

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/03TVN416.pdf>

Статья опубликована 08.07.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гранкин К.В. К расчёту сжато-изгибаемых клеедеревяных конструкций по деформированной схеме с помощью учёта геометрической нелинейности в комплексе SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6 // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/03TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 624.044.2

Гранкин Кирилл Владимирович

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, Санкт-Петербург¹
Аспирант
E-mail: gran1256@mail.ru

К расчёту сжато-изгибаемых клеедеревяных конструкций по деформированной схеме с помощью учёта геометрической нелинейности в комплексе SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6

Аннотация. В данной статье автором рассмотрен статический расчет сжато-изгибаемых непрямолинейных конструкций, а также большепролетных конструкций из клееной древесины с помощью применения расчетных программных комплексов основанных на методе конечных элементов, а также по существующей методике, описанной в нормативной документации Российской Федерации (СП 64.13330.2011). Автором статьи выполнен численный эксперимент, для большепролетных трехшарнирных конструкций арок и рам из клееной древесины, с применением таких программных комплексов как SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6 с учетом геометрической нелинейности. Описывается применение необходимых типов конечных элементов, для учета геометрической нелинейности, а также методы решения, предлагаемые в расчетных комплексах для учета геометрической нелинейности, при расчете конструкции. В данной статье автор показывает возможность применения данных расчетных программных комплексов и их методов решения для подобных задач. Определяется влияние количества ступеней приложения нагрузки, а также количества итерационных процессов на напряженно-деформированное состояние конструкции. В конце статьи автор статьи делает общий вывод по проделанному численному эксперименту, а также приводит сравнение полученных результатов с Американскими нормативными документами.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции; сжато-изгибаемые конструкции; геометрическая нелинейность; метод перемещений; метод конечных элементов; SCAD Office 11.5; Lira Soft 9.6

¹ 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Статический расчет большепролетных криволинейных сжато-изгибаемых конструкций производится по правилам строительной механики. При больших пролетах предпочтительное использование отдают трехшарнирным системам [6]. Расчет на прочность производится при сочетании нагрузок, показанных на рис. 1. Для нахождения усилия в любом сечении конструкции n , отсчитываемой от левой опоры (см. рис. 1), определяются координаты сечения x_n и y_n , а также $\sin \varphi_n$ и $\cos \varphi_n$ (φ - угол наклона касательной в сечении к горизонту), а сами усилия находятся по формулам:

$$M_n = M_6 - H \cdot y_n;$$

$$N_n = Q_6 \cdot \sin \varphi_n + H \cdot \cos \varphi_n;$$

$$Q_n = Q_6 \cdot \cos \varphi_n - H \cdot \sin \varphi_n;$$

где: M_6 и Q_6 - изгибающие моменты и поперечная сила в рассматриваемом сечении, определяемые как для балки на двух опорах пролетом l , равном пролету арки; H - распор арки. Предварительные сечения криволинейных конструкций назначают исходя из рекомендуемых (см. таблицу 1). Расчетные длины элементов принимают: при несимметричной нагрузке $l_p=0.5S$; при симметричной нагрузке для двух шарнирных систем $l_p=0.6S$, для трех шарнирных - $l_p=0.7S$, что соответствует требованиям СП 64.13330.2011.

Нормальные расчетные усилия N и поперечные расчетные усилия Q в узлах находятся для каждого сочетания нагрузок.

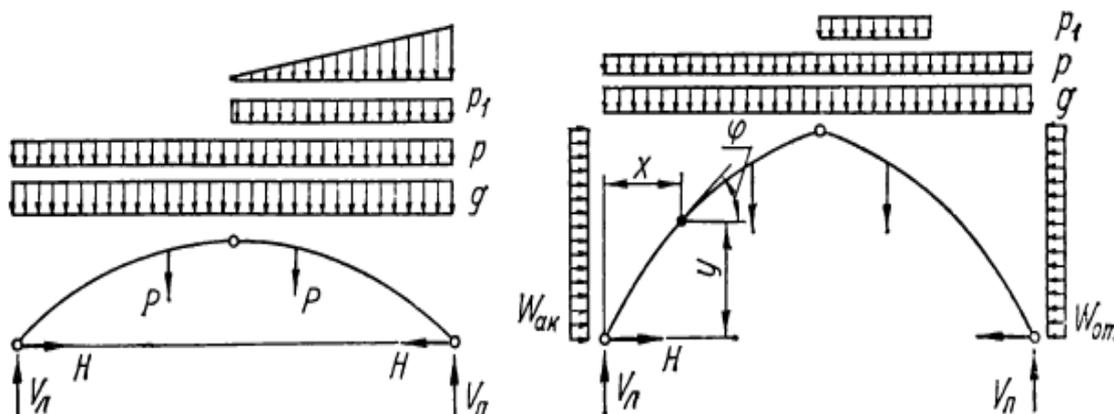


Рисунок 1. Сочетание нагрузок при расчете трехшарнирных криволинейных конструкций

Ввиду того, что древесина является низко модульным материалом $E=10000\text{МПа}$, что в 20 раз меньше, чем у стальных конструкций, и обладает большой деформативностью, при проведении статических расчетов для таких конструкций необходимо учитывать схему деформирования [3], так как она может приводить к существенным поправкам внутренних усилий.

