

З.Молодченко Г.А. Железобетонные силосы с управлением кинетикой истечения // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.6. – Рівне, РДГУ, 2001. – С.202-208.

Получено 17.05.2002

УДК 624.012.45

В.С.ШМУКЛЕР, д-р техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

А.С.ГОРОДЕЦКИЙ, д-р техн. наук

Научно-исследовательский институт автоматизированных систем в строительстве, г.Киев

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ КОНСТРУКЦИИ

Предложена методика и алгоритм решения задачи управления напряженно-деформированным состоянием конструкции, обеспечивающая минимизацию расхода материалов. Приведен иллюстративный пример.

Введение в технологию САПР процессов регулирования напряженно-деформированным состоянием конструкции предопределяет переход на некий новый уровень, отличающийся рядом специфических особенностей. К ним следует отнести многокритериальность и многоэкстремальность возникающих задач, многовариантность загрузений, возможность проведения оптимизации физико-геометрических параметров элементов, рационализацию процедур конструирования и многое другое.

С другой стороны, методы регулирования могут обеспечить работу материалов и системы в заданных границах, что в определенной мере повышает корректность расчетных моделей, увеличивает строгость анализа напряженно-деформированного состояния, а также улучшает адекватность модели [1].

Регулированию, как правило, могут быть подвергнуты внешние нагрузки, параметры конструкции, характеристики связей и состояния.

Управление поведением конструкции представляется тем инструментарием, с помощью которого можно не только существенно улучшить ее технико-экономические показатели, но и, что самое важное, повысить эксплуатационную надежность. При этом, наибольший эффект может быть достигнут при регулировании конструктивными параметрами на всех этапах жизни элемента или системы, включая стадию разрушения.

Основной целью задачи регулирования является трансформация полей напряжений, деформаций (исходные поля), возникающих в сис-

теме от заданных воздействий, в некоторые новые (результатирующие поля), отвечающие заведомо оговоренным требованиям. При этом, упомянутая трансформация достигается за счет конструктивных мероприятий, задающих корректирующие поля и приводящих к их интерференции с исходными. Если подобная процедура выполняется единожды при создании новой конструкции или при реконструкции существующей, то регулирование (управление) будем называть *пассивным*. Если система управления позволяет изменять корректирующие поля одновременно с изменением исходного поля, то управление будет называться *активным*.

Принципиальным в данном случае является формулирование требований к виду результирующего поля. Как показано в [4,8] для большинства используемых материалов наиболее целесообразны конструкции, в которых реализуется безмоментное напряженное состояние и отсутствуют зоны концентрации напряжений.

Интересным, на наш взгляд, является то обстоятельство, что результатом решения конкретной задачи регулирования являются конструктивные решения, как правило, отличающиеся от традиционных [2,3,5,7]. Последнее, по-видимому, вызвано отказом от привычной последовательности проектных операций. Если обычно имеет место движение от конструкции к оценке ее напряженно-деформированного состояния, то при излагаемом подходе, наоборот, вначале строится результирующее поле соответствующего силового или деформационного фактора, а потом подбирается конструкция, взаимодействующая с объектом управления и обеспечивающая реализацию в системе заданного распределения.

Как отмечалось выше, особенностью автоматизированного рабочего прямого проектирования, основанного на методах оптимизации параметров конструкций и регулировании их напряженно-деформированным состоянием, является постановка задач, отличающаяся многокритериальностью. Решение их – достаточно сложная проблема. В связи с чем, предлагается алгоритм приближенного решения этой задачи.

Суть его состоит в следующем. Решаются последовательно все частные задачи оптимизации или регулирования. То есть, при одних и тех же записанных ограничениях разыскивается экстремум каждого в отдельности сформулированного критерия. При этом, для экстремального значения рассматриваемого критерия определяются соответствующие величины остальных. Кроме этого, считая критерии уравнениями, путем перебора управляющих параметров, принадлежащих области допустимых решений, определяются их неэкстремальные

(промежуточные) значения. Рассматривая критерии как координаты, появляется возможность построения области G , в пределах и на границе которой удовлетворены все ограничения задач. Данная область имеет характерные точки, в которых соответствующий критерий принимает экстремальное значение. Графически для двумерного случая эта область может иметь вид, показанный на рис. 1.

