



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№4, ТОМ 16 (2010) 233-238

УДК 624.04

(10)-0224-1

ВІДНОСНО ОДНІЄЇ КОНЦЕПЦІЇ У ТЕОРІЇ СПОРУД

А. В. Перельмутер

НВО СКАД Софт,

вул. Івана Клименка, 4, офіс 20, м. Київ, Україна, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

Отримана 29 жовтня 2010; прийнята 26 листопада 2010.

Анотація. Аналізуються умови використання відомої концепції, вказує на економічну доцільність зростання одиничної потужності промислових об'єктів. У теорії споруд ця концепція набрала форму ствердження про доцільність концентрації матеріалу у головних конструкціях. Цей факт проілюстровано прикладами, де наводяться данні щодо витрат сталі на спорудження конструкцій мартенівських цехів, доменних пічок та резервуарів. Однак зростання одиничної потужності не супроводжується таким же зростанням їх надійності. Таким є один з уроків Чорнобильської катастрофи. Виконано дослідження, яке враховує обмеження, що пов'язані з умовами безпеки та показано, що згадана концепція має межу щодо її використання.

Ключові слова: теорія споруд, безпека, межа росту.

ОБ ОДНОЙ КОНЦЕПЦИИ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ

А. В. Перельмутер

НПО СКАД Софт,

ул. Ивана Клименко, 4, офис 20, м. Киев, Украина, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

Получена 29 октября 2010; принята 26 ноября 2010.

Аннотация. Анализируются условия использования известной концепции, которая указывает на экономическую целесообразность непрерывного роста единичной мощности промышленных объектов. В теории сооружений, эта концепция приобрела форму утверждения о целесообразности концентрации материала в основных конструкциях. Этот факт иллюстрируется различными примерами где приводятся данные о расходе стали на возведение конструкций мартеновских цехов, доменных печей и резервуаров. Однако рост единичной мощности не сопровождается таким же ростом их надежности. Таков один из уроков катастрофы на Чернобыльской АЭС. Выполнен анализ, учитывающий ограничения, которые определяются условиями безопасности, и показано, что упомянутая концепция имеет границу применимости.

Ключевые слова: теория сооружений, безопасность, граница роста.

ABOUT ONE CONCEPT IN THE THEORY OF CONSTRUCTIONS

Anatoly Perelmuter

SCAD Soft Co,

4, Ivana Klimenko Str., office 20, Kiev, Ukraine, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

Received 29 Oktober 2010; accepted 26 November 2010.

Abstract. Conditions of use of the known concept which specifies in economic feasibility of continuous growth of individual capacity of industrial targets are analyzed. In the theory of constructions, this concept has got the statement form about expediency of concentration of a material in the basic designs. This fact is illustrated by various examples where data about the expense of a steel on erection of designs of martin shops, blast furnaces and tanks are cited. However growth of individual capacity is not accompanied by the same growth of their reliability. Such is one of accident lessons on the Chernobyl atomic power station. The analysis considering restrictions which are defined by safety conditions is made, and is shown, that the mentioned concept has applicability border.

Keywords: the theory of constructions, safety, growth limit.

1. На протяжении длительного времени в теории конструктивных форм использовалась идея концентрации материала, которая считалась одной из основополагающих [3]. Родившаяся в 30-х годах прошлого века, эта идея господствовала в среде создателей новой техники, приобретая форму общего утверждения об экономичности использования объектов большой единичной мощности. И действительно, история развития конструктивной формы в целом подтверждала эту мысль. Она оказывалась плодотворной в различных областях техники, активно она использовалась и при проектировании стальных конструкций.

Еще в основополагающей работе Н. С. Стрелецкого [5] было показано, что концентрация материала в решетчатых фермах благодаря снижению конструктивного коэффициента позволяет снизить расход металла на 1 м² площади здания. Эта же тенденция наблюдалась и при проектировании стальных конструкций целого промышленного комплекса. Так, например, по данным работы [3] для зданий мартеновских цехов расход стали в конструкциях каркаса на одну тонну стали, выплавляемой мартеновской печью в год, непрерывно снижался с увеличением масштаба производства (табл. 1).

Для доменных печей аналогичные показатели представлены в табл. 2, и совершенно аналогичная картина наблюдается при анализе резервуарных конструкций (табл. 3).

2. Приведенные зависимости обусловлены тем, что с увеличением единичной мощности агрегата (установки, сооружения и т. п.) его стоимость увеличивается в меньшей степени, чем рабочая характеристика, поскольку многие вспомогательные конструкции и устройства сохраняются практически неизменными. Совершенно аналогичными были и концептуальные установки проектирования у зарубежных инженеров [6, 7].

