

*О. С. САВЕЛЬЕВА*, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и обоснованием выбора железобетонных конструкций. Предложено при поддержке принятия решений рассматривать структурную схему объекта и определять его отказоустойчивость с помощью информационных структурных статистических моделей. В результате испытания установлено, что применение указанной системы снижает сроки проектных работ в 1,7 раза и металлоемкость продукции в 1,2 раза без ухудшения ее качества.

**Ключевые слова:** строительные конструкции, информационные модели, энтропийный показатель, проектирование, структурные статистические модели.

**Введение.** Строительные конструкции при всем своем многообразии направлены на обеспечение конструктивной прочности, энергоэффективности, удобства монтажа и других утилитарных функций. Они несут на себе все основные нагрузки в зданиях и сооружениях. Наиболее распространенные строительные конструкции – бетонные и железобетонные.

Железобетон представляет собой комплексный строительный материал: бетон воспринимает сжимающие усилия, стальная арматура – преимущественно растягивающие.

Особенности структурного проектирования таких изделий непосредственно следуют из требований, предъявляемых к железобетонным изделиям, а также из совместных свойств и условий работы их элементов – стальной арматуры и бетонного наполнителя [1, 2].

Для обеспечения формирования высокоэффективных технологических решений при стремлении к уменьшению сроков разработки и внедрения в производство изделий требуемых заказчиком параметров и свойств возникает необходимость в соответствующей информационной поддержке [3–5].

**Цель работы.** Целью работы является повышение эффективности автоматизированного проектирования железобетонных конструкций на этапе разработки и выбора их структурной схемы с помощью информационных структурных статистических моделей.

**Методика экспериментов.** В качестве строительных конструкций в работе рассматривались железобетонные армированные балки. В промышленности для армирования конструкций используются унифицированные арматурные изделия в виде сеток и каркасов заводского изготовления (рис. 1).

При проектировании монолитных конструкций необходимо предусмотреть для каждого объекта минимальное количество унифицированных размеров сечений балок, колонн и других элементов. При этом исходят из индустриальных методов их возведения [1, 6].

Железобетон рассматривался при этом как комплексный армированный материал, обладающий анизотропией – т.е. зависимостью механических и деформационных свойств от направления действия внешних нагрузок,

обусловленной армированием и нелинейностью деформирования связанной с трещинообразованием, пластическими свойствами бетона и стали [1].

В проект закладывали сталь горячекатаную для армирования ЖБК периодического профиля в виде стержней с равномерно расположенными на их поверхности под углом к продольной оси поперечными выступами (рифлением) для улучшения сцепления с бетоном. В работе использовали арматурную сталь классов А-II (А300) и А-III (А400), параметры которой приведены в табл. 1.

В качестве примера рассматривались балки квадратного сечения, снабженные арматурой из четырех или восьми симметрично расположенных стальных прутьев (рис. 2).

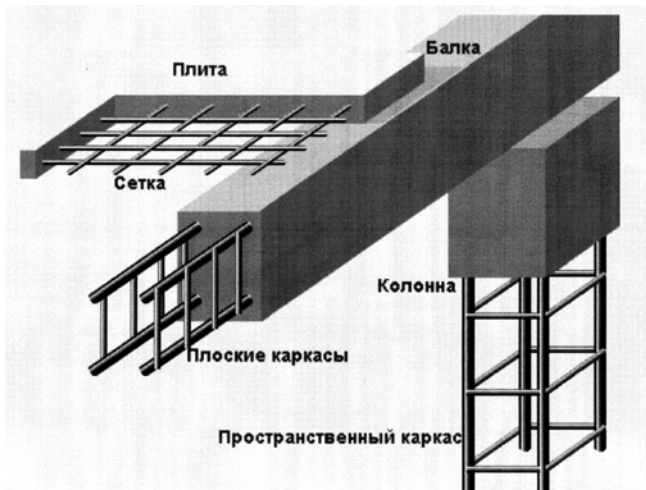


Рис. 1 – Конструктивные схемы арматуры железобетонных элементов

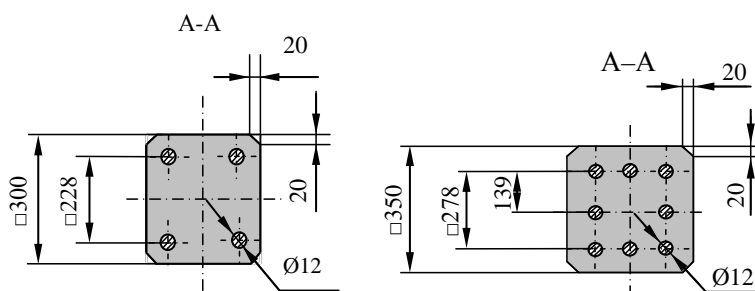


Рис. 2 – Примеры конструкций квадратных свай

Таблица 1 - Параметры арматурного профиля

Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали
А-II (А300)	12 – 22	Ст 5
А-III (А400)	12 – 22	25 ГС

При этом в модели учитывались только продольные стержни в качестве рабочих.

