

УДК 539.3:624.04:681.51

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМООБРАЗОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ

Абовский Н. П.

*Сформулированы принципы энергетического подхода к формообразованию конструкций, среди которых: принципы энергетической проводимости; энергетической защиты, включая динамическое противодействие; перераспределение энергии деформирования; использование и приобретение части энергии внешнего воздействия для повышения сопротивляемости конструкций; предварительной зарядки (аккумулирования энергии); автоматического управления конструкций. Приведены примеры реализации данных принципов, в том числе для увеличения сейсмостойкости конструкций, повышения сопротивляемости при статических и динамических воздействиях, для автоматического управления. Предложенные принципы могут рассматриваться как качественная основа теории формообразования конструкций с энергетических позиций.*

Проблемы формообразования имеют междисциплинарный характер и выделяются в самостоятельную современную науку, обобщающую многогранные частные традиционные аспекты (науки). В то же время формообразование остается искусством, предметом творческого нешаблонного произведения. В инженерных науках и опыте сложился ряд рекомендаций по рациональному формообразованию.

Однако общие закономерности в науке формообразования еще не выявлены и не установлены. В связи с этим целесообразна попытка рассмотреть обобщающую науку формообразования с наиболее общих позиций в природе и технике, какой является (по мнению автора) энергетический подход.

Выдающийся рывок в этом направлении сделал А. Эйнштейн, связав энергию с массой тела. Но в этом глобальном подходе форма тела и ее изменение (деформация) не учитываются. В практических инженерных задачах выбор формы тела и учет ее изменения имеют решающее значение.

Внешние воздействия на упругое твердое тело (сооружение), совершая работу по деформированию этого тела, заряжают его внутренней энергией, которая проявляется, например, при снятии внешней нагрузки, стремясь вернуть тело в начальное состояние. Развитие строительной механики и конструирования существенно основывается на этом подходе. Однако эти традиционные соображения далеко не охватывают всего многообразия энергетической взаимосвязи с формообразованием создаваемых конструкций. Необходимо более глубокое осознание понимания роли энергетического взаимодействия, которое позволяет не только рационально проектировать, но и находить новые решения.

Отметим, что в механике деформированного твердого тела энергетический подход не получил достаточного развития, хотя сформулированы и используются вариационные (энергетические) принципы.

Ниже приведены принципы энергетического подхода для рационального формообразования (рис. 1).



Рис. 1. Схема энергетических принципов активного формообразования конструкций

**1. Принцип энергетической проводимости через элементы системы** от места приложения внешнего воздействия до опоры – это необходимое условие успешной работы (функционирования) системы. Увеличивая (или уменьшая) энергетическую проводимость, можно управлять сопротивляемостью (работой) системы.

На энергетическую проводимость как на обязательный закон функционирования технической системы указал Г. С. Альтшуллер – создатель ТРИЗ. Фактически это необходимый системный признак, содержащийся в понятии системы [6].

При проектировании конструкций разработчик должен проследить все траектории силового и деформационного потоков через все элементы и связи от места нагружения до опор, убедиться в их непрерывности, выявить «уз-

кие» места (концентрации), определить замкнутость, (т. е. уравновешенность и устойчивость силовых полей и т. п.). Традиционно это выражается в рассмотрении (анализе) напряженно-деформированной схемы (эпюр усилий) и проверке прочности ряда опасных поперечных сечений. Но такой дискретный подход часто не создает осознания целостности энергетической проводимости в конструкции и эффективности ее работы. Сознательное прослеживание энергетической проводимости более предпочтительно для рационального проектирования. Яснее и четче выявляются входные и выходные расчетные параметры (условия) для каждого элемента и связей между ними.

Отметим, что энергетическую проводимость необходимо оценивать с позиций не только статики, но и динамики (в том числе согласования ритмики отдельных частей системы).

**2. Принцип энергетической защиты от «вредных» внешних воздействий** путем изменения (или регулирования) связей или установки специальных устройств между внешней нагрузкой и конструкцией, или созданием динамического противодействия с помощью дополнительного процесса.

Защита от «вредных» динамических (например, сейсмических) воздействий возможна с помощью защитных и изолирующих устройств (рассеивающих, диссипативных), препятствующих полностью или частично проникновению внутрь системы динамического воздействия. Здесь возможно многообразие различных устройств и проектов, имеется простор для творческих решений. Остановимся на некоторых из них, применительно к сейсмозащите и сейсмоизоляции.

Применение средств сейсмоизоляции традиционно основано на включении внутри конструкции (как правило, над фундаментом) устройств либо гасящих колебания, либо рассеивающих энергию, т. е. сознательно расчленяют элементы системы путем установки между ними гасящих или диссипативных связей. Таким путем эффект достигается за счет некоторого ослабления системы и снижения ее целостности.

Другой подход к этой проблеме заключается в идее прерывания (полном или частичном) тех связей, через которые на всю систему целиком (т. е. на фундамент и верхнее строение) передается внешнее динамическое воздействие, т. е. без нарушения целостности системы. При сейсмике это главным образом тангенциальные связи (трение) между основанием и фундаментом (если исключить лобовое сопротивление фундамента волновому фронту). Для реализации данной идеи предложены конструкции наземных незаглубленных сплошных пространственных фундаментных платформ (ПФП) на скользящем слое, расположенном между ПФП и основанием так, что целостность системы («фундамент-верхнее строение») не нарушается [2, 9] (рис. 2).

Такое формообразование системы в значительной мере защищено от больших сейсмических воздействий, а соединение ПФП с верхним строением в цельную многосвязную замкнутую систему еще более повышает сейсмостойкость. Эффективность данного решения весьма привлекательна, если

учесть, что ПФП имеет повышенную жесткость при относительно малом расходе материала благодаря пространственной форме, совмещает в себе ряд функций (конструктивных и эксплуатационных), не нарушает подземный гидрогеологический режим и выгодна для строительства в сложных грунтовых условиях.

Данный подход приобретает особо важное значение в условиях **неопределенности** внешних воздействий, например таких, как сейсмические или как неравномерные просадки грунтов и др.

Формообразование здесь направлено на создание **конструкций, малочувствительных** к неопределенным негативным воздействиям, а также на снижение их уровня.

Такое конструктивное формообразование повышает безопасность строительства в условиях неопределенности и тем самым компенсирует недостаточный уровень развития теории.

Отметим, еще другой способ энергетической защиты, который можно назвать активным. Его суть в **принципе динамического противодействия**, т. е. в создании дополнительного динамического процесса, нацеленного на противодействие вынужденным воздействиям на конструкцию. Этот принцип используется для активного управления конструкциями (см. п. 6).

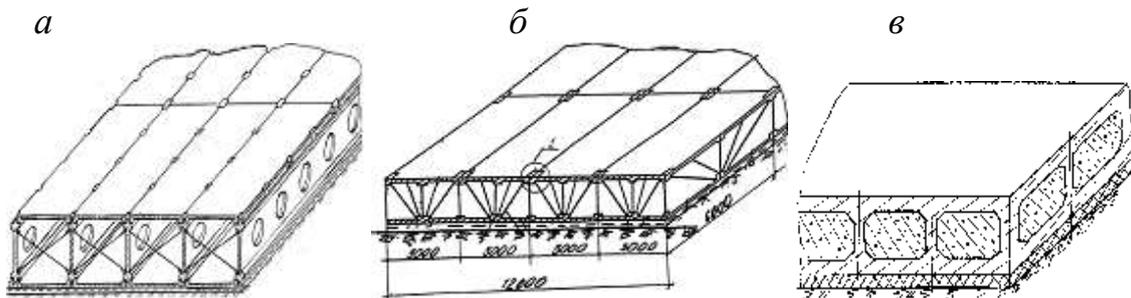


Рис. 2. Пространственные фундаментные платформы для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах и в сейсмических районах: *а* – сборная железобетонная платформа (патент РФ № 38789); *б* – сборная сталежелезобетонная фундаментная платформа (патент РФ № 2206665); *в* – монолитная фундаментная платформа с утеплителем (патент РФ № 45410)

Скользящий слой расположен между фундаментной платформой и основанием.

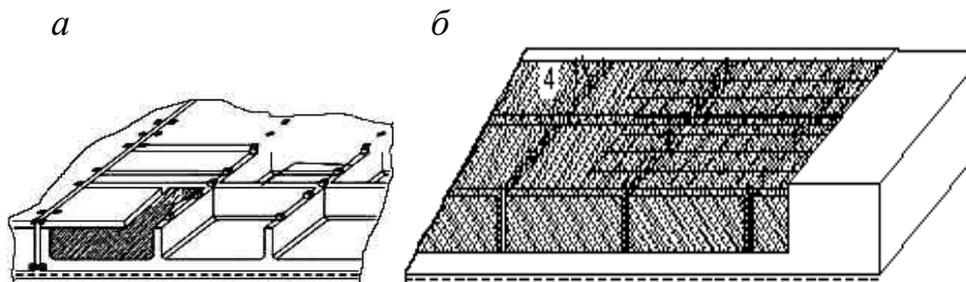


Рис. 3. Варианты пространственной фундаментной платформы на скользящем слое для малоэтажного строительства: *а* – сборный; *б* – монолитный. Патент РФ № 55388

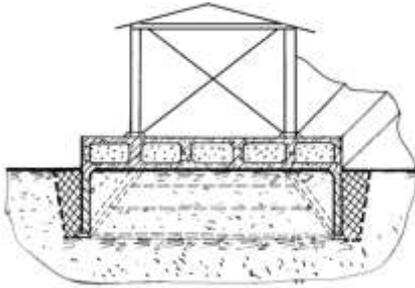


Рис. 4. Пространственная фундаментная платформа со «стеной в грунте» под здания и сооружения для строительства на слабых грунтах и в сейсмических зонах. Патент РФ № 64650. Между «стеной» и грунтом устроен защитный зазор с «мягким» заполнителем

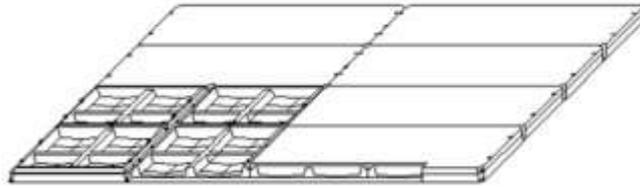


Рис. 5. Пространственная железобетонная фундаментная платформа в сборном и сборно-монолитном вариантах для малоэтажного строительства в сложных грунтовых условиях. Патент РФ № 69094

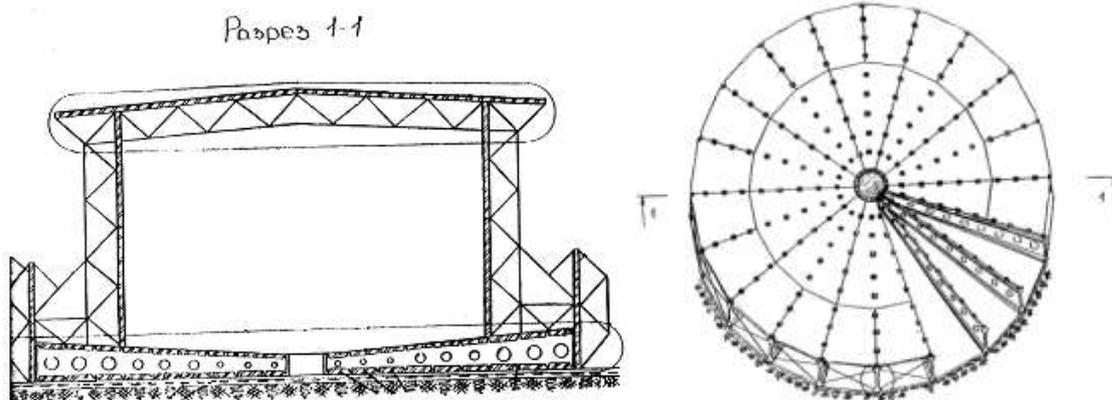


Рис. 6. Пространственная фундаментная платформа на скользящем слое, объединенная с резервуаром в замкнутую систему, для строительства на слабых, вечномерзлых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах. Патент РФ № 2273697

**3. Принцип перераспределения энергии деформирования.** Во многих конструкциях напряженно-деформированное состояние, а следовательно, и энергетическое распределение) весьма неравномерно, т. е. имеются некоторые резервы, которые целесообразно было бы использовать для укрепления (поддержки) более напряженных мест (сечений) конструкций. Таким образом, возникает целесообразность некоторого перераспределения энергии деформации. Это становится возможным, если, например, дополнить традиционную конструкцию специальными устройствами, способными воспринять (возможно аккумулировать), а затем преобразовывать и передавать в желаемое место соответствующее воздействие.

Пример реализации такого решения применительно к уменьшению вынужденных колебаний простой балки с помощью рычажного устройства дан на рис. 7 [1]. На балку постоянного сечения действует динамическая нагрузка  $P(t)$ . Удаленное от нагрузки сечение менее напряжено, его прогиб меньше,

чем под нагрузкой. Изменяя плечи рычага, можно влиять (уменьшить) амплитуду колебаний под нагрузкой.

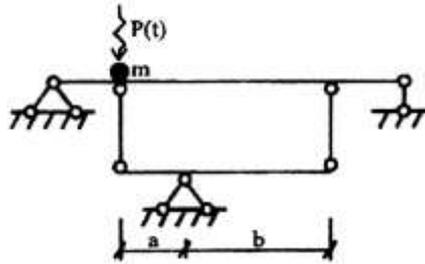


Рис. 7. Пример перераспределения внутренней энергии балки для управления колебаниями простой балки

Отметим, что данный принцип перераспределения внутренней энергии охватывает и применения традиционных демпферных (диссипативных) устройств между отдельными элементами конструкции с целью их защиты путем рассеивания (или поглощения) энергии возмущающего воздействия. Однако эта энергия, как правило, поглощается и не используется для преобразования и усиления слабых мест конструкции.

#### 4. Принцип преобразования части энергии внешнего воздействия для создания большего сопротивления («внешнее зло превратить в добро»)

Традиционно внешнюю нагрузку рассматривают как «зло», которому должна сопротивляться конструкция. Однако часть «вредной» энергии внешнего воздействия можно отобрать, преобразовать и направить на противодействие, используя специальные управляющие устройства. На этом принципе основано, например, автоматическое управление деформированием мачт, вантовой балки, плотины, сейсмостойкости здания и др. (рис. 8-11) [ 7, 8 ].

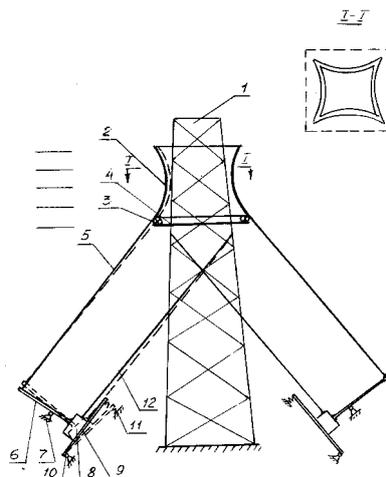


Рис. 8. Устройство автоматического управления высокой башней.  
Патент РФ № 2105853

Для снижения колебаний башни используется часть ветровой энергии, которая аккумулируется подвижным парусом и передается для противодействия башне.

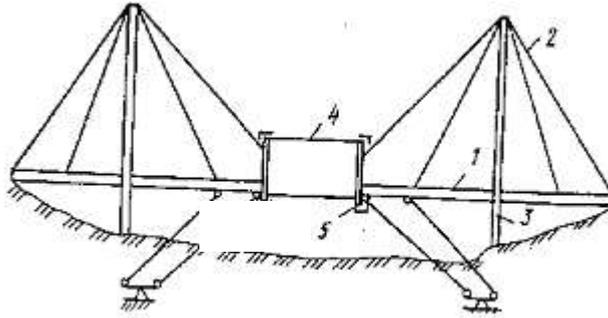


Рис. 9. Устройство защиты моста от бокового ветра. Патент РФ № 2120515

Часть энергии ветра с помощью подвижного паруса аккумулируется и передается с помощью троса и рычажного устройства мосту для повышения его боковой сопротивляемости.

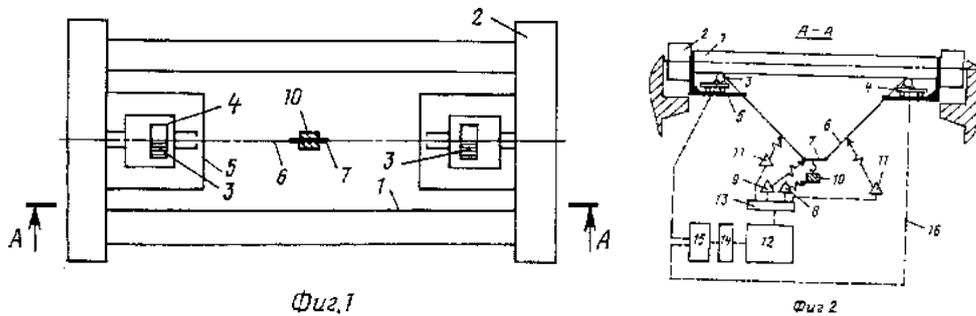


Рис. 10. Кран с системой автоматического управления. Патент РФ № 2090486

Часть энергии поднимаемого груза используется для повышения сопротивляемости подкрановой балки.

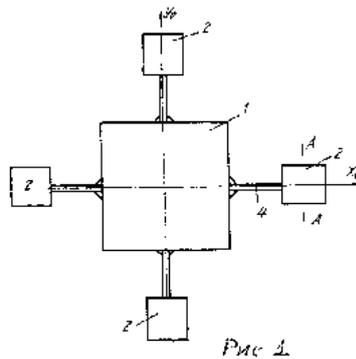


Рис. 11. Сейсмостойкое здание, сооружение. Патент РФ №2087622

Инерционная подвижность вспомогательных масс 2 от сейсмического воздействия способствует стабилизации основной конструкции 1.

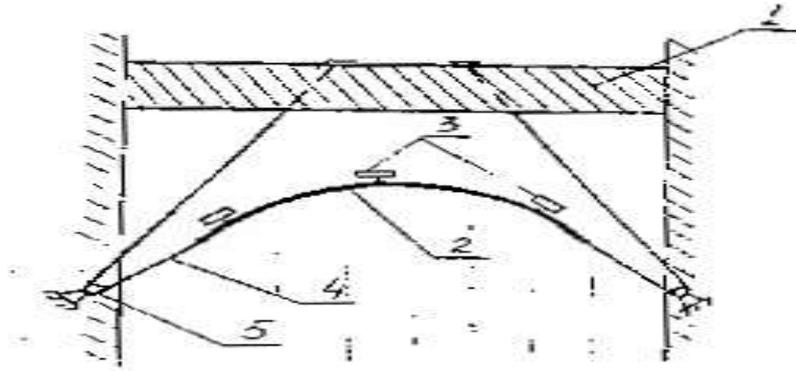


Рис. 12. Плотина. Патент № 2090693

Гибкая подвижная мембрана воспринимает часть энергии гидравлического удара, преобразует и передает его на плотину для динамического противодействия.

**5. Принцип предварительной энергетической зарядки системы (аккумулирования)** – в том числе предварительного напряжения. Этот принцип традиционно используется, например, в железобетоне для снижения трещиностойкости и других усилий для разгрузки более напряженных частей конструкции путем создания «обратного» напряжения и других целей. Для этого могут использоваться дополнительные нагрузки и специальные разгрузочные перераспределительные устройства, а также такая структура системы, при которой одна часть разгружает более напряженную. Реализация этого предложения дана, например, в патентах автора [3] (рис. 13). Накопленная при подъеме элементов (монтаже) потенциальная энергия может использоваться для управления конструкциями.

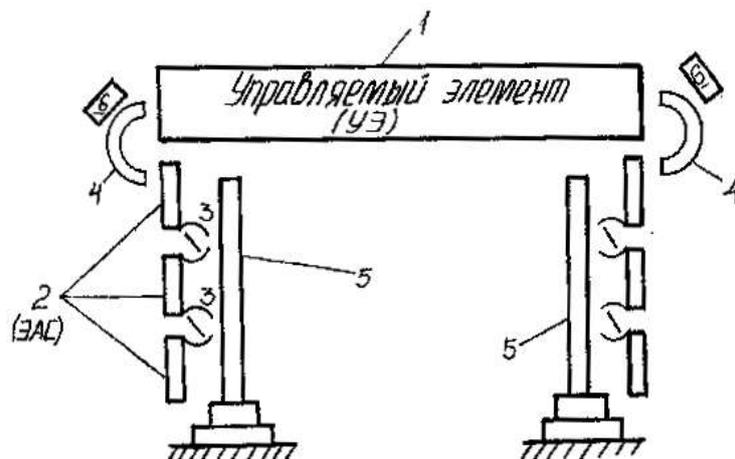


Рис.13. Пример функциональной схемы устройства для управления строительной конструкцией с помощью накопленной потенциальной энергии. Патент РФ № 2068913

**6. Автоматическое управление конструкциями за счет притока внешней энергии – САУ НДС.**

**Энергетический принцип управления конструкциями.**

Управление конструкциями представляет высший этап развития и формообразования современных конструкций, который непосредственно базиру-

ется на энергетической основе. Действительно, если классическая механика и конструкции изучали системы, связанные с постоянством или оттоком энергии, ее идеализированным сохранением, постоянством (консервативные системы) или рассеиванием, диссипацией (неконсервативные системы), то для создания и функционирования управляемых конструкций необходим **приток** энергии. Это **активно** управляемые динамические системы.

*Таким образом, энергетический принцип управления конструкциями непосредственно (системно) связан с притоком энергии, источниками ее получения и рациональными формами ее использования.*

Управление конструкциями (САУ НДС) невозможно без притока внешней энергии. Рациональное управление может использовать отбор и преобразование части внешней или внутренней энергии (рис. 14) [1].



Рис. 14. Энергетическая схема обеспечения САУ НДС

Активно управляемая конструкция – это система, состоящая из целостного набора элементов: механической части конструкции с переменными параметрами и управляющего модуля, вырабатывающего решение об эффективных значениях переменных параметров, а также прямой и обратной связи между этими элементами (включая актуатор), обеспечивающими заданное функционирование управляемой конструкции на основе притока внешней энергии, причем источник энергии целесообразно рассматривать как один из элементов данной системы.

Различные примеры применения энергетического принципа автоматического управления приведены выше на рис. 8-13. Общие схемы и методы управления конструкциями разработаны в [1].

Энергетический принцип управления принципиально связан с кругооборотом энергии: с ее притоком, проходимостью, перераспределением и

преобразованием, а также отводом (оттоком), соответствующей защитой. Проходимость и преобразование энергии происходит при различных формах обратной связи в управляемой системе, среди которых можно выделить следующие варианты управляемых связей:

- уравнивающие связи, позволяющие стабилизировать состояние системы;
- усиливающие связи, способствующие желаемому изменению системы;
- упреждающие связи, предотвращающие нежелательные состояния (аварии).

Важно отметить, что для реализации энергетического принципа активного управления конструкциями используются все приведенные выше энергетические принципы формообразования конструкций, обеспечивающие приток энергии, ее источники и использование.

Это принципы: энергетической проводимости, энергетической защиты, перераспределения энергии деформирования, преобразования части энергии внешнего воздействия, предварительной зарядки (аккумуляции) энергии.

Среди форм и принципов управления энергетическими воздействиями следует указать на следующие: создание динамического противодействия с помощью вспомогательного динамического процесса; трансформация внешнего воздействия на конструкцию, включая использование дополнительной «разгружающей» нагрузки, а также возможность изоляции конструкции или ее части от внешней среды; мобилизация внутренних ресурсов системы, используя историю создания (монтажа) системы; перестройка структуры и организацию взаимодействия ее частей с помощью управляемых связей.

Отметим, что существуют **пассивно** управляемые конструкции, в которых управление сознательно осуществляется за счет отвода части энергии или ее перераспределения между отдельными частями конструкции с помощью различных демпферов, поглотителей энергии, улучшающих ее функционирование или предотвращающих аварийное состояние. Если мы научимся эффективно реализовывать управляемый отвод механической энергии, его аккумуляцию и передачу от одной части конструкции к другой внутри системы, то тогда, вероятно, откроется новая возможность управления конструкциями наряду с активными подходами и различными комбинациями.

На основе системного подхода следует отметить, что наряду с энергетическими аспектами весомый вклад в активное формообразование вносят также идеи пространственности, управления конструкциями, взаимодействия с внешней средой, включая требования экологичности, преодоления неопределенности, обеспечение живучести и безопасности, подчинение социальным желаниям, выражения архитектурной выразительности и красоты [9-10].

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Управляемые конструкции: учеб. пособие с грифом СИБРУМЦ /Н. П. Абовский. – Красноярск: КрасГАСА, 1998. – 433 с.
2. **Abovskiy, N.** Energy principle in application for the controlled structures. Книга трудов конгресса International ICSS Congress on Spatial Structures in new and Renovation Prejects of Buldings and Costurtions. Москва. Россия, 1998.
3. **Пат. 2068918.** Российская Федерация. Способ управления строительными конструкциями / Абовский Н. П. 1996, Бюл. № 31.
4. **Пат. 2090693.** Российская Федерация, Плотина /Абовский Н. П. 1995, Бюл. № 35.
5. **Пат. 2087622.** Российская Федерация. Сейсмостойкое здание, сооружение /Абовский Н. П.1997, Бюл. № 32.
6. **Пат. 2090486.** Российская Федерация, Кран с системой автоматического управления /Абовский Н. П., Доронин С. В. и др. 2007. Бюл. № 26.
7. **Пат. 2090486.** Российская Федерация, Устройство автоматического управления деформированием высокой башни /Абовский Н. П. 2007, Бюл. № 6.
8. **Пат. 2120515.** Российская Федерация, Устройство защиты моста от бокового ветра / Абовский Н.П. 1999, Бюл. № 29.
9. **Абовский, Н. П.** Конструктивная сейсмобезопасность /Н. П. Абовский, Н. И. Марчук, О. М. Максимова, В. И. Палагушкин, В. Г. Сибгатулин, И. Р. Худобердин :препринт; под ред. проф. Н. П. Абовского.- Красноярск : СФУ, 2009.- 186 с.
10. **Абовский, Н. П.** Активное формообразование архитектурно-строительных конструкций зданий и сооружений из унифицированных строительных элементов для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмических районах: научное издание / Красноярск : КрасГАСА, 2004, 241 с.
11. **Абовский, Н. П.** Современные аспекты активного обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управление строительными конструкциями: учебное пособие 3-е изд. перер. и доп. / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, П. А. Светашков, О. М. Максимова; под ред. Н.П. Абовского. - Красноярск: СФУ, 2008.- 407 с.

## **COMBINED SPACE STRUCTURES OF BLOCK TYPE MADE FROM STEEL, CONCRETE, WOOD AND OTHER COMPOSITE MATERIALS**

N. P.Abovskiy<sup>1</sup>, L.V.Endzhievskiy<sup>1</sup>, I.S.Inzhutov<sup>1</sup>, O.M.Maksimova<sup>2</sup>,  
E.M.Sergunicheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor, Faculty of civil engineering, Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Assoc. professor, Faculty of civil engineering, Siberian federal university Russia

### **KEYWORDS**

Combined structures, space structures, composite materials

### **ABSTRACT**

During the last few years in Russia and specifically in Siberia we can see the increase in building production based on deposits mastering new formation and modernization such industries as hydro-energy, non-ferrous metallurgy and oil brunches in the north Siberian territories.

Russian north territories are unique in scale and undeveloped infrastructure. Direct use of foreign experience is not possible.

The conception of rational approach to the choice of structure relations has been formulated on the base of increased demand in building articles, structures and regional features.

Structures are to be light, light-transformed and transported, adapted to specific soil conditions and possible special influence: seismic, irregular settling and others. As the results of investigation have shown combined structures in which every material is used in the most profitable condition of work can satisfy these conditions.

During half of the century in Krasnoyarsk scientific direction related to the solution of the problems of form making, construction and calculation of effective space combined structures from steel, concrete, wood and other composite materials block structures of new generation was formed [1]. This includes span panels, roofing block-arcs and block-domes, frame-panel block-sections of buildings.

In fact any well projected coating or building is a spatial system. For instance, a group of planar beams, purlins, lateral and vertical braces is a spatial engineering system. In designing a constructor accurately should take into account compatibility of all these parts; if manufacturing, assembling and mounting precision laid during establishing background system can disfigure (it means impact of scaled and technological factors).

Designers wish to increase efficiency of structures made of wood and timber-based material intended for plain (of the same type) construction stipulated occur-

ring and developing new generation of the spatial structures, i.e. structures of block type. Shaping is based on deadlock approach of planar structures with protection and bonding features.

The term 'block structure', e.g. arch unit, truss unit points out the structures look like appropriate planar structures to a greater or lesser extent. Chiefly it refers to their frontal projection. The word 'block' has double meaning: on the one hand the structures are solid three-dimensional unit; on the other hand one of the main ways of their shaping is blocking two planar structures.

The main feature of the block structure is width increase of cross section amounting 1.2-3.0 m. Due to this cross section depth is less than those of similar planar structures.

Unlike coating of planar structures block structures are constructed taking into consideration spatial functioning all their elements, great attention being paid to compatibility of elements forming the block.

In agriculture they are effective in one-story buildings and facilities for cultural, manufacturing and storing purposes. In civil engineering it is appropriate to use such structures for coating halls, public buildings, exhibition halls, markets, sport facilities and low-rise buildings. In industry these structures can be used in one-story heated and non-heated buildings.

Efficient application of large-span block structures is tennis courts, cottages, swimming pools, stadiums, aqua parks and storage facilities with corrosive medium.

If we consider the compatibility of functioning elements, the block structures are large-sized ribbed slab (panel) or their outer contour (e.g. top boom of truss unit) is a combination of large-sized slabs. Let's pay attention to the specific examples of such structures combined on the base of wood. The choice of the main material is stipulated with the fact that Siberia is rich in wood. Compare: the reserves of high quality wood of the Nizhniy Priangar region in the Krasnoyarsk Territory are two times more than those in Sweden and three times more than those in Finland.

**Slabs for span.** Coating slab with the size of 1.5x12 m (fig. 1) consists of two dual slope adhesive board ribs forming U-shaped cross section with plywood boarding glued to them.

Providing invariability of slab cross section between main longitudinal ribs we use adhesive board aperture situated at the ends and in the middle of the slab. The slab with main adhesive plywood ribs (instead of adhesive board ones) is used for reducing materials consumption of the structure.

The ribs are displaced from the edge to the middle of the slab, the ribs and plywood boarding forming cross section. It leads to partial dub-bing of common compressive and bending stresses in coating.

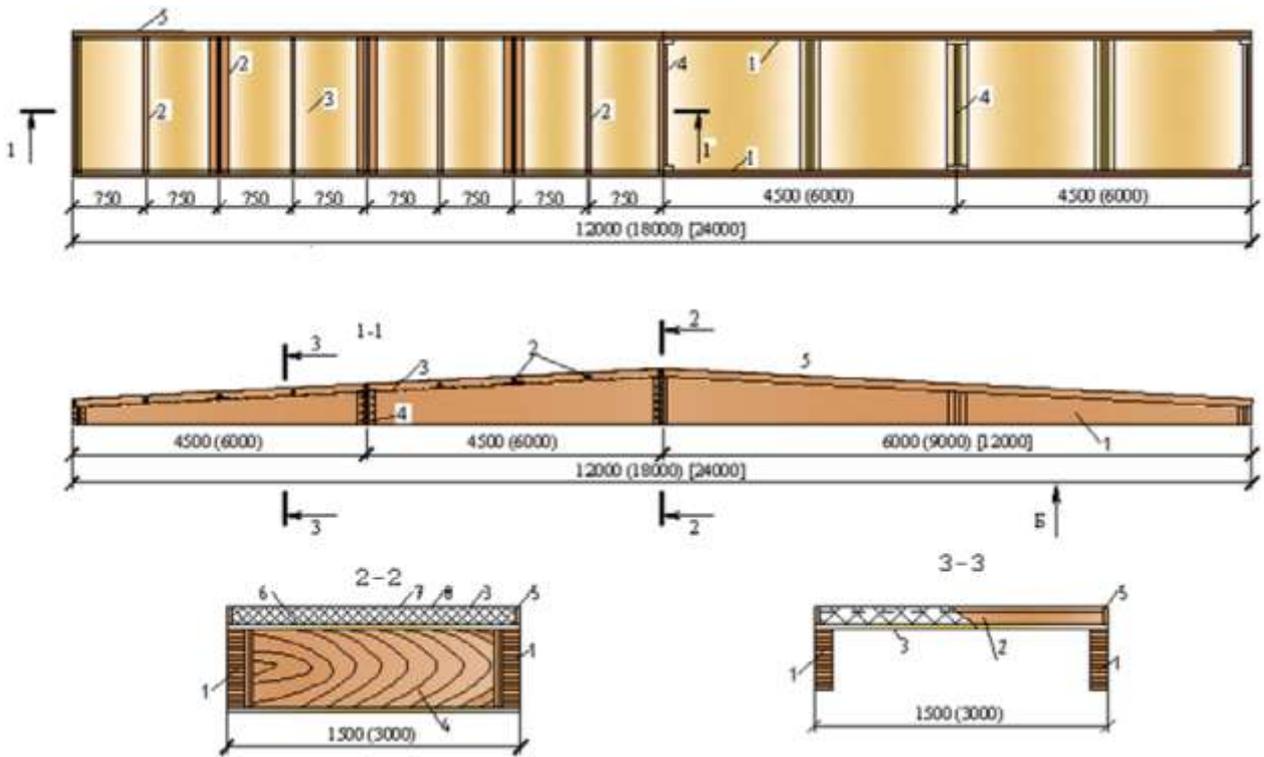


Fig.1. The slab with the adhesive board ribs: 1 – main ribs, 2 – cross ribs, 3 – plywood boarding, 4 – apertures, 5 – frame ribs, 6 – vapour sealing, 7 – warmth-keeping jacket, 8 – soft waterproof mat

The adhesive plywood ribs are of box-like section. In the average part length where the lateral forces are not so great, the ribs have irregular wall (fig. 2). It is possible to use adhesive plywood beams with corrugated wall as the main ribs.

Diaphragm plates consist of plywood wall and wooden frame elements.

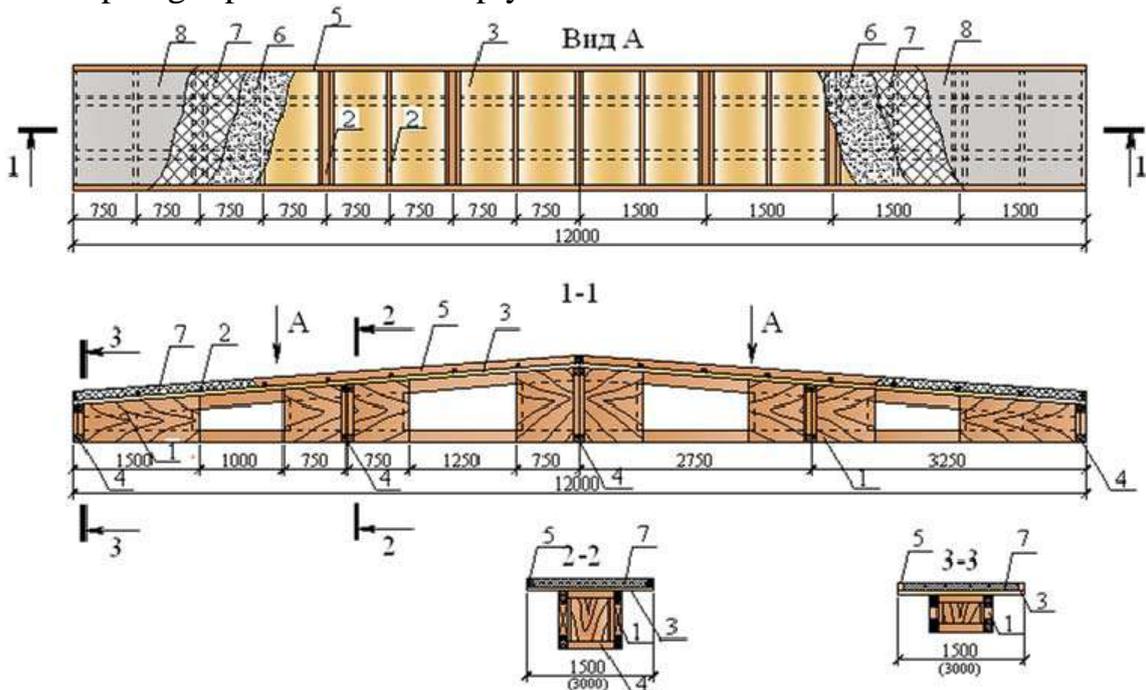


Fig.2 The slab with adhesive plywood ribs: 1 – main ribs, 2 – auxiliary ribs, 3 – coating, 4 – apertures, 5 – frame ribs, 6 – vapour sealing, 7 – warmth-keeping jacket, 8 – ruberoid mat

To achieve increase of bearing capacity and bending stiffness of the slabs with top coating made of profiled steel plates it is appropriate to form flexure along slab width by using crosscut apertures with top contour corresponding to coating bend. The facts above mentioned were taken into consideration to design warm-keeping slab of coating with the size of 3x6m (fig. 3), that has six main longitudinal ribs, during the assembling four ribs being connected in pairs with dowel joints by interlaying with bars.

The way of increasing modified moment of inertia of slab cross section allows reducing the section of the longitudinal ribs in such structures.

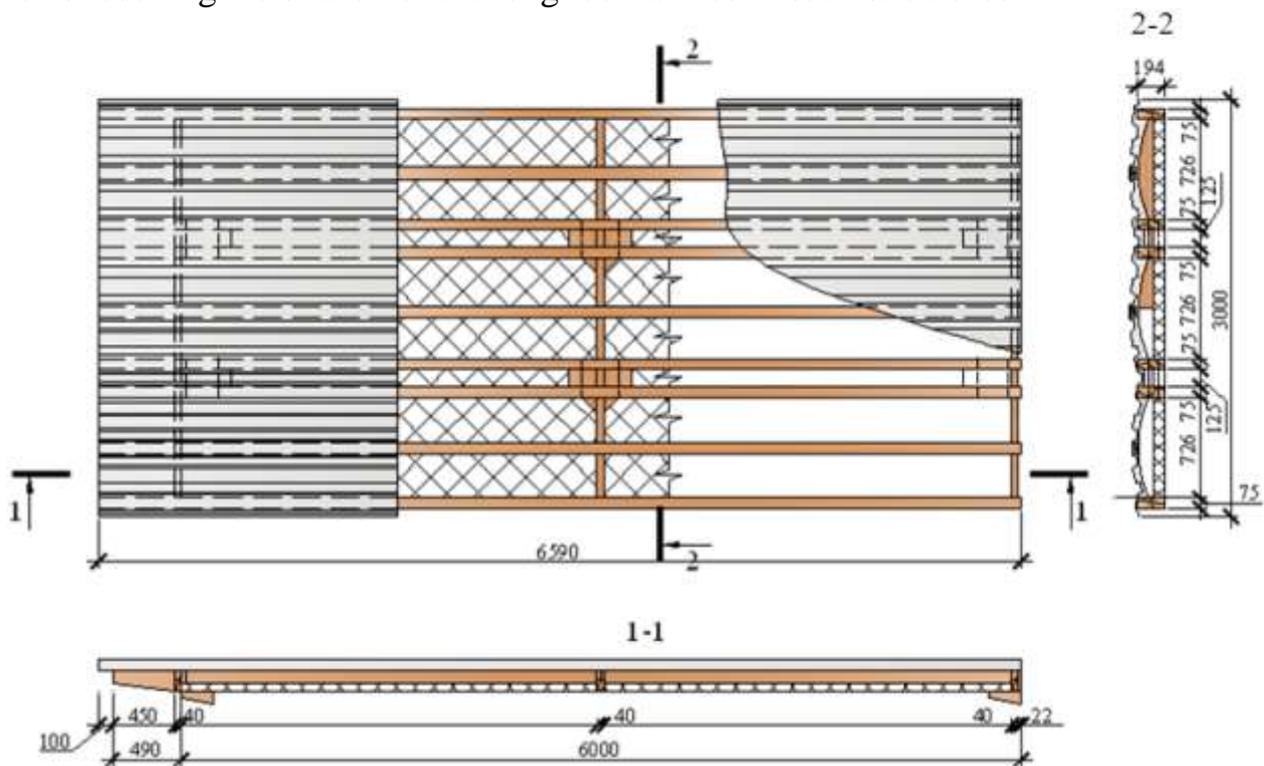


Fig. 3. The coating slab 6x3 with the billowed boarding made of the profiled steel plate

**Coating roof unit.** The combined roof unit (fig.4) consists of the spatial system with the span of 11.7 m, width of 2 m and the height of 1.03 m in the middle of the span.

