужденных колебаний.

При расчетах на другие динамические воздействия используется метод разложения по формам собственных колебаний [1, 3]. Для расчета сооружений, деформации которых значительны, и для исследования переходных процессов применяют методы численного интегрирования непосредственно нелинейных дифференциальных уравнений движения, полученных из уравнений статического деформирования (2) введением сил инерции и сил сопротивления движению [4, 5, 6, 7].

Правильное представление о процессах деформирования конструкций и их элементов, понимание методов решения линейных и нелинейных задач прочности, жесткости и устойчивости сооружений независимо от их конструктивных особенностей должно способствовать не только успешному и корректному применению современных мощных проектно-вычислительных комплексов, но и созданию новых и уникальных программных продуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. — М.: Высш. шк., 2004. — 580 с.
2. Сидорович Е. М. Анализ множества состояний равновесия при нелинейном деформировании шарнирно-стержневых систем // Механика разрушения композиционных материалов: Сб. научн. тр. - Минск: Изд-во "Редакция журнала "Тыдзень", 1997. - Т. 2. - С. 53 - 69.
3. Сидорович Е. М. Нелинейное деформирование, статическая и динамическая устойчивость пространственных стержневых систем. Минск: БГПА, 1999. — 200 с.
4. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. — Киев: Сталь, 2001. — 597 с.
5. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. — М.: ДМК Пресс, 2001. — 448 с.
6. Рычков С. П. MSC.visualNASTRAN для Windows. — М.: НТ Пресс, 2004. — 552 с.
7. Сидорович Е. М. Прямые численные методы решения нелинейных задач теории сооружений // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сб. тр. VII Междунар. научн.-методич. семинара. — Брест: БГТУ, 2001. — С. 390 — 393.
8. Мартеньев О. В. Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL: Ч. 1. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. — 448 с.
9. Сидорович Е. М. Расчет сооружений как единых нелинейно деформируемых систем с учетом неконсервативных нагрузок и повторно-переменного деформирования // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. — Часть 1. — К.: Изд-во «Сталь», 2004. — С. 404 — 413.

УДК 69.059.3

Уласевич В.П., Костюк О.В.

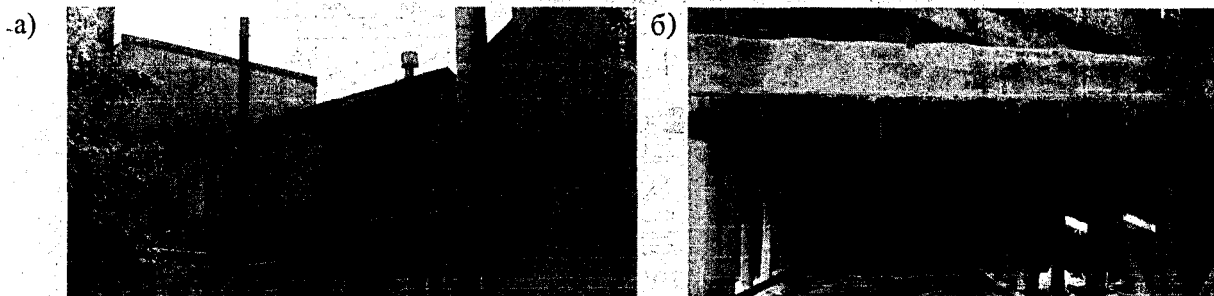
БЛОК ПОКРЫТИЯ С БАЛОЧНО-ВАНТОВОЙ СИСТЕМОЙ УСИЛЕНИЯ ЧЕРДАЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

На предприятиях РБ в условиях снижения промышленного производства, резкого удорожания стоимости и уменьшения объемов капитального строительства главным резервом экономии материальных и трудовых ресурсов в строительстве становится продление сроков службы существующих зданий. Долговечность зданий и сооружений определяется комплексом вопросов, связанных с качеством строительных материалов и конструкций, проектными решениями, строительно-монтажных работ, условиями эксплуатации объектов. Обычно после нормативного срока эксплуатации зданий ставится задача о продлении их срока службы.

