

УДК 624.9

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.77

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И. Л. Кузнецов, М. А. Салахутдинов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (г. Казань)

Испытание строительных конструкций осуществляется с целью определения их фактической несущей способности и деформативности. Однако проведение испытаний является дорогим и трудоёмким процессом, требующим обеспечения безопасности. Они проводятся с учётом испытательной нагрузки и обеспечения общей устойчивости конструкций, что увеличивает трудоёмкость и создаёт опасность. Испытания строительных конструкций могут осуществляться различными способами. В частности, при испытании ферменных конструкций используются различные способы, зависящие от организаций, обладающих специальной испытательной лабораторией. В большинстве случаев ферменные конструкции испытывают в вертикальном положении, обеспечивается её устойчивость из плоскости и прикладывается сосредоточенная либо распределенная нагрузка. В этом случае также обеспечивается фиксация этапов загрузки и определение напряжений и деформаций при помощи измерительных приборов. В основном в случае арочных конструкций испытания проводятся аналогично ферменным.

В данной статье рассматриваются два прогрессивных способа испытаний. Для испытания ферменных конструкций разработан специальный стенд, предусматривающий горизонтальную укладку двух ферм, их соединение на опорах и загрузку сосредоточенной нагрузкой, создаваемой гидравлическими домкратами. Для испытания арочных конструкций также предлагается их укладка в горизонтальном положении и загрузка через монтажные блоки, установленные как на арке, так и на силовом полу или контрбалке, к которой прикреплена арка. Для испытания блока из арок предлагается способ, заключающийся в укрупнительной сборке и монтаже всех отправочных элементов с последующим их нагружением через монтажные блоки.

Разработанные способы испытания ферменных и арочных конструкций позволяют обеспечить их боковую устойчивость специальными элементами, приложить близкую реальной нагрузку и установить измерительные приборы для определения напряжений и деформаций в сечении. При этом загрузка испытательной нагрузкой обеспечивает её соответствие реальной, достигается снижение трудоёмкости с гарантией требуемой безопасности.

Основными результатами данной статьи являются рекомендации по применению прогрессивных способов испытаний ферменных и арочных конструкций.

Ключевые слова: способы испытания конструкций; ферменные конструкции; арочные конструкции; испытательная нагрузка; испытательный стенд; нагружение гидродомкратами; нагружение монтажными блоками.

Введение. В практике строительства для подтверждения фактической несущей способности и деформативности различных несущих конструкций выполняются их натурные испытания. Такие испытания проводятся различными способами [1-4].

В работах [6-11] приводятся результаты испытаний ферменных и балочных конструкций покрытия зданий и сооружений, арочных конструкций пешеходных мостов, решетча-

тых конструкций железнодорожных мостов, подкрановых балок и т.д. Однако в используемых способах испытания необходимо обеспечить испытательную нагрузку и необходимый уровень безопасности. В частности, при испытании ферменных и арочных конструкций в основном прикладывается сосредоточенная нагрузка, создаваемая платформами с грузами или специальными устройствами [12-14]. При этом определение уровня напряже-

ний осуществляется с помощью тензометров Гугенбергера, а прогибы измеряются стрелочными прогибомерами типа ПАО-6.

Проведение указанных испытаний достаточно трудоёмко ввиду необходимости обеспечения устойчивости испытываемых конструкций и использования большого количества грузов для достижения уровня эксплуатационной нагрузки.

Цель работы – разработка способов испытания ферменных и арочных конструк-

ций, позволяющих создавать близкое к реальному загрузению, при снижении трудоёмкости и обеспечении требуемой безопасности.

Испытания ферменных конструкций.

Авторами проведены испытания фермы в горизонтальном положении на специальном стенде [15]. Данный стенд для испытания ферм пролётом до 24 м разработан из оцинкованных профилей СС-1 и СС-3, соединённых на болтах (рис. 1).