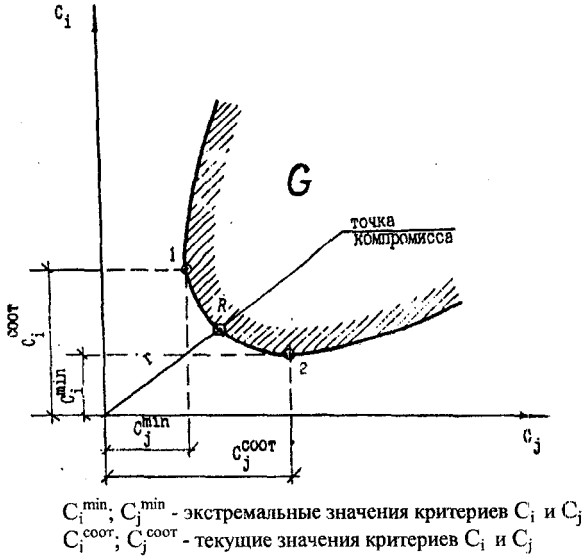


Рис. 1 – Графическая интерпретация построения критерия компромисса

Следуя предлагаемому подходу, в качестве решения для случая равнозначных критериев принимается точка $R(\vec{X}_0)$ на поверхности G , равноотстоящая от характерных точек (например, точек 1 и 2). В общем случае точка $R(\vec{X}_0)$ или вектор r разыскивается с учетом "весовых" коэффициентов. Под равноотстоящей точкой понимается точка $R(\vec{X}_0)$, сумма расстояний от которой до всех характерных точек имеет наименьшее значение. Следовательно, для $R(\vec{X}_0)$ должен достигаться минимум функции

$$Z(X_0) = \sum_{k=1}^N \gamma_k \left[\sum_{L=1}^N (X_{kL} - X_{LR})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \inf, \quad (1)$$

где N – количество характерных точек; X_{kL} – L -я координата k -й характерной точки; X_{LR} – L -я координата искомой точки; γ_k – "весовой" коэффициент.

Необходимые условия существования (1) даются системой N нелинейных уравнений

$$Z'(\vec{X}_0) = 0, \quad (2)$$

где

$$Z'(\vec{X}_0) = 2 \sum_{k=1}^N \gamma_k \frac{(X_{kL} - X_{LR})}{\left[\sum_{L=1}^N (X_{kL} - X_{LR})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (3)$$

Точное решение (2) вряд ли возможно, однако, можно говорить о приближенном решении, получаемом на основании итерационного алгоритма пикаровского типа. Для простоты, процедура нахождения $R(\vec{X}_0)$ записана в евклидовой метрике. В общем случае в (1) может быть введена любая другая нормировка.

Таким образом, многокритериальная задача может быть сведена пошагово к решению однокритериальных задач и системе (2). В качестве примера рассмотрим последовательность регулирования основных параметров рамной системы, показанной на рис.2. Система представляет собой стальную трехшарнирную раму, к которой подвешена мембрана из листового проката, являющаяся потолочным элементом и одновременно затяжкой. На раму действуют постоянная и временная нагрузки. Причем, временная нагрузка представляется пятью случаями возможного расположения: на четверти пролета, на половине пролета, на трех четвертях пролета, на всем пролете, временной нагрузки нет. Как известно [5, 8], экономия расхода стали, в данном случае, может быть достигнута за счет минимизации узлового момента. В качестве конструктивного элемента, обеспечивающего решение поставленной задачи, примем листовую мембрану, подвешенную к раме. Параметром управления назначим силу натяжения мембраны.

В данном случае, частные задачи оптимизации порождаются соответствующими загрузками. Их решения заведомо известны. Они соответствуют тем случаям, когда узловой момент M_D обращается в ноль, то есть результирующие поля моментов должны быть нулевыми [4]. Далее, в соответствии с изложенным алгоритмом запишем все экстремальные и текущие значения узловых усилий (таблица).