The structure includes the soft cove of the profiled steel plates, two planking binders, two board elements allocated at the block end, five wooden supports of the frame type. The wooden binders are blocked with the board elements. Functioning as the perception of the bending stress with the roof they play the role of the strings forming the roof unit into the girderless system. The joint along the binders in the middle of the span is made with the metal dowel plates. In the span the profiled plate of the cove and the binders are connected with the supports of the frame type.

It is easy to increase the specific choice of the roof units modifying the shape of the binders (fig. 5).



tioning many elements of the system is provided with the structural techniques. The second way is based on using the specific constructor including the set of the large sized slabs, the cane segments of the grid, plate-like and cane segments of the bottom boom. Variance of these combinations enable the structure to possess the required properties.

The tendency to simplify the cross section of the truss units, to exclude the necessity of these tie elements, to reduce a number of the knot combinations, to provide more compatibility of functioning tie elements can be realized in the three-edged structures having the triangular cross section.

Rationality of distributing materials in the truss units is provided with using well known structural techniques to reduce bending moments at the top booms. For some truss units the necessity to reduce bending moments can be stipulated with the delivery of the converted timber in small dimension of the cross sections. For achieving the aim we can use three ways:

- In blocking plane truss it is necessary to provide crosscut force transfer of the large-sized slabs to node of the top booms of the trusses; thus there is no occurrence of the additional moment arising due to longitudinal stress functioning during deforming ribs ( in this case there is axial compression in the truss booms and there is lateral bending in the slab ribs).
- Designing nodes of top booms is performed in such way that the longitudinal force transfer in them is made with eccentricity forming relieving effect.
- The loading area of the lateral load on the main slab ribs of the top booms is reduced due to the longitudinal erection of the auxiliary ribs and their resting on the apertures working as the board element transferring power flow directly to the nodes of the top booms (i.e. in this case there is no transfer of the internodal lateral load to the main ribs from the greater part of the slab surface).

All-wooden truss unit of the triangular contour (fig. 6) is designed for the warm coating. It has the size of 3x12 m with the height of boom axis 1.5 m (1/8 of the span). The structure consists of two warm slabs forming top boom connected in the ridge with joint hinges, two wooden strings of bottom boom and web members of grid in the form four compression diagonals and two Howe truss made of the rod iron. The slabs have cut section of 'two T'. Their framework consists of two main longitudinal ribs formed by the paired boards, cross ribs located at the distance of 750 mm and planking frame elements. The main ribs are placed from each other at the distance of 1,500 mm. Thus the slabs have projecting overhangs of 750 mm. the boarding is constructed from the pane asbestos-cement plates attached to the framework with screws.

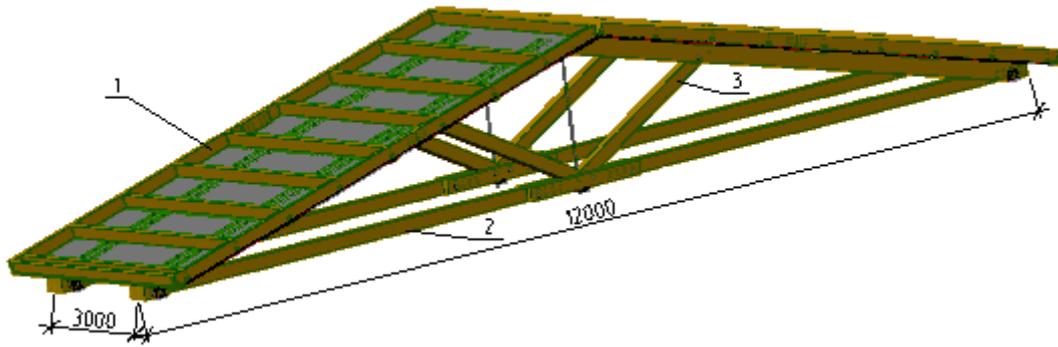


Fig. 6. The all-wooden truss unit with the top boom in the form of the slabs with asbestos-cement boarding for the heated buildings

The three-edged lenticular wood metal truss unit (fig. 7) is intended for the building with warm coating.

The geometrical layout of the top boom nodes is stipulated with length equality of the structure diagonals, it permits to design them as interchangeable ones.

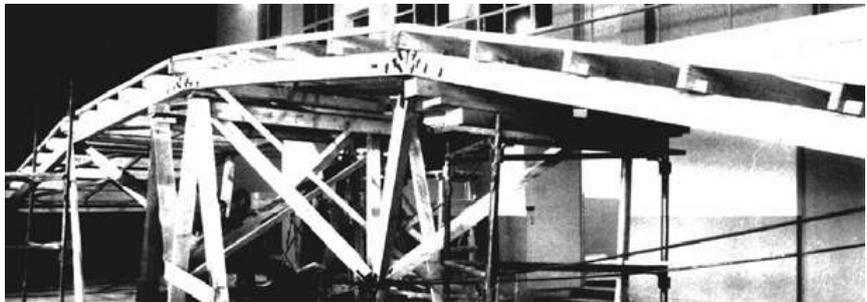
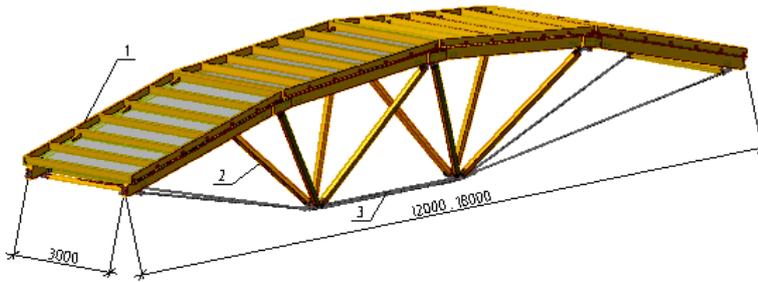


Fig. 7. The three-edged lenticular wood metal truss unit



Fig. 8. Three-edged wood metal truss unit

Each slab is formed with the framework from the main wooden ribs located at the bottom of the cross section and unfastened at the block ends of apertures and boarding attached above them. At the top part of the slab cross section the boarding is supported with the auxiliary cross board ribs. Between the auxiliary ribs the warm-keeping jacket is laid on the boarding. The apertures are put between the main ribs at the crosscut sections coinciding with the junctions of top boom and diagonals.

Bottom boom nodes are located at the parabola; it provides rational smooth distribution of the stress along the length of the structure booms. The bars of the bottom boom have the branches V-shaped at the ends linking with the main ribs of the top boom.

The lateral stresses in the respect to the longitudinal structure axis have the wooden thrusts in such branches.

**Frame panel section unit of the buildings.** The frame panel section unit of the buildings are spatial systems in which during the designing stage the collar beams in the form of the spatial block structures are united with the large sized overlapped wall panels into the single block with the help of the diagonals, for instance (fig. 9).



Fig. 9. The frame panel section unit with the collar beam in the form of the truss unit *a* and the roof unit *б*

Providing reliability of designed structures the authors have developed the recommendations for designing such structures and engineering calculator allowing with adequate accuracy to make variant projection on the base of numerical and physical experiments with the natural patterns for studying stressedly-deformed block condition. The bar model functioning for bending or compression combined bending is based on the variant projection [2]. The role of the boarding in combined functioning with the slab framework is calculated with the size of the bar shelving  $B_{red}$  of the T- or I-cross section. It means

$$B_{red} = B_0 \cdot K,$$

where  $B_0$  – is the normal width of the boarding, and the boarding reduction coefficient is

$$K = C \cdot k_L \cdot k_a \cdot k_\delta \cdot k_v \cdot k_{e-1} \cdot k_{cr} \cdot k_T \cdot k_M,$$

where  $C$  – is a constant depending on the boarding material;  $k_L$  – is a compensation factor along the span dimension (free length) of the slab  $L$ ;  $k_a$  – is a compensation factor along the pitch distance of the main ribs  $a$ ;  $k_\delta$  – is a compensation factor along the thickness dimension of the boarding  $\delta$ ;  $k_v$  – is a compensation factor along the dimension of the force  $N$  compressing the slab and maximum bending moment  $M$ ;  $k_{e-1}$  – is a compensation factor to the extent of the orthotropic material,  $k_{kp}$  – is a compensation factor of the boarding width at the overcritical space of its functioning;  $k_T$  – is a compensation factor considering the connection diagram of the boarding with the framework;  $k_M$  – is a compensation factor considering the limit of mounting block structures.

Let's pay attention to the fact it is easy to operate stressedly-deformed properties of the block structure by varying the certain range of the features considered by the formula.

In the figure 10 you can see operated frame panel section unit with the span of 12 m, width of 2.1 m, and the height in the drop apron and the ridge of 3m and 4.5 m [3].

The section unit is formed with the dual-slope collar beam in the form of two wooden rib slabs connected with the joint hinges at the ridge, four planking supports unfastened with the board connections and four wooden strings.

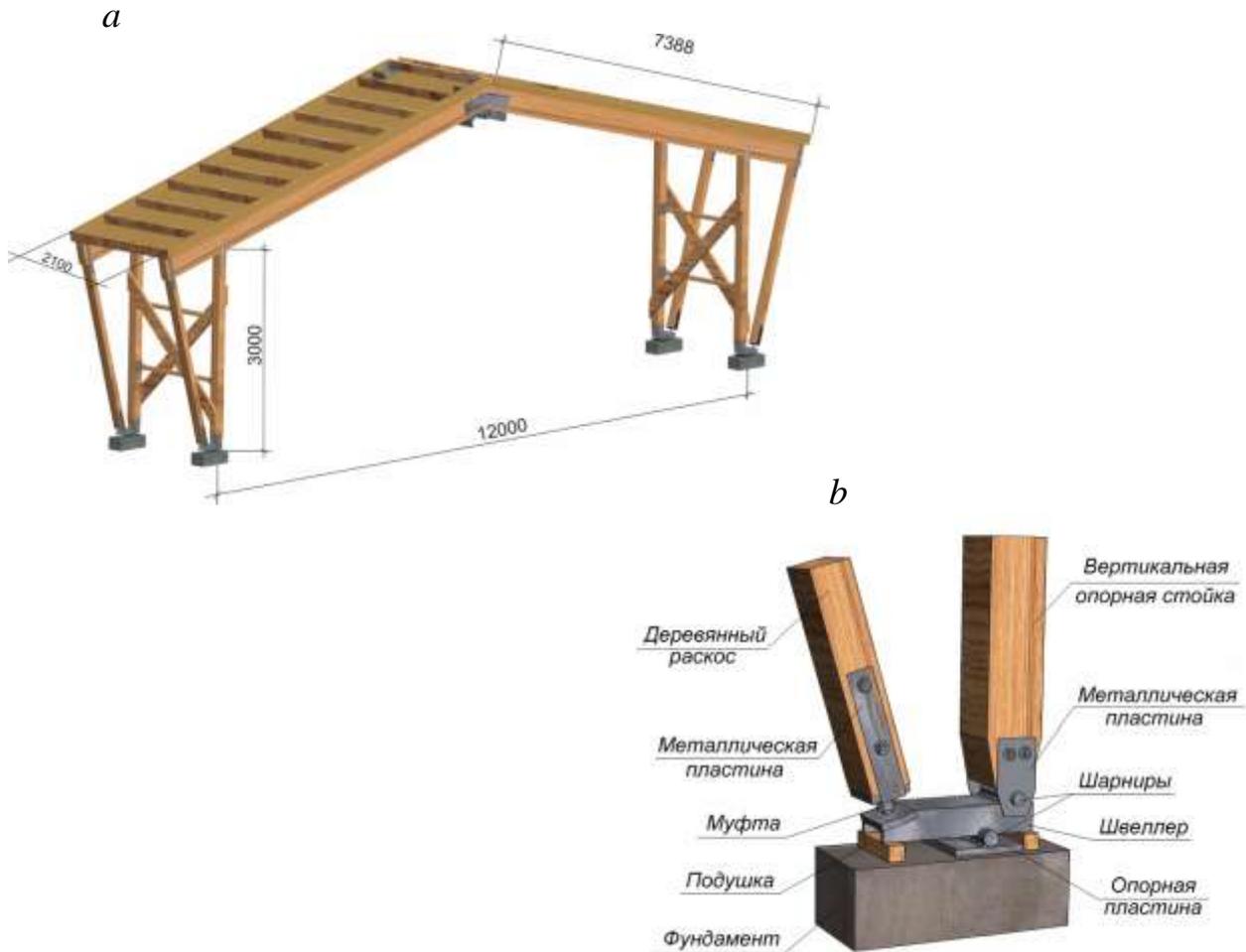


Fig. 10. The structure scheme *a* and derelaxational node *b* of the frame panel section unit

The structure is based on the idea of operating collar beam displacement. To adjust vertical displacement the supporting nodes are constructed in the form of the derelaxational devices in such structures.

The slab connection conjunction at the ridge is rigid by the welded holders consisting of welded between them on-the-miter of the channel bars, welded bolts and self-contained units. Installment of the welded holders permit to take the moments, crosscut and longitudinal stresses arising in the main ribs of the slab at the ridge.

To support and preserve prestressing collar beam dimension the following technical solution of the supporting derelaxational node is applied. The node consists of the horizontal channel bar resting on the foundation through steel cylindrical roller with the joint hinges at 1/3 of the length; on the one hand on the roller the support is rested, on the other hand it is fastened with the metal joint plate with screw thread and T-junction box of the wooden diagonal (look at the fig. 10). Pres-

tessing diagonal or surfacing the supporting channel bars are made by rotating T-junction box with right and left screw thread.

The application of the neuronet technology permitting to make suggestions about functioning structures using a number of steps of loading is being discussed now [4]. It enables to reduce the period of carrying out the experimental researches.

## CONCLUSIONS

To provide reliability of developed structures the authors on the base of numerical and physical experiments with natural models to study stress-deformed condition of the blocks have worked out recommendations for designing such structures and engineering calculator which allows to make variant design with sufficient accuracy.

Design methods of regulation of stress-deformed condition of block-trusses and frame-panel block-sections with elements prestressed with the help of derelax joint arrangements were developed.

Spatial structures of block type combined on the base of wood can be widely used in the building of different purposes.

## REFERENCES

1. **Енджиевский, Л. В.** Комбинированные и трансформируемые конструкции / Л. В. Енджиевский // Металлические конструкции. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения: учебник для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – Гл. 16. – С. 265-294.
2. **Наделяев, В. Д.** К расчету дощатых обшивок крупногабаритных ребристых плит / В. Д. Наделяев, И. С. Инжутов, С. В. Деордиев, В. В. Пуртов // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2000. – № 11. – С. 4-8.
3. **Инжутов, И. С.** Конструктивные схемы предварительно напряженных конструкций, комбинированных на основе древесины / И. С. Инжутов, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, А. Ф. Рожков // Вестник Красноярской государственной архитектурно-строительной академии: сб. науч. трудов. Вып. 8; под ред. В. Д. Наделяева. – Красноярск: КрасГАСА, 2005. – С. 54-60.
4. **Abovskiy N. P., Maximova O. M.,** Neuro-Prognosis Based on Step Model with Teaching for Natural Tests Results of Building Structures // j. Optical Memory & Neural Net-works (Information Optics), 2007, Vol. 16, No. 1, P. 40-46.

УДК 593.3

## ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

Абовский Н. П., Енджиевский Л. В., Максимова О. М.  
Палагушкин В. И., Марчук Н. И., Инжутов И. С.

Изложены принципы практической оптимизации и приведены примеры путей их реализации. Дана ссылка на изобретения в области практической оптимизации.

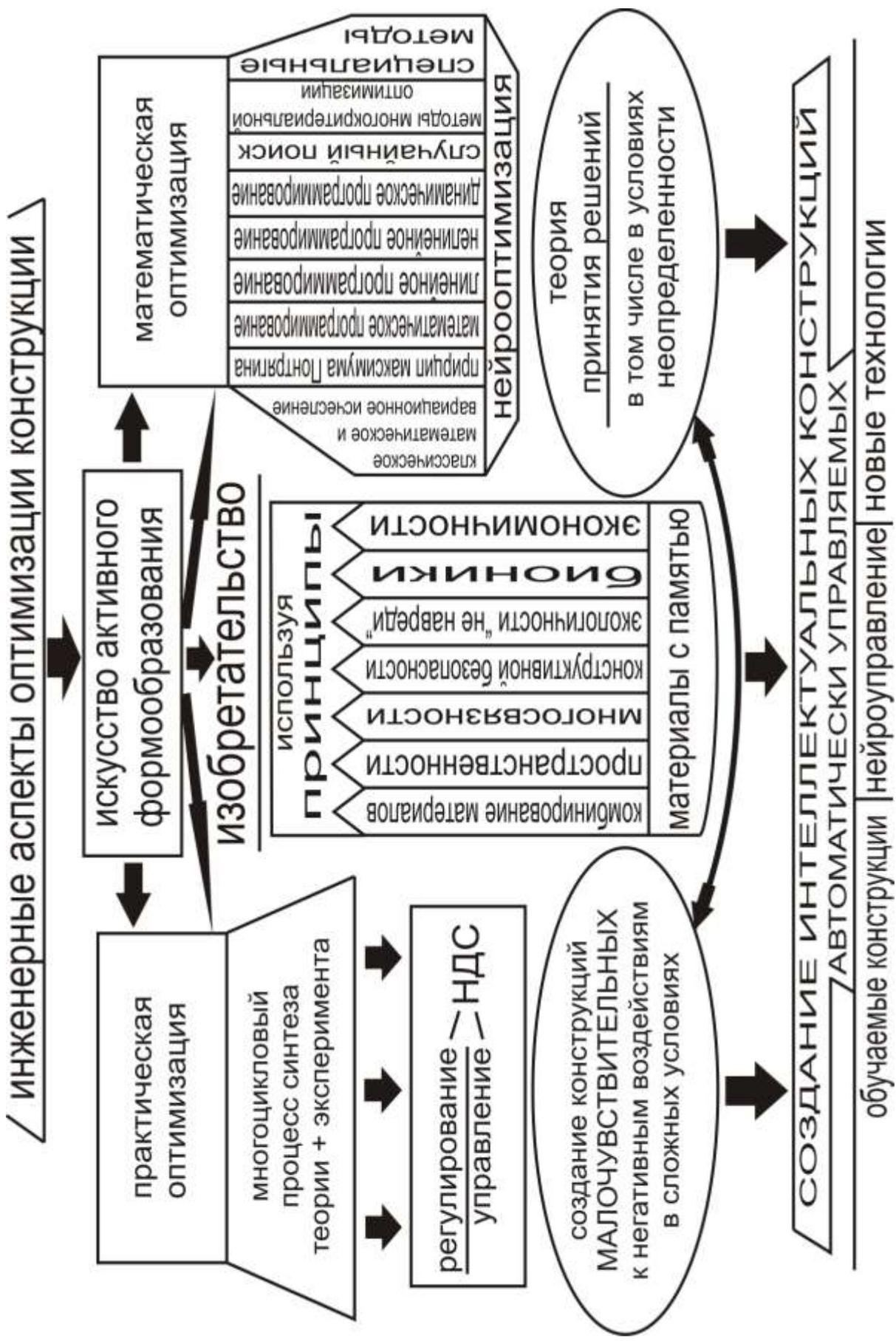
### 1. Вопросы математической и практической оптимизации конструкций

Известно, что существует разрыв между результатами оптимизации, которые достигаются на основе математических формулировок и инженерной практикой из-за неучета качественных технологических факторов, которые трудно формализуются и не поддаются математическим решениям. Инженеры не отказываются от идеализированных математических решений как некоторых так называемых оптимальных ориентиров. Но реализация их часто затруднительна. Кроме того, для многих областей таких решений не существует.

Как преодолеть этот разрыв? Наряду с методами математической оптимизации используются другие подходы, среди которых (см. рисунок 1):

- многоцикловая **практическая** оптимизация, сочетающая теоретические и экспериментальные результаты;
- искусство формообразования, обеспечивающее априори конструктивную безопасность, экологичность, условия малой чувствительности к негативным воздействиям и др.;
- методы адаптации, регулирования и управления напряженно-деформированным состоянием конструкций;
- принятие решений в условиях неопределенности; создание управляемых конструкций, близких к интеллектуальным системам, обладающих способностью доучиваться, например, нейроруправляемых.

Реальные проблемы, как правило, многоэкстремальны, охватывают не только конструктивные факторы, но и технические, архитектурные, производственные, экологические, социальные и др. Нужен **системный подход**, оценивающий не только конечный результат, но и его возможные последствия.



Инженерные аспекты оптимизации конструкции

Отметим, что обзор проблем математической оптимизации освещен в литературе достаточно полно. В частности, в авторских изданиях [1-7, 9]. К ним применима теория преобразования вариационных проблем с условным и безусловным экстремумами [15].

В связи с этим в данной статье это направление не развивается и основное внимание уделено инженерным аспектам совершенствования конструкций, охватывающих разные подходы, в том числе и оптимизационные, к данной проблеме. Иллюстрируя имеющийся разрыв, укажем на выводы в справочной книге [2], в которой отмечены два направления развития автоматически управляемых систем: теоретическое и практическое (прикладное). Обратим также внимание на инженерную практику проектирования и разработки новых конструкций. Вот характерный пример последнего, когда известный конструктор, руководитель предприятия по созданию и запуску искусственных спутников, решил оформить свои работы в виде докторской диссертации, положив в основу методы теоретической оптимизации и принятия решений, то его самооценка завершённой работы была такова: «на основе данной диссертации ни один спутник не взлетит».

## **2. Искусство активного формообразования**

Формообразование занимает ведущее приоритетное место в инженерной деятельности, является искусством, плохо поддающимся формализации. Но именно на этапе формообразования закладываются априори идеи (законы, резервы, возможности), которые стремятся реализовать в последующем проектировании. Сюда относятся, например, вопросы конструктивной безопасности и экологичности, или малой чувствительности к негативным воздействиям (которые заранее неизвестны), или обеспечения надежности в условиях неопределенности др. Эти принципиальные резервы (возможности) реализуются в последующем практическом проектировании (оптимизации) [3, 4, 12].

**Принципы, на которых основано активное формообразование [12]:**

- **принцип активного взаимодействия (взаимопомощи) конструктивных элементов системы между собой** (принцип эффективного синтеза конструкции). Этот принцип является альтернативой традиционному принципу формообразования инженерных систем, основанному на иерархическом соподчинении элементов. На основе данного принципа создаются эффективные конструкции повышенной прочности и живучести при экономном расходе материала;

- **принцип преодоления неопределенности внешних воздействий** на основе формообразования таких конструкций, которые малочувствительны к величине, месту и времени негативных воздействий определенного типа (например: применительно к условиям сейсмических воздействий, вечномерзлых грунтов, слабых, просадочных грунтов, характерных для осваиваемых северных нефтегазоносных районов);

- **принцип повышения живучести конструкций зданий и сооружений** на основе проектирования (создания) пространственных многосвязных замкнутых систем;

- принцип управления напряженно-деформируемым состоянием конструкции [7].

Под управляемыми конструкциями понимаются системы автоматического управления. Условно выделяются управление в «малом» и управление в «большом». Выделяются задачи автоматического управления, доучивания и управления на основе нейросетевой технологии (приближение к интеллектуальным системам); трансформируемые конструкции (управление в «большом»); энергетический принцип управления конструкциями, использующий для управления отбор и преобразование части энергии внешнего воздействия на систему (перераспределение внутренней энергии деформирования (сопротивления) упругой системы);

- **принцип самонастраивания конструктивной системы**, обеспечиваемый техническими решениями ее элементов и узлов.

- принцип **создания композиционных конструкций**, в которых каждый из материалов находится в наиболее выгодных условиях работы.

Таким образом, под концепцией **активного формообразования архитектурно-конструктивных систем** понимается:

- выбор универсального пространственного композитного строительного элемента, позволяющего формировать комбинированные конструкции, полносборные здания, сооружения, в том числе: большепролетные покрытия, стеновые конструкции и фундаментные платформы;

- управление напряженно-деформированным состоянием данных формообразований с целью повышения эффективности зданий и сооружений (облегчение веса, повышение прочности, жесткости, устойчивости, живучести, безопасности конструкции);

- учет внешней среды, включая адаптацию и преобразование энергетических воздействий (превращение «зла» в «добро» для эффективных условий эксплуатации формообразованных зданий и сооружений);

- учет научно-технического прогресса в проектировании зданий и сооружений (создание зданий нового типа в виде замкнутой многосвязной системы, включающей в себя пространственные покрытия, стены и фундамент и позволяющей осуществлять строительство на слабых грунтах, в сейсмических зонах);

- повышение живучести зданий и сооружений, способных выдержать недостаточно определенные сейсмические и другие воздействия внешней среды;

- разработка трансформируемых, адаптивных зданий и сооружений с подвижными (раздвижными) конструкциями покрытий и стен (их конструкции формуются из унифицированных пространственных элементов);

- проектирование и обучение активному формообразованию на основе физического и компьютерного моделирования пространственных систем, составленных из унифицированных элементов;

- создание нового типа учебных заданий, состоящего из двух частей: *анализа и синтеза*.

Благодаря идеям активного формообразования получены эффективные решения на изобретательском уровне для таких проблем как:

- обеспечение конструктивной безопасности зданий и сооружений [24, 26];

- для принятия решений в условиях неопределенности [25];

- в том числе для повышения сейсмостойкости зданий и сооружений [21];

- для строительства в сложных грунтовых и стесненных условиях строительства [13, 27] и ликвидации аварийных последствий [14];

- для строительства в северных нефтегазовых районах Красноярского края, в том числе для прокладки магистральных трубопроводов с соблюдением требований экологичности [10].

**3. Практическая оптимизация** отличается тем, что в ней синтезируются теоретический и экспериментальный подходы, причем в многоцикловом процессе. Расчетные теоретические результаты подвергаются экспериментальным проверкам, физическому моделированию и последующей доводке и совершенствованию конструкций на соответствующих этапах их создания. Этой работе предшествует творческий поиск формообразования конструкций, в которых закладывается основополагающая идея будущей эффективности. Этот предваряющий практическую оптимизацию этап работы не поддается какой-либо формализации, является искусством, творческим изобретением.

Хорошим примером работы практической оптимизации, доложенной на всероссийском семинаре по оптимизации [20], является разработка новых сборных пространственных сталежелезобетонных конструкций покрытия [19, 20].

Генеральная идея такого формообразования включает:

- трехгранный сборный пространственный строительный элемент, который использовался как инвариантная часть многообразных конструкций;

- каждая часть строительного элемента тонкая ребристая железобетонная плита и пространственный металлический шпренгель ставилась в выгодные условия работы по свойствам материала (железобетон – в основном на сжатие, металл – на растяжение, причем обеспечивалось совмещение несущих и ограждающих функций).

В задачу оптимизации входил компьютерный эксперимент поиска эффективной схемы тонкой ребристой плиты, достаточно легкой, чтобы обеспечить гармоничную работу с подкрепляющим ее металлическим шпренгелем (тяжелая железобетонная плита могла перегрузить металлическую часть и вызывать перерасход материалов).

Одновременно решался вопрос об обеспечении узлов соединения тонкой плиты с металлическими стержнями. Требовалась индустриальность, типизация и, конечно, надежность. Серия натуральных экспериментов и опыт строительства должен был оценить расчетные и конструкторские решения, а также технологичность изготовления и монтажа конструкции и ее надежность.

#### **4. Примеры принятия решений в условиях неопределенности**

К условиям неопределенности можно отнести, например, строительство в сейсмических районах, отягощенных к тому же сложными грунтовыми условиями. Здесь формализация затруднена, теория недостаточно разработана, определение исходных параметров, всего процесса и его закономерности (моделирование) неясны [25]. Имеющееся стремление прямого решения проблемы «в лоб» весьма приближенно, часто противоречиво и, как правило, основывается не на сохранении естественно сложившихся условий (например для слабых грунтов), а на пренебрежении (или устранении) их свойствами. Такие традиционные подходы достаточно сложны и не обеспечивают эффективности и надежности. Формообразование на основе системного подхода позволило разработать альтернативные варианты, которые основываются на сохранении и использовании естественных свойств грунтов (хотя и слабых), благодаря пространственной фундаментной платформе (ПФП) и защитным устройствам [13, 21-22]. ПФП оказывает малое давление на грунт, а благодаря своей жесткости при малом весе малочувствительна к внешним негативным воздействиям (неравномерным и просадкам). Поверхностное (незаглубленное) размещение ПФП, сплошной скользящий слой между фундаментом и основанием, защитный ров с «мягкой» засыпкой и др. обеспечивают снижение любых горизонтальных сейсмических воздействий на ПФП и верхнее строение. Соединение ПФП с верхним строением в здания и сооружения **замкнутого** типа еще более повышают сейсмостойкость. Все эти конструктивные решения подтверждены патентами. Оригинальное совмещение ПФП со «стеной в грунте» позволяет еще в большей степени сохранить и использовать свойства слабых грунтов [21]. Отметим, что ПФП обладает также демпфирующими и волногасящими свойствами при определенном подборе их параметров [22].

**5. Регулирование и управление НДС конструкций** является современной ступенью развития проблемы оптимизации конструкций, включая и перспективы разработок и применения автоматического управления конструкциями. Автоматическое управление конструкциями следует рассматривать как **разновидность интеллектуальных систем**, способных доучиваться в процессе накопления опыта функционирования. Определенный уровень развития управляемых конструкций достигнут и изложен в научных работах [7] и в учебных пособиях [1, 6], а также реализован в учебном классе действующих управляемых моделей конструкций. Очень важно, как отметил академик И. Ф. Образцов, оценивая пионерные работы нашего коллектива, «вложить в умы студентов идеи управления конструкциями». Это отражено и

в новом учебном пособии с грифом УМО «Современные аспекты активного обучения» [6].

Важным направлением в развитии управляемых конструкций является применение новых материалов (в том числе с памятью), а также новых технологий информации, электроники, нейро- и нанотехнологий и др.

Успехи применения нейротехнологий к задачам механики, оптимизации конструкций и прогнозированию отражены в разработанных методах нейропрогнозирования и нейрооптимизации [9, 17]. Отметим, что эффект нейропрогнозирования результатов возможных последующих этапов натурального эксперимента опубликован [17] и помещен на сайте Springer-line.

### **6. Самонастраивание конструктивной системы**

Пространственные комбинированные блочные конструкции (рамнопанельные блок-секции зданий, блок-фермы и блок-арки покрытий), плиты на пролет, как правило, за счет развитой ширины поперечного сечения имеют небольшую его высоту. Вследствие этого зачастую на первый план при проектировании таких конструкций (и эксплуатации) выступает необходимость обеспечения требований ограничения прогибов. Авторы приводят иллюстрации конструктивных приемов регулирования напряженно-деформированным состоянием блок-ферм и рамнопанельных блок-секций предварительным напряжением элементов и с помощью дерелаксационных узловых устройств [28-30].

### **7. О системном алгоритме творческого мышления (САТМ)**

Развитие творческого инженерного мышления является важнейшим условием для осознанного совершенствования конструкций и принятия решений.

Этой проблеме посвящены работы [3-15, 18], в том числе доклад на международной конференции по искусственному интеллекту [16], а также в новой монографии «Секреты инженерного творчества», которая предназначена для магистров и студентов старших курсов и нацелена на обучение творчеству. Сюда относятся: овладение САТМ – системным алгоритмом творческого мышления (который базируется на триаде: системный подход – законы развития системы – методы принятия решений) и его применение к проблеме «научиться учиться, к обучению изобретательству, к тестированию знаний на логической основе, к методам научно-исследовательской работы, к практике нешаблонного мышления и др.

## **Список литературы**

1. **Абовский, Н. П.** Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга: учеб. пособие для вузов; под общ. ред. проф. Н.П. Абовского Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1985.- 384 с.

2. **Красовский, А. А.** Справочник по теории автоматического управления под ред. А. А. Красовского М.: Наука, 1987.- 712 с.

3. **Абовский, Н.П.** Творчество: системный подход – законы развития-принятие решений /Н. П. Абовский. Серия «Информатизация России на пороге XXI века».- М.: Синтег,1998.- 312 с.

4. **Абовский, Н.П.** Творчество в строительстве. Системный подход, законы развития, принятие решений /Н. П. Абовский. – Красноярск: Стройиздат, Краснояр. отд. 1992. - 293 с.

5. **Абовский, Н. П.** Сюрпризы творчества. Диалоги и монологи о творчестве, его природе и принципах обучения творчеству/ Н. П.Абовский: науч. изд. Красноярск: КрасГАСА, 2004. -353 с.

6. **Абовский, Н. П.** Современные аспекты активного обучения. Строительная механика, теория упругости, управляемые конструкции. С грифом УМО / Н. П.Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, П. А. Светашков, О. М. Максимова; под ред. проф. Н.П. Абовского Красноярск: ИАС СФУ, 2007. – 570 с.

7. **Абовский, Н. П.** Управляемые конструкции. Научно-образовательный комплекс: научное издание/ Н. П.Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, П. А. Светашков, О. М. Максимова. Красноярск: КрасГАСА, 2003. – 198 с.

8. **Абовская, С. Н.** Сталежелезобетонные конструкции. Панели и здания. С грифом УМО. / С. Н. Абовская, под ред. проф. В. Д. Надеяева Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 460 с.

9. **Абовский, Н. П.** Нейроуправляемые конструкции и системы / Н. П.Абовский, А. П. Деруга, О. М. Максимова, П. П. Светашков: под ред. проф. Абовского Н. П. - М.: Радиотехника, 2003. – 368 с.

10. **Абовский, Н. П.** Строительство в северных нефтегазовых районах Красноярского края: научное издание / Н.П. Абовский. Красноярск: КрасГАСА, 2005.- 228 с.

11. **Абовская, С. Н.** Полносборные большепролетные здания и сооружения из унифицированных сталежелезобетонных элементов /С. Н. Абовская, Е. М. Сергуничева, М. Е. Куликов.- Красноярск: КрасГАСА, 2002.- 134 с.

12. **Абовский, Н. П.** Активное формообразование архитектурно-строительных конструкций зданий и сооружений из унифицированных строительных элементов для строительства в особых грунтовых условиях /Н. П. Абовский. Научное издание. Красноярск: КрасГАСА. 2004. – 241 с.

13. **Абовский, Н. П.** Пространственные сборные сплошные фундаментные платформы для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмичности: научное издание /Н.П. Абовский. Красноярск: КрасГАСА, 2004.- 202 с.

14. **Абовский, Н. П.** Эффективная технология оперативного усиления и восстановления аварийных строительных объектов и разработка многосвязных зданий повышенной живучести на основе новых мобильных унифицированных элементов: научное издание /Н. П. Абовский. Красноярск: КрасГАСА, 2004.

15. **Абовский, Н. П.** Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек /Н. П. Абовский, Н. П. Андреев, А. П. Деруга; под ред. проф. Н. П. Абовского.- М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1978.- 152 с.

16. **Абовский, Н. П.** О системном алгоритме творческого мышления / Н. Абовский. УШ международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы. Искусственный интеллект- 2007».- Донецк, 2007, № 4. С. 4-10.

17. **Максимова, О. М.** Нейропрогнозирование как эволюционный интеллектуальный процесс / О. М. Максимова. УШ международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы. Искусственный интеллект- 2007». Донецк, 2007, С. 623-635.

18. **Абовский, Н. П.** Секреты инженерного творчества. Научиться учиться: научное издание /Н. П. Абовский: Красноярск: ИАС СФУ. 2007. - 304 с.

19. **Абовская, С. Н.** Большепролетные пространственные сталежелезобетонные конструкции покрытий /С. Н. Абовская. Материалы III конференции Ассоциации пространственных конструкций. М.,1995. - С. 19-20.

20. **Абовская, С. Н.** Практическая оптимизация большепролетных конструкций покрытия из комбинированных материалов. Проблемы оптимального проектирования сооружения /С. Н. Абовская, Н. Б. Егикян. Новосибирск. 1997.

21. **Пат. 64650** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа под здания и сооружения для строительства на слабых, просадочных, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /Абовский Н. П., Андреев Н. П., Сиделев В. А., Сапкалов В. И. 2007, Бюл. №19.

22. **Пат. 73350.** Российская Федерация. Комплексная система сейсмостойчивости здания или сооружения /Абовский Н. П., Максимова О. М., Марчук Н. И., Байрамов Ф. И.

23. **Пат. 60569.** Российская Федерация. Большепролетное здание-укрытие /Л. В. Енджиевский, С. В. Драчевский. 2007, Бюл. № 1.

24. **Абовский, Н. П.** Некоторые принципы конструктивной безопасности и примеры их реализации /Н. П. Абовский, Н. П. Андреев, В. И. Палагушкин, А. П. Деруга // Известия. Строительство. Транспорт. – Орел: Техн. ун-т. 2007, № 2/14. С. 146-151.

25. **Абовский, Н. П.** Чему учат и не учат инженеров. Учить творчеству / Н. П. Абовский. - Красноярск: КрасГАСА, 2006. – 139 с.

26. **Жуков, В. И.** Чему учат и не учат инженеров (Красноярский опыт) / В. И. Жуков, Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский / Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием «Повышение качества высшего профессионального образования». – Красноярск : СФУ, 2007. – С. 143-146.

27. **Абовский, Н. П.** Строительные проблемы освоения северных нефтегазоносных районов Красноярского края с учетом требований экологии / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский / Вестник отделения строительных наук, РААСН. – Курск, 2007. – С. 380-386.

28. **Пат. 654776.** Российская Федерация. Пространственная предварительно напряженная ферма / П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, И. С. Инжутов, В. И. Хороший. 1991, Бюл. № 12.

29. **Пат. 2246598** Российская Федерация. Опорный узел предварительно напряженной рамы / И. С. Инжутов, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, А. Ф. Рожков. 2005, Бюл. № 5.

30. **Пат. 2247813** Российская Федерация. Узловое сопряжение верхнего и нижнего поясов в пространственной предварительно напряженной блок-фермы / И. С. Инжутов, С. В. Деордиев, А. Ф. Рожков, 2005, Бюл. № 7.

УДК 624.074.65

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Абовский Н. П., Енджиевский Л. В.

Проблема строительства в условиях неопределенности внешних воздействий имеет историческую ретроспективу и в определенной мере отражает уровень развития строительной науки. Нынешний период характеризуется тем, что многие внешние воздействия изучены и поддаются нормированию. Однако остается большая область еще недостаточно изученных явлений природного и техногенного характера, к ним можно отнести и различные по видам воздействий на инженерные сооружения террористические акты, обуславливающие крупнейшие аварии. Уменьшение негативного влияния этих явлений возможно лишь при «разыгрывании» на предпроектной стадии сценариев воздействий и с их учетом обеспечение живучести зданий и сооружений. Последнее требует проведения комплекса дополнительных исследований, расширения и совершенствования нормативной базы.