Как известно по СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции», учет деформированного состояния для криволинейных конструкций таких как, рамы, арки и т.п., следует производить по формуле:

$$\frac{N}{A_{бр}} + \frac{M_d}{W} \leq R_c \cdot \xi; \quad M_d = \frac{M}{\xi};$$

$$\xi = 1 - \frac{N_0}{A_{бр} R_c \varphi_3} \quad (1)$$

Но при этом, как показывают многие численные и натурные эксперименты [10], [1] подобных конструкций, применение формулы (1) приводит к завышенным значениям изгибающих моментов и как следствие, завышенным значениям нормальных краевых напряжений в сечениях конструкции.

Одними из первых на этот факт обратили внимание авторы [9] при исследованиях работы трехшарнирных клефанерных и клеодошчатых рам. Также на завышенные увеличения напряжений, при расчете сжато-изгибаемых большепролетных трехшарнирных конструкций, по методике СП 64.13330.2011, обращали внимание авторы [11] при исследовании напряженно-деформированного состояния пологих арок. Различия в результатах проводимых численных экспериментов, составили около 20%.

С появлением и стремительным развитием современных расчетных программных средств, таких как Lira Soft и SCAD Office, основанных на МКЭ [8], появилась возможность оценки влияния деформированного состояния конструкции на ее напряженное состояние, что актуально для расчета большепролетных сжато-изгибаемых деревянных конструкций. Для учета влияния деформированного состояния на напряженное состояние, решение задачи в данных программных комплексах ведется с учетом геометрической нелинейности.

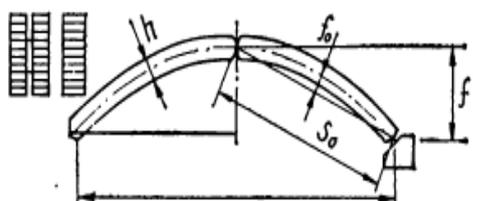
В SCAD Office 11.5 [7] для учета геометрической нелинейности необходимо использовать тип элемента 301 - 310. Расчет ведется в нелинейной постановке [4]. При моделировании нелинейных нагрузок предлагается три метода: шаговый, шаговый с учетом невязки и шагово-итерационный.

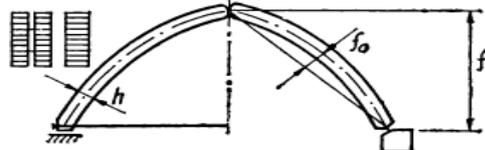
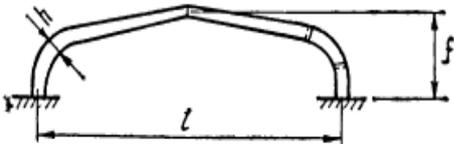
Для учета геометрической нелинейности в Lira Soft 9.6 [5], необходимо использовать тип элемента 309. Решение ведется с учетом моделирования нелинейных нагрузок, со следующими методами решения поставленной задачи: простой шаговый, автоматический выбор шага с поиском новых форм равновесия, автоматический выбор шага для геометрически и физически нелинейных задач.

В данной статье проведен численный эксперимент работы большепролетной конструкции в плоскости действия нагрузки, считая устойчивость плоского деформирования обеспеченной с помощью сплошного раскрепления из плоскости конструкции, для трех расчетных схем (рама типа «клюшка», пологая арка и стрельчатая арка), с учетом геометрической нелинейности: в программном комплексе SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6. Геометрические характеристики конструкций сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики конструкций

№схемы	Наименование схемы и сечения	Размеры			Гибкость λ
		l , м	h/l , м	f/l , м	
1	<p>Круговая арки</p> 	40	1.33/40	15/40	80

№схемы	Наименование схемы и сечения	Размеры			Гибкость λ
		l , м	h/l , м	f/l , м	
2	Стрельчатые арки кругового очертания 	40	1.44/40	20/40	80
3	Рамы из гнутых элементов 	40	1.1/40	15/40	95

Целью проведения численного эксперимента для данных конструкций является:

1. Установление необходимого количества разбиения нагрузки на шаги, для максимального учета деформированного состояния конструкции на ее напряженное состояние;
2. Анализ изменения максимального изгибающего момента от учета деформированного состояния конструкции;
3. Анализ влияния на НДС применения различных методов решения геометрически нелинейных задач, предлагаемых в SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6.

Расчет производится при загрузке, когда нагрузка приложена на половину пролета (см. рис. 2), так как в этом случае выявляются большие деформации [1], [2].