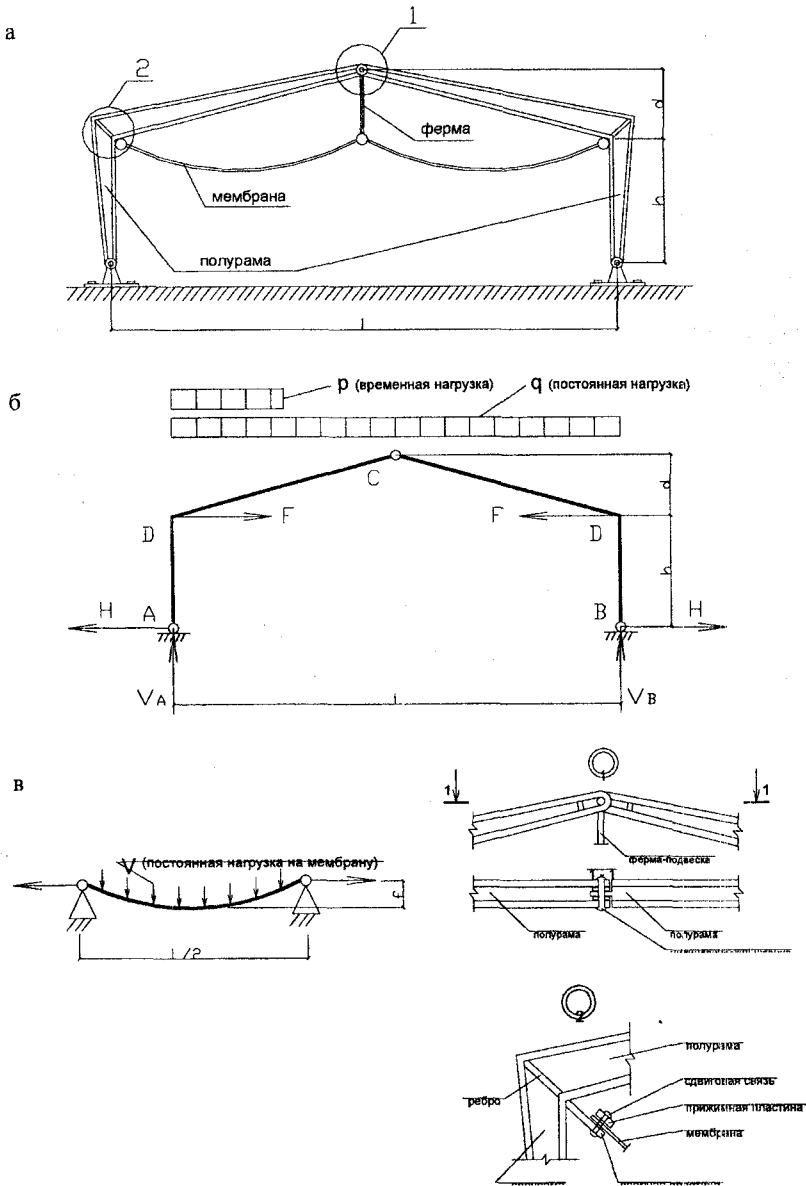


Рис.2 – К примеру расчета: а – конструктивная схема рамы; б – расчетная схема рамы; в – расчетная схема мембраны

№ схемы	Схема рамы с нагрузкой	Узловой момент до выравнивания M_0	Продольная сила в стойке N_{max}	Узловой момент после выравнивания				
				схема 1	схема 2	схема 3	схема 4	схема 5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		$L^2 h \left(q + \frac{p}{8} \right) \frac{1}{8(h+d)}$	$\frac{L}{2} \left(q + \frac{7}{16} p \right)$	0	$\frac{3L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{3L^2 hp}{32(h+d)}$	$\frac{7L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{64(h+d)}$
2		$L^2 h \left(q + \frac{p}{2} \right) \frac{1}{8(h+d)}$	$\frac{L}{2} \left(q + \frac{3}{4} p \right)$	$\frac{3L^2 hp}{64(h+d)}$	0	$\frac{3L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{16(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{16(h+d)}$
3		$L^2 h \left(q + \frac{7}{8} p \right) \frac{1}{8(h+d)}$	$\frac{L}{2} \left(q + \frac{15}{16} p \right)$	$\frac{3L^2 hp}{32(h+d)}$	$\frac{3L^2 hp}{64(h+d)}$	0	$\frac{L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{7L^2 hp}{64(h+d)}$
4		$L^2 h \left(q + p \right) \frac{1}{8(h+d)}$	$\frac{L}{2} (q + p)$	$\frac{7L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{16(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{64(h+d)}$	0	$\frac{L^2 hp}{8(h+d)}$
5		$L^2 h q \frac{1}{8(h+d)}$	$\frac{L}{2} q$	$\frac{L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{16(h+d)}$	$\frac{7L^2 hp}{64(h+d)}$	$\frac{L^2 hp}{8(h+d)}$	0

Решение (2) показывает, что сила F , задающая минимум (1) равна

$$F = \frac{L^2}{8 \times d} \times \left(q + \frac{1}{2} \times p \right), \text{ что соответствует второй схеме загрузки.}$$

Приравняв силу F силе натяжения мембраны [6], получим:

$$\frac{V \times d}{4 \times (q + 0,5 \times p)} = f, \quad (4)$$

где f – стрела провиса мембраны, остальные обозначения по рис.2.

Зная стрелку провиса мембраны, можно найти ее толщину [6]:

$$\delta = \frac{V \times L^2}{32 \times R \times B \times K \times f} \times \sqrt{1 + 64 \times \left(\frac{f}{L} \right)^2}, \quad (5)$$

где R – предел прочности стального листа на растяжение; B – шаг рам; K – коэффициент безопасной работы.

Сопоставление моментов, задаваемых 3-м и 6-м столбцами, в полной мере показывает эффективность предлагаемого подхода.

1. Феодосьев В.И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. – М: Наука, 1975. – 176 с.

2. Abovskiy N.P. Energy principle and its application for the creation of controlled structures / Spatial structures in new and renovation projects of Buildings and construction. Proceeding international congress ICSS-98/ June 22-26, Moscow, Russia, 1998. – P. 307-313.

3. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. – К.: УФИМБ, 1998. – 148 с.

4. Шмуклер В.С. Формализация процедуры формирования управляемых конструкций // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 15. – К.: Техніка, 1998. – С. 49-53.

5. Бирюлев В.В. и др. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс. Учеб. пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.

6. Качурин В.К. Статический расчет вантовых систем. – Л.: Стройиздат, 1969. – 144 с.

7. Shmukler V.S. Spacious reinforced concrete framework for erection for reconstruction of projects for dwelling and civic purpose / Spatial structures in new and renovation projects of Buildings and construction. Proceeding international congress ICSS-98 / June 22-26, Moscow, Russia, 1998. – P. 931-938.

8. Шмуклер В.С. Оптимизация параметров строительных конструкций в условиях регулирования их напряженно-деформированного состояния // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 8. – К.: Техніка, 1997. – С. 3-14.

Получено 16.05.2002