В ряде случаев нормирование нагрузки и моделирование процессов весьма несовершенно. Так, например, в концепции федеральной программы сейсмостойкого строительства в России прямо указывается на необходимость

строительства зданий и сооружений повышенной живучести, так как сейсмические воздействия могут превосходить нормативы сейсмического районирования. Плохо предсказуемы и неопределенны закономерности и конкретные схемы очаговых особых воздействий.

Понятие живучести зданий и сооружений в строительной литературе и нормативных материалах не определено. *Здесь под живучестью понимается способность здания (сооружения) сопротивляться глобальному разрушению (или глобальному нарушению функционирования) из-за некоторых локальных повреждений, вызванных особыми нагрузками (сейсмическими, взрывными воздействиями; воздействиями, обусловленными деформациями основания, сопровождающимися коренными изменениями структуры грунта при оттаивании вечномерзлых грунтов или замачивание просадочных грунтов, а также оседании грунта в районах горных выработок и в карстовых; нагрузками, вызываемыми столкновением транспортных средств с сооружениями и зданиями и др.).*

Традиционная оценка экономичности проекта не учитывает возможный из-за аварийных ситуаций ущерб от таких последствий, он как правило, заранее не просчитывается, но он значительно превосходит требуемые затраты на обеспечение ущерба из-за недооценки живучести. Принципы такого экономического обоснования не разработаны. Существующие технико-экономические показатели (стоимости, материалоемкости, трудозатраты) неполноценны, так как не включают критерий живучести, то есть не охватывают системно всей проблемы.

### **1. Предлагаемая классификация методов повышения живучести**

Методы повышения живучести конструкций зданий и сооружений в условиях неопределенности вкладываются в следующие направления (подходы):

- **стационарный (пассивный) подход** имеет две разновидности формообразования конструктивных решений. Первая основана на использовании традиционных форм и весьма большом резервировании материала и структурных элементов. Вторая использует новые конструктивные формообразования, которые *малочувствительны к негативным внешним воздействиям* и обеспечивают уже на своей принципиальной основе повышение живучести зданий и сооружений, не прибегая к повышенным расходам материала и трудо-энергоресурсам. Примеры этого (второго) подхода описаны в данной статье и основаны на изобретениях [1-4];

- **полуактивный подход** направлен на предотвращение некоторых аварийных ситуаций путем «выключения» (снижения уровня) негативных воздействий. Сюда относятся, например, использование предохранителей (включая, например, легкобрасываемые покрытия в взрывоопасных цехах, или, например, гибкие колонны первых этажей зданий, «смягчающие» передачу сейсмических воздействий на верхние этажи, а также некоторые другие сейсмоизолирующие устройства;

- **активный подход** нацелен на создание *динамического противодействия негативным внешним воздействиям*, например, за счет отбора части энергии внешнего негативного воздействия ее преобразования и создания противодействия с помощью актуаторов (динамический принцип противодействия) [6-8].

Пассивный подход реализуется с помощью целенаправленного формообразования конструкций и определенных *стационарных* устройств, являющихся составной частью системы. Это, как правило, *неуправляемые системы*.

Полуактивный и активный методы являются разновидностями автоматических управляемых устройств, предупреждающих аварию или обеспечивающих эффективное их функционирование (эксплуатацию).

## 2. О живучести пространственных конструкций.

### Принципы создания и методика исследования

Принципы формообразования, методология выбора и сравнения зданий (сооружений), отвечающих требованиям повышенной живучести, не сформулированы. Поиск повышения живучести относится к творческим инженерным задачам формообразования, решения которых часто достигаются на изобретательском уровне и граничат с искусством, так как принимать их приходится в условиях неопределенности величин, характера и времени аварийных воздействий.

Преследуя цели повышения живучести стационарных неуправляемых систем, следует отдавать предпочтение формообразованию конструкциям пространственного типа с учетом следующих рекомендаций:

- используемые конструктивные решения и формообразование в целом должны быть слабо чувствительны к негативным воздействиям. Живучесть здания (сооружения) следует определять как для *единой системы*, включающей все элементы: основание, фундамент, верхнее строение, прямые и обратные взаимосвязи между ними;

- предпочтение следует отдавать зданиям замкнутого (коробчатого) типа, повышению живучести которых способствует **многосвязность** и возможность **пространственного** перераспределения усилий в структуре конструкции здания (сооружения). Следует учитывать при формировании структуры здания (сооружения) возможность реализации разрушительного процесса по типу «домино». Очевидно, что далеко не все пространственные конструкции обладают резервами живучести. Поэтому для обеспечения и повышения живучести зданий (сооружений) следует использовать конструктивное резервирование материала и структуры.

- Особое внимание следует уделять резервированию абсолютно необходимых связей, в которых усилия статически определимы, разрушение таких связей может привести к глобальному обрушению всего здания. Например, обрушение одной несущей колонны привело к обрушению всего покрытия аквапарка в Москве.

Общих разработок методологии исследования живучести, по-видимому, нет. Могут быть использованы идеи теории расчета конструкций по предельным состояниям, но с существенным отличием. В последовательности расчетов по предельным состояниям учитывается сопротивление элементов (связей), перешедших в пластическое состояние. При исследовании живучести влияние разрушаемых (или находящихся в пластическом) элементов должно исключаться.

Исследование живучести сводится к компьютерному моделированию ряда систем, ослабленных исключением некоторых элементов, имитирующих разрушения. Выбор разрушенных (исключаемых) элементов, их места и количества – это прерогатива конструктора-расчетчика, который назначает (прогнозирует) возможную вероятную схему разрушения. Составление такого плана компьютерного эксперимента является ответственной творческой задачей, связанной с созданием (проектированием) объекта повышенной живучести.

### **3. Пример исследования живучести пространственной работы замкнутого многосвязного здания арочного типа**

Выполнено исследование живучести пространственной работы замкнутого многосвязного здания арочного типа пролетом 24 м, объединенного с пространственной фундаментной платформой (рис. 1). Для расчета выделена секция из пяти взаимосвязанных смежных арочных блоков. Здание монтируется из унифицированных сталежелезобетонных элементов, в которых каждый из материалов (железобетон, металл) находится в выгодных условиях работы. Упругим основанием является весьма слабый грунт с коэффициентами постели  $C_1=500\text{т/м}^3$ ,  $C_2=0,001\text{т/м}$ . Описание конструкции имеется в статье [4], там же приведены результаты исследования при просадке основания в средней и угловой частях здания (площадь просадки до  $18\text{ м}^2$ ), которые показали большую способность данного замкнутого здания с пространственной фундаментной платформой сопротивляться неблагоприятным воздействиям. В здании предусмотрены и реализованы следующие принципы повышенной живучести:

- многосвязность, пространственность, замкнутость здания вместе со сплошной пространственной платформой, имеющей повышенную изгибную жесткость и оказывающей малое давление на слабое основание;
- отсутствие иерархичности структуры и абсолютно необходимых связей;
- предусмотрено некоторое резервирование материала за счет недонапряжения тонкой железобетонной плиты и металла шпренгеля.

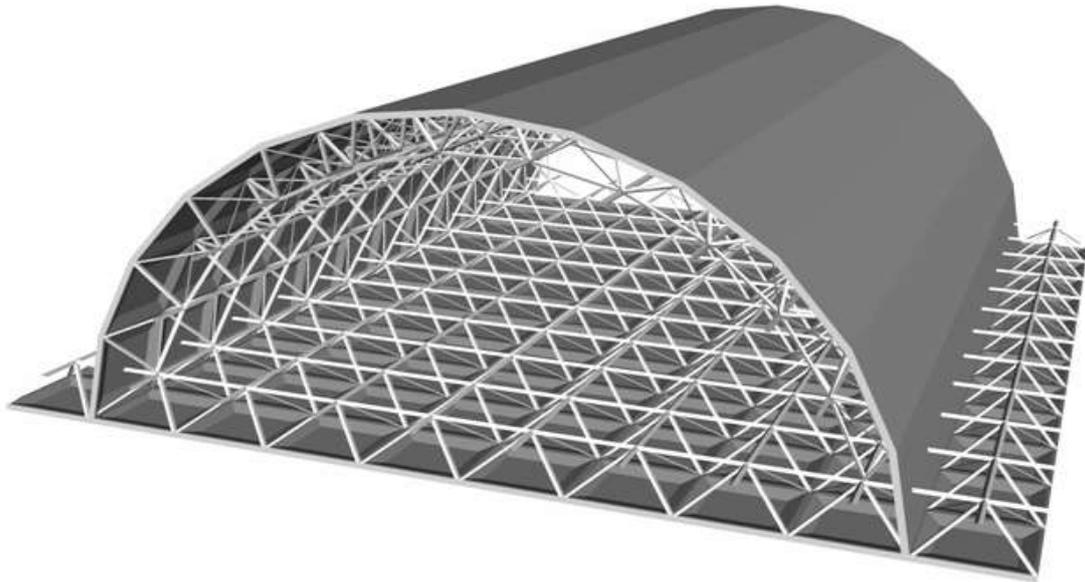


Рис. 1. Расчетная схема здания, объединенного с фундаментной платформой

Сейсмостойкость здания обеспечена путем устройства скользящего слоя между основанием и сплошной пространственной платформой здания замкнутого типа [1, 3].

Сохранность свойств вечномёрзлых грунтов обеспечивается встроенным в фундаментную платформу вентилируемого подполья. Поэтому в данной статье исследуется только влияние ослаблений, имитирующих разрушения.

Методика исследования живучести сведена к расчету ряда систем с заданными разрушениями пространственных элементов (плит и стержней) размером 3х3 м и их комбинации (рис. 2), напряженно-деформированное состояние которых сравнивалось с исходной системой без «разрушений».

Расчеты показали, что ослабления в средних блоках приводят, благодаря многосвязности и пространственности, к некоторому перераспределению напряженно-деформируемого состояния путем более активного включения в работу смежных блоков.

При этом наибольшие изменения происходят в локальной зоне вокруг ослаблений. В остальных частях изменения незначительны.

Наибольший эффект имеют ослабления в крайних блоках, но при наличии торцевых стен и совместной работе прилежащих блоков с ними ослабления в крайних блоках становятся несущественным [4].

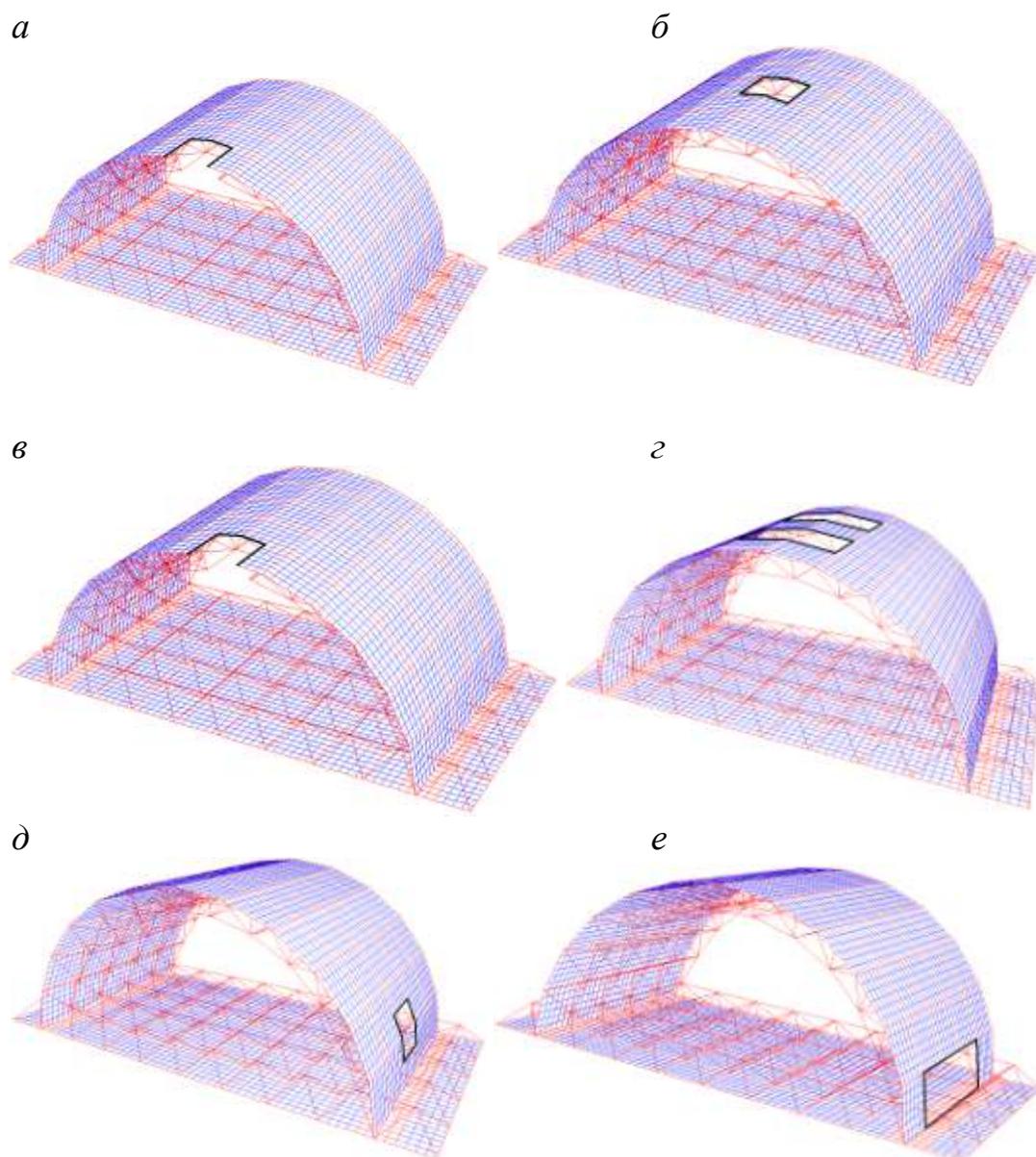


Рис. 2. Расчетная схема здания с возможными локальными разрушениями, моделируемыми прямоугольными вырезами

Таким образом, компьютерный эксперимент показал, что данное здание благодаря замкнутости, многосвязности и пространственности имеет повышенную живучесть при целой серии неопределенных негативных воздействий (просадках и неравномерных осадках грунтов, сейсмичности и локальных повреждениях).

#### **4. Примеры активного подхода (управления) живучестью конструкций**

При неопределенности внешних воздействий по величине и времени особое значение приобретают вопросы автоматического управления НДС конструкций в необходимый момент с целью обеспечения их живучести (прочности, жесткости, устойчивости и эксплуатационным функциональным

требованиям, например, соблюдения необходимой деформированной формы и др.). Данным проблемам посвящена монография [6].

Здесь приведены примеры автоматического предотвращения аварийных ситуаций при ветровых воздействиях, базирующиеся на принципе динамического противодействия [6-8]. Часть энергии ветра отбирается (аккумулируется с помощью подвижного паруса), затем преобразуется с помощью механического актуатора (например, рычага или блоко-тросовой системы) и передается в виде противодействующих усилий. Таким образом «зло» ветрового воздействия преобразуется в «добро» в виде укрепления конструкции: соблюдается желаемая форма параболической антенны [7], уменьшаются колебания мачты [8], усиливается поперечная жесткость вантового моста [9]. Отбирая и преобразуя часть внешнего негативного воздействия, защищается дамба (плотина) от сходов лавин и селей [10], повышается сейсмостойкость здания [2,11].

### Список литературы

1. Пат. **2206665** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа/ Абовский Н. П. и др. 2003, Бюл. №17.
2. Пат. **2215852** Российская Федерация. Полносборное здание или сооружение замкнутого типа, включающее фундамент, для строительства на вечномёрзлых, слабых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /Абовский Н. П. и др. 2003, Бюл. 31.
3. Пат. **46336** Российская Федерация. Композитный пространственный строительный элемент с дискретными связями для создания из них полносборных зданий и сооружений различного вида /Абовский Н. П. и др. 2001, Бюл. 12.
4. **Абовская, С. Н** Полносборные пространственные здания и фундаменты для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмических зонах: сборник статей /Абовская С. Н., Деруга А. П., Абовский Н. П. /МОО «Пространственные конструкции» под ред. В. В. Шугаева и др. Вып. 9. М.:ООО «Девятка принт» 2004. - С. 220-229.
5. **Абовский, Н. П.** Новые конструктивные решения для сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях/Абовский Н. П., Енджиевский Л. В., Надеяев В. Д // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений: М. №3. 2004. - С. 30-32.
6. **Абовский, Н.П.** Управляемые конструкции: учебное пособие /КрасГАСА. – Красноярск, 1998.- 433с.
- 7-11. Патенты **2120515** ,**2105853**, **2087622**, **2090693**, **2087622** Российская Федерация /Абовский Н. П. и др.

УДК 69.03;534.074:624.139

## **О ФОРМООБРАЗОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Абовский Н. П., Палагушкин В. И.

Представлены некоторые новые принципы и конструктивные решения, альтернативные традиционным подходам.

Проблемы фундаментостроения в особых грунтовых условиях и сейсмичности являются весьма актуальными для многих регионов России.

Возникает ряд трудностей при строительстве на участках, отличающихся неоднородностью и неопределенностью физико-механических свойств грунтов. Например, в Красноярске имеются большие территории, которые отнесены к разряду «неудобных»: слабые, насыпные, просадочные, пучинистые, вечномёрзлые грунты. А также участки, где разработка котлованов трудоемка или нецелесообразна; где свайные основания применять нельзя и неэкономично; подтапливаемые территории; сложные грунтовые условия в сейсмических районах: стесненные городские условия. Однако низкая стоимость земли, а также близость к коммуникациям делают подобную территорию привлекательной для освоения строительством, в том числе для строительства коттеджей в рамках реализации национальной программы «Доступное жильё».

Традиционные способы устройства фундаментов малоэффективны в этих условиях, часто требуют применение тяжелой техники и большого объема земляных работ. Нередко стоимость свайного фундамента под коттедж превышает стоимость верхнего строения. В качестве примера можно привести тот факт, что в Архангельской области для возведения зданий на заторфованных грунтах требуется установка надежного, очень дорогого фундамента, длина свай для которого составляет от 12-24 метров.

Существуют места, в которых бить сваи невозможно или возникает необходимость сохранить природную среду. Хватит бить сваи под малоэтажные дома! В Красноярске найден эффективный выход из этого положения в виде пространственных фундаментных платформ (ПФП). Пространственные фундаментные платформы (ПФП) – это, как правило, поверхностные (незаглубленные) пространственные сборные или монолитные системы, состоящие из верхних и нижних плит, объединенных перекрестными балками (фермами, шпренгелями) [1-3]. В случае необходимости заглубления пространственная платформа может конструктивно объединяться с подвальным этажом (стенами и перекрытием) в цельный монолитный пространственный фундамент, т. е. нижние этажи могут проектироваться как развитие в плане пространственной фундаментной платформы соответствующих габаритов, сочетая функции фундамента и эксплуатационного этажа.

Авторами предложены **основные положения (принципы) разработки конструктивных решений** для строительства зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях, которые **в совокупности** способствуют достижению поставленной цели.

### **1. Основные принципы формообразования конструкций в сложных грунтовых условиях [1-3]**

**1. Принцип системности.** Верхнее и нижнее строения здания (сооружения) рассматриваются как единая цельная (замкнутая) система, взаимосвязанная между собой и внешней средой, в том числе с основанием. При этом использование замечательных свойств пространственного формообразования является фундаментальной основой созидания.

Именно пространственная (а плоских конструкций в природе нет) создает возможность пространственного распределения напряжений, включая и работу всех элементов перераспределения усилий (в случае перегрузок одного из элементов) и т. п., создавая резервы прочности и надежности (живучести). Но для этого необходим соответствующий выбор структуры пространственного формообразования. Иерархическая структура, когда нижние элементы поддерживают верхний, может подвергнуться обвальному обрушению. Многосвязная цельная структура отличается повышенными качествами и надежностью. Возможны также параллельные, дублирующие и другие структуры. Решающую роль здесь имеет не только топология (размещение) элементов, но и тип и свойства связей между ними и внешней средой.

Такова очевидная основа системного подхода в пространственном формообразовании, которую необходимо соблюдать в инженерной практике и обучении будущих специалистов.

### **2. Принцип сохранения внешней среды (в том числе основания) в естественном состоянии, т.е. экологичности конструкции**

Данный принцип в первую очередь относится к фундаментостроению, в частности, к разработанным пространственным фундаментным платформам (ПФП). ПФП не нарушают сложившиеся геологический и гидродинамический подземные режимы, так как не требуют заглубления при минимуме земляных работ. В случае вечномерзлых грунтов ПФП служит теплозащитным устройством, способствующим сохранению их естественных свойств. ПФП в сочетании с традиционными водозащитными мероприятиями на территории предотвращает попадание поверхностных и техногенных вод под здание, что способствует сохранению естественных свойств (неравномерных осадок и просадок) просадочных, пучинистых и других слабых грунтов.

Данный принцип нацелен на создание экологичных конструкций.

Отметим, что традиционные способы строительства на слабых грунтах базируются, как правило, на усилении грунтов различными способами (например, уплотнением) или на применении таких конструктивных решений (например, свай), которые преодолевают слабые слои, т. е. **несущими свойствами слабого грунта пренебрегают**. Отметим, что всякого рода уплотне-

ние грунта приводит к нарушению естественно сложившегося гидрогеологического режима, которое нередко имеет негативные последствия.

**Предлагается использовать свойства слабых грунтов путем применения наземных сплошных пространственных фундаментных платформ (ПФП),** которые не нарушают подземный природный гидротехнический режим и позволяют предохранить подземные слои от температурных и других негативных разрушительных воздействий. Поэтому ПФП могут применяться не только на слабых грунтах, но и для просадочных, пучинистых, водонасыщенных, вечномёрзлых и других сложных грунтовых условиях [1-3].

**3. Принцип рационального пространственного формообразования таких конструкций, которые малочувствительны к негативным воздействиям внешней среды (основания).** При этом преодолевается фактически имеющаяся неопределенность и недостаточность информации инженерно-геологических изысканий для строительства из-за изменчивости расположения неоднородных грунтов и обычно малого числа проб грунтов при изысканиях, а также возможные негативные ситуации при эксплуатации.

**4. Принцип сейсмозащиты (сейсмоизоляции) системы фундамента и верхнего строения как цельной системы**

Особое значение приобретает этот принцип для строительства в сейсмических районах на слабых грунтах (в сложных грунтовых условиях). Принцип позволяет найти эффективные конструктивные решения при совмещении негативных условий неравномерных деформаций слабых грунтов и защититься от сейсмических воздействий. Например, применение ПФП на скользящем слое снижает большие сейсмические воздействия на здание в десятки раз.

В отличие от традиционных сейсмозащитных устройств, которые устанавливаются выше фундамента и фактически отделяют его от верхнего строения, данный признак ориентирует на установку защитных устройств (например, скользящий слой) между основанием и пространственной фундаментной платформой (ПФП), сохраняя целостность системы. Таким образом, реализуется конструктивная сейсмобезопасность.

**5. Принцип совмещения в пространственной фундаментной платформе (ПФП) конструктивных, функциональных и технологических свойств, включающих, например, ограждение, теплозащиту, несущий пол, размещение оборудования, коммуникаций и т. п., а также удобство устройства скользящего слоя на основании под ПФП.**

Для реализации этих принципов целесообразно использовать следующие возможности конструктивных решений: **пространственность; многосвязность; замкнутость; сплошность** пространственной платформы.

Свойства ПФП:

- повышенная изгибная жесткость при малом весе (малом расходе материалов);

- большая распределительная способность передачи нагрузки на основание, позволяющей обеспечить практически равномерное давление на основание;

- малая чувствительность к неравномерным осадкам и просадкам основания; совмещение функции несущего пола с теплоизоляцией и фундаментом, отмосткой;

- экономичность: по материалоемкости, трудоемкости, себестоимости, по возможности строительства на дешевых бросовых (неудобных) землях и в стесненных городских условиях без применения тяжелой техники, по сокращению эксплуатационных затрат.

Отметим, что ПФП могут реализовываться не только в незаглубленных (наземных) вариантах, но и в подземных в виде одного или нескольких подземных этажей, монолитное конструктивное решение которых выполняет роль цельных пространственных коробчатых фундаментов типа глобального постамента под верхнюю часть замкнутого здания с ПФП. Его размеры в плане шире, чем здание.

Заметим, что в литературе для многоэтажных зданий имеются предложения о применении на слабых грунтах свайных фундаментов с утрамбованной песчанной подушкой, которая должна сейсмоизолировать верхнее строение, но при этом верхняя часть здания отделена от фундамента. Возникает сомнение о достаточной устойчивости такой конструкции. Применение ПФП, объединенных с верхним строением в замкнутую систему, представляется надежным и экономичным.

## 2. Некоторые рекомендации по формообразованию и созданию конструктивной сейсмобезопасности зданий и сооружений

Прежде всего, это пространственное формообразование системы и связи ее с окружающей средой (основанием). Система, включающая верхнее строение вместе с фундаментом (будучи даже отделенной от основания), должна быть геометрически неизменяемой, многосвязной (так, чтобы обладать способностью перераспределения усилий при разрушении отдельных связей, чтобы локальные повреждения не вызывали глобального обрушения).

Связи данной системы с основанием не должны полностью или частично передавать негативные воздействия от основания на фундамент здания (сооружения). Таким негативным воздействием являются, главным образом (по мнению авторов), **горизонтальные** (тангенциальные) смещения. (В справедливости данной гипотезы авторы убедились на основе численного эксперимента моделирования) [5].

Отсюда следует ряд принципиальных конструктивных предложений:

- фундамент вместе с верхним строением должен представлять замкнутую многосвязную систему. Разобщение (отделение) фундамента от верхнего строения с помощью упругих демпферов и других устройств нежелательно;

- целесообразно устраивать фундамент в виде сплошной платформы достаточной жесткости, используя пространственное формообразование для повышения жесткости при ее уменьшенном весе [1-2];

- между фундаментной плитой и основанием устраивать скользящий слой, минимизирующий передачу больших горизонтальных сейсмических смещений основания на фундаментную плиту, т. е. максимально снизить передачу сейсмических воздействий на фундамент (сейсмическая волна, преодолевая трение, проскальзывает под фундаментной плитой, оставляя ее практически на месте);

- между торцевой частью фундамента (в случае его заглубления) и основанием предусматривать воздушный зазор (или упругую засыпку), чтобы уменьшить (исключить) лобовое (фронтальное) воздействие волны на фундамент.

Таким образом, главной целью конструктивной сейсмобезопасности должны быть решения устройства внешней защиты для снижения сейсмического воздействия на систему (здание+фундамент) и затем уже по изолированию (демпфирование, перераспределению и т. п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий. По идее, целесообразно не допустить (или снизить) сейсмическое воздействие на систему, чем пропустить их и бороться с ними внутри самой системы.

Следует отметить, что традиционно методы и устройства сейсмоизоляции отдельных частей, например верхнего строения от фундамента, покрытия от стен и т. п.), получили многообразные решения. В то же время методы и устройства, снижающие сейсмическое воздействие на систему в целом, разработаны недостаточно. В действующем СНиПе и многих публикациях даны полезные рекомендации по конструктивным решениям верхних строений из разных материалов, но практически полностью отсутствует информация о влиянии типа фундамента и его связей с верхним строением как цельной системы и их работе, а также приемы уменьшения сейсмического воздействия на систему. Это касается и применения пространственных фундаментных платформ. В то же время изучение опыта древнейших выдающихся строителей, дошедших до наших дней, показывает их эффективность и надежность строений на их основе.

Отметим, что устройства демпфирования и сейсмоизоляции получили достаточное развитие. В то же время устройства для проскальзывания, в том числе путем регулирования и снижения трения, разработаны недостаточно. Хотя современные успехи в создании новых материалов и технологий позволяют надеяться на прогресс в этой проблеме. Удалось показать на основе компьютерного моделирования [5], что устройство скользящего слоя (например, в виде нескольких слоев пленки) между фундаментной плитой и основанием приводит к снижению во много раз сейсмического воздействия на фундамент и верхнее строение. Отметим, что идея пространственных фундаментных платформ с элементом проскальзывания имеет древнейшие исторические

конструктивные корни во многих сооружениях, дошедших до наших дней. Можно надеяться, что конструкции проскальзывания получат современное конструктивное развитие и будут использованы в качестве управляющих параметров для повышения сейсмобезопасности зданий и сооружений.

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Активное формообразование архитектурно-строительных конструкций зданий и сооружений из унифицированных строительных элементов для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмических районах: научное издание /КрасГАСА, Красноярск, 2004. – 241 с.
2. **Абовский, Н. П.** Пространственные фундаментные платформы: сборник научных работ.- Красноярск: КрасГАСА.-2006. – 187 с.
3. **Пат. 2068918.** Российская Федерация. Способ управления строительными конструкциями / Абовский Н.П. 1996, Бюл. № 31.
4. **Пат. 2090693** Российская Федерация. Плотина /Абовский Н.П. 1995, Бюл. № 35.
5. **Пат. 2087622** Российская Федерация. Сейсмостойкое здание, сооружение /Абовский Н.П. 1997, Бюл № 23.
6. **Пат. 2090486.** Российская Федерация. Кран с системой автоматического управления /Абовский Н.П., Доронин С.В. и др. 2007, Бюл. № 26.
7. **Пат. 2120515.** Российская Федерация Устройство защиты моста от бокового ветра. / Абовский Н.П. 1999, Бюл. № 29.
8. **Абовский, Н.П.** Конструктивная сейсмобезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях /препринт-научное издание / Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009, – С. 186.
9. **Абовский, Н. П.** Пространственные сборные сплошные фундаментные платформы для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмичности: учебное пособие. – Красноярск: КрасГАСА, 2004.

УДК 69.059:624.131

## **ОПЫТ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ФУНДАМЕНТНЫМИ ПЛАТФОРМАМИ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Абовский Н. П., Сиделев В. А.

Строительство в сложных грунтовых условиях, в том числе и в сейсмических районах, которые занимают в Сибири достаточно обширные территории, не получило эффективных решений как в научной, так и в нормативной и учебной литературе, особенно при сочетании негативных воздействий сейсмичности и сложных грунтовых условий. Причины кроются как в сложности и неясности самих физических моделей, так и в неопределенности действующих закономерностей. Однако решение данной проблемы строительства может быть получено путем создания конструкций, малочувствительных к данным негативным воздействиям. Решение предлагается в виде пространственных фундаментных платформ (ПФП) и зданий замкнутого типа с устройством скользящего слоя между основанием и фундаментной платформой [1-9].

Применительно к малоэтажному строительству разработаны ПФП в монолитном, сборно-монолитном и сборном вариантах, отличающиеся (от сплошных плитных фундаментов) индустриальностью, повышенной пространственной жесткостью при малом собственном весе, а также теплоизоляционными свойствами. Теплоизоляция ПФП снижает теплопотери здания на 15-20 % [3-8].

ПФП разработаны также для большепролетных зданий, для фундаментов под резервуары и другие технические сооружения, а также для строительства вахтовых поселков в осваиваемых территориях, для инженерного обеспечения в подтапливаемых территориях и др.

Достоинства ПФП: большая пространственная жесткость при небольшом собственном весе; малая чувствительность к неравномерным осадкам и просадкам грунтов; малое давление на основание; используют несущую способность слабых грунтов, сохраняют свойства вечномерзлых грунтов; уменьшают теплопотери здания; выполняют несущие свойства пола первого этажа здания; эффективны для строительства в сейсмических районах на слабых грунтах; могут конструктивно совмещаться с подвальными этажами; оказывают демпфирующее влияние на здание от вибраций грунтов основания, вызванных техногенными или природными причинами; придает архитектурную выразительность зданий как постамент, возвышающий здание; экологически совместимые конструкции.

Для условий, часто стесненных, когда требования сохранения экологии весьма высоки и практически нельзя использовать тяжелую технику, разрабо-

тан новый эффективный монолитный вариант ПФП под малоэтажные здания, в том числе большепролетные. Высота пространственной платформы здесь невелика (около 50-70 см). Пазухи между балками засыпаны твердым утеплителем (шлаком, керамзитом) с целью повышения теплозащитных свойств фундамента и удобства бетонирования верхнего пояса платформы (без опалубки), служащего полом нижнего этажа. Фундамент может устраиваться на поверхности без заглабления. Привлекательна надежность и экономичность такого фундамента в особых грунтовых условиях и сейсмичности. Конструкция данного монолитного фундамента успешно применена на строительстве ряда объектов.

### **1. Проектирование и строительство пространственной фундаментной платформы административно-бытового корпуса (АБК) и склада строительной техники на бывшей многолетней свалке в нынешней черте города**

Грунтовые условия: инженерно-геологические условия площадки относятся ко II-й категории сложности. Площадка расположена в пределах пойменной и надпойменной террас р. Качи.

Современный рельеф образован в результате хозяйственной деятельности человека. По всей площадке когда-то производилась произвольная отсыпка грунта, шлака, почвы и гальки. Мощность слоя насыпных грунтов достигает 5 м. Ниже находятся просадочные суглинки – мощностью до 1 м. Все насыпные грунты содержат крупные обломки железобетонных и металлических конструкций.

Вскрыты безнапорные подземные воды на глубине 5,5-7,9 м, которые связаны с поверхностной водой р. Качи, имеющей переменный уровень.

Существующие строительные нормативы, как правило, не предусматривают условия и требования к строительству на подобных участках, отличающихся неоднородностью и неопределенностью физико-механических свойств грунтов. Однако низкая стоимость земли, а также близость к коммуникациям сделали эту «неудобную» территорию привлекательной для освоения строительством. Проведение инженерно-геологических изысканий также практически не укладывались в традиционные схемы и подходы. Выбор эффективного типа фундаментов был затруднен тем, что рытье котлована и производство земляных работ на этой территории нежелательны. Забивка свай проблематична (что подтвердили свайные работы на соседних участках). Рядом стоявшее кирпичное одноэтажное строение на обычном фундаменте развалилось.

Была проведена планировка территории и осуществлены водоотводящие и охранные работы. Сделана бетонная подготовка (стяжка) верхнего рыхлого слоя грунта (без чего нельзя было ходить по участку). Было принято решение об устройстве наземного незаглабленного фундамента в виде сплошной выступающей за габариты здания пространственной железобетонной платформы, **достаточно легкой, но обладающей большой изгибной**

**пространственной жесткостью**, в виде верхней и нижней плит, скрепленных ребрами. Межфундаментное пространство между ребрами заполнялось утеплителем (шлаком), что обеспечивало снижение теплопотерь через фундамент. Было также исключено излишнее промораживание грунта (так как котлован не отрывался) в процессе производства работ. Давление на основание было невелико из-за большой фундаментной площади. Было сохранено многолетнее состояние грунта, не был также нарушен сложившийся гидрогеологический подземный режим. Заметим, что положить в качестве фундамента одну толстую плиту сплошного сечения было нельзя и невыгодно не только из-за перерасхода железобетона (иначе не добиться требуемой большой жесткости плиты для слабого основания), но и потому, что плита была бы весьма тяжелой (в 4-5 раз тяжелее пространственной платформы) и могла бы превышать несущие способности слабого основания.

АБК представляет собой трехэтажное здание размером 12х12 м с монолитными колоннами и перекрытиями. Ограждающие конструкции – многослойные кирпичные стены. Сетка колонн 6х6, по средней оси первого этажа расположена диафрагма жесткости с двумя проемами.

ПФП общей высотой около 900 мм скомпоновался следующим образом:

- нижняя и верхние плиты толщиной 150 мм;
- внутренние ребра высотой 60 см и толщиной 100 мм расположены в одном направлении, перпендикулярном диафрагме жесткости здания;
- в местах опирания колонн выполнены армированные набетонки;
- предусмотрены контурные ребра толщиной 100-150 мм.

Материал фундамента – бетон В 20, F 200, W 6. Армирование периодической арматурой класса АIII.



Рис. 1. Фундамент (ПФП) и здание административно-бытового корпуса

Внутренняя полость фундамента заполнена утеплителем (шлаком). Жесткость фундамента и здания обеспечивается ребрами в обоих направлениях, диафрагмой здания и жесткой заделкой колонн в фундаментной платформе. Армирование нижней и верхней плит – двойное в ортогональных направлениях, соответствующих разбивочным осям. Крайние ребра армированы двумя

каркасами. Ребра жестко соединены между собой с помощью гнутых анкерных стержней.

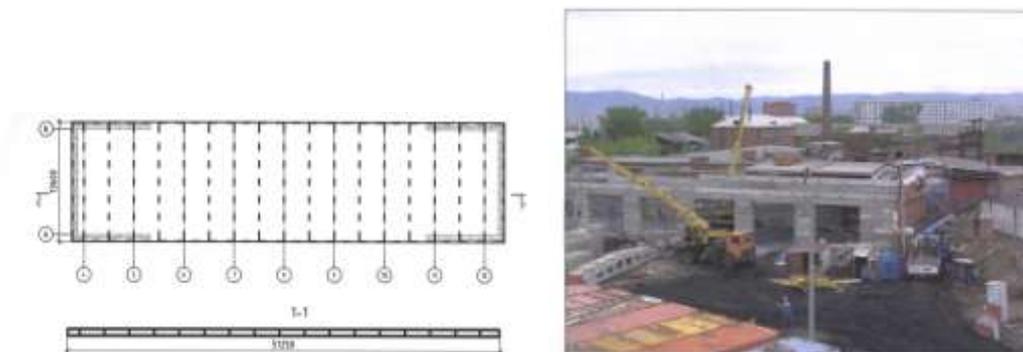


Рис. 2. Монолитный фундамент (ПФП) и здание склада строительного оборудования

Склад строительной техники представляет собой одноэтажное здание размером 51x12 м, с несущими стенами из бетонных блоков, перекрытыми решетчатыми балками (по серии 1,462, вып. 1) с ребрами плитами перекрытия (серии 1,465-7, вып. 1,41). Стены имеют пилястры с шагом 12 м, шаг стропильных конструкций 6 м. Высота до низа несущих конструкций 6 м. Здание оборудовано подвесной кран-балкой грузоподъемностью 5 т.

ПФП склада строительной техники и ее армирование полностью аналогичны описанной выше ПФП для АБК.

Жесткость здания обеспечивается продольными и поперечными ребрами фундамента и совместной работой нижнего пояса стен на участках по крайним осям с ПФП.

Сравнение устройств ПФП с возможными ленточными фундаментами из сборного железобетона показало снижение расхода бетона в 1,4 раза и экономию стоимости в 1,45 раза, при этом не были учтены факторы совмещения ПФП с конструкцией пола, снижение эксплуатационных затрат за счет уменьшения теплопотерь через ПФП, а также повышение общей надежности ПФП и зданий, которые трудно поддаются расчету.

Построенные здания успешно эксплуатируются уже более двух лет.

## **2. Проектирование и строительство ПФП для трансформаторной подстанции в пределах пойменной террасы р. Качи**

Трансформаторная подстанция ТП-10/04 кв типа УК-42-1000 разработана ТПИ Красноярскгражданпроектом (шифр 9145-032). Здание одноэтажное с кирпичными стенами ограждения, с железобетонными перекрытиями и свайными фундаментами. В полах подстанции имеются заглубленные каналы и проемы для размещения оборудования подстанций, кабелей и аварийного слива трансформаторного масла.

Природный рельеф изменен хозяйственной деятельностью человека (снос существующих строений, утилизация отходов и т.п.). Мощность техногенных отложений составляет 0,7-25 м. В составе вышеуказанных отложений

песок, гравий, твердый бытовой и строительный мусор. Далее площадка сложена глинистыми грунтами мягкотекучепластичной консистенции.