Рассматривали пять типоразмеров по рабочему диаметру стержней арматуры: 12, 14, 16, 18, 20 и 22 мм, место расположения арматуры (толщина защитного слоя бетона или, что то же самое, глубина залегания стержней арматуры): 30 или 40 мм.

Металлоемкость варианта конструкции определяли как содержание металла в одном погонном метре изделия (табл. 2).

В модели предполагалось также, что каждый ее объемный элемент в процессе нагружения взаимодействует, независимо от своих механических свойств, с шестью соседними элементами вдоль осей.

Структурное проектирование строительных конструкций заключалось в определении соответствующей заданным функциям структуры железобетонного объекта.

Таблица 2– Металлоемкость стержней в зависимости от диаметра

Номер профиля (номинальный диаметр стержня), мм	Масса 1 м профиля, кг	Количество метров в 1 т
12	0,888	1126,13
14	1,21	826,45
16	1,58	632,91
18	2,00	500,00
20	2,47	404,86

Для информационной поддержки решения о выборе конструкции использовали информационную структурную статистическую модель (ИССМ) [7, 8].

Возможность представления структуры рассматриваемого железобетонного изделия в виде некоторой нейроподобной сети тривиальной архитектуры позволило осуществить автоматическое выполнение набора стандартных компьютерных процедур при помощи быстродействующего инвариантного программного модуля, связанного только с таким свойством объекта как его структура [9, 10].

ИССМ содержит программный модуль, отличающийся от традиционной нейронной сети тем, что структуру модели можно повреждать. Т.о, на вход подается информация только об исходной структуре варианта объекта проектирования, а на выходе – результат в виде числа (показателя структурной отказоустойчивости), которое позволяет количественно оценивать сравниваемые таким образом варианты структурных решений железобетонных конструкций.

Важной отличительной особенностью работы ИССМ является то, что программный модуль позволяет морфологической модели обучаться распознавать образы, которые не имеют отношения к объекту моделирования [7, 11]. Подобие существует на уровне подобия матриц, элементов и связей между ними. А фиксирование отказа системы устанавливается при необходимом соотношении неправильно распознанных образов ИССМ.

Для настраивания ИССМ и обеспечения адекватности объекту моделирования было предложено дополнительно в распределительный слой нейроподобной сети вводить дополнительные входы в соответствии с количеством необходимых для моделирования параметров объекта. На эти входы подавались отнормированные значения показателей. На основные входы назначали весовые коэффициенты, пропорциональные отнормированной нагрузке. Элементы при определении показателя структурной отказоустойчивости удаляли пропорционально отнормированной нагрузке, т. о. исключалось скачкообразное изменение значения статистической характеристики.

**Обсуждение результатов.** Схема решения практических задач в автоматизированном проектировании с помощью информационных структурных статистических моделей определения вероятности безотказной работы (ВБР) выглядит следующим образом (рис. 3).

Предлагается на начальном этапе проектирования генерировать варианты конструктивной схемы объекта набором вариантов структур с резервными элементами.

При построении ИССМ для каждого из вариантов структур к соответствующим

щему графу добавляли еще два слоя: входной (количество элементов в нем соответствовало количеству чисел на входе элементов обучающей выборки) и выходной – с одним элементом.

В ходе исследования было создано 8 альтернативных вариантов структур, для каждого построена информационная структурно-статистическая модель (ИССМ) [7]. По формуле с учетом всех возможных состояний системы имеем значения энтропийного показателя структурной отказоустойчивости (табл. 3):

$$K_{CBE} = \sum_{i=n^*}^{n^{**}} [P(i) \log_2 P(i) - (1 - P(i)) \log_2 (1 - P(i))]$$