В явной форме концепция роста единичной мощности было поставлена под сомнение, по-видимому впервые, академиком Б. Е. Патонем («Известия», 26 апреля 1989 г., № 116), который заметил, что рост единичной мощности машин, агрегатов, сооружений и установок чаще всего не сопровождается таким же ростом их

Таблица 1. Показатели расхода стали для мартеновских печей

Объем мартеновской печи, т	Удельный расход стали, кг/ т
130–150	9,40
220	7,60
250–500	5,10
500–600	4,00
800–900	3,57
1000	3,25

Таблица 2. Показатели расхода стали для доменных печей

Объем доменной печи, т	Удельный расход стали, кг/ т	Объем доменной печи, т	Удельный расход стали, кг/ т
1033	2,85	2000	2,23
1386	2,72	2700	2,10
1513	2,53	3200	1,96
1719	2,36	5000	1,72

Таблица 3. Показатели расхода стали для резервуаров

Емкость резервуара, м ³	Удельный расход стали, кг/ т	Емкость резервуара, м ³	Удельный расход стали, кг/ т
767	1,30	4832	0,21
1056	0,95	10950	0,09
2136	0,47	15000	0,07
3340	0,30	19500	0,05

надежности, и это может привести к масштабным потерям, как, например, во время Чернобыльской катастрофы.

Квинтэссенция нового подхода представлена академиком В. А. Легасовым в его статье «Проблемы безопасного развития техносферы». «Рост масштабов и концентрации производства ведет к накоплению потенциальных опасностей», — писал В. А. Легасов [2]. Систематизируя данные о химических авариях в различных странах, изучая их причины, он пришел к выводу о необходимости системного подхода к исследованию проблем безопасного развития цивилизации (если оно возможно?!), проблем риска, экологической безопасности, экологического образования.

Вероятно с концепцией непрерывного роста единичных мощностей производства и, определяемого этим фактором, концентрацией размещения материальных ценностей связана зафиксированный в работе [13] непрерывный рост материальных потерь от природных и техногенных катастроф (рис. 1).

3. В развитие приведенных выше мыслей мы попытаемся построить модель анализа тех ограничений, которые условия обеспечения безопасности могут налагать на параметры роста единичной мощности.

В первую очередь заметим, что указанные выше зависимости расхода материала (стоимости) от единичной мощности X можно представить в форме

$$C_0 = \alpha + \beta X. \quad (1)$$

Действительно, если перейти к безразмерным величинам $x = X / X_{\max}$ и $y = C_0 / C_{0,\max}$, где X_{\max} , $C_{0,\max}$ — максимальные наблюдаемые значения, то линейные зависимости (1) графически могут быть отображены так, как это дано на рис. 2. Там же приведены уравнения для спрямляющих прямых, полученные по приведенным выше данным методом наименьших квадратов.

Ущерб от аварии U будем считать пропорциональным некоторой степени параметра мощности, т. е. $U \sim X^k$. Например, можно принять $k = 4/3$, подобно тому, как определяется площадь зоны поражения при авариях на химических производствах [1, стр. 117], или же считать $k = 2$, как в тех случаях, когда определяется экологический ущерб от разлива нефтепродуктов из резервуара и в качестве параметра X используется объем резервуара. Обычно [8] параметр $k > 1$ для опасных производств химической промышленности, атомной энергетики, хранения углеводородного сырья и т. п. В принципе, этот параметр должен определяться в каждом

конкретном случае с учетом не только характеристик объекта, но и окружающей обстановки.

Эту мысль хорошо иллюстрирует заимствованная из [9] схема, из которой видно, что при одинаковых зонах поражения и одинаковом индивидуальном риске IR коллективный (социальный) риск SR зависит от населенности территории вокруг объекта (рис. 3).

Стоимость объекта с учетом возможных убытков от аварии, вероятность которой P будем пока полагать не зависящей от X , определяется выражением

$$C = C_0 + PU = \alpha + \beta X + P\gamma X^k, \quad (2)$$

а удельная стоимость

$$c_e = C/X = \alpha/X + \beta + P\gamma X^{k-1}, \quad (3)$$

где γ — некий коэффициент пропорциональности, с помощью которого увязываются показатели сметной стоимости объекта и ущерб от его аварии.

Удельная стоимость убывает с ростом X до тех пор, пока не обратится в нуль выражение

$$\frac{dc_e}{dX} = -\frac{\alpha}{X^2} + (k-1)P\gamma X^{(k-2)}, \quad (4)$$

что произойдет при значении

$$X^* = \left[\frac{\alpha}{P\gamma(k-1)} \right]^{1/k}. \quad (5)$$

При единичной мощности $X < X^*$ концепция концентрации производства (увеличения единичной мощности) себя оправдывает, однако увеличение мощности за граничную величину X^* становится нерациональным из-за масштаба возможных угроз. Заметим, что чем меньше вероятность отказа P (выше надежность системы), тем дальше отодвигается граница рационального использования принципа увеличения единичной мощности.