Водоносный горизонт подземных вод природно-техногенного происхождения на глубине 2,2-4,2 м. Возможная амплитуда колебаний подземных вод может изменяться от 158 см до 210-285 см. В период снеготаяния возможно подтопление. Нормативная глубина сезонного промерзания 2,5-3 м. Грунты пучинистые.

Для эксплуатации подстанции требовалось обеспечить соответствующие надежные технические условия (защитить от проникновения воды и преодолеть слабость основания, а также создать технологические каналы для оборудования).

Один из возможных вариантов решения состоял в использовании высоких свай-колонн, поднимающих здание на довольно высокий уровень, с ростверком и днищем, в котором устроены специальные достаточно высокие каналы для прокладки электрокабельных подводящих сетей к трансформатору. В этом случае строительство достаточно простого традиционного объекта весьма бы усложнилось.

Было принято решение о применении пространственной наземной платформы с закрытыми бортами, надежно защищающими образовавшееся «корыто» от затопления. Пространство между ребрами внутри платформы можно использовать для технологических нужд, т. е. несущие и защитные свойства платформы совмещены с технологическими.

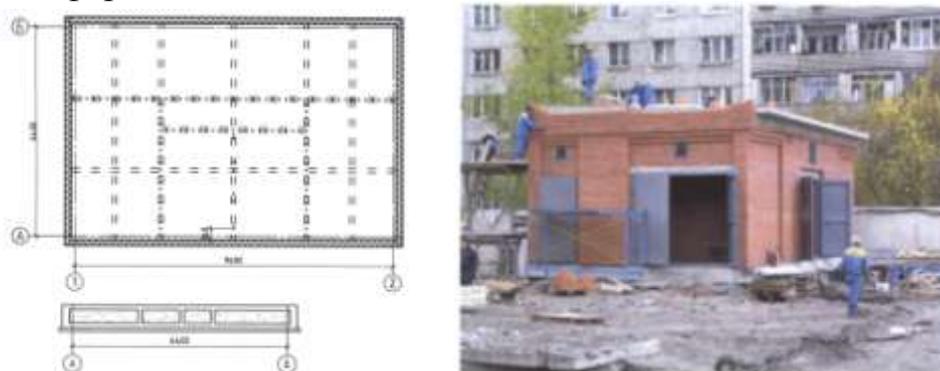


Рис. 3. Фундамент ПФП трансформаторной подстанции и здание ТП

ПФП скомпонована следующим образом:

- нижняя и верхняя плиты толщиной 150 мм; контурные ребра шириной 200 мм (для обеспечения необходимой площади опирания кирпичных стен);
- внутренние ребра шириной 120 мм с неравномерным шагом, учитывающим технологические особенности монтажного оборудования.

Армирование элементов двойное. Бетон фундамента В 20, F 200, W 6, D 2400.

Получена достаточно простая, надежная и эффективная конструкция, которая уже неоднократно выдержала испытания во время весенних и осенних паводков.

### 3. Проектирование полуподземного гаража-стоянки легковых автомобилей

Гараж-стоянка размерами 48x20 м проектируется в тех же условиях что и для трансформаторной подстанции. Гараж-стоянка – одноэтажное здание с несущими колоннами размером 400x400 мм, с переменным шагом 6000 мм и 8000 мм с учетом максимально возможного ее заполнения автомобилями. Наружные стены одновременно воспринимают горизонтальные нагрузки от грунта обратной засыпки, выполнены из железобетона. Покрытие – монолитное плоское с жестким армированием, должно выполнять функции прогулочно-игровой площадки.

Учитывая конструктивные особенности здания, компоновка ПФП фундамента производилась следующим образом:

- высота фундамента 1000 мм;
- толщина нижней и верхней плит 150 мм;
- контурные ребра шириной 200 мм для опирания на них железобетонных стен;
- внутренние ребра шириной 150 мм с шагом 2500 мм;
- в местах опирания колонн выполнены локальные железобетонные уширения с выпусками арматуры для обеспечения жесткой заделки колонн в фундаменте;
- армирование всех элементов двойное. Бетон фундамента В 20, F 200, W 6, D 2400.

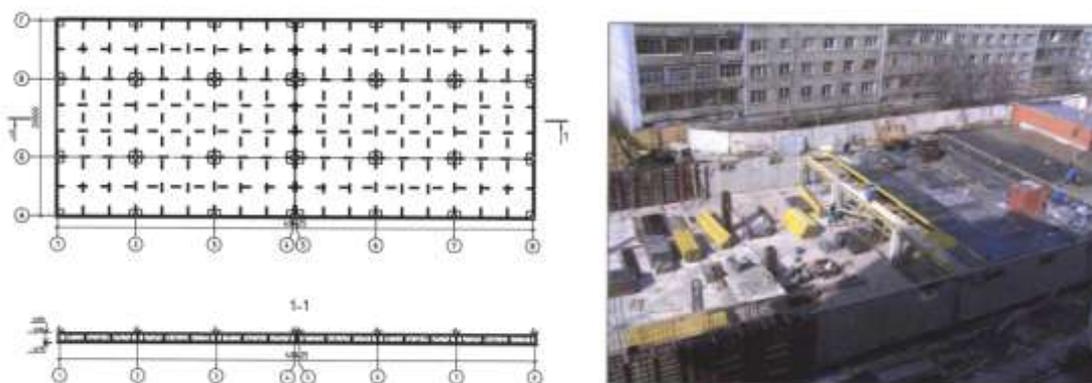


Рис. 4. Фундамент (ПФП) и здание гаража-стоянки

Конструкция здания совместно с ПФП образует в целом замкнутую многосвязную пространственную систему.

#### 4. Основные принципиальные характеристики ПФП, позволяющие их эффективно применять на слабых, просадочных, водонасыщенных, пучинистых, вечномёрзлых грунтах и в сейсмических зонах

- ПФП являются пространственной многосвязной достаточно легкой конструкцией, обладающей при этом большой пространственной жесткостью и оказывающей малое давление на основание. По сравнению с обычными железобетонными плитными фундаментами удельный вес железобетонных ПФП в 4-5 раз меньше, а изгибная жесткость благодаря рациональному фор-

моообразованию в 50-100 раз больше (при равном объеме материала). Отметим, что сталелезобетонный вариант ПФП обладает еще более повышенными показателями. Повышенная пространственная жесткость ПФП делает их мало чувствительными к неравномерным осадкам (и просадкам) грунтов основания, а облегченный вес и большая площадь опирания позволяют применять их для строительства на слабых насыпных и прочих грунтах. Компьютерное моделирование и многочисленные расчеты подтвердили эту важную особенность ПФП

- Применение ПФП основано на использовании (а не преодолении, как это обычно принято) несущих свойств слабых грунтов при сохранении их в естественном состоянии. Этот принцип альтернативен традиционному применению сплошных плитных фундаментов на слабых грунтах, которые предварительно приходится упрочнять (например, путем уплотнения в глубину на несколько метров.

- Поверхностное (без рытья котлована) расположение ПФП позволяет сохранить (не нарушить) природный многолетний сложившийся гидрогеологический режим подземных вод, что предотвращает нежелательные построечные ситуации, особенно в случае пучинистых грунтов, а также послепостроечные последствия, так как заглубленные фундаменты играют роль плотины на пути движения подземных вод и способствуют их плохо проскальзываемому уровню подъема и подтопления. Применение ПФП с утеплением межфундаментного пространства в процессе производства работ предотвращает условия для морозного пучения грунтов. Естественно необходимо выполнять предварительно традиционные водоотводящие и планировочные работы на территории. Это создает возможность и для применения ПФП на водонасыщенных грунтах, а использование ПФП с закрытыми по контуру бортами позволяет использовать их на подтапливаемых территориях. По этому принципу успешно осуществлено строительство электроподстанции на подтапливаемом берегу р. Качи.

- ПФП успешно синтезирует (объединяет) ряд конструктивных и функциональных свойств фундамента и здания, например, с несущей конструкцией пола первого этажа; встроенного вентилируемого подполья (что позволяет сохранять несущие свойства вечномерзлых грунтов); объединению ПФП с цокольным этажом, а в случае заглубления ПФП с подвальным этажом; при заполнении утеплителем межфундаментного пространства между балками обеспечивается существенное сокращение (до 15-20 %) теплопотерь через фундамент, что снижает эксплуатационные затраты и др.

- ПФП сохраняет окружающую экологическую обстановку и может успешно применяться на «неудобных» территориях в стесненных условиях строительства на слабых грунтах практически без земляных работ и тяжелой техники.

- Целесообразно конструктивно соединять ПФП с верхним строением в цельную многосвязную замкнутую систему (коробчатого или иного типа), ко-

торая обладает повышенной живучестью (т. е. разрушение одного элемента не приводит к глобальным обрушениям), способностью пространственного перераспределения усилий, повышенной жесткостью, способностями воспринимать и перераспределять неравномерные воздействия от осадок (и просадок) грунта основания и сохранять свои несущие свойства при различных сейсмических воздействиях, в том числе вертикальных наклонных и крутильных толчках.

- В сейсмических районах, в том числе на слабых грунтах, целесообразно устраивать между ПФП и основанием сплошной скользящий слой с низким коэффициентом трения, который создает условия для проскальзывания волны под ПФП и существенного уменьшения величины горизонтальных сейсмических воздействий на ПФП и, следовательно, на все задние. С целью уменьшения (или устранения) сейсмического воздействия на боковую часть фундамента (который является препятствием на пути волны), можно располагать ПФП на поверхности (без заглубления), а в случае заглубления – использовать специальные устройства, снижающие это боковое давление (например, создавать пустоты по боковой контуре фундамента, использовать демпфирующие засыпки, наклонные стенки и др.)

- Перспективным является изучение и использование демпфирующих свойств ПФП от колебательных возмущений грунта (природного или техногенного характера, например от автотранспорта), особенно в тех случаях, когда длина волны возбуждающего воздействия меньше размеров ПФП в плане. Подбор жесткостных параметров ПФП и возможность перераспределения и изменения масс (в том числе путем засыпки межфундаментных пазух ПФП) служат регулирующими параметрами

- Применение ПФП в условиях слабых грунтов, особенно при глубоком залегании несущих грунтов, позволяет обеспечить значительную экономическую эффективность в сравнении с традиционными решениями (свайными столбчатыми, ленточными).

Применение ПФП дает высокий экономический эффект вследствие невысокой стоимости «неудобных» земель; снижение объемов инженерно-геологических изысканий; упрощение производства строительных работ: сокращение сроков строительства (до 30 %) без привлечения тяжелой техники и больших земляных работ, привлечение небольшого числа рабочих, экономия материалов (бетона и железобетона на 25%), всесезонность. Экономический эффект обеспечивается совмещением конструктивных и эксплуатационных функций: несущей конструкции пола, а главное снижение теплопотерь на 15-20 % при утеплении ПФП засыпкой пазух.

Следует отметить, что в городе Красноярске намечено построить несколько тысяч малоэтажных коттеджей, большинство на «неудобных» землях. Экономический расчет показывает, что применение предложенных пространственных платформ для их строительства при снижении стоимости на 10-12 % даст экономию более 1 миллиарда рублей.

### Список литературы

1. Пат. 2206665. Пространственная фундаментная платформа для строительства на вечномёрзлых, слабых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах / Абовский Н. П. и др., 2003, Бюл. № 17.
2. Пат. 2273697 Пространственная фундаментная платформа, объединенная с резервуаром, для строительства на слабых, вечномёрзлых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах / Абовский Н. П. и др. 2006, Бюл. №10.
3. Пат. 38789. Сборная пространственная железобетонная фундаментная платформа для строительства многоэтажных зданий в особых грунтовых условиях /Абовский Н. П. и др. 2005, Бюл. 19.
4. Пат. 45410 Монолитная пространственная фундаментная платформа / Абовский Н. П. и др.2005, Бюл. №13.
5. Пат. 50553 Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа под агрегаты с динамической нагрузкой для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах / Абовский Н. П. и др. 2006, Бюл. № 2.
6. Пат. 55388 Пространственная железобетонная фундаментная платформа для малоэтажных зданий для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмичности в сборном и монолитном вариантах. / Сиделев В. А., Абовский Н. П. и др., 2007, Бюл. 22.
7. Пат. 64650 . Пространственная фундаментная платформа под здания и сооружения для строительства на слабых, просадочных, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах / Абовский Н. П. и др. 2007, Бюл. № 19.
8. Пат. 69094 Российская Федерация. Пространственная железобетонная фундаментная платформа в сборном и сборно-монолитном вариантах под малоэтажное строительство в сложных грунтовых условиях и сеймики / Абовский Н. П. и др.2007, Бюл. № 34.
9. Пат. 2215852 Российская Федерация. Полносборное здание или сооружение замкнутого типа, включающее фундамент, для строительства на вечномёрзлых, слабых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах / Надеяев В. Д. и др. 2003, Бюл. №31.

УДК 624.01

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Абовский Н. П., Инжутов И. С., Палагушкин В. И.

Понятие об экологических строительных конструкциях в строительных нормах отсутствует. В традиционные технико-экономические показатели для сравнения и выбора эффективных конструкций показатели экологичности не входят. В то же время именно строительство является повсеместно нарушителем экологии среды.

В настоящее время проблема экологии занимает в мире первостепенное решение. А ведь главные воздействия на экологические проблемы оказывают строители (роют, строят, загораживают, засыпают реки и многое др.). Очевидно, настало время, чтобы строительные проблемы решались сознательно, системно, в совокупности. Иначе поздно будет что-либо восстановить, особенно это относится к северным нефтегазоносным районам Сибири, созданию новых плотин и др.

Предлагаются такие новые конструктивные решения, которые минимально вносят изменения в экологическую обстановку, обладая при этом выгодными технико-экономическими показателями в сравнении с традиционными конструкциями. К этим принципам (экологичность+экономичность) присоединяются принципы максимального учета реальных условий среды (а не пренебрежения её пусть даже слабыми несущими свойствами), а также учет выгодных инженерно-технологических возможностей производства и транспортировки. Применение такого подхода особенно эффективно в случае слабых грунтов, которые занимают три четверти территории Красноярска и стесненных условий строительства.

Разработаны два типа конструкций: пространственные фундаментные платформы и опоры под магистральные нефтегазопроводы [1-3].

Использование сплошной пространственной фундаментной платформы (ПФП), обладающей повышенной жесткостью и большой распределительной способностью, позволяет строить в сложных грунтовых условиях (слабые, просадочные, пучинистые, вечномёрзлые и другие грунты), так как они малочувствительны к неравномерным деформациям, в том числе осадкам и просадкам грунтов. Разработаны некоторые новые принципы и конструктивные решения строительства в сложных грунтовых условиях, в которых предлагается использовать свойства слабых грунтов путем применения наземных сплошных пространственных фундаментных платформ (ПФП), не нарушающих подземный природный гидротехнический режим и позволяющих предохранить подземные слои от температурных и других негативных разрушительных воздействий. Разработан набор ПФП для различных конструкций

с разными технологиями изготовления (патенты РФ № 38789, 55388, 41829) для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах.

Важное место среди экологических проблем занимает сейсмобезопасность зданий, сооружений, трубопроводов.

Применение разработанных конструкций – незаглубленных фундаментов на скользящем слое, расположенном между основанием и фундаментом, - создает возможность для проскальзывания сейсмической волны под фундаментом, т. е. снижение сейсмического воздействия на фундамент [3-11].

Аналогичным свойством обладает устройство предложенных плитных опор под трубопроводы на гравийной подсыпке. Таким образом, повышается сейсмобезопасность сооружений

Альтернативным предложением по прокладке трубопроводов являются запатентованные разработки ИГУРЭ СФУ, представляющие собой регулируемые согласно реальной местности мобильные опоры на железобетонной плите, не требующие заглубления в грунт. Обеспечивается сохранность северных почв, индустриальность работ в любое время года, в максимальной степени сохраняется экология окружающей среды [2].

Разработаны регулируемые опоры под магистральные трубопроводы, объединенные с фундаментной плитой, которые также не заглубляются в грунт. Они отличаются индустриальностью и эффективностью, удобством монтажа и демонтажа, а также повышенной экологической безопасностью. Патенты РФ № 2246657, 41829.

Экономическая эффективность пространственных платформ складывается из следующих факторов: предотвращение аварийности из-за сеймики и неравномерных осадок; снижения эксплуатационных затрат; удешевления строительства (уменьшение земляных работ и общей трудоемкости, сборность и транспортабельность на обычном транспорте; уменьшение расхода бетона; сокращение сроков строительства; совмещение функций (использование резервной аварийности емкости в случае использования фундаментов под резервуары патенты РФ № 53342, 63375).

В случаях сложных грунтовых условий, когда есть опасение выдавливания слабых грунтов из-под ПФП и есть необходимость усиления слабых грунтов, целесообразно использовать ПФП на скользящем слое или с жестко присоединенной по контуру к ней конструкцией «стена в грунте». Для грунта создается обойма, улучшающая условия работы грунта и препятствующая его выпираанию из-под ПФП. В сейсмических районах вокруг «стены в грунте» делается перекрываемый ров с воздушным зазором или «мягкой засыпкой», которые уменьшают горизонтальные сейсмические воздействия на заглубленную часть фундамента. Укрепление грунта и «смягчение» сейсмического воздействия повышают конструктивную безопасность. А при объединении ПФП с верхним строением в «замкнутое» сооружение повышается безопасность при вертикальных, наклонных, крутильных сейсмических воздействиях.

Отметим, что в случае установки на ПФП агрегатов с динамическими вибрационными воздействиями использование конструкции «стена в грунте» присоединяет к ним массу грунта в обойме и способствуют снижению собственных частот колебаний конструкции.

Масштабное применение ПФП в малоэтажном строительстве в стране может дать экономию сотни миллиардов рублей. В Красноярске фирмой «Енисейлесстрой» уже построено 7 зданий на ПФП в железобетонном варианте в сложных грунтовых условиях (на насыпных грунтах, на обводненной территории в пойме реки) [7, 9].

Для строительства в сельской местности оказываются весьма эффективными быстровозводимые здания, в которых рационально сочетаются рамнопанельные блок-секции на основе древесины (рис. 1, *а*) в сочетании с легкими фундаментными платформами. Предлагаемые блок-секции имеют размеры в плане 12×2 м и состоят из ригеля в виде блок-ферм, соединенных с помощью подкосов в карнизных зонах с совмещенными стеновыми панелями. Узлы конструкции запроектированы так, что позволяют сложить конструкцию в удобный малогабаритный блок и перевезти обычным автотранспортом (рис. 1, *б*, *в*).

Блок-секции целесообразны в качестве нормоккомплектов временных жилых зданий на случай преодоления чрезвычайных ситуаций, а также для возведения пионерных поселков, освоения месторождений полезных ископаемых, организации поселков пограничных войск.

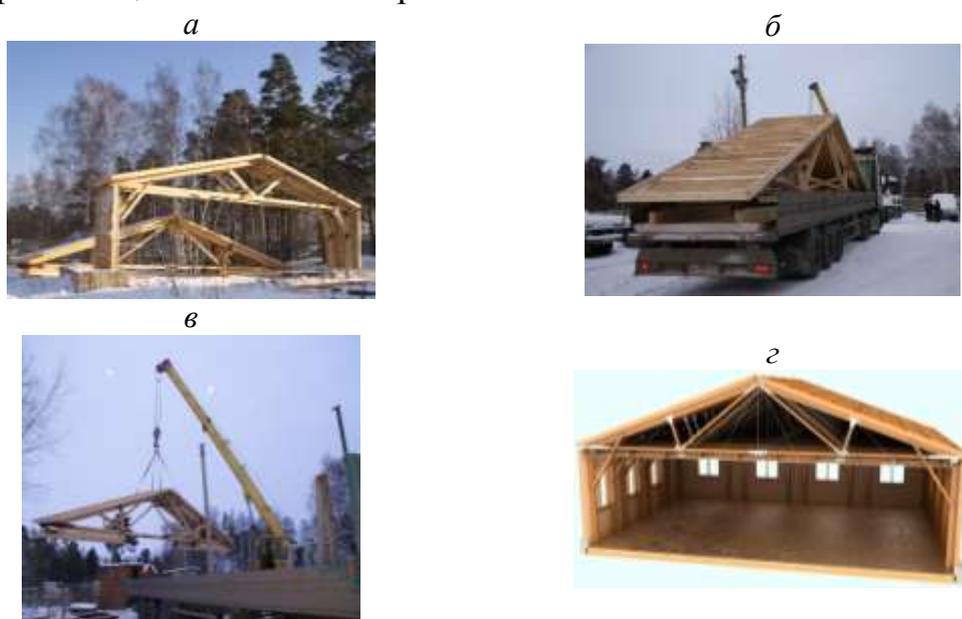


Рис. 1. Быстровозводимые здания из рамнопанельных блок-секций, устанавливаемых на фундаментные платформы: *а* – конструктивная схема блок-секции; *б* – транспортировка и *в* – разгрузка конструкции; *г* – фрагмент жилого дома

Следует обратить особое внимание на целесообразность и эффективность использования рамнопанельных блок-секций в жилищном строительстве. В этом случае необходимо дополнительно устроить подвесные потолки.

Тогда, например, использование всего пяти блок-секций позволяет в максимально сжатые сроки получить дом с размерами в плане 10×12 м.

При этом торцы дома могут быть устроены из панелей аналогичной конструкции, т. е. изготовленные с помощью той же технологической оснастки, или иметь фахверковое решение.

Заметим также, что увеличение высоты стеновых панелей – блок-секций до 6 м определяет возможность строительства и двухэтажных домов.

Предлагаемые решения предназначены, прежде всего, для социального жилья как на селе, так и в пригородах, нужда в котором весьма остра в настоящее время.

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Строительные проблемы экологического освоения северных районов Красноярского края / Н. П. Абовский. - Красноярск: КрасГАСА, 2007.- С.165.

2. **Абовский, Н. П.** Строительные проблемы освоения северных нефтегазоносных районов Красноярского края с учетом требований экологии /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский. Вестник отделения строительных наук РААСН: период. науч. издание. -, Курск, 2007. - С. 380-386.

3. **Абовский, Н. П.** Новые конструктивные решения для сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях/Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. Д. Надеяев //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М. № 3. 2004. - С.30-32.

4. – 11. **Пат. 2206665, 2273697, 38789, 45410, 50553, 55388, 64650, 69094** Российская Федерация/ Абовский Н. П. и др.

12. **Абовский, Н.П.** Пространственные конструкции для строительства в нефтегазоносных районах Сибири /научная сессия «Новые конструктивные решения пространственные покрытий и перекрытий зданий и сооружений», МОО «Пространственные конструкции», Межрегиональная общественная организация Содействие развитию и применению пространственных конструкций в строительстве», 2005.

13. **Пат. 64650.** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа под здания и сооружения для строительства на слабых, просадочных, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /Абовский Н.П., Андреев Н.П., Сиделев В.А., Сапкалов В.И.2007, Бюл. № 19.

14. **Пат. 2215852** Российская Федерация. /Надеяев В. Д., Абовский Н. П. и др. 2003, Бюл. № 31.

УДК 624.011.016

## **КРУПНОРАЗМЕРНЫЕ РЕБРИСТЫЕ ПЛИТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБШИВКОЙ**

Инжутов И. С., Рожков А. Ф., Никитин В. М.

Описываются новые технические решения крупноразмерных плит: плиты с постоянной по их длине высотой поперечного сечения, плиты с переменной по их длине высотой поперечного сечения. Отмечается, что предлагаемые конструкции крупноразмерных ребристых плит с комбинированной обшивкой могут применяться в зданиях различного назначения, в том числе в сельской местности – в культурно-бытовых, производственных, складских одноэтажных зданиях и сооружениях, в малоэтажном домостроении.

Разработанные крупноразмерные плиты предназначены, прежде всего, для использования в Сибири [1-12]. В этой связи при конструировании учтены особенности территории: суровые климатические условия с низкой температурой воздуха зимой и высокой температурой воздуха летом, при этом сезонные колебания температуры воздуха достигают 80-100 °С; большой удаленностью от основных транспортных магистралей, что определяет достаточно высокую стоимость транспортировки и продолжительность доставки грузов; освоение новых территорий, обуславливающее необходимость создания местных производственных баз; особые природные условия ряда районов, к которым относится вечная мерзлота и высокая сейсмичность, что предопределяет повышенные требования к исполнению зданий, их несущим элементам, а также требования к обеспечению герметичности ограждающих конструкций при воздействии на них знакопеременных динамических сил и при возможных неравномерных осадках фундаментов.

При разработке опытных конструкций, следуя [12, 13], исходили из целесообразности и необходимости:

- проектировать плиты как пространственные совмещенные пластинчатые конструкции;
- эффективно использовать свойства применяемых в конструкциях материалов;
- руководствоваться принципом рациональной конструктивной формы при одновременном уменьшении общей массы конструкции (в сравнении с известными аналогами);
- обеспечивать универсальность и высокую технологичность изготовления;
- конструировать систему с учетом требований скоростного монтажа и демонтажа, многократного использования, транспортабельности конструкций и современного крупноблочного монтажа.

Пространственная работа плит обеспечена, в первую очередь рациональным включением элементов ограждений (обшивок, второстепенных ребер, обрамлений и т. п.) и связей в общую работу системы. Последнее положение относится, в частности, к вовлечению диафрагм в совместную работу с обшивкой. С помощью диафрагм, которые размещены по коротким концам, в середине, а при необходимости и в четвертях пролета конструкции, обеспечивается неизменяемость формы поперечного сечения плит. В зависимости от конструкции основных ребер диафрагмы запроектированы дощатоклееными, клефанерными или сквозными. При этом, плиты законструированы с П-образным поперечным сечением, что существенно упрощает изготовление их элементов и последующую сборку. Открытое расположение основных несущих ребер каркаса целесообразно как с точки зрения обеспечения долговечности конструкции, так и с позиций более полного и рационального использования прочностных свойств древесины ребер. В этом случае все основные несущие элементы конструкций находятся внутри помещения в одинаковых температурно-влажностных условиях, что исключает возможность их конденсационного увлажнения, обеспечивает хорошее проветривание без устройства специальных продухов, делает эти элементы доступными для осмотра, ремонта, периодической окраски и пропитки, в том числе и огнезащитными составами.

Разработаны несколько типов крупноразмерных плит: **плиты с постоянной по их длине высотой поперечного сечения, плиты с переменной по их длине высотой поперечного сечения.**

Плиты с постоянной высотой поперечного сечения разработаны для использования их в междуэтажных и чердачных перекрытиях жилых и административных зданий, в также скатных покрытиях одно- и многопролетных зданий с разновысокими колоннами.

Плита марки ПФР 9-1,5AIV с размерами в плане 1,5х9,0 м представлена на рис. 1.

Конструкцию плиты образуют два расположенных в нижней части поперечного сечения продольных клеедощатых ребра, раскрепленных по краям и в середине диафрагмами, прикрепленная к ним сверху комбинированная из фанерных и асбестоцементных листов обшивка, подкрепленная каркасом из поперечных досчатых ребер и элементов обрамления из брусков.

Листы фанерной обшивки толщиной 8 мм соединены между собой односторонними фанерными накладками шириной 160 мм на клею. Направление волокон в рубашках листов и накладках ориентировано вдоль пролета плиты.

Фанерная картина имеет следующие размеры в плане – 1490×4500 мм и приклеена к основным ребрам с отступом от торцов плиты величиной в 2250 мм (четверть пролета).



Рис. 1. Конструктивная схема плиты марки ПФР 9-1,5АIV с обшивкой, комбинированной из фанеры и плоских асбестоцементных листов

Обшивка на упомянутых крайних участках запроектирована из плоских асбестоцементных листов марки ЛП толщиной 6 мм и прикреплена к основным ребрам шурупами.

Дощатые поперечные ребра расставлены с шагом 750 мм. Фанерная обшивка присоединена к ним водостойким клеем, а асбестоцементная – шурупами.

Диафрагмы, расположенные по краям плиты и в середине пролета, имеют двутавровое поперечное сечение и состоят из деревянных поясов, образованных парными брусками, фанерной стенки и вертикальных опорных брусков. Через последние шурупами диафрагмы крепятся к основным ребрам.

Пленочная пароизоляция устраивается по верху обшивки. Мягкий утеплитель, например, УРСА укладывается на отсеки обшивки между поперечными вспомогательными ребрами. Кровля предусмотрена из листовых материалов.

Особенность технических решений неутепленных плит для междуэтажных перекрытий и покрытий зданий заключается в размещении подкрепляющего обшивку каркаса в нижней части сечения между основными несущими ребрами. В этом случае диафрагмы следует проектировать как совмещенные элементы, играющие дополнительно роль поперечных вспомогательных ребер, обеспечивающих прочность, жесткость и устойчивость обшивки.

Для снижения материалоемкости конструкции представляется целесообразным в качестве основных ребер использовать балки сквозной конструкции. В частности, для небольших пролетов (до 12 м) достаточно эффективны балки с прерывистой стенкой из вертикально расположенных досок, присоединяемых к брусчатым поясам с помощью клевого зубчатого соединения (рис. 2). Идея этого технического решения высказана А. Ф. Михайловым в свое время в [14] при разработке ограждающих плит.



Рис. 2. Конструктивная схема плиты с наклонными диафрагмами и с основными ребрами в виде двутавровых балок с прерывистой стенкой из вертикально поставленных досок

Однако, в упомянутой плите-прототипе опорные стойки нагружены значительно больше, чем стойки, размещенные в пролете. Выровнять усилия в стойках оказалось возможным, применяя наклонные диафрагмы взамен ортогональных. Наклонные диафрагмы в этом случае совмещают функцию восходящих раскосов.

Хорошими техническими характеристиками обладает плита с основными ребрами в виде балок коробчатого сечения с прерывистыми фанерными стенками. В этой конструкции обшивка в крайних зонах плиты длиной по 3 м запроектирована в виде косога настила из досок сечением  $16 \times 100$  мм.

Повысить эффективность плиты с прерывистой фанерной стенкой, следуя [15], можно за счет размещения отсеков стенки со сдвижкой относительно друг друга. При этом необходимо учитывать симметричность работы элементов конструкции.

Для пролетов до 18 м рекомендуется плита (рис. 3), основные ребра которой выполнены в виде комбинированной балки со стенкой из раскосов и

приопорных фанерных стенок (предложение на отечественном рынке от Mitek и АРА).

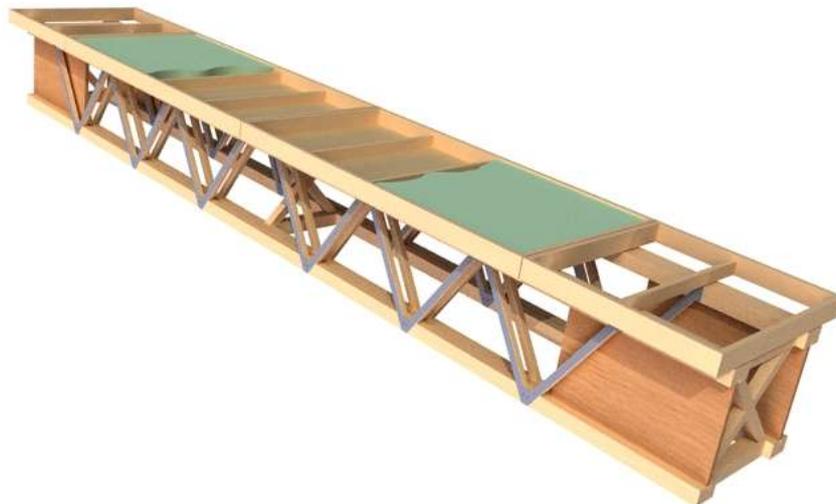


Рис. 3. Конструктивная схема плиты с основными ребрами в виде комбинированной балки

Особенность исполнения решетки заключается в рациональном сочетании деревянного раскоса с металлическими V-образными накладками, имеющими штампованные зубья. Повысить несущую способность раскосов можно, применяя зубья из дюбелей-гвоздей, забиваемых (запрессовываемых) в заранее просверленные в полосах отверстия (предложения проф., д. т. н. П. А. Дмитриева и доцента, к. т. н. В.В. Пуртова; НГАСУ, г. Новосибирск).

Особо обратим внимание на то, что на приопорных участках плит взамен обшивки можно разместить солнечные батареи, тем самым повысить энергоэффективность здания в целом и наделить предлагаемые конструкции новым потребительским качеством. Это может оказаться весьма целесообразным для зданий и сооружений, возводимых в регионах с большим количеством солнечных дней, например, в Хакасии. Актуальность такого технического решения становится особенно очевидной в увязке с краевой программой «Солнечный кластер», предусматривающей выпуск солнечных батарей в г. Железногорск и г. Зеленогорск Красноярского края [<http://www.abercade.ru/research/industrynews/1199.html> – Отраслевые новости. Руководство Красноярского края представит программу «Солнечного кластера». – март 2009].

На упомянутых участках при необходимости обеспечения верхнего освещения легко устроить светопрозрачное ограждение.

Плиты с переменной по их длине высотой поперечного сечения, в большей или меньшей мере повторяющие очертание эпюры изгибающих моментов, экономичнее по расходу материалов, по сравнению с плитами с постоянной высотой сечения.

Однако особенности напряженного состояния в таких плитах – несоответствие сечения с максимальными нормальными напряжениями с сечением, где возникают наибольшие изгибающие моменты для наиболее распростра-

ненного случая равномерно распределенной нагрузки, обуславливают отличие выполнения обшивки, приклеенной на части длины.

На рис. 4 приведена конструктивная схема двускатной ребристой плиты пролетом 18 м и шириной 2,4 м.

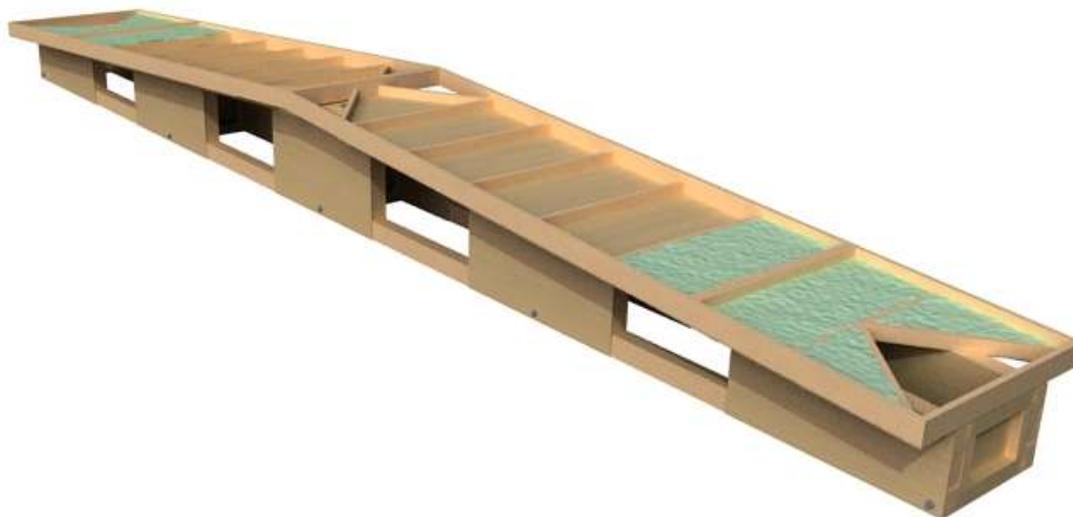


Рис. 4. Двускатная плита с фанерной обшивкой, приклеенной на части длины каркаса

Конструкцию образуют: два двускатных ребра коробчатого сечения с прерывистой фанерной стенкой, блокирующие их деревянные диафрагмы, поставленные с шагом 4,5 м вдоль длины; шесть щитов, расположенных в верхней части поперечного сечения плиты. Плита имеет сечение в виде два «Т» с консольными свесами по 0,6 м.

Приопорные щиты с размерами в плане 2,4×1,8 м включают в себя каркас из досок с сечением 52×144 мм, к которому приклеены по краям два фанерных листа толщиной 9 мм с треугольным планом, а в середине присоединен шурупами лист OSB также с треугольным планом.

Средние щиты с прямоугольным планом 2,4×4,4 м включают в себя каркас из дощатых поперечных ребер, поставленных с шагом 0,9 м, два дощатых элемента обрамления и приклеенную к нему обшивку из водостойкой фанеры толщиной 9 мм.

Два щита с размерами по 2,4×1,8, расположенные в середине плиты, имеют в средней части приклеенную к ним фанерную обшивку с треугольным планом и обшивки с треугольным планом из OSB, размещенные по краям и присоединенные к каркасу шурупами.

Такое исполнение обшивки улучшает технологичность изготовления плит за счет использования малогабаритных сборочных единиц и заметно удешевляет стоимость материалов.

Разработанная аналогичная плита имеет клеефанерные ребра коробчатого сечения с внешними и внутренними стенками, сдвинутыми относительно друг друга. Слабонагруженные участки обшивки запроектированы из плоских асбестоцементных листов толщиной 9 мм, прикрепленных к каркасу саморезами. Стыки фанеры и асбестоцементных листов подкреплены дощатыми

элементами обрамления, размещенными под углом к продольной оси плиты, соответственно.

Предлагаемые конструкции крупноразмерных ребристых плит с комбинированной обшивкой могут применяться в зданиях различного назначения, в том числе в сельской местности – в культурно-бытовых, производственных, складских одноэтажных зданиях и сооружениях. В гражданском строительстве целесообразно применение разработанных плит в покрытиях залов, общественных зданий, выставочных павильонов, рынков, зданий физкультурно-оздоровительных комплексов, в малоэтажном домостроении [16, 17].

Плиты наделены транспортабельностью и неповреждаемостью при перевозке и хранении, небольшим весом и габаритам, что позволяет их перевозить автомобилями, в том числе в условиях городских транспортных развязок, с последующим крупноблочным монтажом автомобильными кранами.

### Список литературы

1. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25.-80) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
2. **Пятикрестовский, К. П.** Вопросы дальнейшего совершенствования конструкций с применением древесины и новых плитных материалов / К. П. Пятикрестовский // Пространственные конструкции: сб. трудов РААСН, 2007. – № 9. – С. 49 – 51.
3. Рекомендации по конструированию, расчету и изготовлению большепролетных клефанерных плит для покрытий общественных зданий / СибЗНИИЭП. – Новосибирск, 1988. – 23 с.
4. Рекомендации по проектированию панельных конструкций с применением древесины и древесных материалов для производственных зданий / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1982. – 120 с.
5. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Стройиздат, 1982. – 79 с.
6. Руководство по изготовлению слоистых панелей с применением заливочных пенопластов. / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1977. – 59 с.
7. Руководство по обеспечению долговечности деревянных клееных конструкций при воздействии на них микроклимата зданий различного назначения и атмосферных факторов ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.
8. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. – М.: ФГУП ЦПП. – 44 с.
9. СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. – М.: ФГУП ЦПП. – 28 с.
10. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1983. – 33 с.

11. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: АПП ЦИТП, 1991. – 192 с.

12. **Енджиевский, Л. В.** Комбинированные из стали, бетона, дерева пространственные конструкции блочного типа: учебное пособие / Л. В. Енджиевский, И. С. Инжутов, П. А. Дмитриев, В. И. Жаданов // Учеб. пособие. – Красноярск: СФУ, ИПК ОГУ, 2008. – 331 с.

13. **Инжутов, И. С.** Блок-фермы на основе древесины для покрытий зданий: Автореф. дис. д-ра техн. наук /И. С. Инжутов. – Новосибирск, 1995. – 53 с.