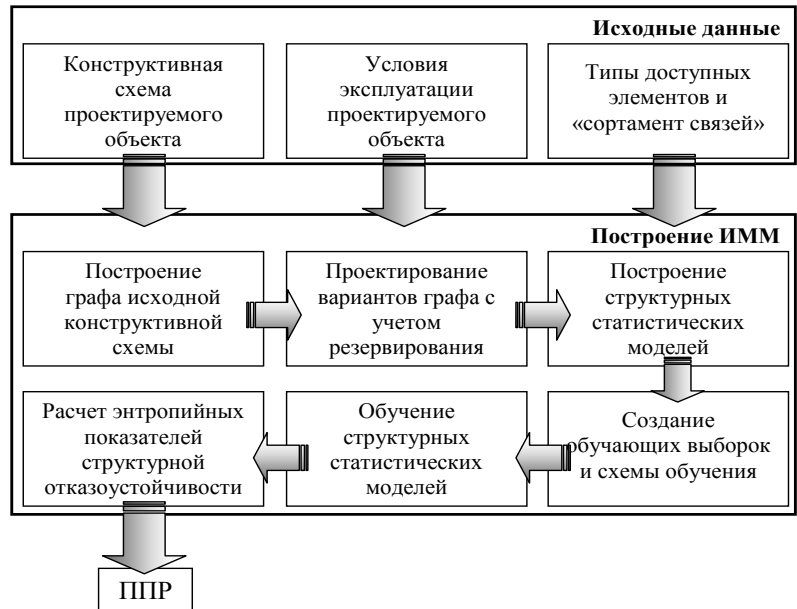
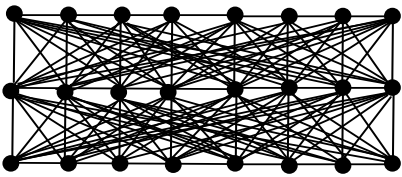
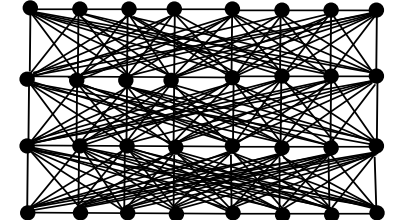
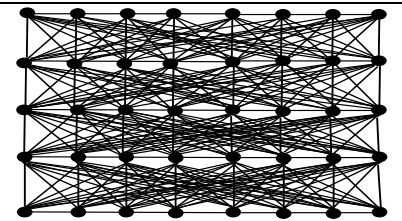


Рис. 3 – Схема решения практических задач в автоматизированном проектировании с помощью информационных структурных статистических моделей определения ВБР

Таблица 3– Результаты расчетов энтропийного показателя структурной отказоустойчивости при проектировании железобетонных конструкций

№№ пп	Описание варианта	Граф варианта	Значение показателя
1	2	3	4
1	4 стержня, 2 поперчины		0,321
2	4 стержня, 3 поперчины		0,329
3	4 стержня, 4 поперчины		0,427
4	4 стержня, 5 поперчин		0,451
5	8 стержней, 2 поперчины		0,451

1	2	3	4
6	8 стержней, 3 поперчины		0,443
7	8 стержней, 4 поперчины		0,447
8	8 стержней, 5 поперчин		0,449

В соответствии с приведенными результатами, наилучшие показатели имеет 4 вариант структуры. Эти данные были учтены при принятии соответствующего проектного решения.

Пример выбран для демонстрации возможностей ИССМ, поскольку невелико количество элементов структуры. Однако, генерирование вариантов структурных схем, получение статистических данных для оценки вероятности безотказной работы при постепенных поэлементных отказах, а также характеристики отказоустойчивости структуры в виде числа, позволяющего его использовать специалисту в качестве инструмента при автоматизированном проектировании железобетонных конструкций на этапе разработки и выбора их структурной схемы значительно повысит эффективность процесса проектирования.

**Выводы.** На Одесском заводе строительных материалов были проведены испытания разработанной информационной системы поддержки принятия решений на этапе структурного проектирования стальных арматур для железобетонных изделий. В результате испытания установлено, что применение указанной системы позволило снизить сроки проектных работ в 1,7 раза и металлоемкость продукции в 1,2 раза без ухудшения ее качества.

**Список литературы:** 1. Железобетонные и каменные конструкции [Текст] / В. М. Бондаренко, Р. О. Бакиров, В. Г. Назаренко, В. И. Римшин. – М.: Высшая школа, 2004. – 876 с. 2. Становский, А. Л. Моделирование отказоустойчивости сложных технических систем [Текст] / А. Л. Становский, О. Е. Плачинда / Автоматизация: проблемы, идеи, решения: мат. междунар. научно-техн. конф. – Севастополь: СНТУ. – 2007. – С. 126 – 127. 3. Alon, N. The Probabilistic Method [Text] / N. Alon, J. H. Spencer, P. Erdos. – New York: Wiley, 1992. – 302 p. 4. Красножон, С. Н. Исследование стойкости регулярных конструкций [Текст] / С. Н. Красножон, О. С. Савельева, О. Е. Плачинда / Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XII семинара. – Одесса: ОНПУ. – 2005. – С. 18 – 19. 5. Плачинда, О. Е. Методы оценки отказоустойчивости сложных технических систем [Текст] / О. Е. Плачинда, А. Л. Становский, О.