Особенно остро проблема продления сроков службы эксплуатируемых зданий стоит на тех предприятиях, основные фонды которых недопустимо изношены. К таким предприятиям в первую

очередь следует отнести те, производственные процессы которых функционируют в зданиях постройки 20-х, ..., 40-х годов прошлого столетия. Их архитектурно-конструктивная особенность: одноэтажные или двухэтажные здания; наружные стены и столбы – из обожженного глиняного сплошнотелого кирпича; междуэтажные перекрытия – железобетонные или сталежелезобетонные; скатная кровля – из черной жести или шифера; чердачные перекрытия по деревянным балкам из брусьев. Чердачные перекрытия чаще всего выполнялись по схеме комбинированной балочной клетки нормального типа с квадратными ячейками $l \times l$ ($l=5-10 м$). Главные балки – металлические, опирающиеся на кирпичные столбы. На главные балки с шагом 90, ..., 110 см опираются деревянные балки из брусьев, поддерживающие щиты наката. В качестве утеплителя применялся чаще всего каменноугольный шлак. В таких зданиях долговечность чердачных перекрытий зависит от исправности кровли. Течь кровли приводит к нарушению температурно-влажностного режима и как следствие, – к разрушению древесины балок.

Именно по такой конструктивной схеме устроены чердачные перекрытия зданий цеха № 1 Гродненского хлебозавода РУПП «Гроднохлебпром», фрагмент фасада которого и кровли (до её реконструкции) представлен на рис. 1.



а) – фрагмент фасада цеха; б) – стропильная система и чердачное перекрытие

Рисунок 1 – Фотофрагменты участка цеха до реконструкции кровли

В процессе обследования объекта были вскрыты многочисленные дефекты и повреждения деревянных балок чердачного перекрытия. Было установлено, что отдельные деревянные балки чердачного перекрытия, из-за нарушения температурно-влажностного режима за время эксплуатации, снизили свою несущую способность до 30%, а кровля и стропильная система пришли в состояние, непригодное к нормальной эксплуатации (рис. 1, б).

Пришедшие в непригодность деревянное чердачное перекрытие и кровлю необходимо было либо полностью заменить новым, либо искать решение, как эффективно усилить перекрытие, а заменить только кровлю. В последнем случае можно было бы не останавливать технологический процесс в цехе.

Было принято решение разработать конструктивную схему несущих конструкций кровли, которая обеспечила бы восприятие эксплуатационных нагрузок от стропил, а также реакций от балочно-вантовой системы (БВС) для усиления деревянных балок чердачного перекрытия. Основное назначение БВС – заменить расчетную схему работы деревянных балок чердачного перекрытия путем подвески их к балке жесткости как элемента БВС.

В результате – существующая однопролетная система деревянных балок перекрытия была заменена на неразрезную двухпролетную, с пролетами, уменьшенными в два раза.

Конструктивно продольные деревянные фермы стропильной системы (Ф-1, Ф-2) со стропилами, а также БВС с деревянными балками чердачного перекрытия объединены в пространственный блок покрытия. Схема участка чердачного перекрытия с элементами пространственного блока покрытия представлена на рис. 2. и рис. 3.

Расчет конструктивной системы покрытия цеха, после сбора нагрузок и составления их расчетных комбинаций по основному сочетанию, выполнялся в три этапа:

Этап 1 – компоновочный. На этом этапе пространственный блок покрытия расчленяется на две плоские системы: продольную, состоящую из деревянных ферм покрытия Ф-1, Ф-2 и поперечную – БВС, опирающуюся на верхние узлы продольных ферм, и нагруженную нагрузкой от части массы чердачного перекрытия, предполагаемой для подвески к БВС. После их расчета подбираются сечения как продольных ферм Ф-1 и Ф-2, так и элементы БВС (балки жесткости, ванты, распорки).