14. **Михайлов, А. Ф.** Облегченные плиты покрытий размером 6×1,5 м с деревянными клееными сквозными ребрами для производственных сельскохозяйственных зданий / А. Ф. Михайлов // Эффективное использование древесины и древесных материалов в современном строительстве: тезисы докладов Всесоюзн. совещ. (г. Архангельск). – М., 1980. – С. 92-93.

15. **Жаданов, В. И.** Новые конструктивные решения крупноразмерных плит на основе древесины / П. А. Дмитриев, Г. И. Гребенюк, В. И. Жаданов, С. В. Калинин, Е. В. Баев // Вестник ОГУ. – 2004. – № 2. – С. 177 – 181.

16. **Инжутов, И. С.** К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири / И. С. Инжутов, А. Ф. Рожков, В. М. Никитин // Вестник ТГАСУ. № 1. – 2007. – С. 75-81.

17. **Никитин, В. М.** Одноэтажные крупнопанельные жилые дома с чердачным перекрытием из совмещенных клефанерных плит / В. М. Никитин // Проблемы строительства и архитектуры: сб. материалов XXV региональной научно-технической конференции. Красноярск: Сибирский федеральный университет; Институт архитектуры и строительства, 2007. – С. 30-32.

УДК 69.059:624.131

## **НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРИМЕРЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

Абовский Н.П., Андреев Н.П., Палагушкин В.И., Деруга А.П.

Принципиальные вопросы конструктивной безопасности, как правило, должны рассматриваться в постановочной части конструкторской работы, особенно в случаях, когда имеет место неопределенность внешних воздействий, когда теоретические подходы затруднены и формализация задачи отсутствует.

**1. Для обеспечения конструктивной безопасности целесообразно использовать приведенные ниже некоторые принципы:**

- принцип пространственного формообразования нацеливает на выбор такой пространственной формы, которая наиболее приспособлена для восприятия (сопротивления) внешним воздействиям;

- принцип многосвязности. В сочетании с пространственным формообразованием обеспечивает условия пространственного перераспределения внешних воздействий, так, что при нарушении отдельных связей системы происходит включение в работу смежных элементов (т.е. нарушение отдельных связей не приводит к глобальному разрушению) [ 1, 3];

- принцип создания конструкций, малочувствительных к негативным внешним воздействиям (включая неравномерные осадки и просадки основания) (принцип ПФП [4]);

- принцип управляемости (регулируемости, адаптации) конструкций основан на создании конструкций как управляемых систем. С этой целью используются принципы преобразования части энергии внешних воздействий и перераспределения энергии деформирования конструкции («зло» превратить в «добро»), принцип динамического противодействия и др. [7-11];

- принцип системного подхода к конструированию верхнего строения совместно с фундаментной частью с учетом внешних воздействий и грунтовых условий как единой цельной системы – (принцип замкнутого здания [3, 5,6]);

- принцип «смягчения» негативных внешних воздействий путем применения буферных, защитных, демпфирующих и других традиционных устройств.

Использование данных принципов в системной совокупности ориентировано:

- на воздействие на причины, порождающие опасность с целью снижения негативных воздействий, полного или частичного их предотвращения;

- на создание управляемых конструкций (активные подходы);

- на использование специальных безопасных конструктивных форм, для которых опасность внешних негативных воздействий уменьшена (снижена) – (пассивный подход).

**2. Примеры многосвязных зданий замкнутого типа** (рис. 1), объединенных с пространственной фундаментной платформой (выполнены из сталежелезобетонных пространственных элементов) [4].

Используются унифицированные композитные однотипные строительные элементы, например, сталежелезобетонные, состоящие из тонкой ребристой железобетонной плиты и подкрепляющего металлического шпренгеля. Связи между этими элементами однотипны и позволяют создавать полно-сборные замкнутые здания и фундаментные платформы как пространственные многосвязные достаточно легкие конструкции (рис. 1).

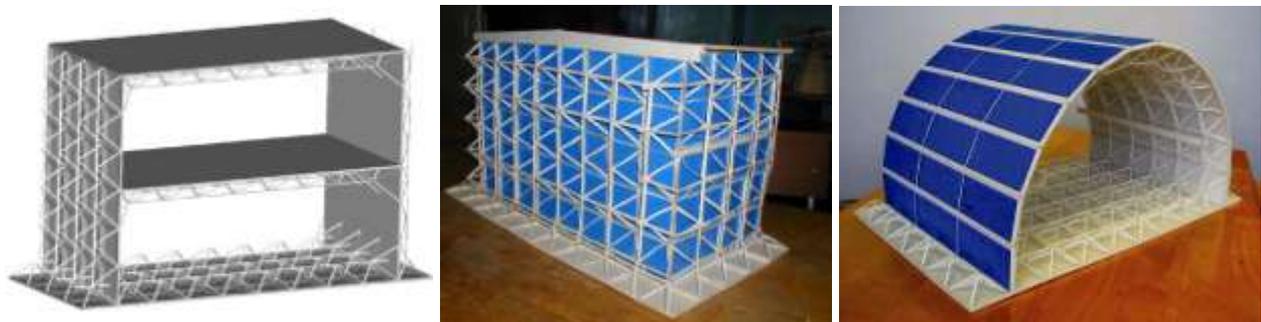


Рис. 1. Примеры многосвязных зданий замкнутого типа, объединенных с пространственной фундаментной платформой

Важнейшими особенностями используемых унифицированных элементов является то, что каждый из используемых в них материалов находится в наиболее выгодных условиях, а изготовление, транспортировка и монтаж базируются на существующей традиционной строительной поточной технологии, механизмах и транспорте.

Разработаны новые типы сборных железобетонных и сталежелезобетонных резервуаров, объединенных с пространственными фундаментными платформами для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах (патенты РФ № 2273697, 53342, 63375).

Предложенные решения отличают:

- системность подхода: «верхнее строение – фундамент – основание» рассматривается как цельная взаимосвязанная система, в которой каждая часть системы ставится в лучшие условия работы и взаимодействия между частями. Например, фундаментная платформа кроме распределительных фундаментных свойств выполняет роль затяжки для замкнутого верхнего строения, а верхнее строение повышает жесткость фундаментной платформы;

- реализуется стремление сохранить и использовать естественное состояние грунта основания и уменьшить его негативное воздействие на фундаментную часть;

- здания и сооружения нового типа в виде замкнутой (коробчатой) системы обладают малой чувствительностью к сейсмическим воздействиям и неравномерным деформациям грунта благодаря многосвязности пространственной платформы и скользящему слою. Можно представить себе замкнутые здания как некий морской корабль, а пространственные фундаментные платформы как морские плоты в волнующем океане земных волн основания, вызванные сейсмическими воздействиями или неравномерными осадками. Эта аналогия не фантастична, а вполне реально оправдана принятыми конструктивными решениями, проведенным компьютерным моделированием и физическим макетированием.

Пространственность, многосвязность, замкнутость –придают зданиям повышенную живучесть и возможность пространственное перераспределение напряженно-деформированного состояния при разрушении отдельных элементов (локальных разрушениях) [1]. Исследование сплошной фундаментной платформы (ПФП), обладающей повышенной жесткостью, позволяет строить в сложных грунтовых условиях (слабые, просадочные, пучинистые, вечномерзлые другие грунты), так как они малочувствительны к неравномерным деформациям (в т.ч. осадкам и просадкам) грунтов).

В Красноярске успешно осуществлено строительство пяти объектов на ПФП в сложных грунтовых условиях (бывшей свалке, обводненные территории в пойме реки без применения свай в стесненных городских условиях) [12].

Целесообразно, чтобы конструктивная безопасность рационально сочеталась с экологическими требованиями (экологической безопасности). Как, например, при строительстве в северных сибирских районах целесообразно строить так, чтобы не нарушался почвенный покров и сохранялись естественные свойства вечномерзлых и других грунтов. Этим требованиям удовлетворяют ПФП, которые не заглубляются в грунт и содержат встроенное вентилируемое подполье) [3,4].

Здания с ПФП могут успешно применяться в сейсмических районах благодаря расположению скользящего слоя между ПФП и основанием. Верхнее строение вместе со сплошной фундаментной платформой (рис. 2) образует цельное замкнутое многосвязное пространственное строение (типа замкнутой коробки), например, в виде пространственной в двух направлениях рамной конструкции, соединенной со сплошной фундаментной платформой.

Фундаментная платформа выполнена поверхностной (не заглубленной) в виде пространственной многосвязной (многопустотной) плитно-балочной системы большой жесткости. Она имеет продуваемые в продольном и поперечном направлениях межфундаментные пространства для сохранения свойств вечномерзлых грунтов. В случае отсутствия вечномерзлых грунтов межфундаментное пространство может заполняться утеплителем, что существенно сокращает теплопотери здания через фундамент и предохраняет грунт основания от морозного пучения (водоотводящие мероприятия выпол-

няются предварительно). Фундаментная платформа в ряде случаев может заглубляться и совмещаться с подвальным (цокольным) этажом.

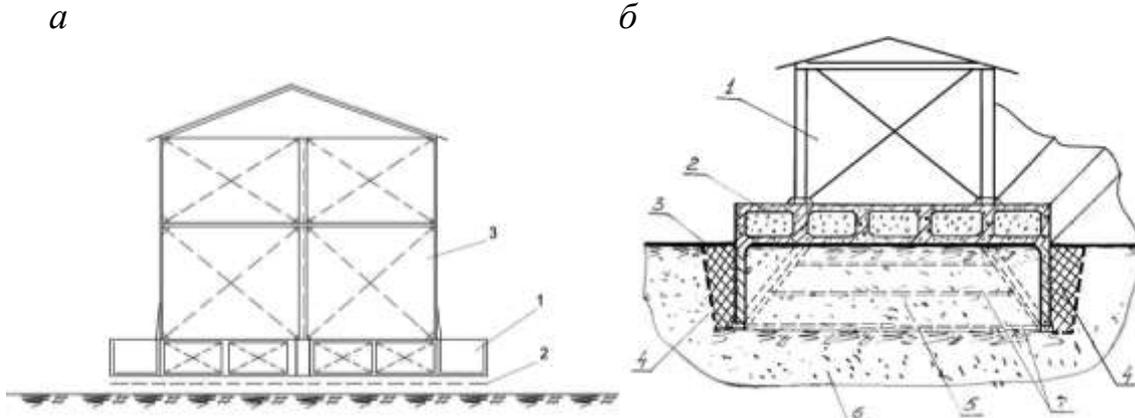


Рис. 2. Примеры малоэтажных зданий замкнутого типа для строительства в сейсмических районах в сложных грунтовых условиях, объединенных с пространственной фундаментной платформой:

а – незаглубленное со скользящим слоем; б – конструкция «стена в грунте»

В тех случаях сложных грунтовых условий, когда есть опасение выдавливания слабых грунтов из-под ПФП и есть необходимость усиления слабых грунтов, целесообразно использовать ПФП с жестко присоединенной по контуру к ней конструкцией «стена в грунте» (см. рис. 2, б). Для грунта создается обойма, улучшающая условия работы грунта и препятствующая его выпиранию из-под ПФП. В сейсмических районах вокруг «стены в грунте» делается перекрываемый ров с воздушным зазором или «мягкой засыпкой», которые уменьшают горизонтальные сейсмические воздействия на заглубленную часть фундамента. Укрепление грунта и «смягчение» сейсмического воздействия повышают конструктивную безопасность. А при объединении ПФП с верхним строением в «замкнутое» сооружение повышается безопасность при вертикальных, наклонных, крутильных сейсмических воздействиях.

Отметим, что в случае установки на ПФП агрегатов с динамическими вибрационными воздействиями использование конструкции «стена в грунте» присоединяет к ним массу грунта в обойме и способствуют снижению собственных колебаний конструкции.

Предложено и запатентовано также применение ПФП под традиционные металлические и новые типы сборных железобетонных резервуаров.

**3. Разработаны регулируемые опоры** под магистральные трубопроводы, объединенные с фундаментной плитой, которые также не заглубляются в грунт (рис. 3). Они отличаются индустриальностью и эффективностью, удобством монтажа и демонтажа, а также повышенной экологической безопасностью.



Рис. 3. Заводской образец регулируемой опоры, объединенной с фундаментной плитой для надземных магистральных трубопроводов. Патенты РФ № 2246657 и № 41829

При неопределенности внешних воздействий по величине и времени особое значение приобретают вопросы автоматического управления НДС конструкций в необходимый момент с целью повышения их живучести. При этом следует учитывать вопросы обеспечения прочности, жесткости, устойчивости и эксплуатационных функциональных требований, например, соблюдение необходимой деформированной формы и др. Запатентованные конструктивные решения и действующие модели управляемых конструкций описаны в монографии [8]. В ней приведены примеры автоматического предотвращения аварийных ситуаций при ветровых воздействиях на башни, мосты. Используется принцип динамического противодействия [9-11], при котором часть энергии ветра отбирается (аккумулируется, например, с помощью подвижного паруса), затем преобразуется с помощью механического актуатора (например, рычага или балочно-тросовой системы) и передает в виде противодействующих усилий. Таким образом, «зло» ветрового воздействия преобразуется в «добро» в виде укрепления конструкции. Аналогично соблюдается желаемая форма параболической антенны [8], уменьшаются колебания мачты [10], усиливается поперечная жесткость вантового моста [9]. По этому же принципу защищается дамба (плотина) от сходов лавин и селей [8], повышается сейсмостойкость здания [5, 11].

В настоящее время исследуются вопросы конструктивного снижения (управления) динамическими воздействиями (антропогенного и естественного характера) на наземные строения с помощью компьютерного моделирования на основе принципа динамического противодействия и преобразования «зла» в добро [9-11], либо созданием защитных конструктивных устройств (пассивных и активных).

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Обеспечение живучести пространственных конструкций в условиях неопределенности внешних воздействий /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский. Непрерывное архитектурно-строительное образование

как фактор обеспечения качества среды жизнедеятельности. Труды общего собрания РААСН 2005 г.- Воронеж: ВГАСУ, 2005. Науч. изд. С.105-109.

2. **Абовский, Н.П.** О некоторых противоречивых рекомендациях для сейсмостойкого строительства в сложных грунтовых условиях /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, Е. О. Егоров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. № 6. 2006. – С. 65-68.

3. **Абовская, С. Н.** Полносборные пространственные здания и фундаменты для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмических зонах сборник статей /С. Н. Абовская, А. П. Деруга, Н. П. Абовский Н.П., под ред. В. В. Шугаева и др. вып. 9. М.:ООО «Девятка принт» 2004. – С. 220-229.

4. **Пат. 2206665.** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа / Н.П. Абовский, С.Н. Абовская, Л.В. Енджиевский, Г. Ф. Майстренко, М. В. Драчев, А. И. Невзоров, 2003, Бюл. № 17.

5. **Пат. 2215852.** Российская Федерация. Полносборное здание или сооружение замкнутого типа, включающее фундамент, для строительства на вечномерзлых, слабых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /В. Д. Надеяев, С. Н. Абовская, Л. В. Енджиевский, Н. П. Абовский, Е. М. Сергуничева, Н. Б. Егикян. 2003, Бюл. № 31.

6. **Пат. 44336.** Российская Федерация. Композитный пространственный строительный элемент с дискретными связями для создания из них полносборных зданий и сооружений различного вида / Н. П. Абовский, С. Н. Абовская, В. И. Сапкалов, 2005, Бюл. № 7.

7. **Абовский, Н. П.** Новые конструктивные решения для сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях/ Л. В. Енджиевский, В. Д. Надеяев. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - М., № 3, 2004. - С.30-32.

8. **Абовский, Н. П.** Управляемые конструкции: учебное пособие / Н. П. Абовский. – Красноярск: КрасГАСА, 1998.- 433с.

9. **Пат. 2120515.** Российская Федерация. Устройство защиты моста от бокового ветра / Н.П. Абовский. 2008, Бюл. № 29.

10. **Пат. 2105853.** Российская Федерация. Устройство автоматического управления деформированием высокой башни / Н. П. Абовский, 1998, Бюл. № 6.

11. **Пат. 2087622.** Российская Федерация. Сейсмостойкое здание, сооружение / Н. П. Абовский. 1997, Бюл. № 23.

12. **Абовский, Н. П.** Опыт проектирования и строительства в сложных грунтовых условиях на примере Красноярского края / Н. П. Абовский, А. П. Попович, В. А. Сиделев // Проектирование и строительство в Сибири. 2006. №3. С.40.

УДК 69.059:624.131

## **ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ – ОСНОВА РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ТЕРРИТОРИЮ «КРАСНОЯРСК 2020»**

Абовский Н. П., Забродин С. М., Краснораменская Т. Г.,  
Перетокин С. А., Сибгатулин В. Г., Худобердин И. Р.

В настоящее время нормативная база, регламентирующая сейсмостойкое строительство, фактически отсутствует, так как с принятием федерального закона «О техническом регулировании» (2003), отменены действовавшие нормативные документы, а технический регламент сейсмостойкого строительства до сих пор не принят Госдумой. На краевом уровне региональные нормативы сейсмостойкого строительства также не разработаны.

Несмотря на значительный рост объемов строительства в Красноярском крае, в том числе и строительство уникальных зданий (более 100 метров высотой, метро, торгово-развлекательные и общественные центры) проблема сейсmobезопасности строительных объектов органами власти практически не контролируется.

В настоящей статье изложены общие подходы, которые по нашему мнению должны быть положены в основу региональных нормативов сейсмостойкого строительства. Это особенно актуально в связи с принятием концепции федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009-2013 гг.».

Данная федеральная программа принята на 5 лет (2009-2013 гг.). В рамках федеральной программы с участием края в софинансировании мероприятий можно прогнозировать затраты на сейсmobезопасность красноярского края на уровне 3,0 – 3,5 млрд руб. на 2009-2013 гг.

Вместе с тем, без знания реальных геодинамических рисков (влияние землетрясений, оползней, карста, изменение уровня грунтовых вод и т. д.) использование значительных финансовых ресурсов по сейсmobезопасности в конечном итоге будет неэффективно. Только на основе детальных карт геодинамических рисков, включая карты сейсмического микрорайонирования, уточнения сейсмической опасности (УСО) можно обеспечить эффективные меры безопасности жилых и производственных объектов. Без реализации этих мероприятий неизбежен высокий уровень ущербов от потенциальных землетрясений с сотрясаемостью 6-7 баллов в районе Красноярска, которые прогнозируются в ближайшие 3 – 5 лет.

В целях учета при строительстве реальных геодинамических факторов институт градостроительства, управления и региональной экономики (ИГУРЭ) СФУ (Сибирского федерального университета) и СКТБ «Наука»

Красноярского научного центра Сибирского Отделения Российской Академии Наук организовали в начале 2008 г. научный инженерный центр геодинамики и сейсмостойкого строительства (НИЦГиСС) – “Центр”.

В 2008 году “Центр” выполнил районирование территории г. Красноярска по геодинамической опасности. При этом установлено, что более 35 % территории города характеризуются прогнозной сотрясаемостью от 7 до 7,5 баллов при нормативной сотрясаемости согласно карт ОСР-97 (А, Б) 6 баллов. Результаты геодинамического районирования будут использованы при разработке региональных нормативов сейсмостойкого строительства в Красноярском крае, так как краевые власти, наконец, озаботились проблемой сейсмостойкого строительства и планируют в 2009 году принять соответствующие региональные нормативы.

### **1. Обоснование сейсмической опасности на основе экспертных оценок геодинамических факторов**

В настоящее время оценка сейсмической опасности территории Российской Федерации проводится по картам сейсмического районирования, составленным под научным руководством и под редакцией В. Н. Страхова и В. И. Уломова [Комплект карт ОСР-97, 1999]. Они позволяют определить вероятный сейсмический балл для конкретно выбранной площади в зависимости от заданного времени и требований обеспечения надежности и сейсмобезопасности объекта. Однако такой подход не учитывает изменение сотрясаемости по территории города. Корректное решение проблемы – выполнить сейсмическое микрорайонирование города, но это требует значительных средств и времени.

Поэтому нами использован подход, который применялся иркутскими исследователями (Шерман С. И. и др., 2003) для создания схемы микросейсмического районирования г. Иркутска и его окрестностей по геодинамическим факторам.

Для изучения процессов в литосфере составляются карты геодинамики или активности, возбуждения верхней мантии. Например, Н. А. Логачевым, С. И. Шерманом и К. Г. Леви [1991] предложено строить карты геодинамической активности литосферы по интегральному показателю, который отражает взаимосвязь между основными геолого-геофизическими параметрами на поверхности Земли. Величина последних прямо отражает энергию глубинных процессов.

Именно сейсмичность является результатом деформации верхней, преимущественно хрупкой части литосферы. Она несет информацию об образовании очага землетрясения как результата движений и деформаций определенного объема литосферы, а также резких подвижек по разрывам в очаговой области. Магнитуда землетрясения при прочих равных условиях пропорциональна скорости деформаций, размерам области накопления напряжений, мощности деформируемого слоя, размерам структур, глубине очага и некоторым другим параметрам. Важно, что потенциальная магнитуда землетрясений

пропорциональна интенсивности тектонического процесса в литосфере. Поэтому зафиксированную за историческое время максимальную магнитуду землетрясения в определенном районе можно рассматривать в качестве одной из комплексных физических характеристик геодинамики литосферы – как его сейсмический потенциал [Логачев и др., 1987].

В табл. 1 приведена геодинамическая активность литосферы Сибири и ее сейсмический потенциал (по Шерману, 2003)

Таблица 1

Интегральный показатель геодинамической активности литосферы [Логачев и др., 1990]	Максимальная магнитуда зарегистрированных землетрясений	Сейсмический потенциал	
		балл	его экспертная оценка
1	<5.7	<6	<120
2	5.7-6.5	6-7	120-140
3	6.5-7.0	7-8	140-160
4	7.0-7.3	8-9	160-180
5	>7.3	>9-11	>180

Заметим, что стандартная общепринятая 12-балльная шкала MSK-64 для удобства последующих подсчетов трансформирована в экспертную шкалу (таб. 2), где заложен полуколичественный принцип построения, основанный на экспертных оценках.

Таблица 2

Сейсмическая интенсивность, балл (по MSK-64, MMSK-92, с уточнением)	Сумма экспертных оценок по геодинамическим факторам	Относительная устойчивость территорий для прогноза необходимой сейсмостойкости сооружений
12 – 11	240 – 220	Весьма неустойчивая (непригодна)
10 – 9	200 – 180	Весьма неустойчивая
8 – 7	160 – 140	Неустойчивая
6 – 5	120 – 100	Устойчивая
4 – 3	80 – 60	Весьма устойчивая
2	20	Тоже

Основные геодинамические факторы и их экспертные оценки можно условно разделить на две генетические группы, существенно влияющие на региональные проявления сейсмичности и ее социальные последствия: 1) геолого-геофизические и 2) инженерно-геологические и гидрогеологические.

*Региональные геолого-геофизические факторы объединяют тектонические, неотектонические и геоморфологические параметры. В основе этой группы факторов лежат типы пород, их комплексы или отдельные породы, крепость пород, структура геологического разреза, наличие разломов и их ранговая принадлежность. Каждому из названных факторов придана экспертная оценка, подобранная опытным путем по инженерно-геологическим изысканиям при строительстве в городе Красноярске и его окрестностях. Исключение составляет показатель крепости горных пород (f). Как известно, крепость горных пород f определяется по таблицам М. М. Протодьяконова [1955; Справочник (кадастр)..., 1975].*

Экспертная оценка интересующего нас комплекса пород принималась как  $10/f$ , т. е. чем слабее порода, тем выше ее экспертная оценка ( таб. 3).

Таблица 3

Категория	Степень крепости пород	Порода	f	Экспертная оценка
1	2	3		
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20	0,5
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитовые породы. Кварцевый порфир, кремнистый сланец. Самые крепкие песчаники и известняки	15	0,6
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Крепкий конгломерат	10	1
IIIa	То же	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор, доломит	8	1,2
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6	1,5
IVa	То же	Песчанистые сланцы. Сланцеватые песчаники	5	2
V	Средние	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4	2,5
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3	3,3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт. Мергель. Разрушенный песчаник. Цементированная галька	2	5
VIa	То же	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, щебень. Отвердевшая глина	1,5	7
VII	Мягкие	Глина. Мягкий каменный уголь, глинистый грунт	1,0	10
VIIa	То же	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8	12
VIII	Землистые	Растительная земля. Торф. Легкий суглинок, сырой песок	0,6	16
IX	Сыпучие	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5	20
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженные грунты	0,3	33

Наличие прямой пропорциональности между безразмерным коэффициентом крепости М.М. Протодьяконова и удельной энергией разрушения – важный фактор, объясняющий, почему коэффициенты крепости  $f$  хорошо отражают различные механические свойства горных пород при разрушении и прочно укоренились в практике.

Существенное влияние на прочность горных пород оказывает степень тектонической деструкции региона. По масштабам проявления и в зависимости от детальности изучения региона предлагается выделять два уровня деструкции, определяемых наличием региональных и (или) локальных разломов и расстоянием до них оцениваемых объектов. Данные опираются на работы по оценке областей динамического влияния разломов [Шерман и др., 1983; Sobolev et al., 1997; Sherman, 1998; и многие др.]. В совокупности показатели степеней региональной и локальной деструкции отражают влияние разломной и трещинной тектоники на потенциальную сейсмичность и реакцию геологического субстрата на землетрясения. Эта реакция зависит от геологической значимости разлома и его иерархического уровня, ширины области его динамического влияния и расположения районируемой по сейсмическому потенциалу территории от осевой части области динамического влияния разломов (табл. 4 – экспертная оценка степени тектонической деструкции).

Таблица 4

Разломная тектоника	Расположение территории от осевой части области динамического влияния	Экспертная оценка
Региональные Разломы	<200	2
	>200	1
Локальные разломы	<200	1
	>200	0

Особая роль в группе обсуждаемых факторов придается структуре вертикального разреза, для чего вводится показатель, отражающий вертикальную структуру разреза. Он учитывает два принципиальных типа разрезов: однородный и слоистый, причем в последнем случае экспертные оценки предусматривают варианты переслаивания пород высокой, низкой или разной степеней прочности. Наиболее низкая экспертная оценка принята для максимально устойчивого разреза, образуемого однородным прочным массивом (табл. 5).

Не меньшее значение имеет и угол наклона земной поверхности. С его увеличением изменяется динамическая устойчивость пород в разрезе и повышается вероятность их смещений при воздействии сейсмических колебаний, что и в определенной мере учтено в табл. 5.

Таблица 5

Строение разреза	Характеристика	Экспертная оценка	Поправочный коэффициент на уклоны поверхности в граду-		
			0-3	3.1-15	>15
Однородный	Породы низкой и высокой прочности	Соответственно 2/1	0/0	1.5/0	2.0/0.5
Слоистый	Переслаивание пород высокой, низкой и разной степеней прочности	Соответственно 1/2/4	1	1.25	1.5

## 2. Группа региональных инженерно-геологических и гидрогеологических факторов

Большую роль при региональном или микросейсмическом районировании играют экзогенные процессы. Нередко их интенсивное развитие в конкретных регионах или локальных участках может привести к полному отказу от строительства или других типов хозяйственного освоения территорий.

Принято учитывать ведущие экзогенные процессы: закарстованность, оползни, просадочные и криогенные явления, подтопление, суффозию.

Экспертные оценки этих факторов растут по линейному закону, достигая максимальных значений для катастрофично протекающих процессов или процессов с площадным характером проявления (табл. 6 – экспертная оценка группы экзогенных факторов).

Таблица 6

Процесс	Степень развития процессов	Экспертная оценка степени развития процессов
Карстопроявление	Высокая/средняя/слабая	4/2/1
Оползни	Высокая/средняя/слабая	4/2/1
Просадочные явления	Высокая/средняя/слабая	4/2/1
Криогенные явления	Высокая/средняя/слабая	5/3/1
Эрозионные (овраги, плоскостной смыв)	Высокая/средняя/слабая	6/4/2
Суффозия		6

Существенное влияние на прочностные свойства и динамическую устойчивость геологического основания оказывают степень обводненности горных пород и положение верхнего уровня грунтовых вод. Чем выше уровень грунтовых вод, тем менее динамически устойчива территория по отношению к сейсмическим воздействиям. В качестве максимального значения экспертной оценкой принят уровень грунтовых вод 5 метров (табл. 7 – экспертная оценка уровня подземных вод, влияющего на потенциальную реакцию геологической среды на сейсмические колебания).

Таблица 7

Уровень грунтовых вод от поверхности, м	Экспертная оценка по типам напора вод		
До5/10/15/>15	Безнапорные воды	Напорные воды с величиной напора	
		до 10 м	>10м
	Соответственно 2/1/0.5/0	Соответственно 1/1/0/0	Соответственно 2/2/1/1

**На основе изложенных принципов выполнена оценка потенциальной сейсмической опасности территории г. Красноярска и его окрестностей в соответствии с вышеперечисленными геодинамическими факторами.**

Для этого территория города разбита на 247 прямоугольных ячеек. В результате составлена схема сейсмического районирования по геодинамическим факторам (рис. 1.) По величине интенсивности вся территория разделена на районы с сейсмичностью 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 баллов.

Помимо районирования по экспертным оценкам геодинамических факторов специалистами “Центра” на территории г. Красноярска выполнены инженерно-геофизические исследования по методу акустических жесткостей. В результате установлено приращение сейсмической интенсивности в 110 точках на территории города. При этом практически везде получен прирост сотрясаемости от 0,1 до 1,5 баллов по отношению к эталонным грунтам.

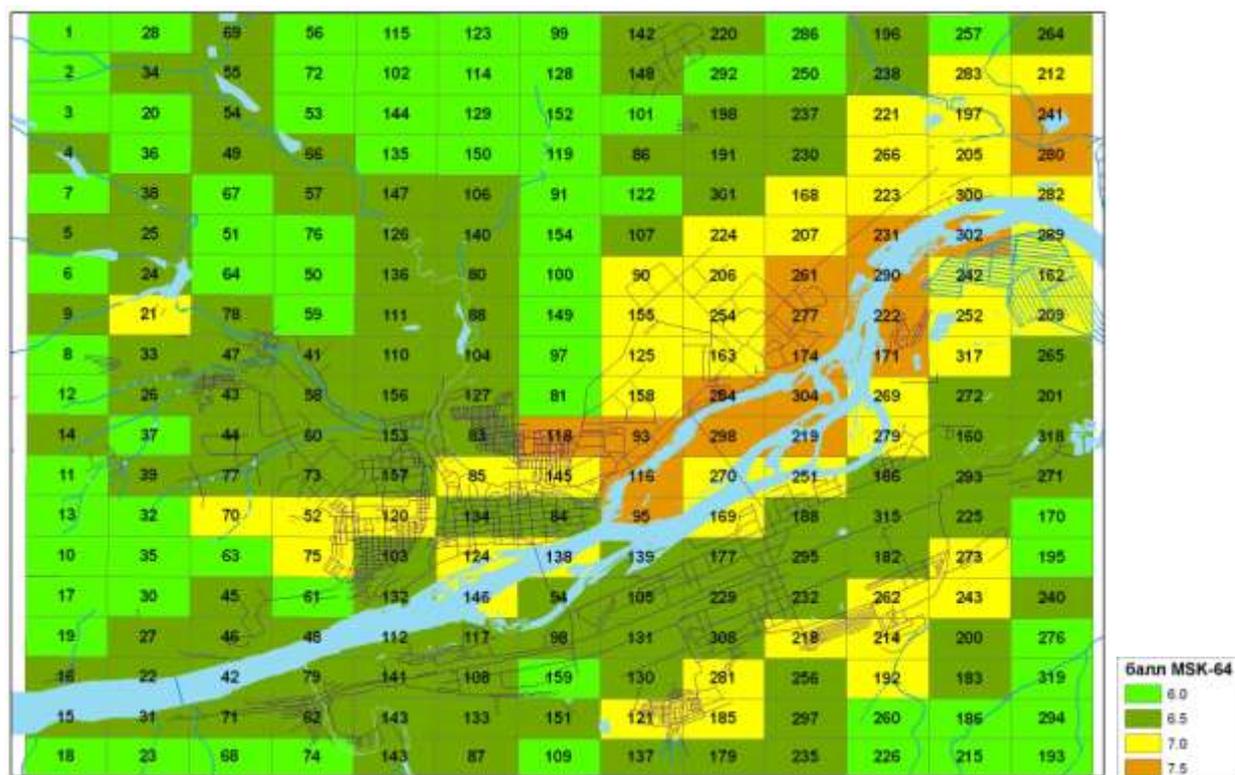


Рис. 1. Схема сейсмического районирования территории г. Красноярска и его окрестностей на основе экспертной оценки геодинамических факторов

На основе данных о геологическом строении по результатам бурения инженерно-геологических скважин на строительных площадках выполнено математическое моделирование и рассчитаны амплитудно-частотные спектры реакции геологической среды на сейсмические воздействия.

Полученные в результате моделирования акселерограммы (рис. 2) в 110 точках на территории города позволяют наряду с приращением сотрясаемости (бальности) учитывать возможные амплитудно-частотные резонансы в основаниях проектируемых сооружений.

При этом получена хорошая сходимость инженерно-геофизических данных, результатов математического моделирования и экспертных оценок геодинамических факторов, что повышает достоверность выполненного сейсмического районирования территории г. Красноярска.

Для обоснования региональных нормативов сейсмостойкого строительства необходимо увязать между собой геодинамические риски и СНиПы на строительство.

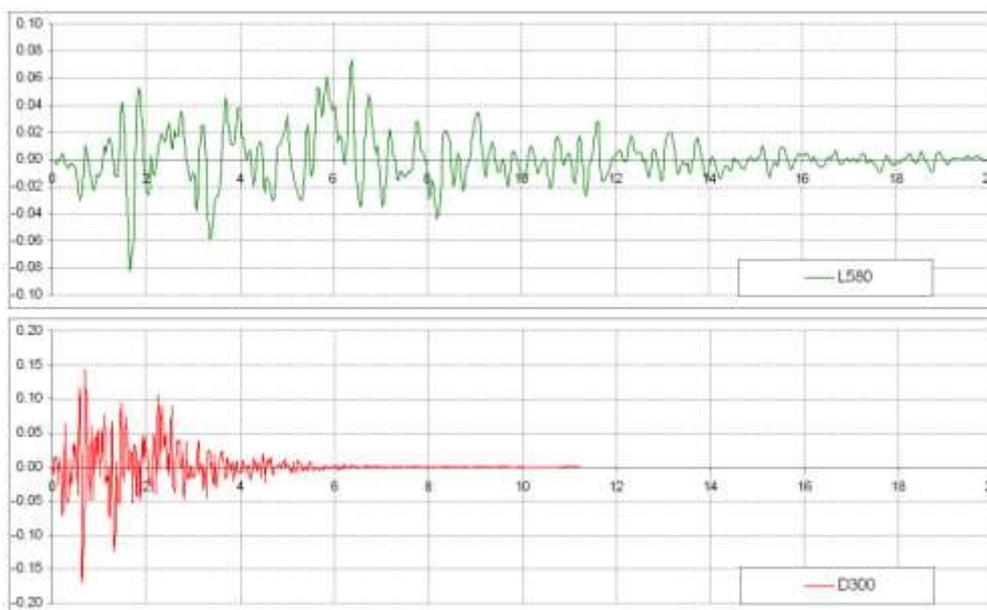


Рис. 2. Синтетические акселерограммы для зон ВОЗ

Новая концепция проектирования сейсмостойких зданий и сооружений состоит в обязательном выполнении трех условий:

- несущие конструкции зданий и сооружений должны обладать запасом сейсмостойкости, достаточным для неоднократного восприятия расчетной сейсмической нагрузки без существенных повреждений;
- несущие конструкции зданий и сооружений должны обладать запасом сейсмостойкости, достаточным для однократного восприятия сейсмической нагрузки, превышающей расчетную на один балл, без обрушения сооружения в целом или его отдельных частей;
- инженерные коммуникации должны обладать такой же сейсмостойкостью, как здания и сооружения.

Для достижений поставленной цели расчет сооружений и коммуникаций на сейсмическую нагрузку, соответствующую сейсмичности площадки, должен проводиться по второму предельному состоянию; расчет на нагрузку, превышающую сейсмичность площадки на один балл, — по первому предельному состоянию.

При проектировании особо ответственных зданий и сооружений несущие конструкции должны быть рассчитаны по второму предельному состоянию на нагрузки, превышающие расчетную сейсмичность площадки на один балл, и по первому предельному состоянию — на нагрузки, превышающие расчетную сейсмичность площадки на два балла.

Поставленная цель соответствует основным положениям СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия», означает отказ от практики балансирования на грани сейсмического разрушения сооружений в современных условиях недостаточности знаний о силе и характере предстоящего землетрясения и об особенностях работы сооружений под сейсмической нагрузкой.

Сейсмическое районирование и сейсмическое микрорайонирование должны проводиться по двум параметрам; по ускорению и по упругому перемещению горизонтальных сейсмических движений грунта основания. На картах сейсмического районирования каждому району должны быть назначены соответствующие нормативные (средние) ускорения и упругие перемещения сейсмических движений грунта, а также диапазон их изменения в пределах района. Задача сейсмического микрорайонирования — уточнение расчетных значений ускорений и упругих перемещений сейсмических движений грунта в границах диапазона, установленного картой сейсмического районирования.

Исходя из опыта разрушительных землетрясений, следует отказаться от снижения приведенных в СНиП 2.01.07-85 коэффициентов надежности. Кроме того, в состав длительных нагрузок необходимо включать температурно-климатические воздействия. Параметры вертикальной составляющей сейсмического движения грунта и угловой составляющей сейсмических поворотов грунта вокруг вертикальной оси определяются по данным сейсмического микрорайонирования строительной площадки и эпицентрального расстояния до возможного очага землетрясения.

Сейсмостойкость зданий и сооружений рекомендуется рассчитывать методом бегущих волн. При этом необходимо учитывать: пространственный нелинейный характер сейсмической реакции сооружения, податливость и инерционные свойства грунтов основания, накопление повреждений в узлах и элементах сооружения вследствие деструктивной, усталостной, коррозионной, температурно-влажностной деградации материалов.

Спектральный метод расчета сооружений на сейсмический резонанс — частный случай метода бегущих волн, применимый в пределах линейно-упругой реакции системы «сооружение — грунт основания». Технология спектрального метода должна быть основана на применении реальных динамических характеристик этой системы и очищена от эмпирических коэффициентов, лишенных физического содержания и потому не поддающихся проверке или уточнению экспериментальным путем. В расчетах высотных (более 15 этажей) сооружений на акселерограммы сейсмических воздействий необходимо отказаться от гипотезы мгновенного распространения в сооружении волн напряжений и деформаций и учитывать реальные скорости движения изгибных поперечных волн.

Расчет особо ответственных зданий и сооружений в общем случае следует производить методом бегущих волн на индивидуальную искусственную сейсмограмму-эталон. Сейсмограмма-эталон составляется после разработки расчетной модели сооружения и представляет собой последовательность участков сейсмограмм, наиболее опасных для сооружения во время действия каждого участка. Амплитуды перемещений и ускорений в сейсмограмме-этalone ограничены сверху пределами их изменения в расчетном землетрясении. Если с помощью сейсмограммы-этalone не удалось довести расчетную

модель сооружений до предельного состояния, это означает беспредметность поиска реальной инструментальной сейсмограммы той же интенсивности, способной довести расчетную модель сооружения до предельного состояния. В этом случае требование п. 2.2.6 СНиП II-7-81\* выполнено. Такой подход к расчету особо ответственных зданий и сооружений тем более обоснован, чем меньше уверенности в достаточной полноте выборки инструментальных записей сейсмических движений грунта.

