

УДК 502/504 : 624.014.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ УЗЛОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВАРИАНТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Поступила 19.10.2015 г.

© **Д. В. Морозова¹, Е.А. Серова²**¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

RESEARCH OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS TO THE NODES OF METAL STRUCTURES UNDER RANDOM DESIGN

Received October 19, 2015

© **D. V. Morozova¹, E.A. Serova²**¹ Moscow State University of Mechanical Engineering, Moscow² Federal state budgetary educational institution of higher education «Moscow state university of civil engineering» (National Research University)

В статье представлена постановка задачи исследований напряженного состояния узлов металлических конструкций с целью оптимизации узлов при вариантном проектировании зданий и сооружений с металлическими каркасами. Приведены примеры результатов исследований на оптически-чувствительной модели методом фотоупругости и на компьютерной модели в программном комплексе ANSYS. Отмечается, что при традиционном подходе проектировщик разрабатывает ограниченное число вариантов, рассмотрение которых не гарантирует близость конечного результата к оптимуму. Авторы указывают, что проблема разработки новых или совершенствования имеющихся методов оптимизации проектных решений сооружений остается актуальной, и ее решение является одним из направлений совершенствования системы автоматизированного проектирования, которые нуждаются в верификации точности. Одним из способов проверки точности является поляризационно-оптический метод, в основе которого лежит свойство большинства прозрачных изотропных материалов приобретать под действием механических напряжений (деформаций) способность к двойному лучепреломлению (оптической анизотропии). В исследовании пространственной компьютерной модели, разработанной в ANSYS, авторами статьи получены изополя распределения главных напряжений в анализируемом сечении модели. Анализ полученных результатов исследований напряженного состояния жесткого узла крепления фермы к колонне, проведенных экспериментальным методом фотоупругости и полученных на компьютерной модели в ANSYS, выявили наглядную сходимость результатов.

Ключевые слова: вариантное проектирование, оптимизация конструктивных решений узлов металлических конструкций, поляризационно-оптический метод (метод фотоупругости), компьютерная модель в программном комплексе ANSYS, напряженное состояние узлов.

Оптимизация конструктивных решений технических объектов имеет широкое распространение и направлена на получение более экономичных решений при проектировании зданий и сооружений [1]. Целесообразность оптимизации конструктивных решений строительных сооружений также очевидна, поскольку при принятии оптимальных решений могут

This article presents a problem of researching of the intense deformed state of units of metal structures for the purpose of optimization this units in the case of the variant design of buildings and structures with a metal frame. There are examples of results which were get after laboratory experiment and computer modeling the same unit. The laboratory experiment was made on a optically-sensitive model, in other words, by photo elasticity method, which visualizes the difference of the main tension. And the same picture was get after the ANSYS computer model was designed. It is noted that in the traditional approach the designer develops a limited number of options, the consideration of which does not guarantee the closeness of the final result to the optimum. The authors indicate that the problem of development of new or improvement of existing methods of optimization of design decisions of structures is relevant, and its solution is one of directions of perfection of computer-aided design, which require verification of accuracy. One way to test the accuracy of a polarization-optical method, which is based on the property of most of the isotropic transparent material to acquire under the action of mechanical stresses (deformations) the ability to double refraction (optical anisotropy). In the study of spatial computer models developed in ANSYS, the authors obtained isopole of the principal stress distribution in the analyzed section of the model. The analysis of the received results of researches of stress state of the rigid attachment of the farm to the column, the experimental method of photoelastic analysis and obtained on a computer model in ANSYS revealed a clear convergence of the results.

Keywords: variant design, optimization of design solutions units of metal structures, polarization-optical method (the method of photoelasticity), the computer model program complex ANSYS, stress state of units.

быть существенно снижены затраты на строительство и последующую эксплуатацию объекта [2, 3]. При традиционном подходе проектировщик разрабатывает ограниченное число вариантов, рассмотрение которых не гарантирует близость конечного результата к оптимуму [4].