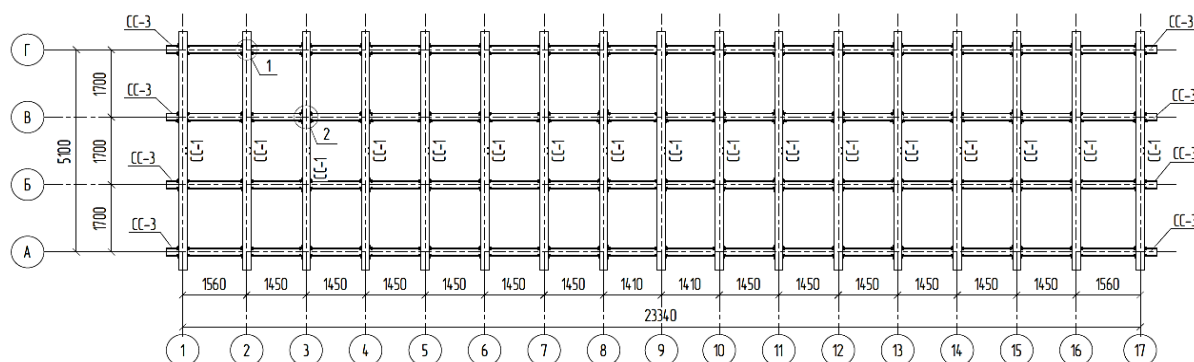


Рис. 1. План стенда для испытания ферм пролетом до 24 м в горизонтальном положении:
СС-1 и СС-3 – профили из холодногнутого швеллера сечением 200×80 мм



Рис. 2. Общий вид испытательного стенда с установленными стропильными фермами

В узлах пересечения профилей предусмотрены опорные железобетонные блоки. При этом крайние и средние опорные блоки выполнены больших размеров массой до

1 тонны. Для получения данных о несущей способности и деформативности использованы две ферменные конструкции, горизонтально уложенные на стенд для испытаний.

Для восприятия опорной реакции при помощи стального листа ферменные конструкции соединены между собой по опорным узлам. Для исключения потери устойчивости из плоскости установлены упоры из холодногнутого швеллера и соединены по концам с испытательным стендом стальными тягами. Общий вид стенда с установленными ферменными конструкциями, в данном случае стропильными фермами, приведен на рисунке 2.

Для загрузки стропильных ферм во всех узлах, за исключением опорных, установлены гидродомкраты с силой давления 10 т, которые оперты на специальные упоры, прикрепленные на болтах к элементам крепления прогонов к ферме. Гидродомкраты шарнирно соединены с поперечными швеллерами стенда, связаны между собой системой шлангов через делители и подключены к насосной станции. Во всей гидросистеме обеспечено одинаковое давление. На выходе насосной станции установлен манометр виброустойчивый. В систему залито специальное

гидравлическое масло. Для обеспечения устойчивости верхних поясов ферм с шагом 1,5 м установлены удерживающие балки, шарнирно соединенные с элементами стенда.

Испытания арочных конструкций. Для испытания арок пролетом до 24 м в различных серийных зданиях использовали различные способы, в которых арки укладывались в горизонтальном положении и соединялись с опорными контрбалками. Загружение арок осуществлялось сосредоточенной нагрузкой, создаваемой винтовыми домкратами, соединенными связями через талрепы с балкой и аркой. Однако данные испытания изменяют напряженно-деформированное состояние и трудоёмки в исполнении.

Широко использовали и другой метод испытания [16]. Он предусматривает горизонтальную укладку арки и её загрузку системой монтажных блоков. Таким образом испытано более 20 арок серийного производства, выпущенных различными заводами. Далее рассмотрим такую систему испытания арок.