В расчетах на сейсмостойкость расчетные модели типовых зданий и сооружений, в том числе параметры движения волн напряжений и деформаций, должны быть идентифицированы с помощью натуральных испытаний. При проектировании особо ответственных зданий и сооружений идентификации подлежит индивидуальная расчетная модель каждого объекта. В качестве основного средства достижений поставленной цели проектирования рекомендуются специальные конструктивные мероприятия, направленные на снижение сейсмической нагрузки на здания и сооружения. Наиболее универсальное и эффективное средство снижения сейсмической нагрузки — сейсмоизоляция — позволяет достичь этой цели и обеспечить относительно небольшую стоимость сейсмостойкого строительства. Применение сейсмоизоляции позволяет внести в сейсмостойкое строительство большее разнообразие архитектурных форм и размеров, в частности увеличить строительство зданий с несимметричными конструктивными схемами, расширить применение кирпичной и каменной кладки.

Конструктивная схема сооружения должна обеспечить статическую неопределимость внутренних сейсмических сил в основных несущих конструкциях. Для сейсмостойкого строительства неприемлема конструктивная схема сооружения с основными статически определимыми несущими связями, не обладающая в предельном состоянии способностью к перераспределению внутренних сил в другие – «лишние» связи. В пользу этого положения говорит опыт разрушения Спитакским землетрясением зданий с ядрами жесткости и разрушение “сейсмостойких” зданий в Кобе (Япония) в 1995 году. Интеграция результатов выполненного сейсмического районирования территории г. Красноярска и изложенных выше требований к проектированию зданий и сооружений позволит разработать региональные нормативы сейсмостойкого строительства на территорию Красноярской агломерации (Красноярск 2020).

### Список литературы

1. **Бондарев, В. П.** Геоморфологический анализ тектонических блоков / В. П. Бондарев // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование: обзор / АОЗТ «Геоинформмарк». – М., 1996. – 43 с.
2. **Гурвич, И. И.** Сейсморазведка / И. И. Гуревич. - М. : Недра, 1975. – 408 с.

3. **Гусев, А. А.** О сейсмологической основе норм сейсмостойкого строительства в России / А.А. Гусев // Физика Земли.- 2002.- № 12. – С. 56-70.

4. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. М.: ОИФЗ, 1999.- 57 с.

5. **Кофф, Г. Л.** Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях / Г.Л. Кофф, Р.М. Лобацкая. - Варшава : ПГИ, 1991.- 224 с.

6. **Сибгатулин, В. Г.** Оценка сейсмической опасности юга Центральной Сибири / В. Г. Сибгатулин, К. В. Симонов, С. А. Перетокин. – Красноярск : КНИИГиМС, 2004.- 194 с.

7. СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.- М. : ГУПЦПП.-1997.

8. СНиП П-7-81. Строительство в сейсмических районах: – М.: Стройиздат, 1982.-49 с.

9. **Шерман, С. И.** Физические закономерности развития разломов земной коры / С.И. Шерман.- Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1977. – 102 с.

10. **Шерман, С. И.** Региональная шкала сейсмической интенсивности для Прибайкалья / С. И. Шерман, Ю. А. Бержинский, Н. И. Демьянович, В. А. Павленко / Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский. - 1999. – С. 135-137.

11. **Шерман, С, И.** Некоторые проблемы построения региональной шкалы сейсмической интенсивности и пути их решения / С. И. Шерман, Ю. А. Бержинский, Н. И. Демьянович, В. А. Павленов // Проблемы земной цивилизации. Иркутск : ИрГТУ, 1996. Вып. 1. Ч. 1. – С. 156-164.

12. **Шерман, С. И.** Региональная шкала сейсмической интенсивности для Прибайкалья / С. И. Шерман, Ю. А. Бержинский, В. А. Павленов / VI международн. конф. «Современные методы».

13. **Шерман, С. И.** Области динамического влияния разломов / С. И. Шерман, С. А. Борняков, В. Ю. Буддо. - Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. – 101 с.

14. Шкала и система измерения сейсмической интенсивности в баллах // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. - М. : Наука, 1975. – С. 7-10.

15. **Айзенберг, Я. М.** Концепция Федеральной программы сейсмической безопасности Российской Федерации (2009-2010). Основные аспекты / Я. М. Айзенберг // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.- 2001. – № 4.

УДК 69.059:624.131

## **СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И КОНСТРУКТИВНАЯ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТЬ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ**

Абовский Н. П., Сибгатулин В. Г., Палагушкин В. И., Перетокин С. А.,  
Краснораменская Т. Г., Забродин С. М., Худобердин И. Р.

### **1. Состояние вопроса. Первые результаты геодинамического мониторинга**

#### **1.1. Сейсмическая активность Красноярского региона**

Для г. Красноярска и прилегающих территорий список известных достаточно сильных исторических землетрясений охватывает временной интервал порядка 200 лет. Первым достоверным значительным по макросейсмике сейсмическим событием в г. Красноярске является землетрясение 11 июня 1858 года. Это землетрясение внесено в официальный каталог сильных землетрясений как 6–7-балльное сейсмическое событие.

В центральной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО), являющейся составной частью Центрально-Азиатского сейсмического пояса, располагается южная и наиболее населенная территория Красноярского края. В центре Красноярской промышленной агломерации, кроме г. Красноярска – одного из крупнейших промышленных центров Сибири, – расположены города Железногорск (с объектами Горно-химического комбината), Дивногорск (с Красноярской ГЭС). На территории агломерации проживает более 1,5 млн. чел. Сейсмической опасности здесь могут быть подвержены города Красноярск, Канск, Ачинск и другие, но наибольшую опасность последствиями землетрясений представляют подземные и надземные сооружения Горно-химического комбината, Красноярская ГЭС, а также Саяно-Шушенская ГЭС, расположенная на юге края.

Большой общественный резонанс вызвали два землетрясения, очаговые зоны которых расположены на юге Красноярского края: Караганское землетрясение 27.10.2000 г., в 180 км на юго-восток от г. Красноярска,  $M_S=5.5$ , энергетический класс  $K=13.6$ ; Синеборское землетрясение 25.01.03 г. в районе п. Шушенское  $M_S=3.75$ , энергетический класс  $K=10.8$ . Оба эти события создали интенсивность сотрясений в Красноярске, Канске, Ужуре, Железногорске от 3 до 4 баллов. В результате краевые власти озаботились проблемой сейсмобезопасности и создали региональную систему мониторинга сейсмических событий. Таким образом, была создана эффективная система мониторинга и прогноза сейсмических событий. Однако сейсмобезопасность требует знания не только где, когда и какой силы произошло (произойдет) событие, но и оценку сейсмостойкости зданий и сооружений. Только в городе Красноярске более 300 тыс. м<sup>2</sup> жилого фонда находится в аварийном состоянии, т. е.

при незначительных геодинамических подвижках грунта (не говоря уже о вероятных сейсмических событиях в 5-6 баллов) возможны массовые порывы коммуникаций, разрушение ветхих зданий. Поэтому, наряду с мониторингом и прогнозом геодинамических событий, необходима работа по обеспечению сейсмической безопасности городской инфраструктуры, оценке сейсмодефицита зданий и сооружений и инженерному укреплению объектов, имеющих сейсмодефицит.

Среди многообразия вопросов обеспечения сейсмической безопасности выделяются две первостепенные задачи:

Уточнение сейсмических нагрузок с учетом геологических условий на основе сейсмического мониторинга и *сейсмического микрорайонирования*.

Обеспечение сейсmobезопасности путем применения соответствующих конструктивных элементов, способных снижать сейсмическое воздействие на фундамент и в целом на сооружение.

Для решения упомянутых задач путем интеграции знаний и специалистов сейсмологии, инженерной геологии, геофизики, математического моделирования и строительных наук СФУ и Красноярский научный центр СО РАН организовали научный инженерный центр геодинамики и сейсмостойкого строительства (НИЦГСС) в Красноярске.

## **1.2. Оценка потенциальной сейсмической опасности территории г. Красноярска и его окрестностей в соответствии с геодинамическими факторами**

Изучение геологической среды территории г. Красноярска с позиции геодинамики для уточнения сейсмической опасности ранее не проводилось. С целью учета влияния грунтовых условий на сейсмичность в 2008 году СФУ совместно с НИЦГСС провели работу по уточнению сотрясаемости и разработали схему сейсмического районирования территории г. Красноярска.

Для построения схемы использовалась методика определения сотрясаемости ИЗК СО РАН, апробированная при построении карты сейсмического микрорайонирования для территории г. Иркутска [4], а также математическое моделирование сотрясаемости на основе применения программы (Nonlinear Earthquake Response Analysis – NERA) и инженерно-геофизические исследования для уточнения влияния грунтов на исходную сейсмичность территории. Результаты в виде схемы сейсмического районирования территории г. Красноярска представлены на рис. 1.

В свою очередь опрос населения о макроэффектах последнего ощутимого землетрясения, произошедшего 24 марта 2009 г. в 150 км от города, подтверждает результаты исследований. По результатам оценки геодинамических факторов на территории г. Красноярска выделено четыре зоны с различной вероятной интенсивностью сотрясаемости: 6; 6,5; 7; 7,5 баллов. Город Красноярск и прилегающая территория относительно оценки сотрясаемости ОСР-97-А имеет в 70 % приращение балльности от 0 до 0,5, и 30% от 1,0 до

1,5. Таким образом, около 30 % площади города находятся в 7-7,5 балльной зоне сотрясаемости при нормативной 6 баллов.

Зоны с самой высокой интенсивностью сотрясаемости в 7,5 баллов вытянуты вдоль береговой линии преимущественно на левом берегу р. Енисей в Центральном и Советском районах. Они приурочены к подмываемому берегу, осложненному развитием эрозионно-просадочных процессов и сложенному мощными лессовидными отложениями. Лесс, легкая песчанистая глина, глинистый грунт относятся к III категории грунтов по сейсмическим воздействиям (СНиП-II-07-81\*, табл.1), эти породы значительно увеличивают интенсивность сотрясаемости земной поверхности при землетрясениях.

Семибалльные зоны сотрясаемости характеризуются преобладанием в разрезе рыхлых аллювиально-делювиальных четвертичных отложений, подверженных просадочным явлениям при техногенном затоплении, широко распространенном на территории большого промышленного города. К таким зонам отнесены отдельные площади преимущественно в Советском районе, отмечаются аналогичные неблагоприятные факторы, способствующие усилению сотрясаемости в Северо-Западном, Центральном, Ленинском районах города.

Зоны со значением 6,5 баллов занимают большую часть территории г. Красноярска. Для них характерно преобладание в разрезе непросадочной толщи грунтов, представленной галечниками или элювиальными отложениями, образованными в результате выветривания коренных пород. Осложняет данный разрез уклон поверхности рельефа, способствующий развитию плоскостного смыва и овражно-балочной сети, что значительно снижает крепость пород. С увеличением уклона изменяется динамическая устойчивость пород в разрезе и повышается вероятность их смещений при воздействии сейсмических колебаний, что и учтено при экспертной оценке.

Относительно устойчивые, 6 балльные зоны интенсивности сотрясаемости на территории города практически не распространены. Они приурочены к окрестностям города, на удалении от рыхлых речных отложений и техногенного подтопления, занимают отдельные поверхности пологих водоразделов. Разрез отложений здесь представлен в различной степени выветрелыми коренными породами средней крепости.

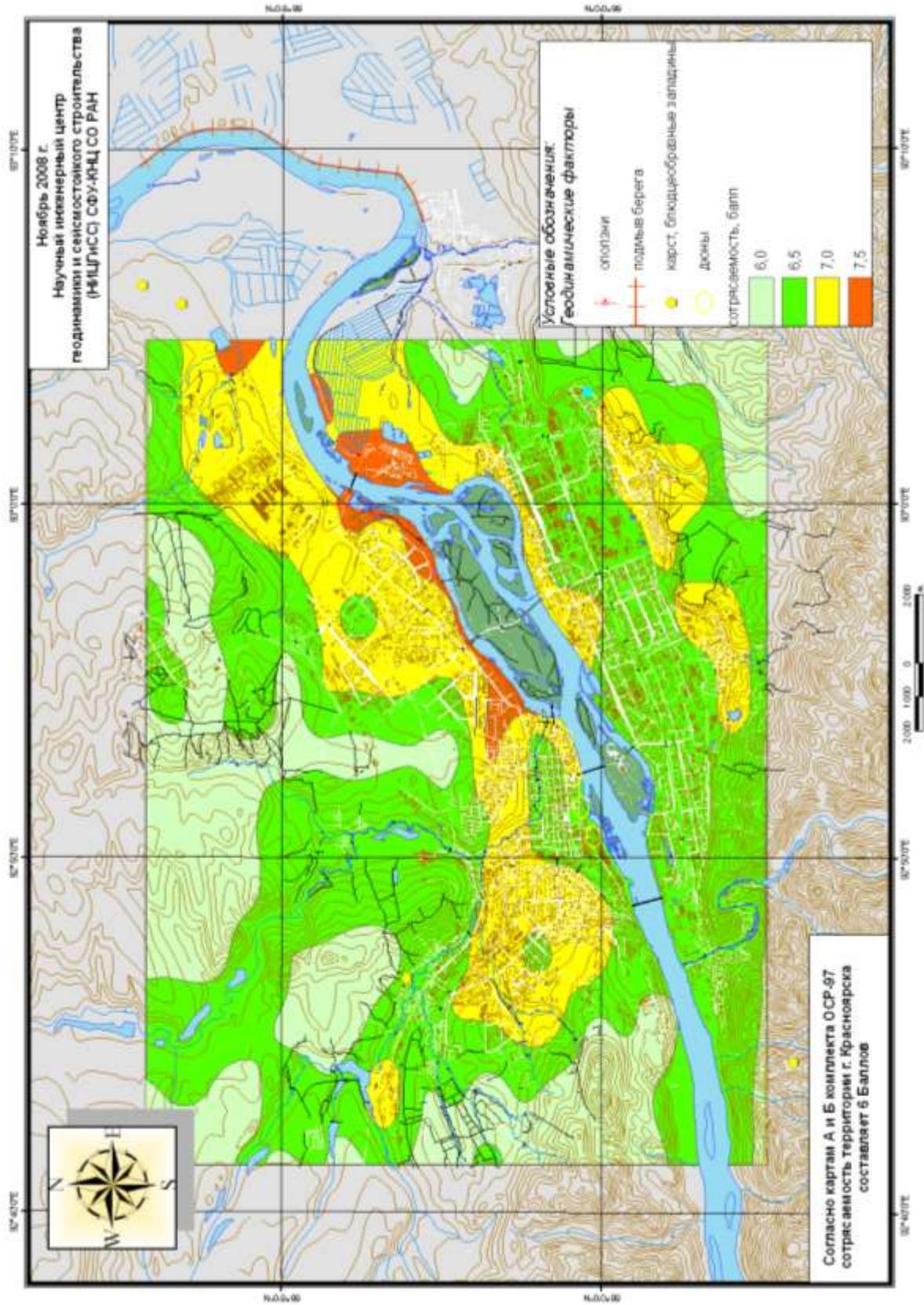


Рис. 1. Схема сейсмического районирования территории Красноярска.

Очевидно, что существующая нормативная карта ОСР-97 масштаба 1 : 8 000 000 на территорию России [3], на основании которой строители должны устанавливать категории грунтов по сейсмическим воздействиям, не способна обеспечить необходимую детальность при городской застройке.

### **1.3. Устранить противоречия между действующими федеральными документами**

До настоящего времени в Красноярском крае не проводились работы по сейсмическому микрорайонированию, а существующая нормативная карта ОСР-97 не обеспечивает детальность сейсмической опасности территории и дает весьма усредненные и зачастую заниженные оценки. Проведенный первый этап работ по сейсмическому районированию города выявил неравномерность и зоны *повышенной на 1-1,5 балла сейсмической опасности*. В свою очередь существующие федеральные документы на практике создают препятствие для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию. Таким серьезным препятствием для проведения СМР является проявившееся *противоречие между двумя действующими федеральными документами*: СНиП II-7-81\* пункт 1.4, в котором имеет место *допущение* использовать среднее значение интенсивности сейсмических воздействий на основе комплекта карт ОСР-97 и действующей ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 – 2013 годы» (постановление №265 от 23.04.2009 г.), нацеленной на снижение несейсмостойких зданий и сооружений. В крае отсутствуют уточненные оценки сейсмических нагрузок на основе сейсмического микрорайонирования. Региональная власть не может отменить или ужесточить требование СНиПа II-7-81\* при проектировании и строительстве, а также при определении сейсмодефицита существующих зданий. Пользуясь этим, строительные и хозяйственные организации идут по пути наименьшего сопротивления и используют указанные допущения СНиПа II-7-81\* и не проводят работ по сейсмическому микрорайонированию. Это приводит к росту объемов несейсмостойкого строительства и неточности в определении сейсмодефицита для новых и старых строений.

### **2. Разработка вариантов конструктивной сейсмобезопасности для снижения сейсмических воздействий на систему в целом «фундамент-верхнее строение»**

Развитие и применение методов конструктивной сейсмобезопасности диктуется современной объективной необходимостью и объясняется требованиями повышения безопасности (живучести) строений, стремясь обойти сложности моделирования сейсмических воздействий и несовершенства теории и методов расчета.

В районах повышенной сейсмичности и сложных грунтовых условиях целесообразно вместо приспособления традиционных конструкций развивать новые конструктивные решения, в первую очередь фундаменты и сейсмозащитные устройства, снижающие сейсмические воздействия. Необходимо ши-

ре развивать применение конструкций и методов конструктивной сейсмобезопасности, используя как новые, так и древнейшие подходы. К таким подходам и принципам относятся:

- Рациональное пространственное формообразование цельной единой системы «фундамент-здание», в том числе многосвязанных замкнутых систем.

- Разработка конструкций малочувствительных к негативным сейсмическим воздействиям, в том числе пространственные фундаментные платформы (ПФП) на скользящем слое, расположенном между основанием и платформой.

- Первоочередное использование таких сейсмозащитных устройств, которые снижают (или предотвращают) передачу энергии сейсмических колебаний на фундамент и систему *в целом*. Таким устройствам целесообразно отдавать предпочтение по сравнению с традиционной сейсмоизоляцией, которая снижает воздействие на отдельные части здания.

### 2.1. О классификации методов сейсмозащиты

Профессором Уздиным А. М. была предложена в 1993 году схема классификации сейсмозащиты, но в ней не предусмотрены способы *внешнего снижения* сейсмических воздействий и защитные устройства (экранные), в том числе малочувствительные конструкции, траншеи, фундаментные волногасящие платформы. Следует отметить, что в недавних обзорах и публикациях (в том числе в статье проф. В. И. Смирнова в журнале «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» № 2, 2008) по современным способам сейсмоизоляции также не упоминаются данные способы, т. е. данное направление развития способов *внешней* сейсмозащиты путем *снижения* сейсмического воздействия на здания (сооружения) не выделено и обделено вниманием, хотя его эффективность может быть в значительно большей степени, чем традиционные подходы.

Отметим принципиальные отличия данного направления от традиционных сейсмоизоляционных и защитных устройств: есть такое понятие в конструировании, как энергетическая (силовая) проводимость, т. е. оценка непрерывности силового потока от места приложения нагрузки через элементы конструкции к опорам. По мере энергетической проводимости можно оценивать взаимодействие элементов между собой, выяснять «узкие» места, концентрацию усилий и т. п. Понимание состояния энергетической проводимости необходимо при создании (проектировании) конструкций и особенно важно для управления НДС конструкции. С этой позиции традиционная сейсмоизоляция и демпфирующие устройства, установленные между элементами конструкции (например, между фундаментом и верхним строением) нацелены на некоторое прерывание или рассеивание силового потока, который через фундамент проникает в другие части здания. Говоря образно языком военной стратегии, «врага» (внешнее воздействие) пропускают на свою внутреннюю территорию «в ловушку, а затем рассеивают или уничтожают». Дру-

гая стратегия: врага не допустить на территорию «фундамент-здание». Эта стратегия предлагаемого снижения сейсмического воздействия, т. е. создание устройства (например, скользящий слой или заградительная траншея), при которых мощная сейсмическая волна «проскальзывает» под фундаментом или обходит его стороной, не проникая внутрь системы «фундамент-здание». Примером может служить пространственная наземная фундаментная платформа на скользящем слое. Данная отличительная стратегия создает и новые конструктивные преимущества для сейсмостойкого строительства. Принципиально они объясняются следующим: при традиционной сейсмозащите используемые внутри здания устройства для прерывания или рассеивания энергетического потока ослабляют цельность системы, разделяя одни части от других. Они являются как бы инородными включениями, которые при отсутствии сейсмике не нужны. Других функций не выполняют и удорожают строительство. Например, установка демпферов или кинематических опор и т. п. над фундаментом, или устройство гравийной подушки над свайным ростверком или скользящие пояса над фундаментом на металлических пластинах с упругими и жесткими демпферами – это традиционные примеры сейсмоизоляции, которые расчленяют систему на части и ослабляют ее. Применяемые современные демпфирующие устройства, как правило, являются неконструктивными, т. е. дополнительными элементами. Предлагаемые устройства, например ПФП на скользящем слое, являются частью системы, которая укрепляет цельность всей системы и выполняет ряд конструктивных и эксплуатационных функций как при наличии, так и при отсутствии сейсмике. Можно сказать, что ПФП на скользящем слое, представляет такое системное конструктивное решение, наделяющее систему свойствами, которые не имеют традиционные сейсмоизоляционные устройства.

Дополненная схема классификации приведена на рис. 2.

## **2.2. О роли связей между фундаментом и основанием и возможности использования этих связей как управляющих**

В действующих нормативных документах принято, что сейсмическое ускорение фундаментов (и всего сооружения) и основания совпадает. Однако инструментальные данные свидетельствуют, что ускорение фундаментов могут в несколько раз отличаться от ускорений грунтов основания [1].

Это обстоятельство можно объяснить тем, что не вся энергия сейсмического возмущения от грунта основания передается на фундамент, т. е. передается некоторая часть возмущения из-за особенностей связей между фундаментом и основанием. «Потеря» (утечка) части этой энергии может происходить по двум причинам:

- из-за демпфирующего эффекта (естественного или искусственного инженерного) связей между фундаментом и основанием (в том числе из-за сейсмоизоляции);

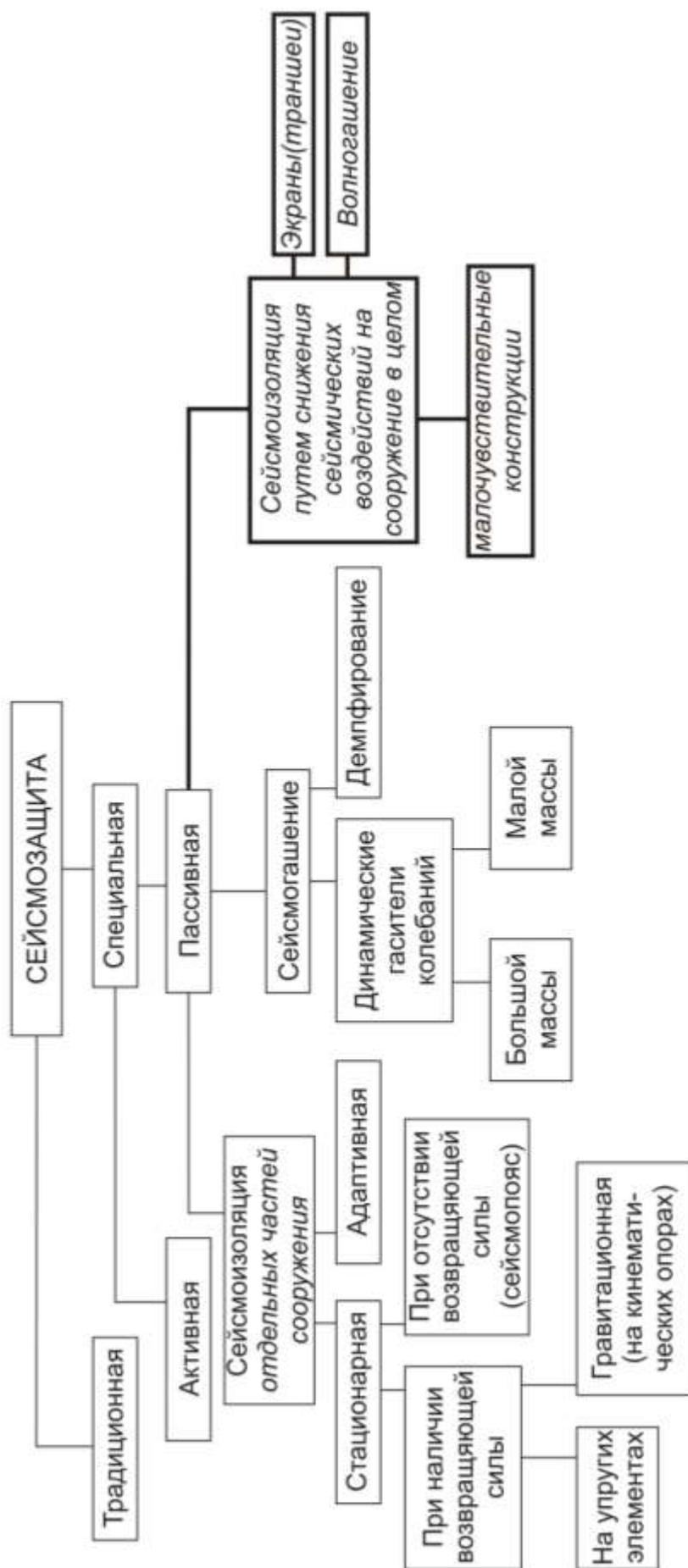


Рис. 2. Дополненная классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы (курсивом выделены дополнения).

- из-за «проскальзывания» горизонтальной сейсмической волны под фундаментом (при преодолении сил трения и специфики односторонних связей между фундаментом и основанием).

Отметим, что устройства демпфирования и сейсмоизоляции получили достаточное развитие. В то же время устройства для проскальзывания, в том числе путем регулирования и снижения трения, разработаны недостаточно. Хотя, современные успехи в создании новых материалов и технологий позволяют надеяться на прогресс в этой проблеме. Удалось показать на основе компьютерного моделирования [1], что устройство скользящего слоя (например, в виде нескольких слоев пленки) между фундаментной плитой и основанием приводит к снижению во много раз сейсмического воздействия на фундамент и верхнее строение.

Идея пространственных платформ с элементом проскальзывания имеет древнейшие исторические конструктивные корни во многих сооружениях, дошедших до наших дней. Можно надеяться, что конструкции проскальзывания получат современное конструктивное развитие и будут использованы в качестве управляющих параметров для повышения сейсмобезопасности зданий и сооружений.

### **2.3. Некоторые принципы и решения конструктивной сейсмобезопасности**

С чего начинается конструктивная сейсмобезопасность? Прежде всего с пространственного формообразования системы и связи ее с окружающей средой (основанием), т. е. система, включающая верхнее строение вместе с фундаментом (будучи даже отделенной от основания) должна быть геометрически неизменяемой, многосвязной (так, чтобы обладать способностью перераспределения усилий при разрушении отдельных связей, т.е. чтобы локальные повреждения не вызывали глобального обрушения). Связи данной системы с основанием, т.е. источники сейсмических воздействий, не должны передавать (или уменьшать) негативные воздействия от основания на фундамент здания (сооружения). Таким негативным воздействием являются, главным образом (по мнению авторов) **горизонтальные (тангенсиальные) смещения**. (В справедливости данной гипотезы авторы убедились на основе численного эксперимента моделирования пространственных фундаментных платформ на скользящем слое). Отсюда следует ряд принципиальных конструктивных предложений:

- фундамент вместе с верхним строением должен представлять замкнутую многосвязную (коробчатую) систему. Разобщение, устройство между фундаментом и верхним строением упругих демпферов, нежелательно. Создание зданий замкнутого типа, объединенных в одну цельную многосвязную систему «фундамент – верхнее строение», например, коробчатого типа, способную воспринять сейсмические воздействия различного направления, что особенно важно при сложных грунтовых условиях, для неоднородных грунтовых площадок и др. Существенно снижается негативное воздействие

несимметричных (в том числе крутильных) толчков, а также снимаются архитектурно-плановые ограничения, требующие проектирования симметричных конструкций. Важной эксплуатационной надежностью обладают здания замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое: они не теряют свойство сейсмостойкости при повторяющихся сейсмических воздействиях;

- используя пространственное формообразование, устраивать фундамент в виде сплошной платформы (ПФП) достаточной жесткости при уменьшенном весе, а также совмещение конструктивных и эксплуатационных функций. ПФП имеют малую чувствительность к неравномерности осадок (просадок), большая распределительная способность, большая изгибная жесткость при относительно меньшем расходе материала, теплоизоляционные свойства, резервную емкость и др.;

- между фундаментной плитой и основанием устраивать скользящий слой, минимизирующий передачу горизонтальных сейсмических смещений основания на фундаментную плиту, т.е. максимально снизить передачу сейсмических воздействий на фундамент (сейсмическая волна проскальзывает под фундаментной плитой, оставляя ее практически на месте);

- между торцевой частью фундамента (в случае его заглубления) и основанием предусматривать воздушный зазор (или упругую засыпку), чтобы уменьшить (исключить) лобовое (фронтальное) воздействие волны на фундамент.

В итоге достигается экономичность и надежность, о чем свидетельствует опыт проектирования и строительства в сложных грунтовых условиях в г. Красноярске. Отметим, что компьютерное моделирование платформ на скользящем слое показало снижение сейсмических воздействий во много раз. *Таким образом, главной целью конструктивной сейсмобезопасности должны быть решения по снижению сейсмического воздействия на систему (здание+фундамент), а затем по изолированию (демпфирование, перераспределение и т.п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий.* В монографии [1] приведен ряд запатентованных разработок, в том числе зданий замкнутого типа с пространственной фундаментной платформой на скользящем слое, а также опыт строительства в сложных грунтовых условиях. Целесообразно, по идее, не допустить (или снизить) сейсмическое воздействие на систему, чем пропустить их и бороться с ними внутри самой системы. Следует отметить, что традиционно методы и устройства сейсмоизоляции отдельных частей, например верхнего строения от фундамента покрытия от стен и т.п.) получили многообразные решения. В то же время методы и устройства, снижающие сейсмическое воздействие на систему в целом, разработаны недостаточно. Действительно, в действующем СНиПе и многих публикациях даны полезные рекомендации по конструктивным решениям верхних строений из разных материалов, но практически полностью отсутствуют соображения (исследования) о влиянии типа фунда-

мента и его связи с верхним строением как система и тем более приема уменьшения сейсмического воздействия на систему. Это касается и применения пространственных фундаментных платформ.

### **3. Предложения в проект решения VIII Российской Национальной Конференции**

1. Устранить противоречие между действующими федеральными документами: пункт 1.4 СНиПа II-7-81\* и ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 – 2013 годы». Суть противоречия в том, что допущение в п. 1.4 препятствует проведению работ по сейсмическому микрорайонированию. Строительные и хозяйственные организации, пользуясь этим допущением, не проводят работы по СМР, что ведет к росту объемов несейсмостойкого строительства. Региональная власть не может отменить и исправить такое сложившееся положение. Необходимо VIII-й Российской Национальной Конференции по сейсмической безопасности сооружений и городов и сейсмическому районированию обратиться в Минрегион России с предложением устранить указанное противоречие для включения в комплекс инженерно-геологических изысканий работы по сейсмическому микрорайонированию для ответственных сооружений (не дожидаясь принятия нового СНиПа).

2. Учитывая состояние и развитие проблемы сейсмостойкого строительства, необходимо активнее развивать методы и устройства конструктивной сейсмобезопасности особенно для сложных грунтовых условий, включая предложенные малочувствительные конструкции замкнутого типа с применением пространственных фундаментных платформ на скользящем слое.

### **Список литературы**

1. **Абовский, Н. П.** Конструктивная сейсмобезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях: научное издание/ Н.П. Абовский, В. Г. Сибгатулин, В. И. Палагушкин и др. Красноярск : СФУ, 2009. – 186 с.

2. **Абовский, Н. П.** Геодинамическое районирование – основа разработки нормативов сейсмостойкого строительства на территории «Красноярск 2020» /Н.П. Абовский, В.Г. Сигматулин, С.А. Перетокин и др. / Вестник отделения строительных наук РААСН. 2009. Т. 1. №13. С. 5-16.

3. **Уломов, В.И.** Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. /В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.

4. **Шерман, С.И.** Региональные шкалы сейсмической интенсивности. – /С.И. Шерман и др. Новосибирск: 2003. 189 с.

УДК 69.03;534.074:624.139

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ В КРАСНОЯРСКОМ РЕГИОНЕ

Абовский Н. П. , Марчук Н. И., Палагушкин В. И., Максимова О. М.

Рассматривается комплексная система повышения сейсмостойкости зданий и их защиты от сейсмических и техногенных воздействий, включающая создание зданий замкнутого типа на пространственной фундаментной платформе, на скользящем слое, расположенном между основанием и фундаментом, использование защитных траншей с заполнителем и без него, а также волногасящего эффекта пространственной платформы при различных динамических воздействиях. Наибольшее внимание обращено на грунты III-й категории, более подверженные сейсмическому риску.

Различные виды инженерных работ, такие как динамическое уплотнение грунта, забивка свай, вибрационные воздействия от движущихся транспортных потоков, различные техногенные и сейсмические нагрузки могут вызвать сильные колебания верхнего слоя грунта. Последствием распространения волн от этого является возбуждение колебаний зданий, расположенных по соседству с источником, что отрицательно сказывается как на техническом состоянии зданий, так и на санитарно-гигиенических условиях пребывания в них людей.

*Предлагаемая комплексная система повышения сейсмостойкости зданий и сооружений включает:*

**1. Новые принципы и конструктивные решения строительства в сложных грунтовых условиях, предлагающие использовать свойства слабых грунтов путем применения наземных сплошных пространственных фундаментных платформ (ПФП), не нарушающих подземный природный гидротехнический режим и позволяющих предохранить подземные слои от температурных и других негативных разрушительных воздействий. ПФП могут реализоваться не только в незаглубленных (наземных) вариантах, но и в подземных в виде одного или нескольких подземных этажей, монолитное, конструктивное решение которых выполняет роль цельных пространственных коробчатых фундаментов типа глобального постамента под верхнюю часть замкнутого здания с ПФП.**

Для этого продолжены конструкторские разработки по полученным патентам. Разработан набор ПФП с разными технологиями изготовления для многоэтажных, малоэтажных (патенты РФ № 59650, 64650, 69094) и большепролетных (патент РФ № 60569) зданий, пространственная фундаментная платформа под агрегаты с динамической нагрузкой (патенты РФ № 63375, 60669) и др. для строительства на слабых и вечномерзлых грунтах [1].

Конструктивное объединение ПФП с верхним строением в «здания замкнутого типа» как пространственных многосвязных (коробчатых) систем повышает их жесткость, живучесть, конструктивную безопасность и сопротивляемость.

Разработана комплексная система мер по повышению сейсмостойчивости здания, включающая демпфирование и волногашение с помощью пространственных фундаментных платформ, защитных траншей, скользящего слоя, замкнутости зданий (патент РФ № 73350 рис. 1).

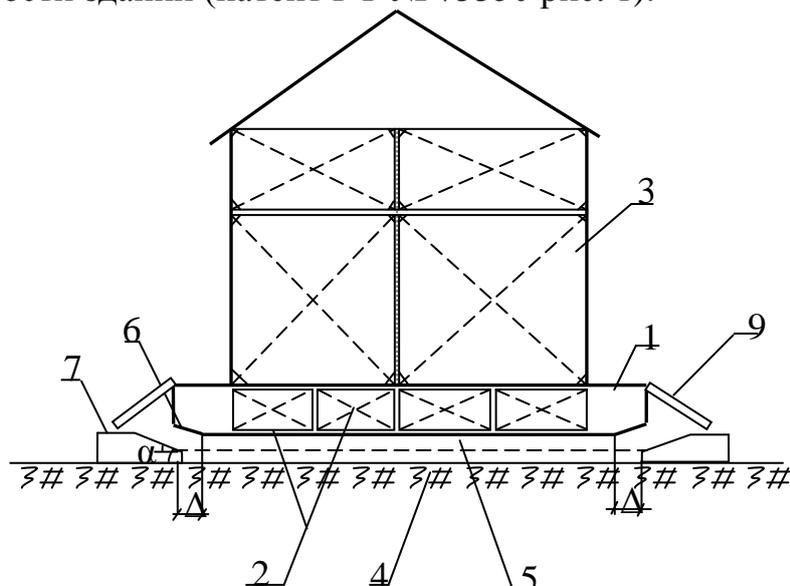


Рис. 1. Комплексная система сейсмостойчивости здания или сооружения:  
1- пространственная фундаментная платформа; 2 – железобетонные элементы; 3 – здание или сооружение; 4 – основание грунта; 5 – скользящий слой ; 6 – скошенная нижняя грань пространственной фундаментной платформы; 7 – тормозное устройство возвратного типа в виде упора, прочно соединенное с основанием ; 8 – зазор; 9 – защитные плиты

**Патент №73350**

Предложенная в патенте комплексная система сейсмостойчивости здания или сооружения (рис. 1), эффективно работающая против всех видов сейсмических и динамических воздействий, включает:

— траншею, выполненную перед платформой, снижающей уровень воздействия, передающегося от грунта на фундамент от любого вида горизонтальных сейсмических воздействий: несимметричных, крутильных наклонных и др.;

— установку на скользящем слое монолитной пространственной фундаментной платформы, объединенной с установленным на ней зданием или сооружением в замкнутую систему, что позволяет уменьшить трение между платформой и основанием и предотвращает передачу на фундамент горизонтальных сейсмических воздействий, мощность которых преодолевает трение;

— монолитную пространственную фундаментную платформу, обеспечивающую условия для устройства и работы скользящего слоя и создающую

конструктивную безопасность путем замкнутости здания с платформой со скользящим слоем;

— сохраняет свои свойства при повторных толчках и снабжена тормозным устройством возвратного типа, установленным с возможностью ограничения перемещения пространственной фундаментной платформы и возврата ее в эксплуатационное положение.

В целом данный комплекс повышает сейсмоустойчивость и надежность конструкции зданий или сооружений на монолитной пространственной фундаментной платформе и обеспечивает экономичность их применения даже в сложных грунтовых условиях и сейсмичности.

## **2. Эффективные устройства сейсмоизоляции в виде скользящего слоя, повышающие сейсмостойкость зданий и сооружений**

Разработано применение скользящего слоя между ПФП и основанием. Такое размещение сейсмоизоляции (скользящего слоя) альтернативно традиционному размещению сейсмоизоляции между фундаментом и другими частями здания, сохраняет целостность конструктивной системы «фундамент-здание» и повышает его надежность при любых видах сейсмического воздействия, в том числе несимметричных, крутильных и пр.

Выполнено компьютерное моделирование и исследовано НДС здания на пространственной фундаментной платформе на скользящем слое при действии горизонтальной вибрационной нагрузки. Расчетная схема «здание – пространственная фундаментная платформа» на скользящем слое представляет достаточно сложную нелинейную модель из-за учета трения и возможных кинематических перемещений (в результате преодоления трения).

Для определения результирующего сейсмоизолирующего эффекта можно рассмотреть стадию работы, когда трение преодолено, при этом можно использовать вспомогательную схему, в которой удалены или существенно ослаблены горизонтальные (тангенциальные) связи между ПФП и основанием, т.е. существенными остаются только вертикальные (нормальные) связи.

Исследования проводились для модели 5 этажного каркасного здания, расчетная схема которого принималась в виде квадратной в плане пространственной рамы с узловыми сосредоточенными массами (сечение колонн 0,4х0,4м, ригелей 0,6х0,3м; материал – бетон  $E = 3,25 \cdot 10^4$  Мпа,  $\mu = 0,2$ ), расположенной на сплошной фундаментной плите размером 16х16х0,5м (рис. 2).