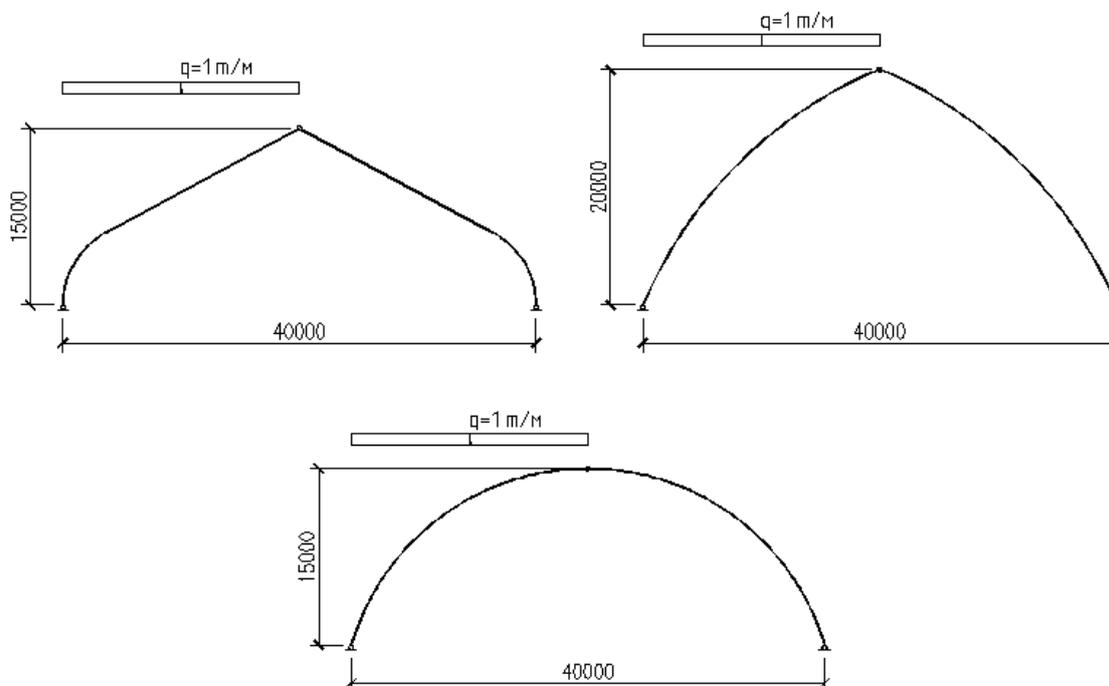


Рисунок 2. Расчетные схемы исследуемых конструкций

Конструкции были рассчитаны в линейной постановке, без учета деформированного состояния и в нелинейной постановке, с учетом деформированного состояния.

В нелинейной постановке при решении задачи в SCAD Office 11.5 использовались два метода:

- шаговый, в котором вся нагрузка разбивается на несколько частей (ступеней) и прикладывается на схему последовательно, тем самым, прикладывая часть нагрузки, мы каждый раз получаем новую деформированную ось конструкции, к которой прикладывается следующая часть нагрузки, что и позволяет учесть деформированное состояние конструкции.
- шагово-итерационный, расчет производится аналогично шаговому методу, но при каждом последовательном загрузении, происходит процесс повторения расчета для учета невязок, полученных при расчете на каждом шаге приложения нагрузки.

В результате чего были построены графики зависимости, согласно которым можно оценить влияние количества шагов разбиения нагрузки на изменение изгибающего момента в конструкции. А также оценить влияние применения различных методов учета геометрической нелинейности в SCAD Office 11.5, на напряженное состояние конструкции (см. рис. 3).