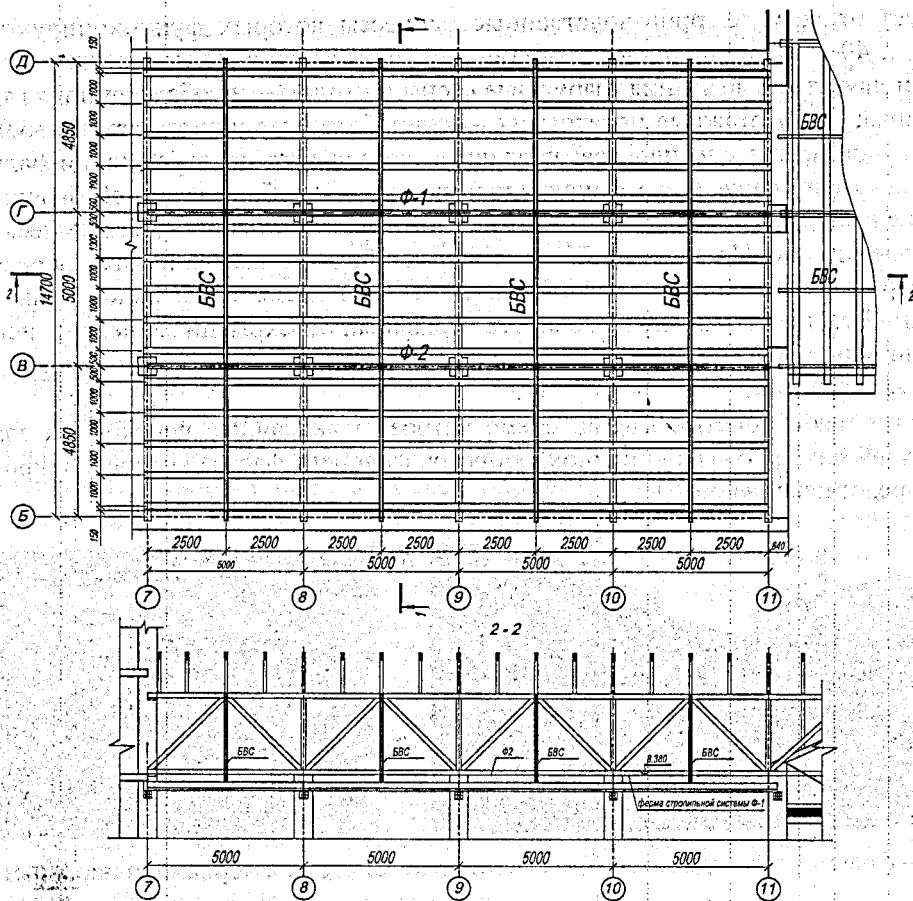
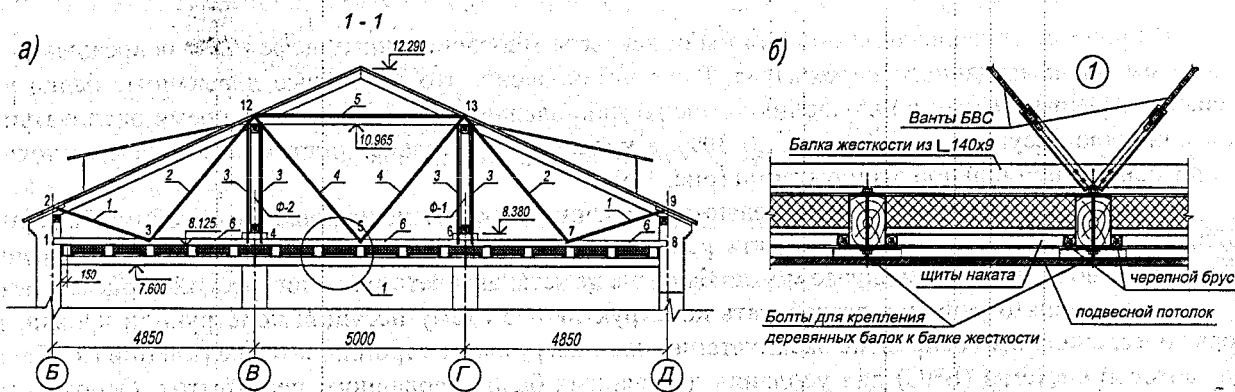


Рисунок 2 – Схема участка перекрытия с продольными фермами Ф-1, Ф-2 и БВС



а) разрез 1-1 с элементами БВС (1-4 – ванты; 5 – распорка; 6 – балки из уг. 140×9);
 б) узел «1» крепления деревянных балок чердачного перекрытия к БВС

Рисунок 3 – Схема монтажа элементов БВС на чердачном перекрытии:

Этап 2 – учет пространственной работы. На этом этапе выполняется линейный расчет пространственного блока покрытия с жесткостями элементов, принятыми по результатам расчета, выполненным в этапе 1. Статический расчет выполнялся по программе *Lira*. Расчетная схема конечно-элементной модели представлена на рис. 4.

Схема опор изгибающих моментов от постоянной, длительных и снеговой нагрузок представлена на рис. 5. По результатам расчетов, выполненных на этапе 2, подбирались и уточнялись сечения всех элементов блока покрытия.