Расчеты пространственной рамы на горизонтальную вибрационную нагрузку  $P(t) = P_0 \cdot \sin(\theta t)$ , приложенную в узлах верхнего слоя грунтового основания (узловая масса  $m = 20$  т,  $P_0 = 294$  кН,  $\theta = 20$  рад/с) выполнялись по ПК SCAD Office с учетом упругих свойств грунтового основания по пространственной модели упругого невесомого полупространства.

Грунт III категории ( $E = 11$  Мпа,  $\mu = 0,3$ ) представлен пространственным массивом  $50 \times 50 \times 26$  м<sup>3</sup>. Используются объемные конечные элементы. Нижняя плоскость массива грунта закреплена неподвижно.

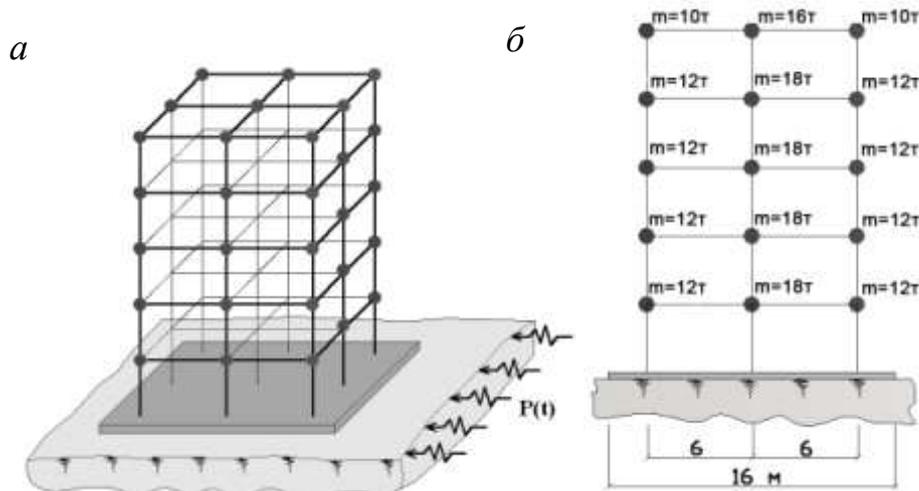


Рис. 2. Пространственная расчетная схема 5-этажного каркасного здания на ПФП: *а* – общий вид; *б* – массы в узлах рам здания

Рассматривалось две модели скользящего слоя. В первой – скользящий слой моделировался вертикальными металлическими стерженьками (длиной 0,1 м, квадратного сечения 0,05x0,05 м), шарнирно соединенными с фундаментной плитой и грунтовым основанием с исключением горизонтальных связей между фундаментной плитой и основанием.

При этом в угловых точках фундаментной плиты для обеспечения геометрической неизменяемости были наложены не растягивающиеся горизонтальные связи. Во второй модели скользящий слой моделировался стержневыми элементами (длиной 0,5 м, с практически нулевой изгибной жесткостью –  $EJ = 0,098 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$ ), жестко соединенными в узлах конечно-элементной сетки с фундаментной плитой и основанием.

Как видно из результатов расчетов, представленных в виде эпюр изгибающих моментов на рис. 3, обе модели скользящего слоя дают хороший сейсмоизолирующий эффект. Так, для 1-й модели скользящего слоя наибольшие изгибающие моменты в колоннах и ригелях рамы получились равными 10,23 и 12,09 кН·м (рис. 3, б); для 2-й модели скользящего слоя – 9,53 и 12,97 кН·м (рис. 3, в), что в среднем более чем в 40 раз меньше, чем для рамы на ПФП без скользящего слоя (рис.3, а).

Следует отметить, что для 1-й модели скользящего слоя горизонтальные перемещения фундаментной плиты, с расположенной ней рамой получились практически нулевыми (0,003 мм) по сравнению с перемещениями верхнего слоя грунта (10 мм), а для 2-й модели скользящего слоя равны 0,3 мм. То есть при сейсмическом воздействии плита, особенно для 1-й модели скользящего слоя, практически не перемещается в горизонтальном направлении по сравнению с точками грунтового основания.

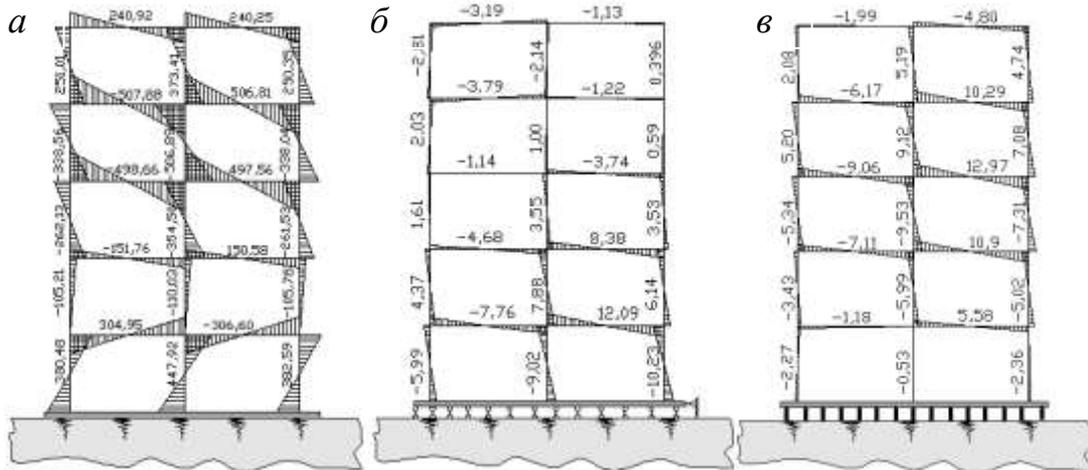


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов (кН·м) в средней раме от действия горизонтальной гармонической нагрузки  $P(t)$ :

*a* – рама на ПФП без скользящего слоя;

*б, в* – рама на ПФП со скользящим слоем по 1-й и 2-й модели расчета

При этом горизонтальное перемещение верха здания для рамы на сплошной фундаментной плите составило 36,6 мм, а для рамы на плите со скользящим слоем 0,11 и 0,6 мм, соответственно для первой и второй моделей скользящего слоя. Полученные результаты показывают, что скользящий слой между ПФП, соединенной с верхним строением и грунтовым основанием, существенно снижает усилия в верхнем строении. Отметим, что устройство скользящего слоя хорошо сочетается с фундаментами в виде сплошной плиты (ПФП), позволяющей строить здания и сооружения на слабых грунтах.

Выполненные аналогичные расчеты при других частотах динамического воздействия подтверждают эффективность применения сейсмоизолирующего слоя, причем для строительства не только на слабых грунтах (III категории), но и на других грунтах.

### 3. Применение экранных устройств в виде защитной траншеи

Для анализа эффекта влияния траншеи на НДС верхнего строения при динамических воздействиях была выполнена серия компьютерных экспериментов по ПК SCAD Office на модели 5-ти этажного каркасного здания, расположенного на ПФП с учетом упругих свойств невесомого грунтового основания (грунт III категории) (см. рис. 2), на действие горизонтальной гармонической нагрузки  $P(t) = P_0 \cdot \sin(\theta t)$ , приложенной в узлах верхнего слоя грунтового основания.

Для защиты здания от вибрационной нагрузки в грунтовом массиве располагалась траншея длиной 26, шириной 2 м (при фундаментной плите размером 16x16 м).

Исследовалось изменение усилий (изгибающих моментов) в конструкциях верхнего строения (пространственной рамы) в зависимости от глубины траншеи и от места расположения (расстояния) траншеи от источника возмущений или здания, при различных ( $\theta=10$  рад/с,  $\theta=20$  рад/с,  $\theta=50$  рад/с) частотах вибрационной нагрузки. Эпюра изгибающих моментов в раме на ПФП без

траншеи приведена рис. 3, а. Результаты численных исследований (в виде эпюр изгибающих моментов в пространственной раме и графиков изменения величины  $M_{\max}$  в зависимости от глубины траншеи, и ее расположения от здания) даны на рис. 4-7.

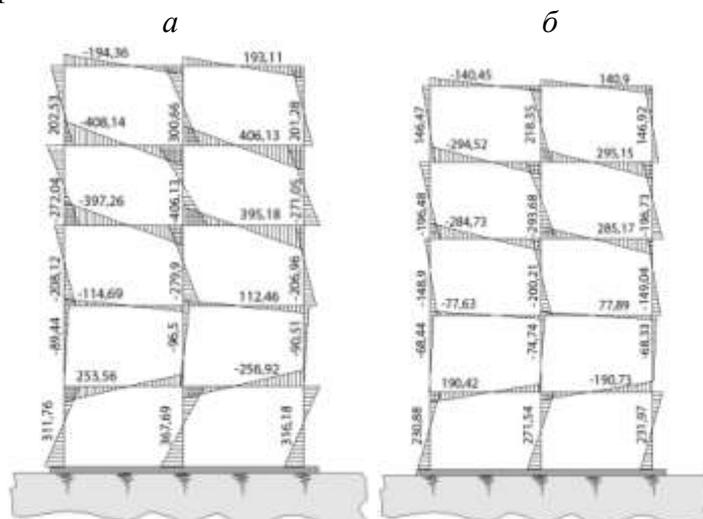


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов (кН м) в средней раме от действия горизонтальной гармонической нагрузки  $P(t)$  при  $\theta=20$  рад/с: а, б – рама на ПФП с защитной траншеей, соответственно глубиной 4 и 8 м, расположенной на расстоянии 4 м от здания

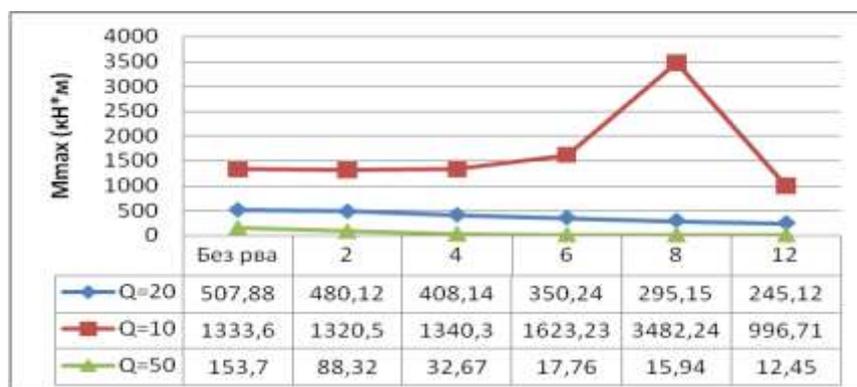


Рис. 5. Величина максимального момента в здании в зависимости от глубины траншеи (м), расположенной на расстоянии 4 м от здания при разных частотах вибрационной нагрузки

Как видно из полученных результатов (рис. 4-7 при  $\theta=20$  рад/с эффект защиты сооружения от динамического вибрационного воздействия проявляется тем больше, чем глубже защитная траншея. Так например, при расположении траншеи на расстоянии 4 м от здания и ее глубине 6 м наибольшие изгибающие моменты, возникающие в конструкциях здания, уменьшились на 31 %, а при глубине траншеи 12 м – на 52 %.

При частоте вибрационной нагрузки  $\theta=50$  рад/с тенденция изменения изгибающих моментов в верхнем строение примерно такая же, как и при частоте  $\theta=20$  рад/с, т. е. с увеличением глубины траншеи, изгибающие моменты в здании уменьшаются. шение при глубине 12 м составило 92 %.

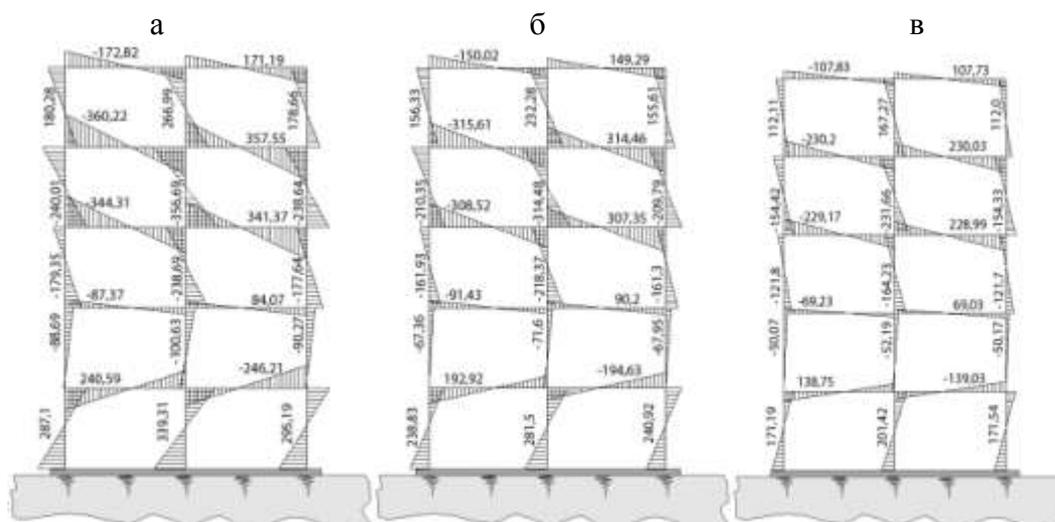


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов (кН м) в средней раме на ПФП с защитной траншеей глубиной 6м от действия горизонтальной гармонической нагрузки  $P(t)$  при  $\theta=20$  рад/с:  
 а – рама на ПФП с защитной траншеей на расстоянии 2 м от здания;  
 б, в – рама на ПФП с защитной траншеей на расстоянии, соответственно, 8 и 16 м от здания

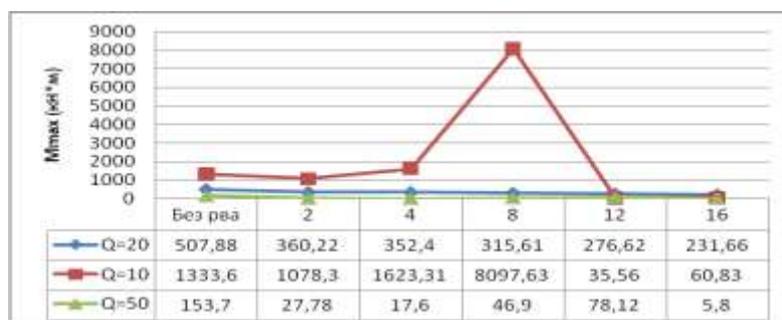


Рис. 7. Величина максимального момента в здании в зависимости от расстояния (м) защитной траншеи (глубиной 6м) от здания при разных частотах вибрационной нагрузки

Тенденция уменьшения усилий также наблюдается с приближением траншеи к источнику возмущения. Например, при расположении траншеи на расстоянии 10 м от источника возмущения (8 м от здания) максимальные моменты в раме при  $\theta=20$  рад/с уменьшились на 38 %, а при расстоянии 2 м – на 54 %, а при  $\theta=50$  рад/с, соответственно на 70 и 96 %.

При частоте возмущающей нагрузки  $\theta=10$  рад/с с увеличением глубины защитной траншеи изгибающие моменты в здании увеличиваются, при этом резкое увеличение максимального момента имело место при траншее глубиной 8 м, а максимальное уменьшение при глубине 12 м. Также резкое увеличение усилий наблюдается при расположении траншеи на расстоянии 8 м от здания, а затем с увеличением расстояния моменты уменьшаются.

*Примечание: определить причину резкого увеличения момента в точке 8 (рис. 5 и 7), к сожалению, пока не удалось.*

Выполненные исследования показывают, что использование в качестве защитного устройства траншеи может значительно уменьшить колебания и усилия в зданиях и сооружениях, например уже при глубине 4-6 м.

#### **4. Использование волногасящего эффекта пространственной платформы**

На основе пространственной динамической модели «здание – пространственная фундаментная платформа – основание» проведены численные исследования по ПК SCAD Office демпфирующих воздействий ПФП на расположенные на них сооружения в зависимости от ее жесткости, размеров, инерционной нагрузки и частоты вынужденного вибрационного воздействия. Полученные результаты численных экспериментов свидетельствуют о том, что при увеличении жесткости демпфирующие и волногасящие свойства плиты (платформы) возрастают, следовательно, можно подобрать такую жесткость плиты, которая позволит максимально использовать эти свойства.

Выявлены демпфирующие свойства плитного фундамента в зависимости от длины волны динамического воздействия. Чем больше длин волн укладывается по длине плиты, тем больше ее волногасящий эффект. В случае, когда длина волны два (и более) раза укладывается по длине общей фундаментной плиты, тангенциальные (горизонтальные) смещения опор становятся практически нулевыми, и изгибающие моменты в верхнем строении стремятся к нулю, здание становится более устойчивым. Следовательно, зная частоту внешнего вибрационного воздействия можно подобрать параметры фундаментной плиты (платформы), имеющей максимальный волногасящий эффект.

#### **Список литературы**

1. **Абовский, Н. П.** Некоторые новые принципы и конструктивные решения строительства в сложных грунтовых условиях / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, О. М. Максимова / Вестник ОН РААСН. Вып.12. Белгород, 2008. С. 6-16.
2. **Абовский, Н.П.** К расчету сейсмостойкости зданий на слабых грунтах (в порядке обсуждения) /Н. П. Абовский, Н. И. Марчук, Ф. Г. Байрамов. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 2. С. 50-53.
3. **Абовский, Н.П.** Системный подход к применению сейсмоизоляции и сейсмозащитных устройств /Н.П. Абовский, Н.И. Марчук, О.М. Максимова, В.И. Палагушкин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 5. С.27-29.

УДК 624.139

## **К ВОПРОСУ О СИСТЕМНОМ РАССМОТРЕНИИ «ЗДАНИЕ-ФУНДАМЕНТ-ОСНОВАНИЕ» (В порядке обсуждения проекта СНиП)**

Абовский Н. П., Марчук Н. И., Максимова О. М., Палагушкин В. И.

### **1. О роли фундамента**

*Действие сейсмической волны на здание  
начинается с фундамента и в зависимости  
от того, как повел себя фундамент,  
определяется поведение всего здания.*

*Б. А. Кириков*

В проекте норм не обнаружены какие-либо рекомендации по применению фундаментов того или иного типа и их влияния на сейсмостойкость здания. Получается, что тип используемого фундамента не имеет значения? С этим нельзя согласиться. Тем более, если стремиться учесть деформативность основания.

Действительно, в СНиП прописано, что при расчете на горизонтальные воздействия (п. 2.4) допускается использовать упрощенную модель сооружения в виде жестко-защемленной консоли, т. е. пренебрегать типом фундамента и деформативностью основания, а вертикальную составляющую перемещений фундамента необходимо учитывать при расчетах оснований и фундаментов (п. 2.6). Получается, что сейсмостойкость здания определяется без учета типа его фундамента и свойств основания. Такой подход в ряде случаев ошибочен. Например, большепролетное здание при локальных опорах или сплошной фундаментной плите, объединяющей эти опоры, обладает различной сейсмостойкостью. Возможное взаимное горизонтальное смещение локальных опор может привести к аварийности здания, чего нет при сплошной фундаментной плите.

Таким образом, несистемность подхода к цельной проблеме «здание-фундамент-основание» существенно обедняет возможности повышения сейсмобезопасности с помощью конструктивных решений (конструктивной сейсмобезопасности).

### **2. О «дефиците сейсмостойкости»**

Проект норм оперирует понятием «дефицит сейсмостойкости», под которым понимается разность между расчетной сейсмичностью площадки и начальной сейсмостойкостью здания. Казалось бы, что это понятие вносит некоторую ясность, если бы определения начальной сейсмостойкости здания и расчетной сейсмостойкости площадки не страдали отмеченными ниже недостатками. Причина эта кроется в неоправданном нарушении системного подхода, в нарушении (разрыве) системы «здание-фундамент-основание». При

этом не учитываются возможные защитные (экранные) мероприятия, которые могут изменить сейсмичность площадки, создавая защитную «тень» для здания.

Действительно, начальная сейсмостойкость здания, как можно понять из СНиПа, определяется на основе РДМ (расчетно-динамической модели, в том числе по спектральному методу расчета). При этом для здания не учитывается конкретный тип фундамента и реальная податливость основания, а используется идеализированное абсолютное защемление. Поэтому такая оценка дефицита сейсмостойкости может быть более достоверна для грунтов прочных (I категории), но может оказаться ошибочной для слабых грунтов, т. е. для наиболее опасных случаев. Это понятно, так как учет податливости прочных грунтов вносит небольшие поправки в расчет, а для слабых грунтов – расхождение весьма существенное. Использование в нормативном расчете для слабых грунтов повышение балльности и увеличение коэффициента сейсмичности в 2 и 4 раза для площадок с повышенной сейсмичностью отражает «точность» моделирования и не избавляет от возможных ошибок. Кроме того, расчетная сейсмичность площадки, как правило, не учитывает наличие защитных и сейсмоизоляционных устройств на площадке, снижающих величину сейсмического воздействия на здание (пункт 1.3).

Преодолеть противоречие «дефицит сейсмостойкости» можно только, во-первых, на основе системного расчета «здание-фундамент-основание» и, во-вторых, путем улучшения модели сейсмического воздействия и его передачи на здание. Первая причина преодолима в определенной мере с помощью современных компьютерных программ. Вторая зависит от уровня развития теории, которая существенно отстает. Причина не только в сложности проблемы, но и в нестыковке (несистемности) исследований (т. е. РДМ и РМВ), проводимых отдельно сейсмологами и отдельно строителями.

Таким образом, полезность использования дефицита сейсмостойкости как нормативного термина весьма ограничена.

Учитывая уровень развития теории сейсмостойкого строительства, целесообразно расширить и усилить раздел мероприятий по конструктивной безопасности (или как их называет проф. Айзенберг Я. М.- концептуальное проектирование). Концептуальное проектирование нацелено на учет при проектировании упруго-пластических деформаций и допустимых локальных повреждений в здании. **Следует, однако, в первую очередь ориентироваться на такие конструктивные решения, которые позволяют снизить передачу сейсмических воздействий на фундамент и все сооружение, а также создавать конструкции малочувствительные к негативным воздействиям [1-4]. Такая ориентация в проекте норм, к сожалению, отсутствует, хотя такого рода разработки имеются (см. п. 4). Такое направление лучше укладывается в понятие конструктивной безопасности [3].**

### **3. О применении спектрального метода расчета**

Стремление уточнить РДМ за счет учета податливости основания при использовании нормативного спектрального метода расчета наталкивается на противоречие. Действительно, учет податливости основания, который, казалось бы, должен способствовать совершенствованию нормативной расчетной модели, приводит к противоречивым результатам в случае слабых грунтов, как это показано в статье [6]. Периоды колебаний зданий на слабых грунтах больше, чем при жестком основании, коэффициенты сейсмичности  $\beta$  уменьшаются и в итоге снижаются величины сейсмических воздействий на здание. И получается, что учет податливости слабого грунта снижает расчетные усилия в элементах здания, т. е. происходит снижение сейсмостойкости здания вопреки стремлению СНиПа повысить расчетные сейсмические воздействия при расчете зданий на слабых грунтах.

Причина кроется, по-видимому, в том, что спектральный метод расчета априори был ориентирован на замену конкретного типа фундамента и податливости основания жестким закреплением опор. Это существенно отражается на определении собственных частот и других форм колебаний здания, на использовании которых построен спектральный метод. Видимо поэтому в ряде работ предлагается использовать экспериментальные данные о периодах колебаний разных зданий вместо теоретических.

Отметим, что в некоторых работах рекомендуется для расчетов по спектральному методу использовать не только первые, но и многие другие частоты и формы колебаний, надеясь на улучшение достоверности расчета на сейсмостойкость. При этом забывают о более грубых допущениях этого метода, перекрывающих другие неточности (в частности, податливость основания).

Другим примером ограниченности применения спектрального метода может служить попытка учесть влияние защитных устройств на площадке, например, траншей, на снижение сейсмических воздействий на здание. Отметим, что наши попытки системного расчета «здание-фундамент-основание» оказались бесплодными. Спектральный метод дает некоторую схему распределения сейсмических воздействий на элементы здания, все остальное учитывается набором коэффициентов. Требовать от метода больше, чем то, что в него заложено, нельзя. Приходим к заблуждениям и противоречиям.

Целесообразно в СНиПе указать на назначение и возможности расчетных методов, чтобы избежать ошибок в их применении даже при благородном стремлении улучшить результаты, исходя из традиционных соображений.

### **4. Об эффекте применения пространственных фундаментных платформ на скользящем слое [1-4]**

Проект норм содержит указания об учете крутильных сейсмических воздействий на здание, абстрагируясь при этом от типа фундамента здания,

т. е. без учета конкретной связи между источником возмущения (основанием) и зданием. В ряде случаев это приводит к ошибке. Если эти связи упругие или скользящие с низким коэффициентом трения, например, если здание соединено со сплошной пространственной фундаментной платформой на скользящем слое [1-4], то крутильные воздействия от основания на верхнее строение не передаются полностью или их влияние существенно снижено. В связи с этим следует отметить, что ***применение зданий и сооружений на сплошных пространственных фундаментных платформах (ПФП) на скользящем слое, расположенном между ПФП и основанием, не укладывается в проект данных норм, хотя их применение снимает ряд ограничений, формообразования, предписанных для традиционных решений***, и создает улучшенные возможности для сейсмостойкого строительства.

Действительно, известно (в проекте норм и литературе), что важнейший из общепризнанных принципов сейсмостойкого строительства состоит в том, что «объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений должны удовлетворять условиям симметрии и равномерного распределения жесткостей и масс. Предпочтение следует отдать конструктивным системам с малым шагом несущих элементов, меньшим количеством проемов, их малыми размерами и симметричными расположением. Здания сложной, неправильной формы при землетрясениях подвергаются дополнительным крутильным воздействиям, что резко увеличивает их повреждаемость» [5].

Можно утверждать, что данный принцип справедлив при традиционных фундаментах под здания (сооружения), при которых на фундамент и верхнее строение передаются горизонтальные смещения основания от сейсмических воздействий. Это особенно чувствительно для большепролетных зданий и зданий большой протяженности в плане на отдельных, не связанных между собой фундаментах, плотно соединенных с основанием. Иная ситуация имеет место при сплошных фундаментных платформах (ПФП) на скользящем слое. Здесь работает эффект во-первых, существенного снижения передачи на фундамент больших горизонтальных сейсмических смещений, а во вторых, более равномерное распределение этих воздействий на все здание [1-4]. При этом, например, снижается или вовсе не возникает опасность крутильных деформаций.

***Таким образом, применение ПФП на скользящем слое дает большую свободу объемно-планировочному и конструктивному формообразованию зданий и сооружений, т. е. расширяется возможность строительства и повышается его сейсмобезопасность.***

**5. Несоблюдение в проекте норм системного проектирования «здание-фундамент-основание», а также не учет конкретных типов фундаментов, сейсмоизоляции и защитных устройств может привести к недоразумениям, которые ставят новые эффективные научно-технические разработки вне этих норм и не способствуют их внедрению. В этой связи целесообразно перенести в предисловие к нормам (из пояснительной записки) оценку нынешнего, к**

сожалению, положения: «существующие методы расчетов на сейсмические воздействия не в полной мере обеспечивают надежное определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций здания» и что «некоторые инженерные решения вообще принимаются не по расчету, а «по конструктивным соображениям».

Для обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений должна активно работать инженерная мысль!

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Новые конструктивные решения сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. Д. Надеяев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 3.

2. Пат. **2206665, 2273697, 38789, 45410, 50553, 53342, 55388, 64650, 69094, 73350, 59650.** Российская Федерация / Абовский Н. П. и др.

3. **Абовский, Н. П.** Некоторые новые принципы и конструктивные решения строительства в сложных грунтовых условиях /Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, О.М. Максимова Вестник РААСН. Белгород, 2008.

4. **Абовский, Н. П.** Системный взгляд на развитие сейсмоизоляции и демпфирования в сейсмостойком строительстве / Н. П. Абовский, Н. И. Марчук, О. М. Максимова //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 4.

5. **Хачиян, Э. Е.** Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 5.

6. **Абовский, Н. П.** К расчету сейсмостойкости зданий на слабых грунтах (в порядке обсуждения). /Н. П. Абовский, Н. И. Марчук, Ф. Г. Байрамов. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 2. С. 50-53.

УДК 69.059

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ И СЕЙСМОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ (предложения для включения в нормы проектирования)**

Абовский Н. П., Марчук Н. И., Максимова О. М., Палагушкин В. И.

Данная статья нацелена на корректировку некоторых предложений, сделанных Смирновым В. И. [1].

Вносим наши предложения в отдельные пункты норм проектирования для обсуждения.

**По п. 1.3. [1]:** целесообразно указать, что здания (сооружения) – фундамент – основание и сейсмоизоляция (защитные устройства) должны рассматриваться и проектироваться как **единая цельная взаимосвязанная система**, т. е. сейсмоизоляция (защитные устройства) должна рассчитываться во взаимосвязи с отдельными элементами цельной системы и должны снизить (уменьшить) или недопустить превышения расчетных сейсмических воздействий. Особое значение такой системный подход имеет в случае сложных грунтовых условий.

**По п. 1.4. [1]:** нельзя рассматривать сейсмоизоляцию как только «изоляцию сооружений от горизонтальных сейсмических колебаний после завершения строительства». Совокупность сейсмического воздействия многообразна и сейсмоизоляция должна обеспечить надежность при любых нагрузках (вертикальных, крутильных, несимметричных и др.), т. е. нельзя допустить устройство сейсмоизоляции, запроектированной для снижения горизонтальных колебаний, например, при вертикальных толчках и т. д. Только системный подход к системе («здание-фундамент-основание-сейсмоизоляция») как цельной пространственной многосвязной системе может обеспечить надежность. Причем сейсмоизоляция должна работать не только «после завершения строительства», но и в процессе строительства. Предложения В. И. Смирнова должны быть дополнены также и защитными устройствами.

**По п. 1.5. [1]:** нельзя признать рациональным утверждение, что «систему сейсмической изоляции следует размещать, как правило, между фундаментом и надземной частью здания». Такое расположение сейсмоизоляции имеет место в практике строительства, но расчленяет систему «здание-фундамент» на части и тем самым ослабляет ее. К тому же смещение одной части по отношению к другой требует устройства ограничителей и демпферов (на что указывал Смирнов В. И. в докладе на конференции в Сочи-2007 г.). Известно и подтверждено многими патентами и публикациями [2-13], что сейсмоизоляция в виде скользящего слоя располагается **между основанием и сплошной пространственной фундаментной платформой (ПФП)** так, что

сохраняется целостность системы «здание-фундамент». Снижение трения при этом позволяет мощной сейсмической волне «проскальзывать» под фундаментной платформой, а объединение верхнего строения с фундаментной платформой в цельную пространственную многосвязную систему позволяет повысить ее сейсмостойкость практически при любых сейсмических воздействиях (крутильных, несимметричных, вертикальных и др.) [2-13].

Особенно важно то, что здесь решаются одновременно системно две проблемы: пространственная фундаментная платформа позволяет строить на слабых грунтах, а скользящий слой между платформой и основанием обеспечивает сейсмостойкость. Необходимо отметить, что компьютерное моделирование сейсмостойкости каркасного здания на пространственной фундаментной платформе при устройстве скользящего слоя даже на грунтах III-й категории показало в пределах снижение напряженно-деформированного состояния рамного каркаса в десятки раз, т. е. эффективность применения скользящего слоя между фундаментной платформой и основанием весьма велика. Если в нормах указывать на размещение сейсмоизоляции «между фундаментом и надземной частью», то такая рекомендация будет служить препятствием для развития и применения других подходов, в частности, для описанного выше. Следует отметить, что в ряде обзорных статей по сейсмоизоляции, опубликованных в последние годы, замалчиваются работы по использованию скользящего слоя под фундаментной платформой и даже не указывается на возможность сейсмоизоляции фундамента от основания. Другие пункты [1], очевидно, необходимо привести в соответствие со сделанными выше замечаниями. В новых нормах проектирования целесообразно учесть, что способы и методы расчета и проектирования конструкции на действие сейсмических нагрузок находятся в активном развитии и отражают современный этап их применения, необходимо предусмотреть возможность включения инноваций. Наряду с сейсмоизоляцией в нормах целесообразно выделить раздел для защитных (экранных) устройств, например, типа траншей с заполнением и без него, шпунтовых стен и других возможных изменений грунтового массива и т. п. с расчетно-теоретическим и экспериментальным обоснованием их эффективности в конкретных условиях строительства.

Целесообразно отметить, что пространственные фундаментные платформы использовались под дворцы и целые города в древнейших сооружениях Японии, Китая, Индии, Вавилона, Персии, в государствах майя и инков, а сейчас они могут успешно использоваться в сейсмостойком строительстве на современном конструктивном уровне в сложных грунтовых условиях.

### Список литературы

1. **Смирнов, В. И.** Предложения по системам с сейсмоизоляцией для включения в нормы проектирования / В. И. Смирнов// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 2.

2. **Пат. 2206665** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа/ Абовский Н. П. и др. 2003, Бюл. №17.

3. **Пат. 2273697** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа, объединенная с резервуаром, для строительства на слабых, вечномёрзлых, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /Абовский Н. П. и др. 2006, Бюл. № 10.

4. **Пат. 64650.** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа под здания и сооружения для строительства на слабых, просадочных, пучинистых грунтах и в сейсмических зонах /Абовский Н. П., Андреев Н. П., Сиделев В. А., Сапкалов В. И.2007, Бюл. № 19.

5. **Пат. 69094.** Российская Федерация. Пространственная железобетонная пространственная платформа в сборном и сборно-монолитном вариантах для малоэтажного строительства в сложных грунтовых условиях и сейсмики / Абовский Н. П. и др. 2007, Бюл. № 34.

6. **Пат. 55388.** Российская Федерация Пространственная железобетонная фундаментная платформа для малоэтажных зданий для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмичности/ Абовский Н П. и др. 2006, Бюл. № 22.

7. **Пат. 50553.** Российская Федерация. Пространственная фундаментная платформа под агрегаты с динамической нагрузкой для строительства на слабых и вечномёрзлых грунтах /Абовский Н. П. и др. 2006, Бюл. № 2.

8. **Пат. 45410.** Российская Федерация. Монолитная пространственная фундаментная платформа /Абовский Н. П. и др. 2005, Бюл. № 13.

9. **Пат. 38789.** Российская Федерация.Сборня пространственная железобетонная фундаментная платформа для строительства многоэтажных зданий в особых грунтовых условиях / Абовский Н. П. и др.2004, Бюл. № 13.

10. **Абовский, Н. П.** Новые конструктивные решения для сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях/ Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. Д. Надеяев //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М., 2004. №3. С.30-32.

11. **Абовский, Н. П.** Опыт проектирования и строительства в сложных грунтовых условиях на примере Красноярского края / Н. П. Абовский, А. П. Попович, В. А. Сиделев // Проектирование и строительство в Сибири. 2006. №3. С.40.

12. **Абовский, Н. П.** Системный взгляд на развитие сейсмоизоляции и демпфирования в сейсмостойком строительстве / Н. П. Абовский, Н. И. Марчук, О. М. Максимова. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 2.

13. **Абовский, Н. П.** Некоторые парадоксы традиционной сейсмоизоляции и их преодоление. /Н. П. Абовский, А. С. Темерова //Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 10. С. 42-44.

УДК 001(06)+004.032.26(06)

## РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНОЙ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ К ЗАДАЧАМ СТРОИТЕЛЬСТВА

Абовский Н. П., Максимова О. М.

В статье представлен обзор работ кафедры строительной механики и управления конструкциями с позиций системного подхода к проблемам **нейроуправления, нейрооптимизации и нейропрогнозирования**, направленный на повышение интеллектуализации систем с помощью разработанной нейросетевой технологии. Системный подход позволяет преодолеть сложившийся разобщенный подход к отдельным направлениям (теории информации, кибернетике), рассматривая их во взаимосвязи: правильно сформировать входную информацию и, исходя из нее оценивать ожидаемые выходы, опираться на законы развития технических систем, синтезируя нейросетевые подходы с традиционными в виде гибридных моделей, и тем самым формируя новую нейросетевую технологию в виде шагового процесса с доучиванием, которое соответствует развитию и повышению интеллектуализации.

Нейроуправление, нейрооптимизация и нейропрогнозирование позволяют получить новые полезные результаты [1-47]. Представляется перспективным дальнейшее развитие прикладной нейроинформатики в данном направлении, включая создание нейросетевых программных комплексов. Обосновываются предпосылки для применения нейросетевой технологии к вероятностным проблемам.

### 1. Нейроуправляемые конструкции

Технология **управления** в первую очередь ложится на модель управления и возможности ее совершенствования. Модель должна быть не неизменной, а эволюционировать, совершенствоваться на основе доучивания. Модель может сопровождать функционирование системы, получать дополнительную информацию и на основе ее доучиваться. Эта возможность нейросетевой технологии управления является весьма важной и перспективной, обладающей определенной интеллектуальностью и позволяющей совершенствоваться как саму конструкцию, так и ее управление.

Нейросетевая технология открывает новые качественные возможности управления. Повышается интеллектуальность и надежность управления.

В книгах [1, 2] представлена нейросетевая технология, разработанная применительно к задачам управления, оптимизации и прогнозирования; сформулированы принципы создания нейроуправляемых конструкций, имеющих существенные отличия от традиционных адаптивных САУ и развивающихся как перспективное междисциплинарное направление (в качестве одного из эффективных применений нейросетевого управления представлена

система нейросветофорного управления, включая способ, устройство и программное обеспечение).

Реализован новый подход к решению проблем оптимизации на основе гибридных нейросетевых программ, соединяющих лучшие качества традиционного программирования и нейросетевой аппроксимации. Установлена универсальность методики нейросетевой оптимизации вне зависимости от вида ограничений (равенств, неравенств и др.), а также расширение области (обобщения), охватывающей несколько разных классических теорий (например, теории толстых, тонких и очень тонких оболочек). Излагается постановка задачи нейрооптимизации и этапы ее решения.

Особое внимание уделено проблеме нейропрогнозирования. Предлагается нейросетевой метод практического прогнозирования, в основе которого лежит развивающаяся, эволюционная нейросетевая модель прогнозирования, соответствующая шаговому процессу познания и являющаяся одним из способов создания и развития интеллектуальных систем. Он позволяет решать многомерные задачи интерполирования и экстраполирования, выполнять прогнозирование многопараметрической информации, решать задачи управления процессом и устройствами во времени, в том числе с прохождением через заданные ориентиры и удовлетворением определенным условиям и критериям.

Изложенные в книгах проблемы получили дальнейшее развитие и применение в исследовании и проектировании строительных конструкций.

В статье [3] обосновывается целесообразность применения нейросетевых подходов к решению задач строительной механики, к управлению конструкциями и другими сетевыми системами, в частности нейросветофорным управлением дорожным движением. Приводится ряд результатов, полученных красноярскими авторами. Обозначены некоторые перспективные вопросы развития. Сформулированы предпосылки эффективности использования нейросетевых подходов к данным проблемам, перечислены достигнутые некоторые результаты и обозначены перспективы дальнейшего развития, а также нерешенные вопросы.

Статья [4] посвящена нейроуправляемым конструкциям. Нейросетевая модель на основе физической теории управления способна учитывать реальные свойства управляемого объекта, благодаря использованию при обучении и доучивании экспериментальных данных функционирования (эмпирической индукции). Описан вариант архитектуры нейросетевой модели, отражающей природу материала и свойства конструкции. Обсуждаются методики управления конструкциями. Приводится пример реализованного простейшего нейроконтроллера для управления напряженно-деформированным состоянием конструкции. Важнейшей особенностью нейроуправляемых конструкций является возможность учета и отражения свойств реального объекта при использовании для обучающей выборки экспериментальных данных (эмпириче-

ской индукции). Этот факт характеризует переход конструкций на новую качественную ступень развития, недоступную ранее.