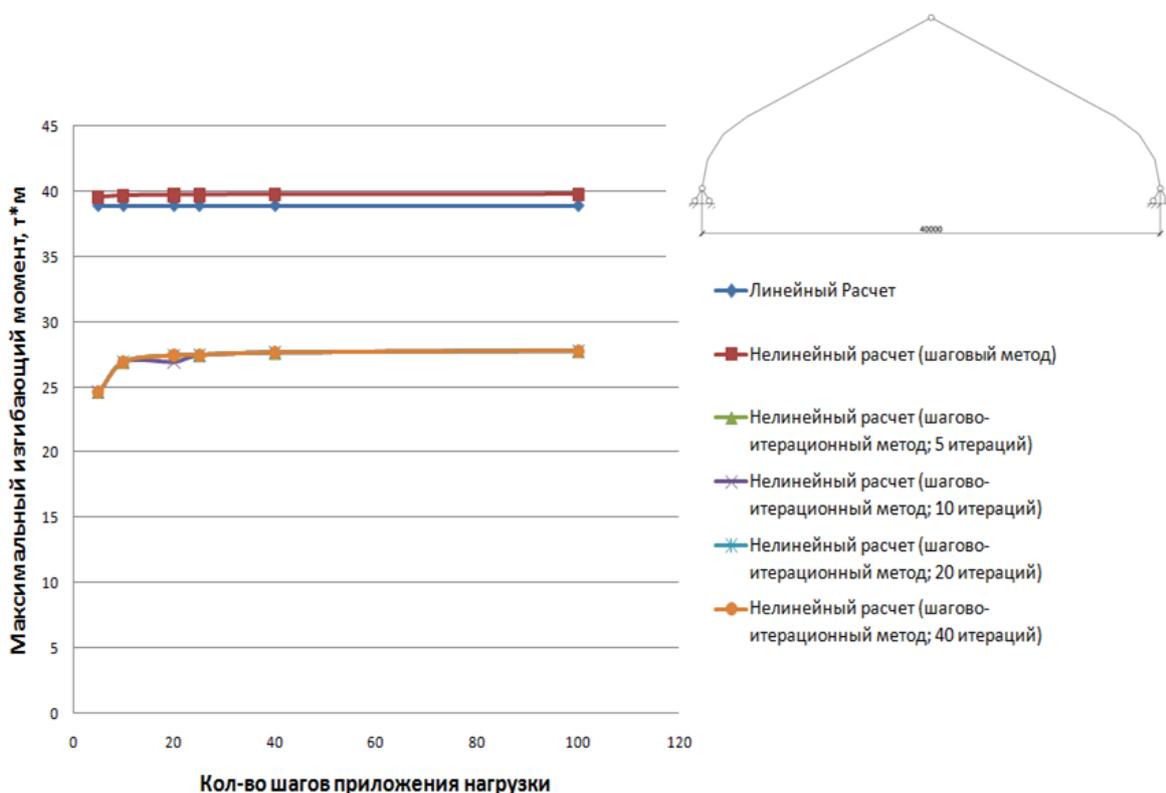


Рисунок 3. График изменения изгибающего момента при шагово-итерационном и шаговом методе в SCAD Office 11.5

Анализируя график изменения изгибающего момента (см. рис. 3), можно сделать вывод о том, что максимальный изгибающий момент при решении в нелинейной постановке изменился по отношению к расчету в линейной постановке:

- при шагово-итерационном уменьшился на 36%;
- при шаговом увеличился на 2,5%.

Аналогичным образом был проведен численный эксперимент пологой арки и стрельчатой арки (см. рис. 4, рис. 5).

