

Another investigation method is the Finite Element (FE) analysis. A typical FE mesh and a numerically obtained force-displacement relationship are depicted in Figure 1. Transient dynamic analysis has been employed for the numerical simulations based on the defined boundary conditions, initial conditions, and material models. For the lead core, the steel shims, and the top and bottom steel plates, a rate-independent plasticity model has been employed with the assumption for isotropic hardening after yielding [9]. The hyperelastic response of the rubber has been modelled using the Mooney-Rivlin model. Thus far, the developed finite element model doesn't account for the rise in the temperature occurring during the dynamic response of the LRB. Integration of procedures designed for the evaluation of degradation in different components of the isolators (rubber and, possibly, lead core) into the numerical analyses is also forthcoming. In a more general context, such studies will allow for the verification of some hypotheses on the materials' behaviour (considered as constituencies of an LRB), such as no damage is accumulated in the lead core (i); the dynamic response of the lead within the plastic domain is rate-independent (ii).

The results obtained by finite element analysis are used within ongoing research to calibrate an analytical model or to provide input data for a data-driven model, e.g., a multilayer perceptron. The analytical model and the multilayer perceptron are being developed within the perspective for a subsequent implementation into a model of a seismically protected structure. The multilayer perceptron comprises one input layer, several hidden layers, and one output layer. The backpropagation algorithm is employed for the training. Implementation of data-driven models will potentially allow for a better investigation of the "design space" (i.e., the space containing the crucial model parameters) and, thus, a better calibration of the model parameters. Overall, the adequate model definition yields an accurate prediction of the response of the devices for seismic isolation and the whole seismically isolated structure (buildings or bridges), respectively.

References

- 1 **Park, R.** Seismic Design of Bridges. Structures Committee Summary 3, Road Research Unit / R. Park, R.W.G Blakeley // National Roads Board. – New Zealand, 1978.
- 2 **Megget, L. M.** Analysis and design of a base-isolated reinforced concrete frame building / L. M. Megget // Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. – 1978. – No 11 (4). P. 245–254.
- 3 **Robinson, W. H.** Lead rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes / W. H. Robinson // Earthquake engineering & structural dynamics. – 1982. – No 10 (4). P. 593–604.
- 4 **Kalpakidis, I. V.** Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. I: Theory / I. V. Kalpakidis, M. C. Constantinou // Journal of Structural Engineering. – 2009. – No 135 (12). – P. 1440–1449.
- 5 **Kalpakidis, I. V.** Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. II: Verification of theory / I. V. Kalpakidis, M. C. Constantinou // Journal of Structural Engineering. – 2009. – No 135 (12). P. 1450–1461.
- 6 **Kumar, M.** An advanced numerical model of elastomeric seismic isolation bearings / M. Kumar, A. S. Whittaker, M. C. Constantinou // Earthquake engineering & structural dynamics. – 2014. – No 43 (13). – P. 1955–1974.
- 7 A new nonlinear model to describe the degradation law of the mechanical properties of lead rubber bearings under high speed horizontal loading / Y. Liu [et al.] // Structural Control and Health Monitoring. – 2021. – No 28 (12). – P. 2836.
- 8 **Eem, S.** Large strain nonlinear model of lead rubber bearings for beyond design basis earthquakes / S. Eem, D. Hahm // Nuclear Engineering and Technology. – 2019. – No 51 (2). – P. 600–606.
- 9 **Lemaitre, J.** Mechanics of solid materials / J. Lemaitre, J. L. Chaboche. – Cambridge : Cambridge university press, 1990.

УДК 692.426

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ ПОКРЫТИЯ

Е. А. ИВАНОВ, О. Е. ПАНТЮХОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

С ростом городов появляется необходимость возводить сооружения большой площади с приданием роли архитектурного акцента в градостроительной среде. Как сделать необычный фасад и восхищаться формой здания с высоты птичьего полета, не используя большого количества громоздких несущих конструкций? С решением этих инженерных задач справляются далеко не все конструктивные схемы.