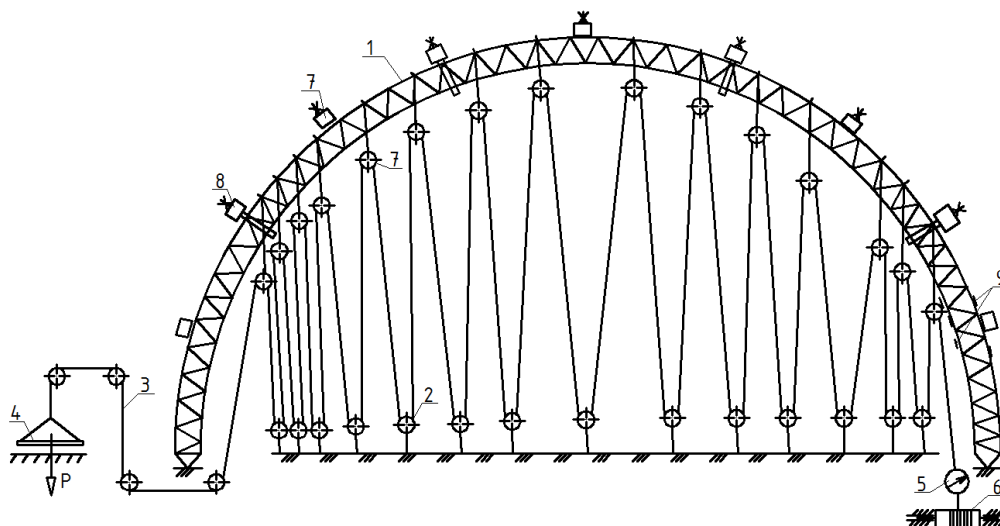


Рис. 3. Схема испытательного стенда: 1 – арка; 2 – блоки; 3 – трос; 4 – грузовая платформа; 5 – динамометр; 6 – лебедка; 7 – опоры; 8 – прогибомеры; 9 – тензодатчики

Испытываемая арка уложена в горизонтальном положении (рис. 3) на катковые опоры, которые размещены в точках раскрепления арки из плоскости. Сверху в местах опирания арок установлены грузы и скользящие опоры. На арке при помощи гибких подвесок

размещены монтажные блоки диаметром 140 мм, массой 180 кг. Такие же блоки установлены на силовом полу или опорной контрбалке. Указанные блоки соединены стальным канатом типа ТК диаметром 5,6 мм, масса которого составит 16 кг/м. Один конец каната

через отводной блок соединен с подвешенной платформой, а другой конец через динамометр марки ДПУ соединен с грузовой лебёдкой (рис. 3).

Число блоков на арке и их распределение зависят от реального нагружения. Общее количество блоков на арке, как показала практика применения описываемой методики, должно быть не менее $(0,8...1)L$, где L – пролет арки (м). Число блоков на полуарках принимается пропорционально вертикальным опорным реакциям от расчетного нагружения арки, а их распределение по длине полуарок принимается по площади эпюры нагружения.

После предварительного размещения блоков целесообразно назначить два-три варианта нагружения испытательной нагрузкой и выполнить расчет арки на данные нагружения. Окончательный вариант нагружения испытательной нагрузкой принимается из условия максимального совпадения усилий в стержнях и перемещений узлов арки.

Величина расчетной нагрузки на групповой платформе определяется по формуле

$$P = \frac{N}{N_e} \frac{[2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cos \varphi_i - G_b - G_t - G_A \cdot f]}{n},$$

где N – усилие в характерном стержне от расчётной нагрузки; N_e – усилие в том же стержне от единичной экспериментальной нагрузки; P_i – усилие в канате на i -м блоке; φ_i – угол наклона каната на i -м блоке; G_b – общая масса блоков; G_t – масса каната; G_A – масса арки с пригрузом; f – коэффициент трения катковых опор; n – число монтажных блоков в арке.

Усилие по длине каната в общем случае изменяется за счет потерь в подшипниках блоков и на изгибе каната на монтажных блоках. Поскольку в принятых монтажных блоках отношение их диаметра (D) к диаметру каната (d) $D/d = 25 > 12$, то можно считать, что работа каната на изгиб отсутствует. С учетом этого допущения усилие на конце каната составит

$$P_k = \left[\frac{(1 - \eta^m)}{(1 - \eta) \cdot m} \right] \cdot P = k_{\Pi} \cdot P,$$

где $\eta = 1/(1+C_B)$ – коэффициент полезного действия монтажного блока; $C_B = (2\mu \cdot d_{ц} \cdot \sin(\alpha/2))/D$.

Для монтажных блоков принимаем значение коэффициента трения в подшипниках $\mu = 0,01$; диаметр цапфы $d_{ц} = 25$ мм; диаметр блока $D = 140$ мм; средний угол обхвата блока $\alpha = 160^\circ$. При приведенных параметрах и общем числе монтажных блоков в системе $m = 28$ имеем: $C_B = 0,0035$; $\eta = 0,996$; $k_{\Pi} = 0,948$, т.е. потери усилия в тросе при 14 блоках на арке составляют 5 %.

Проведенные испытания показали, что в момент приложения нагрузки на грузовую платформу усилие на другом конце каната при указанном числе монтажных блоков, по показаниям динамометра, было не менее 93 % от массы груза. Однако при простукивании монтажных блоков или выборе каната грузовой лебёдкой происходило выравнивание усилия по длине каната, что и рекомендовано выполнять при проведении испытания.