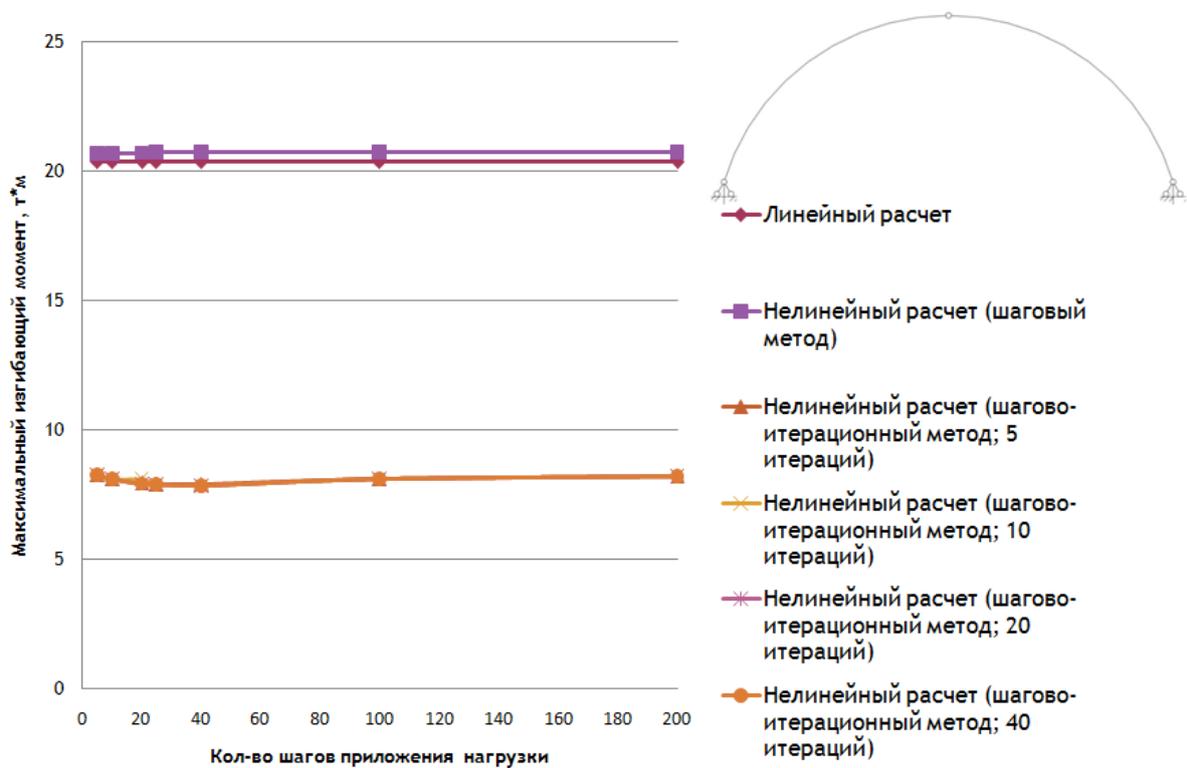


Рисунок 4. График изменения момента при шагово-итерационном и шаговом методе

Анализируя данный график (см. рис. 4), можно увидеть, что при расчете в нелинейной постановке шагово-итерационным методом максимальный изгибающий момент уменьшился на 60%, а при решении шаговым методом максимальный изгибающий момент увеличился менее чем на 1%. При увеличении нагрузки или повышении гибкости, при шаговом методе изгибающий момент увеличивается до 5%.

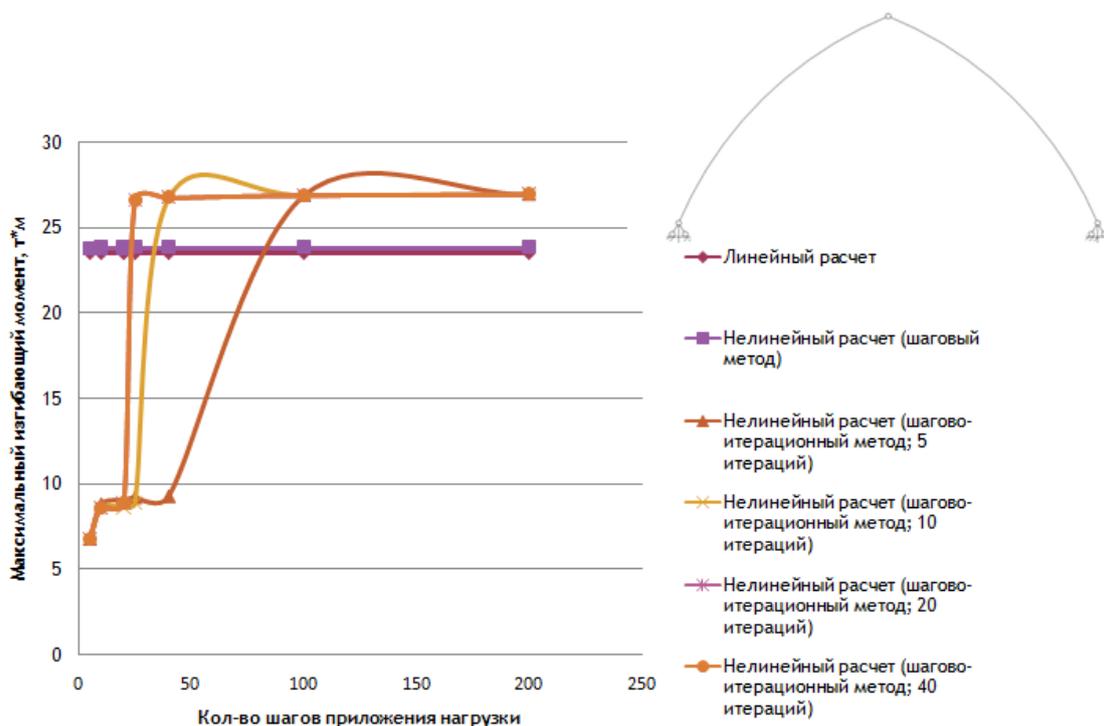


Рисунок 5. График изменения момента при шагово-итерационном и шаговом методе

В результате численного эксперимента можно сделать следующий вывод: расчет различных схем в нелинейной постановке, с помощью предлагаемых методов решения геометрически нелинейных задач при помощи расчетного программного комплекса SCAD Office 11.5, дает неоднозначный результат. Для уточнения полученного результата, для рассматриваемых конструкций, был выполнен аналогичный численный эксперимент, с применением расчетного программного комплекса Lira Soft 9.6. И произведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными при численном эксперименте с применением программного комплекса SCAD Office 11.5.