Любой инженер понимает и знает, что сравнивая несколько вариантов металличе-

ских конструкций, выполненных из одинаковой по физико-химическим свойствам стали, наиболее легкая конструкция будет экономичнее, потому как металлоемкость – это основной критерий оценки экономически выгодной по стоимости конструкции. И он может быть учтен как на стадии сравнения вариантов, так и на стадии рабочего проектирования, если сравнение не проводится в виде расхода стали (металла) на единицу объема или площади.

Акцентирование внимания на этом критерии не должно идти в ущерб надежности и несущей способности. Естественно, этот критерий невозможно принимать во внимание, если в различных вариантах конструкции выполнены из различных по физико-химическим свойствам сталей, а наиболее легкий вариант с применением профилей из круглых труб, или из легированной стали, может оказаться менее экономичным.

Из этого следует, что более объективный критерий при варианте проектирования это экономическая стоимость. Она в свою очередь складывается из таких факторов как:

- стоимость проектирования;
- стоимость металла и других материалов (электроды, болты, лакокрасочные материалы);
- стоимость изготовления, перевозки и монтажа.

В системе ценообразования, общепринятой в строительстве, эти составляющие стоимости находятся в следующих процентных соотношениях:

- проектирование – 40 %;
- сталь и другие материалы – 20...25 %;
- транспортные расходы – 5...7 %;
- монтаж – 15...20 %

Здесь можно заключить, что львиную долю стоимости составляют строительные материалы [1, 5].

Авторы данной статьи подробно рассмотрели критерий металлоемкости и выдели факторы, которые его составляют:

применяемый металл, так как, используя более прочную сталь в растянутых или изгибаемых элементах, можно добиться существенной экономии стали (до 20...30 %), но при сравнении вариантов рассматривают сталь одинаковой марки;

общая компоновка, включающая установление генеральных размеров конструкций (пролет, высота), размещение несущих конструкций в плане (выбор типа планировки, шага несущих элементов),

компоновка связей, т. е. второстепенных элементов, объединяющих основные несущие конструкции;

рациональная компоновка, при которой важным является выбор типа поперечного сечения элемента.

Известно, что для сжатых элементов наиболее выгодным сечением является круглая труба, для изгибаемых – двутавр и коробчатое сечение. При использовании труб экономия металла достигается не только за счет рационального сечения (в трубах металл удален от центра тяжести сечения, что обеспечивает наиболее высокие радиусы инерции сечения при фиксированной площади), но и за счет эффективности узлов металлических конструкций и отсутствия дополнительных деталей [5].

При компоновке элементов конструкций также устанавливаются геометрические параметры, определяющие оптимальный расход металла. Например, в фермах определяют очертание конструкции, тип решетки, длину панели поясов. При компоновке элементов конструкции необходимо учитывать экономичность соединений и узловых сопряжений. Известно, что сварные соединения наиболее технологичны, обеспечивают конструирование простых узлов.

Таким образом, для создания оптимальной по расходу металла конструкции необходимо вариантное решение следующих задач:

- выбор материала и формы поперечного сечения профилей;
- компоновка элементов конструкций;
- выбор типа узлов и соединений;
- компоновка каркаса здания (сооружения) [1].

Стоимость сооружения является второй составной частью проблемы экономического проектирования. Учет трудоемкости изготовления непосредственным и тесным образом связан с конструктивной формой и понимается как характеристика оптимальности конструктивного решения конструкции. Такой подход к стоимости возможен при решении вопросов экономичности, когда рассматривается не столько экономия и численные значения стоимости, сколько зависимости изменения стоимости от тех или других параметров (в данном случае конструктивных) [6].

Рыночные отношения в обществе за последние два десятилетия внесли свой весомый вклад в экономическое развитие строительной отрасли. Если принять во

внимание, что современное проектирование построено на «быстро», «недорого» и «как я хочу», то от проектировщика часто не зависит критерий компоновки каркаса здания, а выбор материала ограничен, и форма сечения диктуется ближайшим сталепрокатным заводом, поэтому остается более экономично выбрать тип соединения и геометрию конструкции.

Таким образом, проблема разработки новых или совершенствования имеющихся методов оптимизации проектных решений сооружений остается актуальной, и ее решение является одним из направлений совершенствования системы автоматизированного проектирования (САПР) [7–9].