Расчет арки выполняли без учета потерь усилия в канате, а отсчёты по приборам снимали после выбора каната в пределах 200-300 мм. Регистрацию прогибов арки осуществляли дистанционными прогибомерами типа ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм обязательно в местах стыка секций арки, а в других точках – в зависимости от задач проводимого испытания. Деформации в расчетных стержнях арки определялись по показаниям тензометров с базой 20 мм, подключённых к измерителю деформаций АИД-1М или ЦТМ-5.

Общий вид испытания круговой арки по изложенной методике приведён на рисунке 4.

Предполагалось испытание арочного блока. Блок включал две арки, установленные с шагом 2 м над силовым полом, прогоны, крестовую систему связей и подкосы, соединяющие нижний сжатый пояс с прогонами. Каждая арка состояла из трёх отпавочных элементов, поэтому они были установлены над силовым полом вертикально и при помощи

шарниров соединялись на сварке по верху фланцев.

После установки всех элементов, приборов и системы загрузки в виде монтажных блоков арки поднимались одним краном (рис. 5). При подъёме фланцев арок они соединялись проектными болтами. Загружение арочного блока осуществлялось монтажными

блоками, создающими испытательную нагрузку, приложенную к середине усиленных прогонов. Усиление деревянных прогонов длиной 3 м выполнялось стальным уголком, поскольку арки устанавливались с шагом 2 м. Уровень напряжений и прогибов оценивался при помощи тензметров и прогибометров (рис. 6).

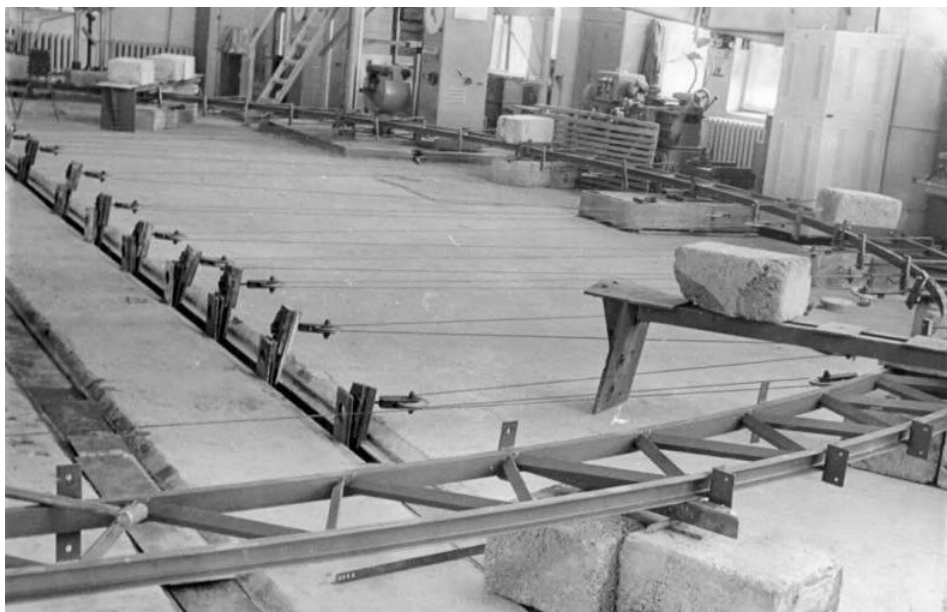


Рис. 4. Общий вид испытания круговой арки



Рис. 5. Схема вертикального подъёма арочного блока из двух арок, состоящих из трёх отправочных элементов