Следует также указать на определенную связь принципа концентрации материала в конструкции с проблемой живучести [4, 7, 11, 12]. Действительно, из принципа концентрации следует, что в конструктивной схеме появляются мощные несущие элементы, отказ которых, скорее всего, связан с общим коллапсом здания или сооружения. Однако никаким увеличением коэффициента запаса таких ключевых элементов невозможно избавиться от вероятности их отказа, возникающего, например, из-за

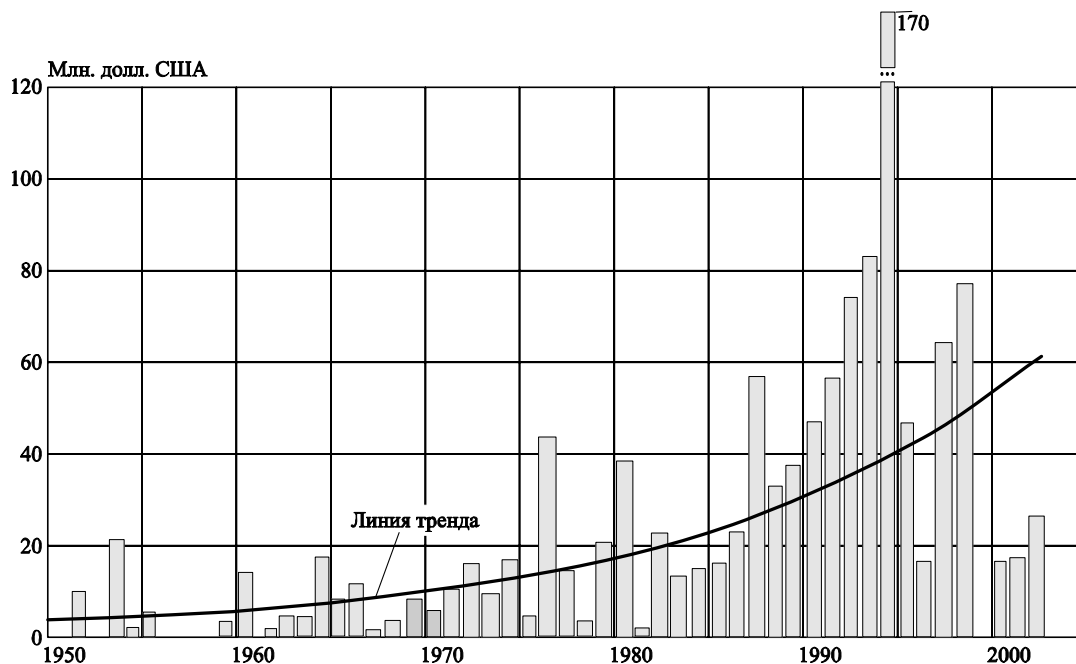


Рисунок 1. Возрастание убытков от природных катастроф.

грубых ошибок или другого влияния человеческого фактора, а это чаще всего и является причиной аварий и катастроф. Но это означает, что в конструкциях такого рода принципиально возможно обострение проблемы обеспечения живучести.

Установление границ применимости для принципа концентрации материала связано с анализом конкретной схемы сооружения, его конструктивного замысла, и здесь вряд ли возможно общее решение. Однако не вызывает сомнения сам факт существования таких границ, и с этим следует считаться.

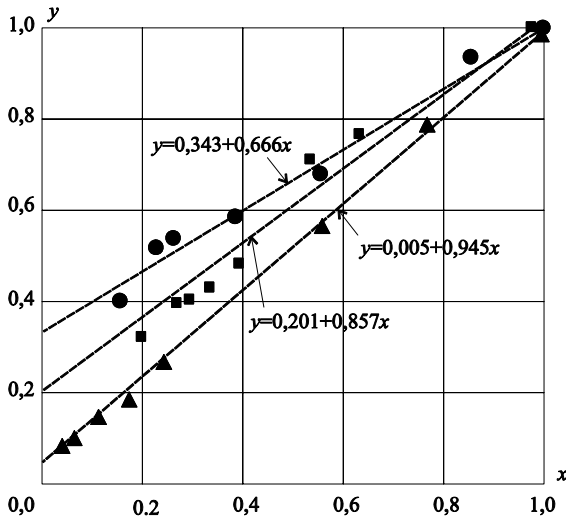


Рисунок 2. Зависимость роста затрат от единичной мощности: для мартеновских цехов (кружки), доменных цехов (квадраты) и резервуаров (треугольники).