Но, прежде чем перейти к работе в какой-либо системе автоматизированного проектирования, необходимо убедиться в ее точности. Одним из средств верификации подобных программ являются экспериментальные методы определения напряжений. Одним из способов такой проверки является поляризационно-оптический метод, в основе которого лежит свойство большинства прозрачных изотропных материалов приобретать под действием механических напряжений (деформаций) способность к двойному лучепреломлению (оптической анизотропии) [10–12]. Данный метод применяется для вычисления напряжений в задачах теории пластичности, упругости, а также в других задачах линейного, неупругого деформирования и нелинейного деформирования и при конечных деформациях. Для случая упругих моделей применяется термин «метод фотоупругости» [13].

Рассматриваемый метод исследования напряжений наиболее информативен и точен среди экспериментальных методов при исследовании напряженно-деформированного состояния моделей. Удобство метода заключается и в том, что он моделирует в светопрозрачных образцах такое напряженное состояние, которое возникает в пластинах из оптически неактивных и непрозрачных материалов, таких как металлы. Моделирование основано на теореме Леви-Митчелла, при которой в случае плоских задач для упругих тел при заданном на контуре нагружения распределение напряжений не зависит от механических характеристик материала [14].

При традиционном порядке подбора сечений стальных конструкций [15] производится статический расчет идеализированной расчетной схемы и определение усилий в элементах. Затем по действующим усилиям находится требуемая площадь, которая

зависит от прочности стали. Зная требуемую площадь сечения, инженер подбирает искомую геометрическую характеристику элемента [4]. Отсюда следует, что экономия массы зависит от нагрузки, поскольку при меньших нагрузках можно использовать более тонкостенные элементы, и наоборот, что указывает на большее влияние формы сечения при малых нагрузках [1].

Сегодня существуют современные программные комплексы, которые могут заменить трудоемкий процесс лабораторных испытаний и теоретический расчет идеализированной модели [16, 17].

Авторы данной статьи провели ряд экспериментальных исследований, одно из которых наглядно доказывает эту возможность. Лабораторные исследования проводилась на упрощенной модели из оптически-чувствительного материала на основе эпоксидной смолы и поликарбонатов ЭД-6М (отверждаемая малеиновым ангидритом эпоксидная смола). При температуре 18...20 °С она имеет следующие характеристики: коэффициент Пуассона $\nu = 0,36$, модуль Юнга $E = 35 \cdot 10^2$ МПа, предел пропорциональности 50 МПа, предел прочности при растяжении 60 МПа (рис. 1) [18].

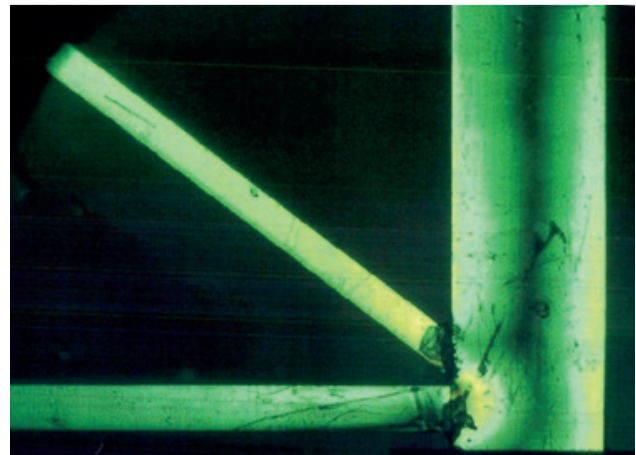


Рис. 1. Распределение главных напряжений в жестком узле крепления фермы к колонне на экспериментальной фотоупругой модели

Авторы использовали методику эксперимента, разработанную и широко использованную при решении инженерных задач в Лаборатории исследования напряжений Московского государственного строительного университета [18]. В исследовании пространственной компьютерной модели,

разработанной в программном комплексе ANSYS с такими же характеристиками материала и геометрией, получены изополя распределения главных напряжений в рассмотренном сечении модели (рис. 2).