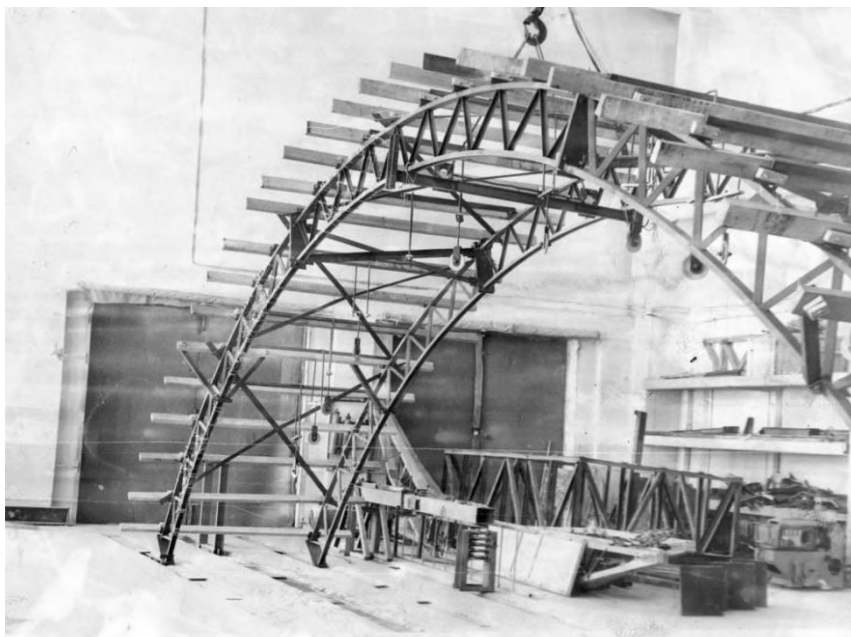


Рис. 6. Окончательный подъём арочного блока

Выводы. Разработаны прогрессивные способы испытания ферменных и арочных конструкций. Данные способы достаточно эффективно определяют фактическое напряженно-деформированное состояние, с высокой точностью создают испытательную нагрузку и обеспечивают безопасность проведения испытаний. При этом может быть использована современная приборная база для определения напряжений и прогибов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрумян Э. Л., Белый Г. И. Исследования работы стальной фермы из холодногнутых профилей с учетом их местной и общей устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 5. С. 41–44.
2. Айрумян Э. Л. Пути повышения эффективности профилированных стальных настилов // Строительство и архитектура. Серия: Строительные конструкции и материалы. 1990. № 3. С. 9–13.
3. Зверев В. В., Семёнов А. С. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. № 2(10). С. 9–17.
4. Губайдуллин Р. Г., Губайдуллин М. Р., Муравский В. В. Натурные испытания стропильной фермы из тонкостенных холодногнутых профилей // Предотвращение аварий зданий и сооружений. 2009. URL: <http://prevdis.ru/naturnye-ispytaniya-stropilnoj-fermy-iz-tonkostennyh-holodnognutyh-profilej/> (дата обращения 02.04.2019).
5. Стоянов В. В., Бояджи А. А. Экспериментальное исследование прочности и деформативности комбинированной металлодеревянной арочной конструкции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал / Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. 2015. № 3(345). С. 93–103.
6. Нежданов К. К., Гарькин И. Н. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость // Региональная архитектура и строительство / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. 2016. № 2(27). С. 81–86.
7. Алпатов В. Ю., Соловьёв А. В. Опытное-экспериментальное проектирование пространственной решетчатой металлической конструкции для покрытия промышленного здания // Градостроительство и архитектура / Самарский государственный технический университет. 2017. № 4(29). С. 4–8.
8. Testing, numerical simulation and design of prestressed high strength steel arched trusses / S. Afshan, M. Theofanous, J. Wang, M. Gkantou, L. Gardner // Engineering Structures. 2019. Vol. 183. P. 510–522.
9. Van Der Kooi K., Hoult N. A. Assessment of a steel model truss using distributed fibre optic strain sensing // Engineering Structures. 2018. Vol. 171. P. 557–568.

10. Experimental study on the effect of heel plate thickness on the structural integrity of cold-formed steel roof trusses / Je Chenn Gan, Jee Hock Lim, Siong Kang Lim, Horng Sheng Lin // *Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 171. P. 557–568.
11. Еремеев П. Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений: монография. Москва: АСВ, 2009. 336 с.
12. Башаров Ф. Ф. Испытание шпренгельной плиты пролетом 12 м из стального профилированного настила марки НЛ 14-600 с наименьшей толщиной стенки 0,8 мм // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 4(22). С. 87–96.
13. Innovative steel 3D trusses for preserving archaeological sites: Design and preliminary results / G. Di Lorenzo, E. Babilio, A. Formisano, R. Landolfo // *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 154. P. 250–262.
14. Wu Y., Xiao Y. Steel and glulam hybrid space truss // *Engineering Structures*. 2018. Vol. 171. P. 140–153.
15. Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А., Гайнетдинов Р. Г. Стенд и результаты испытания фермы пролётом 24 м с стержнями из оцинкованных холодногнутых профилей // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 4(48). С. 193–199.
16. Кузнецов И. Л., Салимов А. Ф., Зайнуллин Д. Г. Экспериментальные исследования стальных решётчатых арок облегчённых сооружений // *Строительство и архитектура. Серия: Строительные конструкции*. 1987. № 7. С. 12–16.