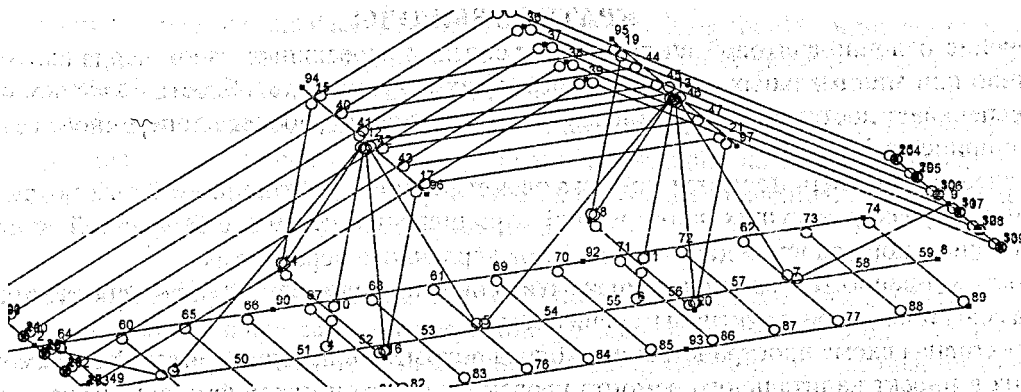


Рисунок 4 – Пространственная конечно-элементная модель блока покрытия в среде *Lira*.

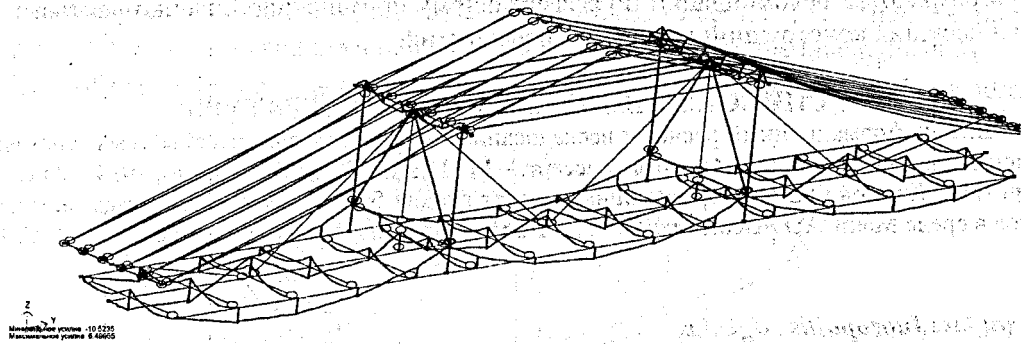


Рисунок 5 – Схема изгибающих моментов в элементах блока покрытия

Этап 3 – расчет по деформированной схеме. Входящая в блок покрытия балочно-вантовая система, принятая для усиления деревянных балок чердачного перекрытия, относится к классу гибких квазиинвариантных систем. По исследованиям [1, 2] такие системы обладают рядом особенностей, главные из которых: повышенная деформативность, вызванная конечными деформациями узлов гибких вант вследствие относительно невысокой их продольной жесткости; необходимость учета деформированной схемы равновесия; необходимость и возможность регулировать внутренние усилия в системе до оптимального их перераспределения путем предварительного натяжения вант. Конструктивно БВС в конечно-элементной модели, представленной на рис 4, опирается на узлы «12» и «13». Балка жесткости представляет собой многопролетные сжато-изогнутые стержни, шарнирно сопряженные между собой и с вантами в узлах «3»–«7», а также опирающиеся на кирпичные стены в узлах «1» и «8» (см. так же рис. 3). Узлы сопряжения балки жесткости с вантами являются упругими опорами, обеспечивающими ее работу по неразрезной схеме. Опорные моменты в узлах сопряжения балки жесткости с вантами хорошо просматриваются на рис. 5. Их величины зависят от величин перемещений узлов, вызванных деформированием вант. Оптимальные величины изгибающих моментов в деревянных балках перекрытия отыскивались регулированием предварительного напряжения в вантах. С учетом вышесказанного статический расчет БВС и поиск оптимальных величин предварительного натяжения вант в ней выполнялся по деформированной схеме равновесия методом КЭ, основные положения которого изложены в [2]. В этом случае при выполнении экспериментальных исследований программа расчета в среде MathCAD исполняла роль нелинейной математической модели. Чердачное перекрытие после монтажа блоков покрытия и установки БВС представлено на рис. 6.