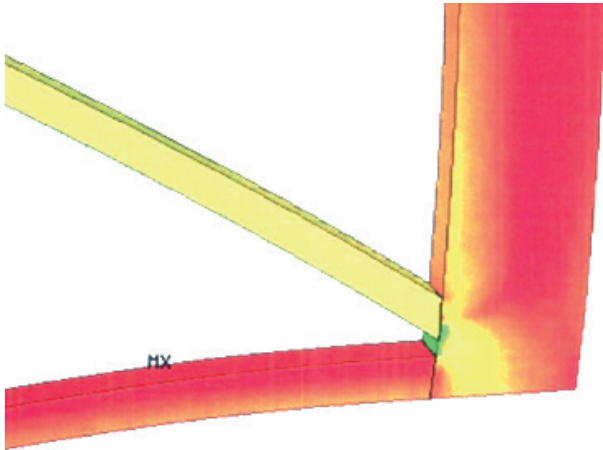


Рис. 2. Распределение главных напряжений в жестком узле крепления фермы к колонне, полученное на компьютерной модели в программном комплексе ANSYS

Вывод

Анализ полученных результатов исследований напряженного состояния жесткого узла крепления фермы к колонне, проведенных экспериментальным методом фотоупругости, и полученных на компьютерной модели в ANSYS, выявили наглядную сходимость результатов. Авторы провели несколько испытаний моделей, анализ результатов которых позволит выполнить обобщение и сделать окончательный вывод по поставленной задаче. В настоящее время проводятся дальнейшие исследования по изучению влияния условий крепления узлов металлических конструкций на выбор оптимального конструктивного решения с точки зрения экономического проектирования сооружений.

Библиографический список

1. Лихтарников Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
2. Дзюба А. С., Липин Е. К. Оптимальное проектирование силовых конструкций минимального объема при ограничениях по прочности и устойчивости // Ученые записки ЦАГИ. – 1980. – Т. 11. – № 1. – С. 58–71.
3. Гинзбург А. В., Василькин А. А. Постановка задачи оптимального проекти-

рования стальных конструкций // Вестник МГСУ. – 2014. – № 6. С. 52–62.

4. Василькин А. А., Щербина С. В. Построение системы автоматизированного проектирования при оптимизации стальных стропильных ферм // Вестник МГСУ. – 2015. – № 2. – С. 21–37.

5. Лихтарников Я. М., Летников Н. С., Левченко В. Н. Техничко-экономические основы проектирования строительных конструкций: Учеб. пособие для вузов. – Киев–Донецк: Вища школа, Головное изд-во, 1980. – 240 с.

6. Стрелецкий Н. С., Стрелецкий Д. Н. Проектирование и изготовление экономических металлических конструкций: вып. 4. – М.: Стройиздат, 1964.

7. Струченков В. И. Математические модели и методы оптимизации в системах проектирования трасс новых железных дорог // Информационные технологии. – 2013. – № 7. – С. 7–17.

8. Металлические конструкции. Справочник проектировщика; под ред. Н. П. Мельникова. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.

9. Системотехника; под ред. А. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – 768 с.

10. Биргер Х. Фотоупругость; под ред. А. Кобаяси // В сб. «Экспериментальная механика». – 1990. – Кн. 1. – С. 195–327.

11. Дюрелли А., Райли У. Введение в фотомеханику (поляризационно-оптический метод). – М.: Мир, 1970.

12. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергия, 1973. – 328 с.

13. Метод фотоупругости: в 3-х т.: Т. 1. Решение задач статики сооружений. Оптически чувствительные материалы / Н. А. Стрельчук [др.]; под общ. ред. Г. Л. Хесина. – М.: Стройиздат, 1975. – 460 с.

14. Морозова Д. В., Серова Е. А. Проблематика исследования напряженно-деформированного состояния узлов металлических конструкций // Вестник МГСУ. – 2014. – № 5. – С. 44–50.

15. Лебедь Е. В., Аткин А. В., Ромашкин В. Н. Реализация компьютерного геометрического моделирования пространственных стержневых систем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2010. – № 2. – С. 141–150.

16. Перельмутер А. В., Сликвер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа: 4-е изд. – М.: СКАД СОФТ, 2011. – 732 с.