Литература

1. Катастрофы и общество / Ю. Л. Воробьев, В. И. Осипов, В. А. Владимиров [и др.]. – М. : Контакт-Культура, 2000. – 332 с.
2. Легасов, В. А. Из сегодня – в завтра. Мысли вслух. Чернобыль и безопасность / В. А. Легасов. – М. : Аврора, 1996. – 226 с.
3. Мельников, Н. П. Металлические конструкции: Современное состояние и перспективы развития / Мельников Н. П. – М. : Стройиздат, 1983. – 543 с.
4. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / Перельмутер А. В. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 256 с.
5. Стрелецкий, Н. С. Нове идеи и возможности в металлических конструкциях промышленных зданий / Стрелецкий Н. С. – М.-Л. : Стройиздат, 1934. – 94 с.
6. Bullock, X.L., *Engineering Design Theory: Applying the Success of the Modern World to Campaign Creation*. Fort Leavenworth, Kansas: School of Advanced Military Studies United States Army, 2009, 114 p.
7. Canisius, T.D., *Robustness of structural systems – a new focus for the joint committee on structural safety (JCSS)*. Applications of statistics and probability in civil engineering, London, 2007, 8 p.
8. Conea, D.C., Koenigb, K.L., Mass casualty triage in the chemical, biological, radiological, or nuclear environment. *European Journal of Emergency Medicine*, 2005, **12**, 287–302.
9. Jonkman, S.N., van Gelder, P.H.A.J.M., Vrijling, J.K., An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, **A99**, 1–30.
10. Margolin, V., *Design discourse: history, theory, criticism*. University of Chicago Press, 1989, 291 p.

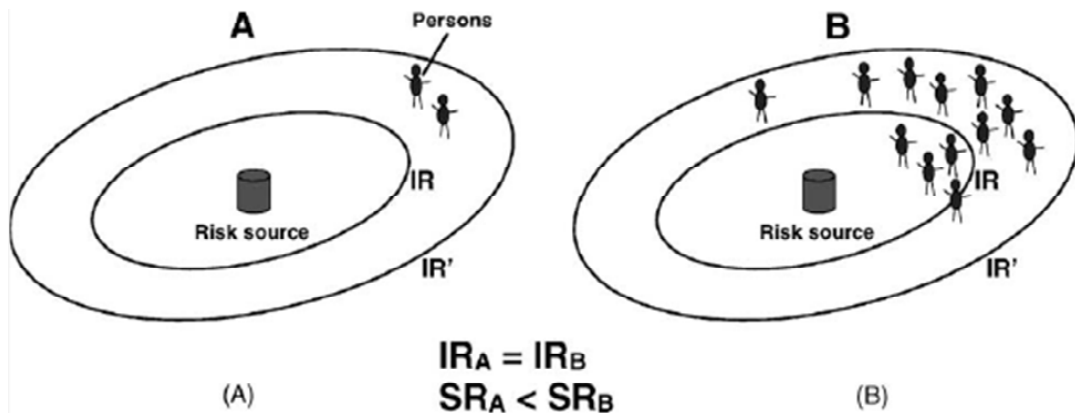


Рисунок 3. Соотношение между индивидуальным и социальным риском.

11. Menzies, J.B., Hazards, risks and structural safety. *The Structural Engineer*, 1995, Vol. 73, 21.
12. Perelmuter, A., Gordeev, V., The Analysis of Discrete Systems Based on Matrixes-Projectors. *Proc. 5th World Congress on Computational Mechanics (WCCM V)*, Vienna, Vienna University of Technology, 2002.
13. Smolka, A., Allman, A., Hollnack, D., Thraninsson, H., The principle of risk partnership and the role of insurance in risk mitigation // *Proc. 13th World Conf. on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
14. Wimsatt, W.C., Robustness, reliability, and over determination. *Scientific inquiry and the social sciences*. San Francisco, Jossey-Bass, 1981, pp. 124–163.

Перельмутер Анатолій Вікторович — д.т.н., головний науковий співробітник НВО СКАД Софт, дійсний член Академії будівництва України, іноземний член Російської академії архітектури і будівельних наук, член Української Асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: нелінійні задачі будівельної механіки, надійність конструкцій і споруд, обґрунтування розрахункових моделей.

Перельмутер Анатолій Вікторович — д.т.н., главный научный сотрудник НПО СКАД Софт, действительный член Академии строительства Украины, иностранный член Российской академии архитектуры и строительных наук, член Украинской Ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: нелинейные задачи строительной механики, надежность конструкций и сооружений, обоснование расчетных моделей.

Perelmuter Anatoly — Doctor of Science, Main Researcher of SCAD Soft Co. He is a member of the Civil Engineering Academies of Ukraine, Foreign member of the Russian Architecture and Building Academy, a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. Scientific interests: non-linear problems on structural mechanics, reliability of structures and constructions, substantiation of settlement models.