С. Савельева / Зб. наук. праць Одеськ. ін-ту сухоп. військ. – Одеса: ОІСВ. –2007. – № 14. – С. 106 – 109. **6.** Интеллектуальные методы исследования отказоустойчивости сложных технических систем в машиностроении [Текст] / А. Л. Становский, В. М. Тонконогий, О. С. Савельева, О. Е. Плачинда // Современные технологии в машиностроении. Сборник научных статей. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – С. 488 – 492. **7.** Савельева, О. С. Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР [Текст] / О. С. Савельева // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб. – Одеса: ОНПУ. – 2011. – Вип. 2 (36). – С. 174 – 178. **8.** Shier, D. R. Network Reliability and Algebraic Structures [Text] / D. R. Shier. – Oxford: Clarendon Press, 1991. – 144 p. **9.** Marquez, J. R. Composite Importance Measures for Multistate Systems with Multistate Components / J. R. Marquez, D. Coit // IEEE Transactions on Reliability. – 2005. – Vol. 54. – № 3. **10.** Chern, M. S. On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system [Text] / M. S. Chern // Ops. Res. Lett. – 1992. – № 11. – PP. 309 – 315.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Bondarenko, V. M., Bakirov, P. O., Nazarenko, V. G., Rimshin, V. I. (2004). Reinforced concrete and stone structures. Moscow.: Vysshaya shkola, 876 p. **2.** Stanovskiy, A. L., Plachinda, O. E. (2007). Simulation of fault tolerance of complex technical systems. Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya: mat. mezhdunar. nauchno-tehn. konf. Sevastopol, 126 – 127. **3.** Alon, N., Spencer, J. H., Erdos, P. (1992). The Probabilistic Method. New York: Wiley, 302 p. **4.** Krasnozhan, S. N., Saveleva, O. S., Plachinda, O. E. (2005). Research of firmness of regular structures. Modelirovanie v prikladnyih nauchnyih issledovaniyah: sb. mater. XII sem. Odessa, 18 – 19. **5.** Plachinda, O. E., Stanovskiy, A. L., Saveleva, O. S. (2007). Methods for assessing fault tolerance of complex technical systems. Zb. nauk. prats Odesk. In-tu suhop. vlysk. Odesa, № 14, 106 – 109. **6.** Stanovskiy, A. L., Tonkonogiy, V. M., Saveleva, O. S., Plachinda, O. E. (2007). Intelligent methods of research resiliency of complex technical systems in mechanical engineering. Kharkov: NTU «HPI», 488 – 492. **7.** Saveleva, O. S. (2011). Express model of reliability of complex systems in CAD. PratsI Odesk. politehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb. Odesa, V. 2 (36), 174 – 178. **8.** Shier, D. R. (1991). Network Reliability and Algebraic Structures. Oxford: Clarendon Press, 144 p. **9.** Marquez, J. R., Coit, D. (2005). Composite Importance Measures for Multistate Systems with Multistate Components. IEEE Transactions on Reliability, vol. 54, no. 3. **10.** Chern, M. S. (1992). On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system. Ops. Res. Lett, № 11, 309 – 315.

*Надійшла (received) 28.02.2015*

**УДК 681.513.52:622.691.4**

**Г. Н. СЕМЕНЦОВ**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Л. І. ФЕШАНИЧ**, аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХИСТУ КОМПРЕСОРА ВІД ПОМПАЖУ НА ОСНОВІ ЗЛИТТЯ ДАНИХ (DATA FUSION)**

Обґрунтовано доцільність застосування новітніх методів злиття даних для вирішення науково-практичної проблеми автоматичного захисту компресора від помпажу, як явища, яке приводить до втрати працездатності газоперекачувального агрегату і має складний нелінійний характер. Доведено, що застосування інформаційної технології багатопараметричного злиття даних покращує продуктивність системи оцінювання поточних значень в декількох напрямках таких як швидкодія, точність, надійність і робастність.

**Ключові слова:** автоматичний захист, швидкодія, явище помпажу, компресор, кластерний аналіз, злиття даних.

© Г. Н. СЕМЕНЦОВ, Л. І. ФЕШАНИЧ, 2015