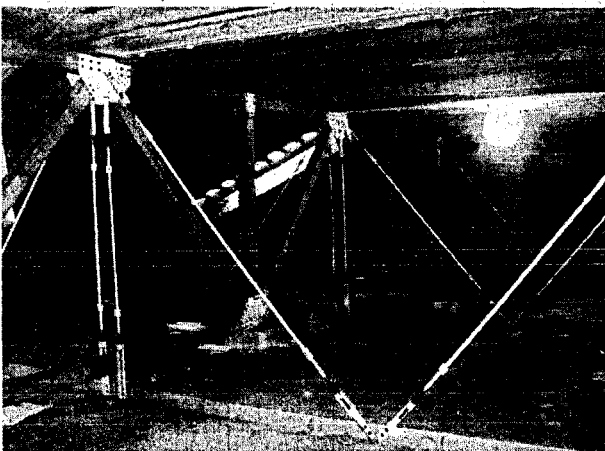


Рисунок 6 – Чердачное перекрытие цеха с балочно-вантовой системой усиления

В этом случае при выполнении экспериментальных исследований программа расчета в среде MathCAD исполняла роль нелинейной математической модели. Чердачное перекрытие после монтажа блоков покрытия и установки БВС представлено на рис. 6.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Применение балочно-вантовой системы для усиления деревянных балок чердачного перекрытия позволило при минимальных затратах повысить их несущую способность более чем в четыре раза, что обеспечивает достаточную их надежность при снижении рабочего поперечного сечения по высоте и ширине на 35÷40%.
2. Особо следует отметить простоту монтажа элементов пространственного блока покрытия и функциональную увязку несущих конструкций стропильной системы с вписанной в нее балочно-вантовой системой усиления деревянных балок чердачного перекрытия.
3. Стоимость усиленного чердачного перекрытия снижена более чем на 45% в сравнении со стоимостью замены новым конструктивным решением.
4. Конструктивная схема пространственного блока покрытия с балочно-вантовой системой усиления внедрена в проект капитального ремонта кровли цеха. Это позволило получить натурную модель для проведения экспериментальных исследований. Результаты этих исследований будут использованы при разработке рекомендации по эффективному применению балочно-вантовых систем для усиления несущих конструкций чердачных перекрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уласевич В.П. Деформационный расчет и исследование напряженно-деформированных состояний пологих одноплоскостных распорных систем. Автореф. диссерт. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1984. – 24 с.
2. Уласевич В.П., Костюк О.В. Деформационный расчет гибких балочно-вантовых систем методом конечных элементов в среде MathCAD // Вестник БГТУ. № 1(25): Строительство и архитектура. – 2004. С. 111-117.

Norkus Arnoldas, Juozapaitis Algirdas

EVALUATION OF SUSPENSION CABLE NONLINEAR DISPLACEMENTS

ABSTRACT

Many complex engineering structures contain specific behavior load bearing members – cables, very effective to resist tensile forces. Specific behavior is described by the small cable resistance capability to bending and compression, which actually approaches to zero. Therefore the cable responses to loading in nonlinear way, adapting to new equilibrium form for each loading increment (change). One can group all nonlinearities met in cable analysis in respect of two aspects: those, caused by straining, and those caused by structure adaptation to new equilibrium form. The displacement components, induced by the second aspect reason, are named as kinematical ones. The investigation is assigned to kinematical displacement evaluation methods. The simplified (standard) displacement evaluation methods, applied currently in engineering practice are not sufficient accurate. The more exact methods in terms of analytical relations to identify cable kinematical displacements of the suspension cable are under consideration. An analysis of kinematical displacements estimated by standard (engineering) and proposed method, including the obtained errors causalities is provided. The possible engineering tools to reduce kinematical displacements and to stabilize suspension cable shape are presented on the basis of proposed displacement evaluation method.

1. INTRODUCTION

Many engineering complex structures, employed to cover large span distances or areas, usually contain cables (cable networks). Bridges, roofing systems of stadiums, masts, other previously and recently erected structures contain the main loading bearing element – flexible cable or system of flexible cables [1-12]. The exceptional peculiarity of the member is the large displacements caused by asymmetric loading [2, 4, 6, 10-11]. The large displacements are conditioned by kinematic displacements, resulted by cable adaptation process to new equilibrium form, induced by complementary loading in terms of asymmetrically distributed and/or concentrated loads. Recently the identification of kinematical displacements is widely investigated [2, 4, 6, 10-12]. But one must note that most researchers applied the simplified engineering methods to identify kinematical displacements in order to calculate the total displacements. The latter methods are based on superposition principle, when splitting the actual loads to symmetric and asymmetric loads. The suspension cables are the elements of dominantly geometrically nonlinear behavior. Thus, one must provide the exact analysis of relation of kinematical displacements versus subjected loading in order to ensure reliable