Информация об авторах

КУЗНЕЦОВ Иван Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций и испытаний сооружений, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань. Область научных интересов – разработка и исследование лёгких металлических конструкций. Автор более 460 научных работ. E-mail: kuz377@mail.ru.

САЛАХУТДИНОВ Марат Айдарович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и испытаний сооружений, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань. Область научных интересов – разработка стальных каркасов многопролетных зданий, исследование металлических и стеклопластиковых конструкций. Автор более 30 научных работ. E-mail: lider-kazann@yandex.ru.

UDC 624.9

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.77

PROGRESSIVE TESTING METHODS OF BUILDING STRUCTURES

I. L. Kuznetsov, M. A. Salakhutdinov

Kazan State University of Architecture and Engineering (Kazan)

Testing of building structures is carried out in order to determine their actual bearing capacity and elastic deformation. However, testing is an expensive and labour consuming process that requires appropriate safety regulations. Testing is carried out taking into account the test load and ensuring the general buckling of structures, which is labour intensive and dangerous. Testing of building structures can be carried out in different ways. This is particularly true for testing trusses implemented by companies with special testing laboratories. In most cases, the trusses are tested in a vertical position. They are first stabilized on the plane and then point-load or spread load is applied. In this case, the fixing of the loading phases and the determination of stresses and strains with the help of measuring instruments are also ensured. In general, in the case of arch, tests are carried out similarly to truss.

The paper discusses two progressive testing methods. In order to test the truss strength, a special test facility has been developed, providing for horizontal laying of two trusses, their connection on supports and loading with a point-load load created by hydraulic cells. In order to test arches, it has been suggested to lay them out horizontally and load through assembly blocks

installed both on the arch and on the load-bearing floor or on the special beam to which the arch is attached. For testing a block of arches, the authors suggest using the method that involves pre-assembly and assembly of all pre-fabricated elements and their loading through the assembly blocks.

The developed methods of testing truss and arch in a horizontal position make it possible to ensure their general buckling with special elements, apply the actual load and install measuring instruments for determining stresses and strains in cross section. At the same time loading with test load ensures its compliance with actual load, reduction of labour input is achieved, at the same time, ensuring the required safety.

As a result of research the authors have developed a set of recommendations for the application of progressive methods of truss and arch testing.

Keywords: methods of testing structures; truss; arch; test load; test facility; loading with hydraulic cells; loading with assembly blocks.