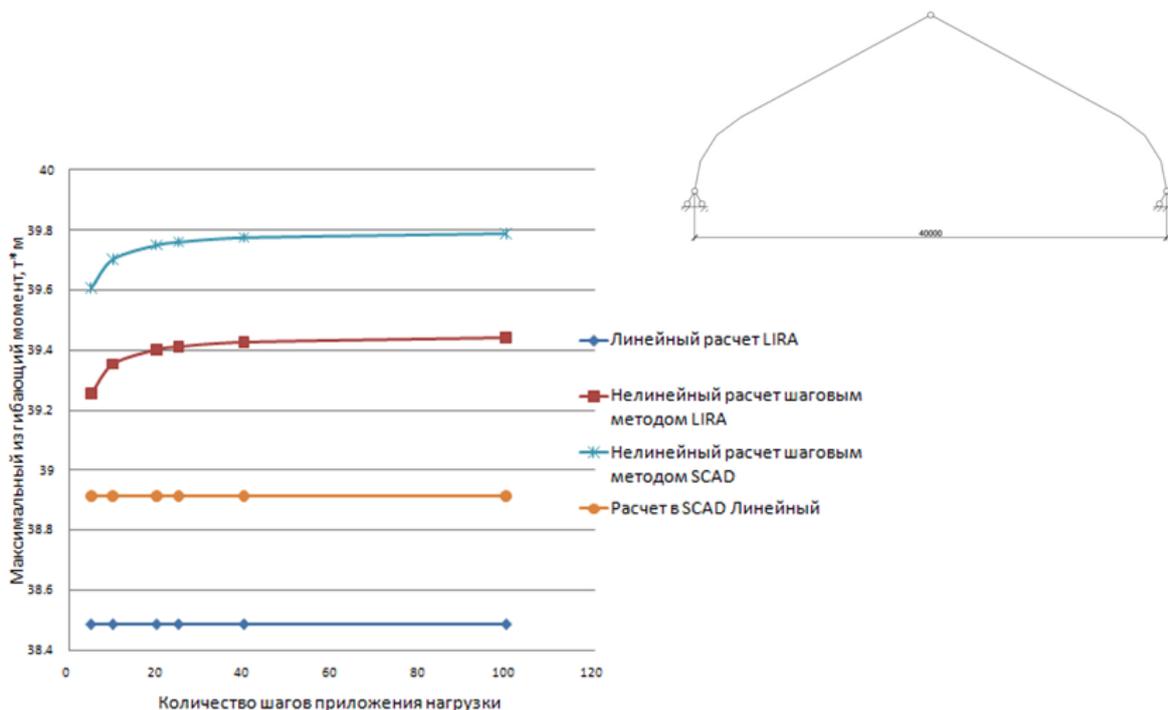


Рисунок 6. График изменения изгибающего момента в раме типа "ключика» при шаговом методе в SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6

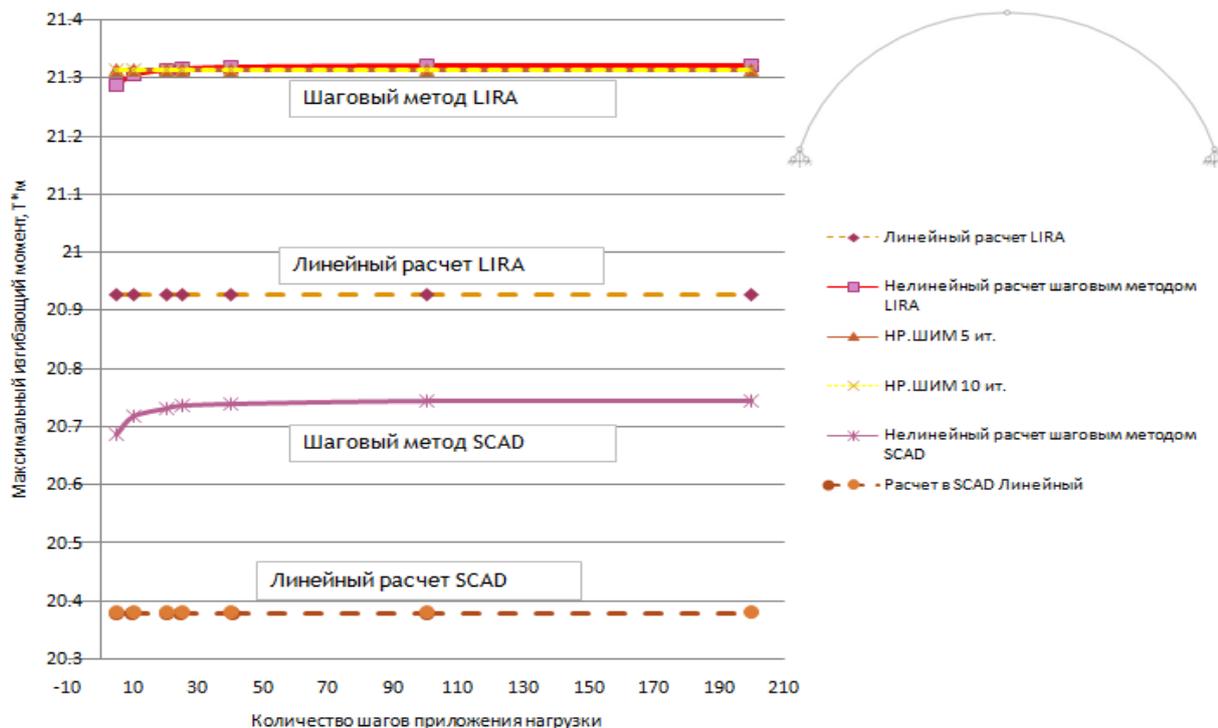


Рисунок 7. График изменения изгибающего момента в полой арке при шаговом методе в SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6