Для выполнения перекрытия больших пролетов и придания сооружению архитектурно-эстетических образов необходимо затратить большое количество материалов. Выбор материалов для таких

сооружений является основополагающим вопросом. Применение тяжелых материалов приводит к лишним затратам или отсутствию способности перекрывать площади без дополнительных опор. Применение дорогих и дефицитных материалов ставит под вопрос экономический аспект проекта.

При проектировании зданий и сооружений следует стремиться к снижению материалоемкости конструкций и трудозатрат по их изготовлению. Эти показатели влияют как на сметную часть проекта, так и на сроки его возведения. Система покрытия здания больших пролетов представляет одну из самых дорогих и трудоемких конструкций, что связано с наличием большого количества различных элементов и сопутствующих монтажных работ. Для упрощения данной системы было предложено отказаться от традиционных железобетонных плит и возводить покрытия из металлоконструкций. Это позволило снизить общий вес покрытия, но стоимость и трудоемкость не снизились до необходимых показателей. Модернизация металлоконструкций, предложенная в Московском архитектурном институте, исключила ряд проблем.

Система металлоконструкций МАРХИ.

Геометрическую основу построения конструкций типа МАРХИ составляет пирамида на квадратном основании (тетраэдр). Такие пирамиды образованы трубчатыми стержнями диаметром от 50 до 133 мм с толщиной стенок от 3,5 до 8 мм. Узловым является литой, или точеный полусферический, или сферический элемент, который позволяет одновременно прикрепить от 8 до 12 стержней. Такой элемент имеет отверстия с резьбой в направлении всех сходящихся стержневых элементов. Предложенная конструкция узла дает возможность сбора покрытия на месте строительства из элементов полной заводской готовности, что значительно снижает трудоемкость сборки и монтажа, а также не требует квалифицированной рабочей силы [1, 2].

Показатели системы МАРХИ, характеризующие стоимость конструкции покрытия и трудоемкость ее монтажа, оказались в три раза лучше по сравнению с металлоконструкцией из прокатной стали. Исходя из этого, рассматриваемая перекрестно-стержневая, пространственная конструкция обладает значительным преимуществом перед множеством иных металлоконструкций. Расширение внедрения такой системы в строительную практику позволит далее ее совершенствовать. Внедрение рассматриваемой системы позволяет сокращать сроки строительства, экономить как на транспортировке, так и на материале. Расход металла на изготовление 1 м² покрытия уменьшается на 57 %. Сроки монтажа покрытия уменьшаются в три раза, что составляет 33 %. Затраты на перевозку элементов уменьшаются на 33 %.

Сроки изготовления такого типа конструкций на заводах по сравнению с конструкциями из прокатной стали уменьшены на 70 %.

Перекрытие больших пролетов с помощью деревянных систем позволяет экономить на дорогих материалах. Благодаря модульным размерам конструкций отсутствуют затруднения в доставке изделий к месту строительства, а небольшой вес элементов допускает применение монтажных машин небольшой грузоподъемности [4].

Рассмотрев конструктивные схемы большепролетных конструкций, подчеркнув преимущества и разобрав недостатки методом анализа, необходимо разрабатывать новые варианты конструкций.

Разработка альтернативной модели конструктивной схемы показывает большой спектр вариативности в этом направлении.

Разработана альтернативная конструкция перекрытия больших пролетов на базе деревянных конструкций с применением оболочки.

Комбинирование позволяет исключить минусы систем покрытий и сделать новый вариант конструкции. Древесина как материал, обладающий высоким коэффициентом конструктивного качества, обладает рядом преимуществ над сталью, что и делает её основой разработки [3].

Качество деревянных конструкций зависит от всех этапов производства работ и изготовления.

Так как данный материал подвергается гниению и горению, необходимо продумать все аспекты защиты древесины от воздействия агрессивных сред и источников огня. Для этого служат многочисленные пропитки и антипирены, позволяющие защитить древесину от пагубных воздействий, тем самым продлить сроки эксплуатации конструкции в целом.