REFERENCES

1. Ayrumyan E. L., Bely G. I. Issledovaniya raboty stalnoj fermy iz holodnognutyh profilej s uchetom ih mestnoj i obshhej ustojchivosti [Studies of steel truss from cold-bent profiles taking into account their local and general stability], *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction], 2010, No. 5, pp. 41–44.
2. Ayrumyan E. L. Puti povysheniya jeffektivnosti profilirovannyh stal'nyh nastilov [Ways to improve the efficiency of profiled steel decking], *Stroitel'stvo i arhitektura. Serija: Stroitel'nye konstrukcii i materialy* [Construction and architecture. Series: Building Structures and Materials], 1990, No. 3, pp. 9–13.
3. Zverev V. V., Semjonov A. S. Vlijanie podatlivosti boltovyh soedinenij na deformativnost' fermy iz tonkostennyh gnutyh profilej [The influence of bolted joints compliance on the deformability of trusses made of thin-walled bent profiles], *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Construction and Architecture], Voronezh, 2008, No. 2(10), pp. 9–17.
4. Gubaidullin R. G., Gubaidullin M. R., Muravskij V. V. Naturnye ispytaniya stropil'noj fermy iz tonkostennyh holodnognutyh profilej [Full-scale tests of truss of thin-walled cold-bent profiles], *Predotvrashhenie avarij zdaniy i sooruzhenij* [Prevention of accidents of buildings and structures]. 2009. Available at: <http://prevdis.ru/naturnye-ispytaniya-stropilnoj-fermy-iz-tonkostennyh-holodnognutyh-profilej/> (Date of reference 02.04.2019).
5. Stojanov V. V., Bojadzhi A. A. Eksperimentalnoe issledovanie prochnosti i deformativnosti kombinirovannoj metalloderevjannoj arochnoj konstrukcii [Experimental study of strength and deformability of combined metal-wood arch structure.], *Izvestija vysshih uczebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Proceedings of Higher Education Institutions Forest Journal], Severnyj (Arkticheskij) federalnyj universitet imeni M. V. Lomonosova [Northern (Arctic) Federal University], Arhangel'sk, 2015, No. 3(345), pp. 93–103.
6. Nezhdanov K. K., Garkin I. N. Ispytanie nerazreznnyh podkranovyh balok na vynoslivost [Testing of continuous crane beams for endurance], *Regionalnaja arhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva [Penza State University of Architecture and Construction], Penza, 2016, No. 2(27), pp. 81–86.
7. Alpatov V. Iu., Solovov A. V. Opytno-eksperimentalnoe proektirovanie prostranstvennoi reshetchatoj metallicheskoj konstrukcii dlja pokrytija promyshlennogo zdaniya [Experimental design of spatial lattice metal structure for covering industrial buildings], *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], Samarskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet [Samara State Technical University], Samara, 2017, No. 4(29), pp. 4–8.
8. Afshan S., Theofanous M., Wang J., Gkantou M., Gardner L. Testing, numerical simulation and design of prestressed high strength steel arched trusses, *Engineering Structures*, 2019, Vol. 183, pp. 510–522.
9. Van Der Kooij K., Hout N. A. Assessment of a steel model truss using distributed fibre optic strain sensing, *Engineering Structures*, 2018, Vol. 171, pp. 557–568.
10. Je Chenn Gan, Jee Hock Lim, Siong Kang Lim, Horng Sheng Lin/ Experimental study on the effect of heel plate thickness on the structural integrity of cold-formed steel roof trusses, *Materials Science and Engineering*, 2018, Vol. 171, pp. 557–568.
11. Ereemeev P. G. Sovremennye stalnye konstrukcii bolsheproletnyh pokrytij unikalnyh zdaniy i sooruzhenij: monografija [Modern steel structures of long-span coatings of unique buildings and structures: monograph], Moscow: ASV, 2009, 336 p.

12. Basharov F. F. Ispytanie shprengel'noj plity proletom 12 m iz stal'nogo profilirovannogo nastila marki HL 14-600 s naimen'shej tolshhinoj stenki 0,8 mm [Test shprengel plate span of 12 m of steel profiled flooring brand HL 14-600 with the smallest wall thickness of 0.8 mm], *Izvestija KazGASU* [Proceedings of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2012, No. 4(22), pp. 87–96.

13. Di Lorenzo G., Babilio E., Formisano A., Landolfo R. Innovative steel 3D trusses for preserving archaeological sites: Design and preliminary results, *Journal of Constructional Steel Research*, 2019, Vol. 154, pp. 250–262.

14. Wu Y., Xiao Y. Steel and glulam hybrid space truss, *Engineering Structures*, 2018, Vol. 171, pp. 140–153.

15. Kuznecov I. L., Salahutdinov M. A., Gajnetdinov R. G. Stend i rezul'taty ispytaniya fermy proljotom 24 m s sterzhnjami iz ocinkovannyh holodnognutyh profilej [Stand and test results of 24 m span truss with rods of galvanized cold-bent profiles], *Izvestija KazGASU* [Proceedings of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2018, No. 4(48), pp. 193–199.

16. Kuznecov I. L., Salimov A. F., Zajnullin D. G. Eksperimental'nye issledovanija stalnyh reshjotchatyh arok oblegchjonnyh sooruzhenij [Experimental studies of steel lattice arches of lightweight structures], *Stroitel'stvo i arhitektura. Serija: Stroitelnye konstrukcii* [Construction and Architecture. Series: Building Structures], Moscow: 1987, No. 7, pp. 12–16.

Information about the authors

KUZNETSOV Ivan Leonidovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Metal Structures and Testing of Structures, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan. Research interests – development and research into light metal structures. Author of more than 460 publications. E-mail: kuz377@mail.ru.

SALAKHUTDINOV Marat Aidarovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Structures and Testing of Structures, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan. Research interests – development of steel frames for multi-span buildings, research of metal and fiberglass structures. Author of more than 30 publications. E-mail: lider-kazann@yandex.ru

Библиографическая ссылка

Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А. Прогрессивные способы испытания строительных конструкций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 77-85. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.77