17. Doyle James F., Phillips James W.

Manual on Experimental Stress Analysis. Fifth Edition. – Society for Experimental Mechanics, 2005 [Электронный ресурс]. – URL: <http://courses.washington.edu/me354a/photoelas.pdf> (дата обращения 10.10.2015).

18. Применение полимерных оптически-чувствительных материалов в модельных исследованиях напряжений / С. И. Завалишин [и др.] // Вестник МГУ. – 1976.

– № 2. – С. 28–31.

Сведения об авторах

Морозова Дина Вольдемаровна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, профессор (e-mail: morozovadv@mail.ru).

Серова Елена Александровна, аспирантка (e-mail: serova.e@mail.ru).

Information about the authors

Morozova Dina Voldemarovna, candidate of technical sciences, senior researcher, professor (e-mail: morozovadv@mail.ru).

Serova Elena Aleksandrovna, postgraduate student (e-mail: serova.e@mail.ru).

УДК 502/504 : 691.535

ТЕХНОЛОГИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА КВАРЦСОДЕРЖАЩИХ ЦЕМЕНТАХ С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Поступила 19.10.2015 г.

© **С. Ю. Акимов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва

THE TECHNOLOGY OF DRY CONSTRUCTION MIXTURES OF QUARTZ CEMENTS WITH VARIOUS CHEMICAL ADDITIVES

Received October 19, 2015

© **S. Iu. Akimov**

Moscow State University of Mechanical Engineering, Moscow

Технология производства сухих строительных смесей, имеет большое значение в продвижении отечественного и зарубежного рынка строительных материалов. В настоящий момент сухие смеси имеют большое значение в отделке зданий и помещений. Отмечается, что основой для удовлетворения новых запросов строителей является производство сухих строительных смесей. Сухие смеси в последнее время стали использоваться и как теплоизоляционные материалы, при этом повышается эффективность строительства. В данной статье рассматривается применение сухих строительных смесей на кварцсодержащих цементах с различными химическими добавками. Отмечается, что преимуществом технологий производства сухих смесей является возможность индивидуального и в необходимых случаях многократного модифицирования их компонентов химическими добавками или механохимической обработкой с получением материалов широкого назначения. Из гидросфильных добавок С-3 и ЛСТМ-2 с позиции «присадочного» эффекта ко всем частицам сухой смеси более предпочтителен ЛСТМ-2, гарантирующий и более продолжительную ее сохранность во времени. Метал-кварцсодержащие порошкообразные промышленные отходы, введенные в портландцемент или в сухую смесь, раздвигают зерна и способствуют гидратации более полному использованию цемента. Кварцсодержащие цементы рекомендуется готовить по низкочастотным ударно-стирающим режимам внешнего воздействия, а сухие смеси на их основе по высокочастотным турбулентным режимам при давлении воздуха 6 атмосфер.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, модифицированные добавки, химические добавки, растворные смеси, бетонные смеси, кварцсодержащие цементы.

Technology of production of dry building mixtures is of great importance in the promotion of domestic and foreign market of construction materials. Currently, the dry mixtures are of great importance in the decoration of buildings and premises. It is noted that the basis to meet the new needs of builders is the production of dry building mixtures. Dry mixes have recently become to be used as thermal insulation materials, improving the efficiency of construction. This article discusses the use of dry construction mixtures with quartz cements with various chemical additives. It is noted that the advantage of production technologies of dry mixtures is the possibility of individual and, where necessary, repeated modification of their components, chemical additives or mechanical treatment, with obtaining materials of wide application. Of hydrophilic additives С-3 and LSTM-2 from the position of «filler» effect to all the particles of dry mix is preferred LSTM-2, and guarantees a longer preservation in time. Metal quartz powder industrial waste, introduced into the Portland cement or the dry mixture, pushing the grain and contribute to a more complete hydration of the cement. Quartz cements are advised to prepare for low-frequency shock-attrition modes of external influence, and dry mixes on their basis of high-frequency turbulent regimes with an air pressure of 6 atmospheres.

Keywords: dry mixes modified with additives, chemical additives, mortar mixes, concrete mixtures, quartz-bearing cements.