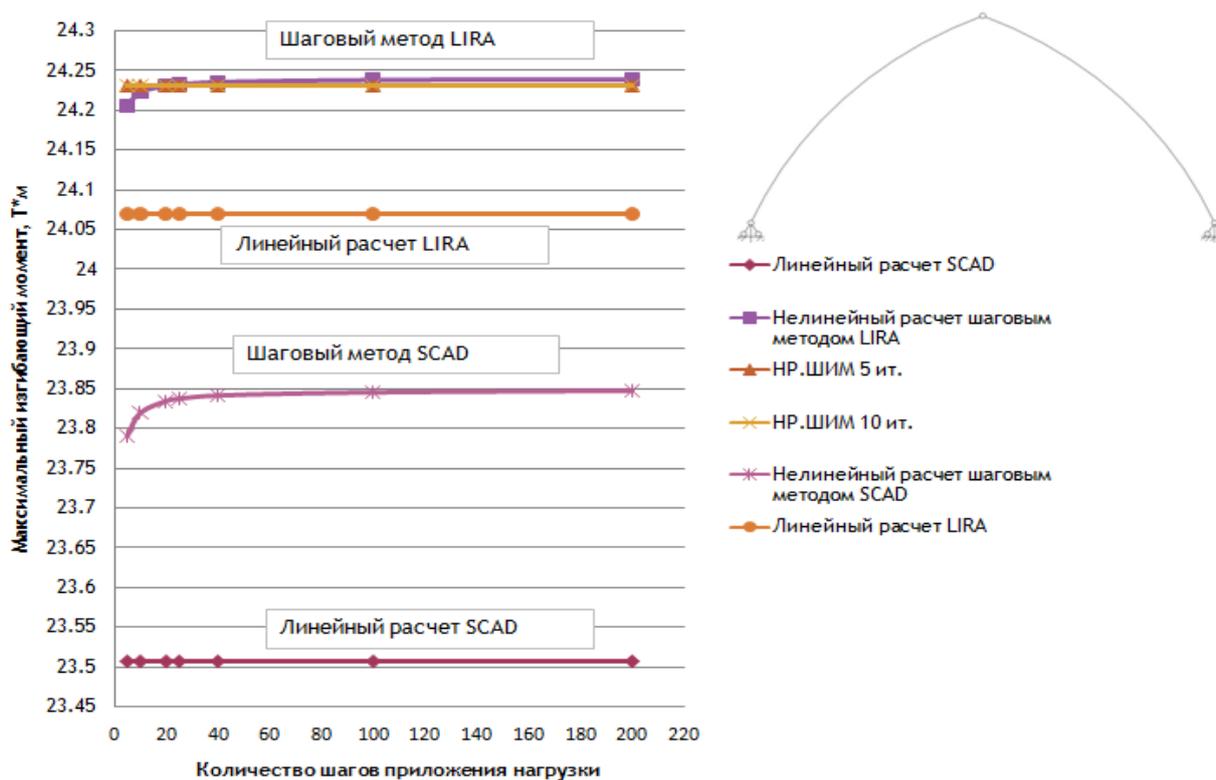


Рисунок 8. График изменения изгибающего момента в стрельчатой арке при шаговом методе в SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6

Вывод:

1. При расчете с учетом геометрической нелинейности в SCAD, результатам шагово-итерационного метода доверять нельзя.
2. Сходимость результатов при шаговом методе и в SCAD Office 11.5 и в Lira Soft 9.6 достигается после 20 шага. Но при этом разница между значениями при 5 шагах и 100 дает увеличение изгибающих моментов не более 0.5%.
3. Значение коэффициента ξ по методике СП 64.13330.2011 на 6-8% меньше, чем по результатам расчета SCAD Office 11.5 и Lira Soft 9.6, при увеличении гибкости различия возрастают до 15-20%.
4. Формула из СП 64.13330.2011 для расчета сжато-изгибаемых большепролетных конструкций завышает напряжения в конструкции на 10-20%.
5. Влияние деформированного состояния на напряженное состояние конструкции не превышает 5%, при работе конструкции в упругой стадии, то есть до достижения расчетных сопротивлений, что также отражено в Американских нормативных документах для расчета сжато-изгибаемых большепролетных конструкций.
6. Расчет большепролетных сжато-изгибаемых деревянных конструкций, следует проводить с помощью современных программных комплексов, позволяющих учитывать геометрическую нелинейность, что в свою очередь позволит уменьшить геометрические параметры сечений и как следствие сделает деревянные конструкции более конкурентно способными для применения их в большепролетных конструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Larsson Gustaf Verification of buckling analysis for glulam arches // Master`s Dissertation. 2014. С. 171.
2. Persson E. Stress and strength analysis of curved glulam beams with box cross-section // Master`s Dissertation. 2008. С. 104.
3. Бабанов В.В., Савицкий Г.М. Расчет трехшарнирных арок по деформированной расчетной схеме // Л.: ЛИСИ. 1977. С. 15.
4. Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Строительная механика. Компьютерные технологии и моделирование // М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ. 2014. С. 911.
5. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю. Программный комплекс Лира-САПР // -К.-М.: Электронное издание. 2013. С. 376.
6. Иванов В.А., Клименко В. Конструкции из дерева и пластмасс // К.: Вища Школа. Головное изд-во. 1983. С. 279.
7. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа // Киев.: Из-во «Сталь». 2002. С. 600.
8. Сагдеева Ю.А., Копысов С.П., Новиков А.К. Введение в метод конечных элементов // Изд-во «Удмуртский университет». 2011. С. 44.
9. Светозарова Е.И. [и др.]. Опыт проведения испытания клееных рам пролетом 18 м // В кн.: Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ. 1972. С. 97–114.
10. Табунов С.Ю. Расчет и выбор оптимальных параметров рам с прямолинейным ригелем и гнутоклееными стойками для сельскохозяйственных производственных зданий // Дис... к-та техн. наук. Л. 1984. С. 260.
11. Шмидт А.Б. К расчету криволинейных сжато-изгибаемых трехшарнирных систем из клееной древесины и фанеры по деформированной схеме // Известия вузов. Строительство. 1999.

Grankin Kirill Vladimirovich

Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering, Russia, Saint Petersburg
E-mail: gran1256@mail.ru

The calculation methods compressed-bent constructions from glulam timber

Abstract. The author of the article considers static calculation algorithm of non-linear beam columns and also span glued laminated constructions by using integrated systems for finite element structural analysis, existing standard methods of the Russian Federation (SP 64.13330.2011). The numerical experiment has been performed by the author for span three hinged constructions of arches and glued laminated frame by means such software as SCAD Office 11.5 and Lira Soft 9.6 with considering geometric nonlinearity. Applying of necessary types of finite elements has been described for taking into account geometric nonlinearity, also solving methods offered in integrated systems for considering geometric nonlinearity when a construction is calculated. The author has revealed admissibility to apply these integrated systems and their solving methods for corresponding tasks. The influence of steps amount of applied loading and iterations amount on stressed deformed state of a construction has been revealed. There are common conclusion of the author about the performed numerical experiment and comparison of obtained results and data of US standard documents in the end of the article.

Keywords: glulam timber constructions; compressed - bent constructions; geometric nonlinearity; displacement method; finite element method; SCAD Office 11.5; Lira Soft 9.6

REFERENCES

1. Larsson Gustaf Verification of buckling analysis for glulam arches // Master`s Dissertation. 2014. C. 171.
2. Persson E. Stress and strength analysis of curved glulam beams with box cross-section // Master`s Dissertation. 2008. C. 104.
3. Babanov V.V., Savitskiy G.M. Raschet trekhsharnirnykh arok po deformirovannoy raschetnoy skheme // L.: LISI. 1977. C. 15.
4. Bazhenov V.A., Perel'muter A.V., Shishov O.V. Stroitel'naya mekhanika. Komp'yuternye tekhnologii i modelirovanie // M.: Izdatel'stvo SKAD SOFT, Izdatel'skiy dom ACB. 2014. C. 911.
5. Gorodetskiy D.A., Barabash M.S., Vodop'yanov R.Yu. Programnyy kompleks Lira-SAPR // -К.-М.: Elektronnoe izdanie. 2013. C. 376.
6. Ivanov V.A., Klimenko V. Konstruktsii iz dereva i plastmass // K.: Vishcha Shkola. Golovnoe izd-vo. 1983. C. 279.
7. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza // Kiev.: Iz-vo «Stal'». 2002. C. 600.
8. Sagdeeva Yu.A., Kopysov S.P., Novikov A.K. Vvedenie v metod konechnykh elementov // Izd-vo «Udmurtskiy universitet». 2011. C. 44.
9. Svetozarova E.I. [i dr.]. Opyt provedeniya ispytaniya kleenykh ram proletom 18 m // V kn.: Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti stroitel'nykh konstruktsiy: Mezhvuz. temat. sb. tr. L.: LISI. 1972. C. 97–114.
10. Tabunov S.Yu. Raschet i vybor optimal'nykh parametrov ram s pryamolineynym rigelem i gnutokleenyimi stoykami dlya sel'skokhozyaystvennykh proizvodstvennykh zdaniy // Dis... k-ta tekhn. nauk. L. 1984. C. 260.
11. Shmidt A.B. K raschetu krivolineynykh szhato-izgibaemykh trekhsharnirnykhsistemiz kleenoy drevesiny i fanery po deformirovannoy skheme // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 1999.