Система деревянных элементов, обладая небольшим количеством типоразмеров, упрощает изготовление и сборку конструкций на строительной площадке или на заводе.

Вид сверху фрагмента перекрытия представлен на рисунке 1.

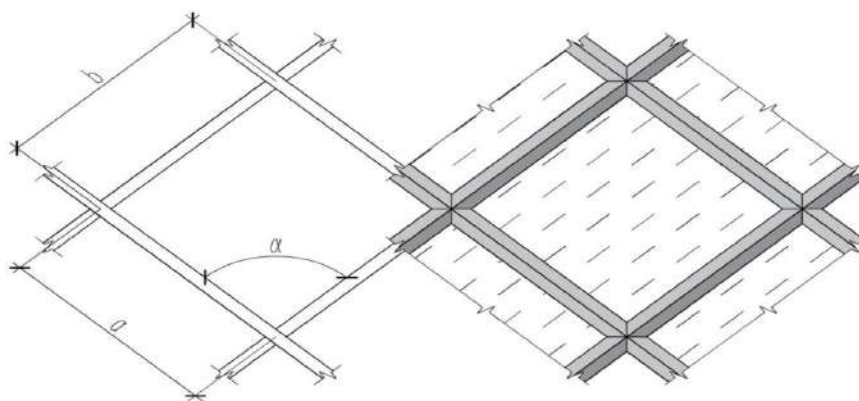


Рисунок 1 – Фрагмент покрытия конструкции

Данная конструкция является облегченной с обеспечением пространственной жесткости конструкции в целом.

Наличие металла в конструкции минимально, что делает её легче, а отсутствие соприкосновения металла с древесиной исключает образование конденсата. Следовательно, уменьшает вероятность загнивания, набухания, коробления конструкции.

Для сравнения эффективности данной конструкции произведем сравнение с металлоконструкциями типа МАРХИ.

Для покрытия 1 м² системой МАРХИ требуется 20 кг/м² металла, конструкции из прокатной стали куда тяжелее и требуют 47 кг/м². Для альтернативной системы затраты металла характеризуются процентом для всего покрытия сооружения в диапазоне 1–2 %.

Если сравнивать конструкции покрытия по весу, то деревянная система перекрывает 1 м² при этом весит примерно 14 кг.

Список литературы

- 1 **Клячин, А. З.** Пространственные стержневые металлические конструкции регулярной структуры / А. З. Клячин. – Екатеринбург : Диамант, 1995. – 276 с.
- 2 Металлические конструкции : в 3 т. Т. 2 / В. В. Горев [и др.]. – М. : Высш. шк., 2002. – 424 с.
- 3 **Иванов, В. Ф.** Конструкции из дерева и пластмасс / В. Ф. Иванов. – М. : Стройиздат, 1966. – 346 с.
- 4 Пространственные деревянные конструкции / А. А. Журавлев [и др.]. – Ростов н/Д. : ОАО ИПФ «Малыш», 2003. – 518 с.

УДК 691.32

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НАЧАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА ОТ КОЛИЧЕСТВА ЦЕМЕНТА И ГАРАНТИРОВАННОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

Ю. К. КАБЫШЕВА, К. Э. АГЕЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Карбонизация в первую очередь обуславливает состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Она начинается с момента перемешивания бетонной смеси и продолжается весь жизненный цикл железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), которые эксплуатируют в различных воздушных средах [1]. Современные исследователи практически не учитывают начальную карбонизацию бетона, что неверно, но не удивительно, и даже логично, поскольку в основе всех их исследований лежит определение толщины карбонизированного бетона на основе фенолфталеинового теста (ФФТ) [2].

Исследование карбонизации бетона на основе нахождения карбонатной составляющей (показателя КС) позволяет оценить начальную карбонизацию бетонов любых классов по прочности на сжатие (составов) [1]. На основе исследования по сечению образцов (100×100×100 мм) бетонов различных классов по прочности на сжатие (составов марок по удобоукладываемости П1 (ОК = 1 и 4 см)) сразу после из-