Рассматриваются способы применения нейросетей в алгоритмах управления дорожным движением [5-7]. Приведен пример для отдельного перекрестка, описан способ создания нейросветофорной сети. Как известно, нейросеть можно обучить построению в принципе любой функции. Здесь требуемая функция – отклик светофорной сети на оцифрованную набором каких-либо параметров текущую дорожную обстановку. Нейросеть обладает способностью учитывать накопленный опыт, что реализуется путем периодического доучивания. Обсуждаются перспективы создания *самообучающейся* нейросветофорной сети.

В [8-12] описано применение нейротехнологий в ряде задач управления объектами и процессами (патенты).

Нейроуправляемые системы могут доучиваться на основе текущей информации, при этом процесс доучивания предусматривает совершенствование и изменение структуры модели управления, а также использование универсального алгоритма обучения, каким является нейросетевой алгоритм, способного аппроксимировать практически любую исходную и текущую информацию.

Перспективы нейроуправления, по мнению авторов, тесно связаны с возможностями повышения интеллектуализации систем, особенно с использованием тех процессов познания, в том числе доучивания, которые свойственны самой высокоорганизованной системе, которой является человек.

## **2. Нейропрогнозирование**

Проблема **прогнозирования** представляет собой важную философскую задачу познания, в которой математический аппарат, в частности нейросетевая технология, выполняет роль эффективного инструмента. Модель прогнозирования, по мнению авторов, должна содержать в себе основные черты диалектико-материалистического, интеллектуального подхода познания, в частности, это должен быть спиралеобразный шаговый процесс, содержащий постепенное пополнение информации и совершенствование познавательной модели (доучивание) на ее основе. Такая модель представлена авторами в [22-27]. Конкретная область прогноза разбивается на мелкие шаги, и получаемая на каждом шаге дополнительная информация, содержащая небольшую ошибку, включается в обучающую выборку. Таким образом, модель развивается по мере продвижения процесса. Кроме того, она пополняется и доучивается на основе интерполяции вблизи подвижной границы. Особое внимание уделяется объему и качеству исходной информации (обучающей выборки), ее непротиворечивости, достаточности, полноте, содержащей хоть и в неявном виде основные закономерности прогнозируемого процесса. Анализ этой исходной информации, как правило, плохо поддается известным математическим приемам. В этом смысле проблема выходит за рамки математической форма-

лизации, представляет некую область искусства и требует системного подхода (использования опытных и экспертных оценок и даже интуиции).

Шаговое нейропрогнозирование [13-19] хорошо приспособлено к непрерывным достаточно плавным процессам, усложненным *многомерностью и многопараметричностью*. Возможно доучивание и целенаправленное нейропрогнозирование на желаемые (известные) удаленные ориентиры, а также *выбор оптимальной траектории прогнозирования, удовлетворяющей экстремуму заданного критерия*.

К задаче прогнозирования также можно отнести и вопросы повышения точности (прогнозирования) по данным нескольких приближенных решений на редкой сетке с использованием интерполяции по обученной сети в узлах, близких к имеющимся, и дальнейшим их использованием для расширения обучающей выборки. Такая постановка задачи и ее реализация приведены в [28, 30].

Метод пошагового нейропрогнозирования опробован и применен к *пространственным строительным конструкциям*, а именно, к прогнозированию их напряженно-деформированного состояния при длительных и кратковременных статических нагрузках [35-42].

В ходе проведения натуральных испытаний не всегда удается довести конструкцию до разрушения. Часто ввиду того, что натурные испытания строительных конструкций процесс длительный, трудоемкий и дорогостоящий, осуществляется несколько этапов испытаний. В то же время имеется потребность узнать (прогнозировать) поведение конструкции на последующих этапах, т. е. осуществить достаточно глубокий прогноз. Такую возможность удастся реализовать при помощи разработанного метода.

Обычно натурные испытания заканчиваются обработкой полученных результатов. В [36-41] показано, что на их базе с помощью шаговой нейротехнологии прогнозирования можно сделать теоретический прогноз работы конструкции при ее дальнейшем нагружении и во времени. Представляется целесообразным использование этой возможности при разработке технического задания и программы испытаний, при планировании эксперимента. В результате нейропрогноз дает возможность существенного снижения сроков испытаний и экономии средств на проведение работ.

Предложенный шаговый метод может найти эффективные приложения не только для рассмотренных задач математики, механики, строительных конструкций, но и во многих областях науки, техники и технологии (например, при подборе строительных материалов с определенными свойствами, планировании эксперимента, для обучения диспетчеров и доводки новых конструкций и др.), процессах оптимизации и управления, в поисковом и вероятностном прогнозировании, оптимальном управлении, в решении новых вариационных задач с различными ограничениями (нейроматематике). Нейропрогнозирование – только один из примеров применения нейросетевой технологии. Весьма интересно применение нейропрогнозирования для анали-

за ретроспективных проблем, направленных на выявление исторических эволюционных закономерностей развития некоторых систем.

Метод шагового нейросетевого прогнозирования получил положительную оценку как в нашей стране (на научных сессиях МИФИ, Центре нейротехнологии РАН, на различных международных, всероссийских и региональных научных конференциях и семинарах), так и за рубежом (материалы опубликованы в международном журнале «Optical Memory & Neural Networks» в 2007 г. и в международном электронном журнале «Springer» в 2007 г).

### 3. Нейрооптимизация

В отличие от традиционных подходов и методов решения **оптимизационных задач** нейросетевая технология позволяет в одной оптимизационной задаче (или задаче функционирования):

- обобщить, объединить (использовать) различные модели (например, модели теории толстых, тонких и очень тонких оболочек в линейной и нелинейной постановках), информацией о которых будет наполнена обучающая выборка;
- строить обучающую выборку с учетом различного вида ограничений и целевых предпочтений;
- учитывать изменения свойств управляемого объекта во времени (нестационарность) путем сопровождения объекта во время его эксплуатации и корректировать управляющие решения.

Нейросетевые программы могут в принципе синтезироваться с другими традиционными программами и создавать программные комплексы, в частности, могут сочетаться экспертные системы, системы на нечетной логике и нейронных сетях, могут, например, создаваться «логические» нейронные сети, которые включают в себя структуры с явно указанной логикой принятия решений [1,2,31,32,46,47].

Таким образом, отличительными чертами и предпосылками развития нейросетевой методики оптимизации являются:

- *универсальность* (в смысле области применения, видов и форм ограничений, критериев, нелинейностей);
- *возможность решения задач как при наличии, так и при отсутствии аналитической математической модели, в том числе на основе опытных, статистических, экспертных и других данных, образующих обучающую выборку задач;*
- *возможность быстро перебрать и восполнить поле численных значений зависимостей, среди которых нужно отыскать экстремальные.*

Метод оптимизации с использованием нейросетей *принципиально* для всех этих различных задач *однотипен*, и потому может рассматриваться как универсальный. Все различия и специфика укладываются (содержатся) в обучающую выборку задач, которая составляется с учетом ограничений и вбирается в обученную сеть.

Нейросетевой подход [46] позволяет повысить быстродействие за счет аппроксимации целевой функции или критериальных ограничений, а также распараллеливания вычислений. Гибридные программы, комбинирующие традиционные расчетные алгоритмы с нейросетевыми моделями, позволяют привлечь к решению задач оптимизации разнообразное специализированное программное обеспечение, созданное по традиционным (не нейросетевым) алгоритмам. Эти решения могут составлять обучающую выборку для функционирования нейросети, которая обеспечивает быстрый перебор вариантов, необходимых для оптимизации.

#### **4. Нейросетевой процесс эволюционного развития и возможности его автоматизации**

Обобщая разработанные методы решения задач нейропрогнозирования и нейрооптимизации, можно утверждать, что шаговая технология присуща нейросетевому процессу эволюционного познания.

Шаги могут быть:

- по пространству (области), включая ее расширение путем экстраполяции, а также углубление (путем интерполяции);
- по реальному времени;
- по наращиванию точности решения, в том числе на последовательности сеток от грубых приближений (определяющих глобальное состояние) к последующим уточнениям, включая уточнения в отдельных локальных зонах;
- по наращиванию числа параметров (последовательном учете возрастающего числа параметров состояния, в том числе при учете их как сложных функций), а также для многомерных задач, представляемых сначала как одномерные, двумерные и т. д.

Шаговая интерполяция охватывает широкий круг задач, среди которых задачи нейроуправления, нейрооптимизации, нейропрогноза, нейродиагностики и др.

Шаговый процесс нейропрогнозирования [13-42] на данном этапе осуществляется с участием человека. В дальнейшем возможна замена диалогового режима автоматическим, при котором роль человека сведена к необходимому минимуму контроля.

Шаговый процесс нейрооптимизации [1, 2, 31, 32, 46, 47] реализован как автоматический с возможностью вмешательства со стороны экспериментатора на каждом этапе (выбор области поиска на текущей итерации, выбор типа нейросетевой аппроксимации и т. п.).

Представляется перспективной разработка шаговых обобщений нейросетевой технологии эволюционного характера для прикладных задач в автоматическом режиме. Уже существуют, по мнению авторов, все условия для реализации нейропрограммного комплекса, предназначенного для работы с задачами нейроуправления, нейрооптимизации и нейропрогнозирования.

Схема одного из вариантов такого комплекса представлена на рис. 1.

**Объект управления** представляет собой конструкцию, подвергающуюся возмущениям *внешней среды* и имеющую некоторые *управляемые параметры*. За состоянием объекта следят *датчики*, показания которых оцифровываются и передаются в управляющий модуль при помощи *устройств сопряжения*.

**Управляющий нейросетевой модуль** содержит управляющую и прогнозирующую нейросети, а также реляционную базу данных, накапливающую опыт управления данным объектом. До начала процесса управления нейросети обучаются на основе *исходной информации*, полученной из ранее поставленного *эксперимента*, либо при помощи *традиционной расчетной программы*, либо от *экспертной системы*, или из имевшейся *базы данных*.

В процессе управления управляющая нейросеть функционирует, выдавая *управляющее решение* в ответ на *текущую информацию* о состоянии объекта и воздействиях внешней среды, а также прогноз воздействий на несколько последующих *шагов управления*. Происходит поиск, сравнение и выбор рациональных шагов управления, удовлетворяющих заданным критериям. В то же время управляющая нейросеть *доучивается* на основе накопленного опыта управления. При этом совершенствуется (эволюционирует) сама нейросетевая модель.

Прогнозирующая нейросеть предсказывает поведение внешней среды на нескольких последующих шагах управления – эта информация учитывается при принятии управляющего решения. В то же время происходит доучивание прогнозирующей нейросети на основе текущей информации.

Таким образом, методологической основой шагового процесса нейрорегулирования является *доучивание с эволюцией модели управления* на основе текущей информации *с помощью нейросетевой технологии*.

Схема процесса нейрорегулирования, изображенная на рис. 1, содержит элементы нейропрогнозирования и нейрооптимизации (выбор наилучшего управляющего решения из возможных). Это является подтверждением того факта, что ***задачи нейрорегулирования, нейрооптимизации и нейропрогнозирования объединяются в единый познавательный интеллектуальный процесс решения разнообразных комплексных задач на основе шаговой нейросетевой технологии с доучиванием***. Данное направление целесообразно сочетать с развитием гибридных программ, обеспечивающих связь традиционного программирования с нейросетевой технологией.

Необходимо правильно оценивать нейросетевую технологию – как мощный инструмент, подходя к его возможностям системно, особо обращая внимание на выбор исходной информации с оценкой получаемых результатов.

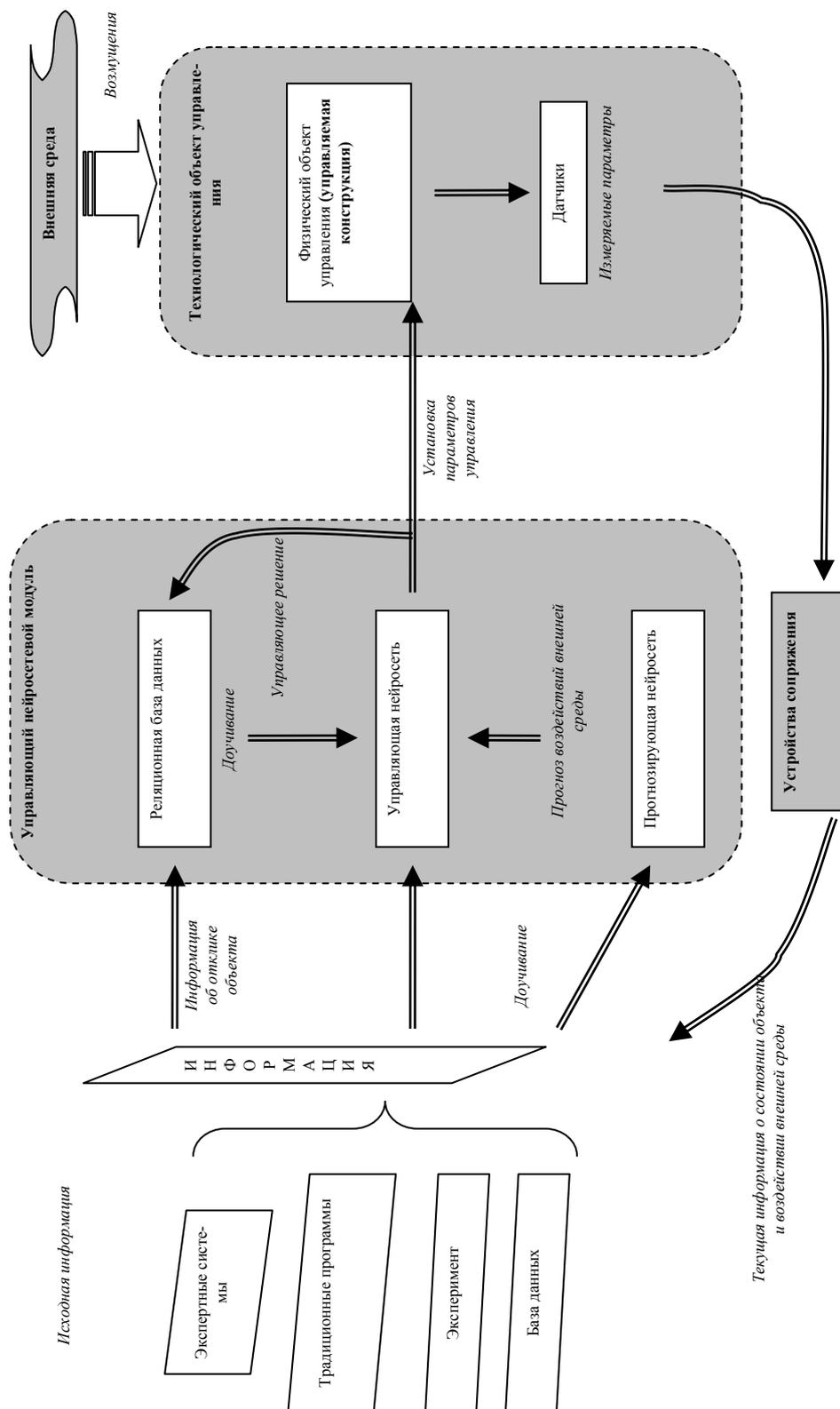


Рис. 1. Функциональная схема шагового процесса нейруправления с доучиванием

Проведенные исследования и достигнутые результаты указывают на *перспективность разработок на основе представленных нейросетевых технологий в применении к задачам строительства, создания нейроуправляемых конструкций и систем в направлении их интеллектуализации.*

### **5. Предпосылки применения нейросетевой технологии к вероятностным проблемам**

Развитие и применение статистических методов связано со следующими трудностями (проблемами):

- получение достаточной статистической информации, что часто невозможно или затруднено;
- сложность аналитических решений, часто неэффективность их получения или их отсутствия и др.

Для преодоления этих трудностей в настоящее время используется компьютерное (инженерное) моделирование, численные эксперименты.

Известно, что для методов статистического моделирования необходимо знание статистик входных случайных параметров. Каждое испытание состоит из выбора множества значений входных параметров, выполнения детерминированного расчета конструкций и получения множества выходных параметров. Для расчетов нередко применяются различные допущения, в том числе заданное распределение входных параметров.

Таким образом, осуществляется синтез методов компьютерного моделирования с методами вероятностных расчетов, т. е. вероятностные (статистические) методы обрабатывают массив численных решений. В качестве схемы разрушения конструкций принят такой набор критических сечений, при которых конструкция превращается в кинематически изменяемую систему. Надежность конструкции определяется вероятностью того, что конструкция при заданных нагрузках не разрушается ни по одной схеме разрушения.

Нам представляется, что имеется альтернатива вероятностным методам в виде нейросетевой технологии. Обоснованием эффективности применения нейросетевой технологии является:

- обученная на основе паттерна статистических данных нейросетевая программа обладает быстроедействием и возможностью извлечения многообразной информации, в том числе получение из многовариантных исходных параметров при статическом разбросе их значений, определенного множества (многопараметрических) выходных данных, которые можно подчинить выбору определенных критериев надежности, в том числе критических или оптимизационных при заданных ограничениях (этому способствует быстрая фактически прямая связь входа с выходом);
- нет необходимости принимать какие-либо упрощения и допущения о распределении исходных данных;
- возможность доучивания программы на основе новой информации делает нейросетевой инструмент более близким к интеллектуальному;

● использование нейропрограммы для нейропрогнозирования, для задач управления и других целей.

Таким образом, есть все предпосылки для применения нейросетевой технологии для проектирования эффективных конструкций [44, 45, 47] с заданным уровнем надежности.

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Нейроуправляемые конструкции и системы: Учебное пособие для вузов / Н. П. Абовский, А. П. Деруга, О. М. Максимова, П. А. Светашков; под ред. Н. П. Абовского. Кн.13:– М.: Радиотехника, 2003. – 368 с. (Научная серия "Нейрокомпьютеры и их применение", ред. А. И. Галушкин).

2. **Абовский, Н. П.** Нейроуправляемые технологии в задачах оптимизации, прогнозирования и управления: научное издание / Н. П. Абовский, А. П. Деруга, О. М. Максимова, П. А. Светашков, Н. И. Марчук. - Красноярск, КрасГАСА. 2003. – 176 с.

3. **Абовский, Н. П.** Основные направления и предпосылки развития нейросетевых подходов к задачам строительной механики, к управлению конструкциями и другими сетевыми системами // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. 2001. № 9.

4. **Смолянинова, Л. Г.** Нейроуправляемые конструкции. Учет свойств реального объекта / Л. Г. Смолянинова, Н. П. Абовский, В. Б. Бабанин, П. А. Светашков // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. 2001. № 9.

5. **Абовский, Н. П.** Системный взгляд на развитие нейроуправления конструкциями и системами: сборник научных работ / Н. П. Абовский, О. М. Максимова, П. А. Светашков. Доклад на IV Всеросс. конф. «Нейроинформатика – 2002». М.: МИФИ, 2001.

6. **Абовский, Н. П.** и др. Нейросветофоры. Создание интеллектуальных систем управления дорожным движением: учеб. пособие / КрасГАСА. Красноярск, 2002.

7. **Деруга, А. П.** Нейросветофоры: гибкое управление дорожным движением с помощью нейросетевых моделей/ А. П. Деруга, Н. П. Абовский, П. А. Светашков // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. 2001. № 9.

8. **Пат. 2151424** Российская Федерация. Устройство управления светофорным объектом с ЭВМ с нейропрограммами /Абовский Н П., Бабанин В. Б., Смолянинова Л. Г., Жуков В. И., Островский П.В., Ковалев В. Н. 1998, Бюл. № 17.

9. **Пат. 2134453.** Способ нейросетевого координированного управления транспортными потоками в районе регулирования / Бабанин В. Б. , Смолянинова Л. Г., Абовский Н. П., Черноусов В. Н, Жуков В. И., Омышев М. Г., 1999, Бюл. № 22.

10. Пат. 2169946 Российская Федерация. Способ нейросетевого межрайонного управления дорожным движением / Бабанин В. Б., Смолянинова Л. Г., Абовский Н. П., и др., Бюл. № 18.

11. Пат. 2151424 Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки и устройство для его реализации / Абовский Н. П., Бабанин В. Б., Л.Г. Смолянинова, 1998, Бюл. 17.

12. Пат. 2105959 Российская Федерация. Контрольно-управляющее устройство для управления напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки, 1998, Бюл. № 15.

13. Абовский, Н. П. Поиск и построение эффективных нейросетевых моделей для решения некоторых прикладных задач механики / Н. П. Абовский, Т. В. Белобородова, Максимова О. М. Доклад на VIII Всеросс. конф. «Нейроинформатика и ее приложения». Красноярск, 2000. – С. 3,4.

14. Абовский, Н. П. Нейросетевые аппроксимации в задачах строительной механики / Абовский Н. П., Белобородова Т.В., Максимова О.М. Доклад на VI Всеросс. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». М., 2000.

15. Абовский, Н. П., Нейросетевые модели в задачах строительной механики / Абовский Н. П., Белобородова Т. В., Максимова О. М., Смолянинова Л. Г. // Известия вузов. Строительство. № 7. 2000. – С. 6-14.

16. Абовский, Н. П. Приложения нейроинформатики к строительной механике / Абовский Н. П., Белобородова Т. В., Максимова О. М. Доклад на III Всеросс. конф. «Нейроинформатика – 2001» // Сборник научных трудов. М.: МИФИ, 2001.

17. Абовский, Н. П. Нейросетевое моделирование в задачах теории пластин и оболочек / Н. П. Абовский, Т. В. Белобородова, О. М. Максимова. // Известия вузов. Строительство. 2001. № 9.

18. Абовский, Н. П. Системный подход к нейросетевому моделированию / Н. П. Абовский, О. М. Максимова // Нейрокомпьютеры, разработка и применение. 2001. № 9. С. 9-13.

19. Абовский, Н. П. Нейросетевые подходы к расчетным и проектировочным задачам строительной механики / Н. П. Абовский, О. М. Максимова, Т. В. Белобородова // Нейрокомпьютеры, разработка и применение. 2001. № 9. С. 14-30.

20. Абовский, Н. П. Применение нейронных сетей к расчету и оптимизации пространственных конструкций / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. Докл. на сессии IASS -2001, Москва.

21. Абовский, Н. П. Нейросетевые технологии оптимизации, прогнозирования и управления конструкциями и системами / Н.П. Абовский, О. М. Максимова, П. А. Светашков. Докл. на Первом сибирском авиакосмическом салоне САКС-2001. Красноярск. С. 331-333.

22. **Абовский, Н. П.** Разработка практического метода нейросетевого прогнозирования / Н. А. Абовский и др. Доклад на VIII Всеросс. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение», Москва, 2002.

23. **Абовский, Н. П.** Нейросетевая технология в задачах прогнозирования, оптимизации и управления / Н. П. Абовский, О. М. Максимова, П. А. Светашков. Доклад на науч.-техн. конф. «Сибресурс – 2002», Томск.

24. **Абовский, Н. П.** Нейросетевая модель прогнозирования / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. Доклад на X Всеросс. семинаре. «Нейроинформатика и ее приложения». Красноярск, 2002. – С. 3-4.

25. **Абовский, Н. П.** Нейронные сети и аппроксимация функций: учебное пособие / Н. П. Абовский, Т. В. Белобородова, А. П. Деруга, О. М. Максимова. Учебное пособие / Красноярск, КрасГАСА. 2002. 134 с.

26. **Абовский, Н. П.** Эволюционная модель нейросетевого прогнозирования / Н. П. Абовский, О. М. Максимова, П. А. Светашков. Доклад на V Всеросс. конф. «Нейроинформатика – 2002» // Сборник научных трудов. Ч.1. М.: МИФИ, 2003. – С. 207-214.

27. **Максимова, О. М.** Нейросетевая модель прогнозирования // Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и преподавателей. Сборник докладов. Секция «Строительная механика и управление конструкциями». Красноярск: КрасГАСА, 2003. – С. 33.

28. **Абовский, Н. П.** Повышение точности решений в задачах нейросетевой интерполяции и экстраполяции / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. Доклад на XI Всеросс. семинаре. «Нейроинформатика и ее приложения», Красноярск, 2003. – С.3-4.

29. **Абовский, Н. П.** Эффективный нейросетевой метод пошагового прогнозирования и его применение к многомерным задачам / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. / Нейрокомпьютеры, разработка и применение. 2003. № 8-9.

30. **Максимова, О. М.** Использование нейросетевых технологий для повышения точности в задачах экстраполяции и интерполяции / О. М. Максимова. Доклад на VI Всеросс. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика – 2004» // Сборник научных трудов: В 2 ч. Ч.1. М.: МИФИ, 2004. – С.190-200.

31. **Абовский, Н. П.** Развитие и применение нейроинформатики к задачам прогнозирования и оптимизации / Н. П. Абовский, О. М. Максимова, П. А. Светашков / Вестник Красноярского Регионального Отделения САН ВШ. Вып. 12, Красноярск. 2005. – С.5-23.

32. **Абовский, Н.П.** Развитие нейросетевой технологии прогнозирования и оптимизации / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и преподавателей. Сборник докладов. Красноярск: КрасГАСА, 2005.

33. **Абовский, Н. П.** Моделирование и принятие решений в условиях неопределенности. Инженерный и нейросетевые подходы.

34. **Максимова, О. М.** Доклад на VII Всеросс. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика – 2005», Сборник научных трудов: в 2-х частях. Ч.1. М.: МИФИ, 2005. – С.280.

35. **Максимова, О. М.** Эволюционная модель нейрорегуляции как метод более глубокого прогноза / О.М. Максимова, Н.П. Андреев. Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и преподавателей. Сборник докладов. Красноярск: КрасГАСА, 2006. С.71.

36. **Максимова, О. М.** Нейропрогнозирование как эволюционный интеллектуальный процесс. // Международная конференция «Искусственный интеллект – 2007». Научно-теоретический журнал, №4, 2007. Изд-во МОНiНАН, Украина, Донецк, С.623-634.

37. **Абовский, Н. П.** Нейропрогнозирование результатов натуральных испытаний строительных конструкций на основе эволюционной пошаговой модели с доучиванием. / Н. П. Абовский, О. М. Максимова. Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч.1. М.: МИФИ, 2007. С.122-131.

38. **Максимова, О. М.** Нейропрогнозирование с использованием пакетов программ моделирования нейронных сетей при исследовании строительных конструкций/ О. М. Максимова // Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение», ж. «Нейрокомпьютеры, разработка и применение. №9, 2007. С.

39. **Максимова, О. М.** Метод практического нейросетевого прогнозирования в приложении к пространственным строительным конструкциям / О. М. Максимова // XV Всеросс. науч. Семинар «Нейроинформатика и ее приложения». Сборник научных трудов. Красноярск. 2007. С.

40. **Abovskiy, N. P.** Neuro-Prognosis Based on Step Model with Teaching for Natural Tests Results of Building Structures / N. P. Abovskiy, O. M. Maximova // j. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics), 2007, Vol. 16, No.1, pp. 40-46.

41. **Abovskiy, N. P.** Neuro-Prognosis Based on Step Model with Teaching for Natural Tests Results of Building Structures / N. P. Abovskiy, O. M. Maximova // j. SPRINGER, 2007.

42. **Максимова, О. М.** Использование нейросетевых технологий для прогнозирования результатов испытаний строительных конструкций / О.М. Максимова/ Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и преподавателей. Сборник докладов. Красноярск: ИАС СФУ, 2007. С.15.

43. **Максимова, О. М.** Разработка и применение метода шагового нейросетевого прогнозирования /О. М. Максимова, Н. П. Абовский / Вестник Красноярского Регионального Отделения САН ВШ, вып.15, Красноярск. 2009. С.12-19.

44. **Абовский, Н. П.** Системный подход к нейросетевому моделированию / Н. П. Абовский, О. М. Максимова / «Нейрокомпьютеры. Разработка, применение», 2001, № 9

45. **Максимова, О. М.** Нейросетевые подходы к расчетным и проекторочным задачам строительной механики /О. М. Максимова, Т. В. Белобородова / ж. «Нейрокомпьютеры, разработка и применение. № 9, 2001. С.14-30.

46. **Абовский, Н. П.** Осмысление проектирования как разновидности нейросетевого моделирования. Возможности синтеза традиционной конструкторской и нейросетевой методологий /Н. П. Абовский, А. П. Деруга, В. И. Савченков / «Нейрокомпьютеры. Разработка, применение», 2001, № 9

47. **Деруга, А. П.** Постановки и алгоритмы решения оптимизационных задач с использованием нейросетевых моделей /А. П. Деруга, Н. П. Абовский и др. / «Нейрокомпьютеры. Разработка, применение», 2001, № 9

48. **Абовский, Н. П.** Развитие нейросетевой технологии проектирования и оптимизации / Н. П. Абовский и др. Сборник докладов Всеросс. науч.-техн. конф. «Сибири – новые технологии в архитектуре, строительстве и ЖКХ», 21-22 апр., Красноярск. 2005.

УДК 69:001.89

## **РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО МЫШЛЕНИЯ В ОБУЧЕНИИ И ТЕСТИРОВАНИИ**

Абовский Н. П., Палагушкин В. И.

*«Величие человека в его способности мыслить» Б. Паскаль  
«Важнейшая задача цивилизации научить человека мыслить» Т. Эдисон*

Современные задачи инновационного развития цивилизации возможно эффективно решать только на основе интеграции, междисциплинарного синтеза знаний, на базе системного подхода (мышления) во взаимосвязи явлений. Системное мышление дает возможность увидеть и понять мир в единстве, в широкой глубокой и образной перспективе. Современное развитие позволяет обучать системному мышлению.

Множество данных не дает знания, пока не выявлены соединяющие их закономерности. Только тогда создается «картина», ключ к моделированию изучаемого явления как генератора творческих решений. Секрет создания целостного образа системы, понимания системы состоит в умении (способности) выделить главные связи, взаимозависимости, определяющие специфические особенности ее жизнедеятельности (функционирования), формирования ее интегральных свойств. Способность раскрыть такой секрет сродни искусству, как и способность создать эффективную систему, нацеленную на желаемое функционирование.

Со времен Декарта (более трех веков тому назад) получил развитие аналитический подход, расчленяющий целое на отдельные части, каждая из которых поддается решению. Но этот мощный метод расчленения лишь тогда приводит к реальным результатам, если учитываются связи между частями и окружающей средой. Этот диалектический принцип делает метод расчленения разновидностью системного подхода. Студенты, изучающие сопротивление материалов, широко используют метод расчленения (РОЗУ), однако не связывают его с философией системного подхода и не применяют его в других областях инженерии.

Важнейшей частью обучения, как известно, является тестирование знаний. При этом тестирование должно рассматриваться как этап обучения, использоваться как обратная связь для его совершенствования (а не только как некоторый контроль). Как и чему учим, то и тестируем. Образование должно давать не простую сумму знаний, но и понимание их сущности, творческое овладение. Поэтому тестирование должно иметь также системный подход, содержать творческую составляющую.

Особое значение имеет обучение системному мышлению для открывающейся подготовки магистров, а также аспирантов. Но на этом пути придется, к сожалению, преодолевать сложившиеся психологические барьеры. В методологии образования Высшей школы они не изучены. Обучению проблемам творческого научного мышления, включая тестирование, должно быть уделено большое внимание и использован опыт обучения.

### **1. Психологические барьеры на пути обучения системному мышлению**

*Современные проблемы инновационного развития нужно решать на основе системного творческого мышления*

**1.1.** На практике одним из главных психологических барьеров при обучении студентов является сложившаяся многолетняя привычка традиционной учебы в течение 10-15 лет, основанная на «правильном» обучении. «Правильное» в том смысле, что в основе его лежит изучение и подчинение правилам и нормам и т. п., т. е. тому, что «можно и что нельзя». И эти знания и умения являются проверочными критериями «качественного» обучения (далее тесты, ЕГЭ и т. д.). Этого достаточно для успеваемости и потому не стимулируется развитие творческого мышления. Такой широко распространенный стереотип мышления, не оставляющий места для свободы мысли и поиска, занимает все клетки мозга учащегося и является подчас непреодолимым барьером раскрытия мышления обучения творчеству.

Известно, что изначально же голова ребенка стремится воспринимать все новое, но традиционное шаблонное обучение вытесняет эти естественные задатки развития. Действительно, если ученика учат решать определенные типы задач, «натаскивают на их решение», то он, конечно, пасует перед нестандартной ситуацией. Он не понимает системы, взаимосвязи элементов, не

способен собрать нужную информацию и сформулировать (поставить) задачу. Студенту, которого в обучении «натаскивают» только на знание положений СНиПов, создание и применение нового (которое, естественно, не предусмотрено СНиПом) не представляется возможным. Он не знает эволюции законов развития техники, не владеет системным подходом. В лучшем случае такой студент будет послушным исполнителем, а не мастером – творцом.

Одной из принципиальных причин такого образования является отсутствие (или недостаток) системообразующих курсов и развития системного мышления. Существующее расчленение обучения по узко специализированным кафедрам, преподаватели которых не выходят за их рамки, без целостной системной взаимосвязи создает определенную ограниченность, зашоренность мышления. Необходимо способствовать становлению системообразующих курсов и стимулировать изучение их студентами.

**1.2.** Психологические аспекты образования имеют две взаимосвязанные стороны. С одной стороны – обучающийся, с другой – преподаватель, учитель. Активность и готовность (желание, заинтересованность, любознательность и т. п.) должны быть заложены в учебно-воспитательном процессе личностью учителя, ученого и человека в их совместной целенаправленной деятельности.

«Учитель как носитель тайного жара» (проф. Космодемьянский А. А.) должен зажечь огонь творческого познания, что возможно лишь в тесном постоянном общении с учеником, нацеленном на совместное дело. Нельзя переоценить важность значения такого общения как при выполнении учебного задания (консультации, приемно-зачетная работа) и особенно в совместной научно-исследовательской работе. Многолетний опыт работы авторов показывает, что длительное общение на кафедре даже с «нерадивыми» студентами способствовало их вовлечению в изобретательскую и другую совместную творческую деятельность вплоть до занятия призовых мест на конкурсах и грамот Министерства. Следует отметить, что исключение из учебной нагрузки преподавателя «часов» на прием учебных заданий в СФУ – это отрицательный фактор также как и повсеместное стремление заменить живое общение студента с преподавателем компьютерной технологией. Надо верно оценивать негативную роль компьютеризации, которая волей неволей насаждает (внедряет) шаблонные методы и не может заменить творческое обучение и развивать творческое мышление. Компьютер и современные программы должны использоваться как некий мощный инструмент, сам же творческий настрой должен создавать человек. Без учета этих особенностей в результате обучения в лучшем случае будет эрудированный специалист, обладающий некоторой суммой знаний, но не умеющий их творчески использовать, знающий «что можно» и «что нельзя», а в ординарном случае – ремесленник, способный тиражировать известные решения.

Большим тормозом в творческом обучении является сверхузкая специализация, а подчас и низкий уровень ряда преподавателей, не привыкших к

системному осмыслению, что порождает зашоренность учеников. К сожалению, критерием оценки качества провозглашают наличие репродуктивных знаний, т. е. способность воспроизвести прочитанное, а не понимание и владение знаниями для творческой деятельности. Борясь с этим, в ряде вузов открывают элитные группы, создавая творческую атмосферу для студентов и преподавателей. Этого в СФУ еще нет.

## **2. О системном алгоритме творческого мышления**

Усложнение методов обучения творчеству является определенным препятствием для его освоения. Так, например, в переизданном учебном пособии, рекомендованном Минобразованием, предлагается алгоритм творческого поиска, содержащий последовательность действий из 80 пунктов. Обучаемый не может удержать их в голове и теряет самостоятельность. В других пособиях содержатся рекомендации описательного характера процесса вместо активного овладения искусством творческого мышления. Отметим, что мощная диалектика методологии системного подхода во многих учебных пособиях даже не используется.

Новоявленные деятели конца XX века, стремясь выкорчевать идеи марксизма-ленинизма, выбросили за борт из образовательных программ и диалектику Гегеля, пренебрегая целостностью и взаимосвязью явлений. Без этого понимания системное мышление и современное инновационное развитие невозможно.

Отметим, что разработанный и применяющийся на кафедре строительной механики и управления конструкциями ИГУРЭ СФУ более 20 лет алгоритм творческого мышления отличается ясностью и способностью для активного овладения, имеет четкую простую логику, не требующую специального запоминания [1]. Речь идет о *рациональном творчестве*, которое используется в научной, изобретательской, инженерной, педагогической и другой поисковой деятельности.

Предложено следующее определение [1, 2]:

**Рациональное творчество – это активный, целеустремлённый созидательный многоцикловый процесс поиска и достижения нового эффективного (результата) решения определённой проблемы, базирующийся на концепции (взаимоувязанной триаде):**

- **системный (функционально-структурный) подход,**
- **законы развития и функционирования систем,**
- **многообразные методы принятия решений.**

Данная формулировка творчества обладает полнотой и имеет активную сознательную действенную направленность, которая позволила использовать её не только в научной и практической деятельности автора, но и в учебном образовательном процессе для студентов, естественно, с развитым методическим обеспечением и конкретизацией [1-7]. Разработан системный алгоритм творческого мышления, основанный на триаде: системный подход -законы

развития – методы принятия решений, который представляет эволюционную интеллектуальную систему.

### **2.1. Сущность системного алгоритма творчества (рис. 1)**

Активная творческая деятельность базируется на системном подходе, на закономерностях функционирования и эволюции систем и на многообразных методах принятия решения [1, 2].

- Целью творческого (рационального) мышления является поиск (принятие) решения некоторой проблемы, рожденной определенной **потребностью**, в соответствии с действующими закономерностями и условиями развития данной системы, ориентированной на достижение желаемой цели.

- Прежде всего, необходимо **определить систему**, в рамках которой возможно решение данной проблемы. Выбор такой системы является важнейшим ключевым фактором. Ее выбор обычно осуществляется на интуитивном уровне, на некотором видении (догадке), и не поддается, как правило, формализации. Во многих задачах выбор системы содержится в наборе необходимых данных, в постановке задачи. Понятно, что неудачно или неверно выбранная система не позволит получить рациональное решение.

При построении системы необходимо убедиться в том, что она содержит полный (целостный) набор функциональных элементов, что связи между этими элементами таковы и так расставлены, что обеспечивается функционирование в направлении желаемого результата (цели). Отсутствие (или нарушение) хотя бы одного из этих трех факторов (полного набора элементов, правильной расстановки связей для возможного достижения цели) делает систему неполноценной, а решение проблемы невозможной (нерациональной).

**Таким образом, под системой понимаем полный (целостный) набор функциональных элементов, связанных между собой так, что возможно достижение желаемой цели.**

Обратим внимание, что здесь рассуждения ведутся на **функциональном** (а не на структурном) уровне элементов и связей. Такой функционально-структурный подход закладывает априори возможности многовариантного выбора структур, удовлетворяющих данной функциональной системе, т. е. обеспечивает на стадии принятия решения возможность выбора рациональной структуры из набора возможных структур.

Отметим, что формирование системы должно осуществляться в соответствии с **объективными закономерностями развития** (эволюции) систем подобного типа. Например, для технической системы – это переход от ручной к механизированной, затем к автоматизированным технологиям с использованием более совершенных материалов и источников энергии и т. п.

- Выбранная система подвергается выявлению и анализу внутренних закономерностей функционирования системы и связей ее с внешней средой с целью **выявления противоречий** (трудностей). Необходимо выявить глав

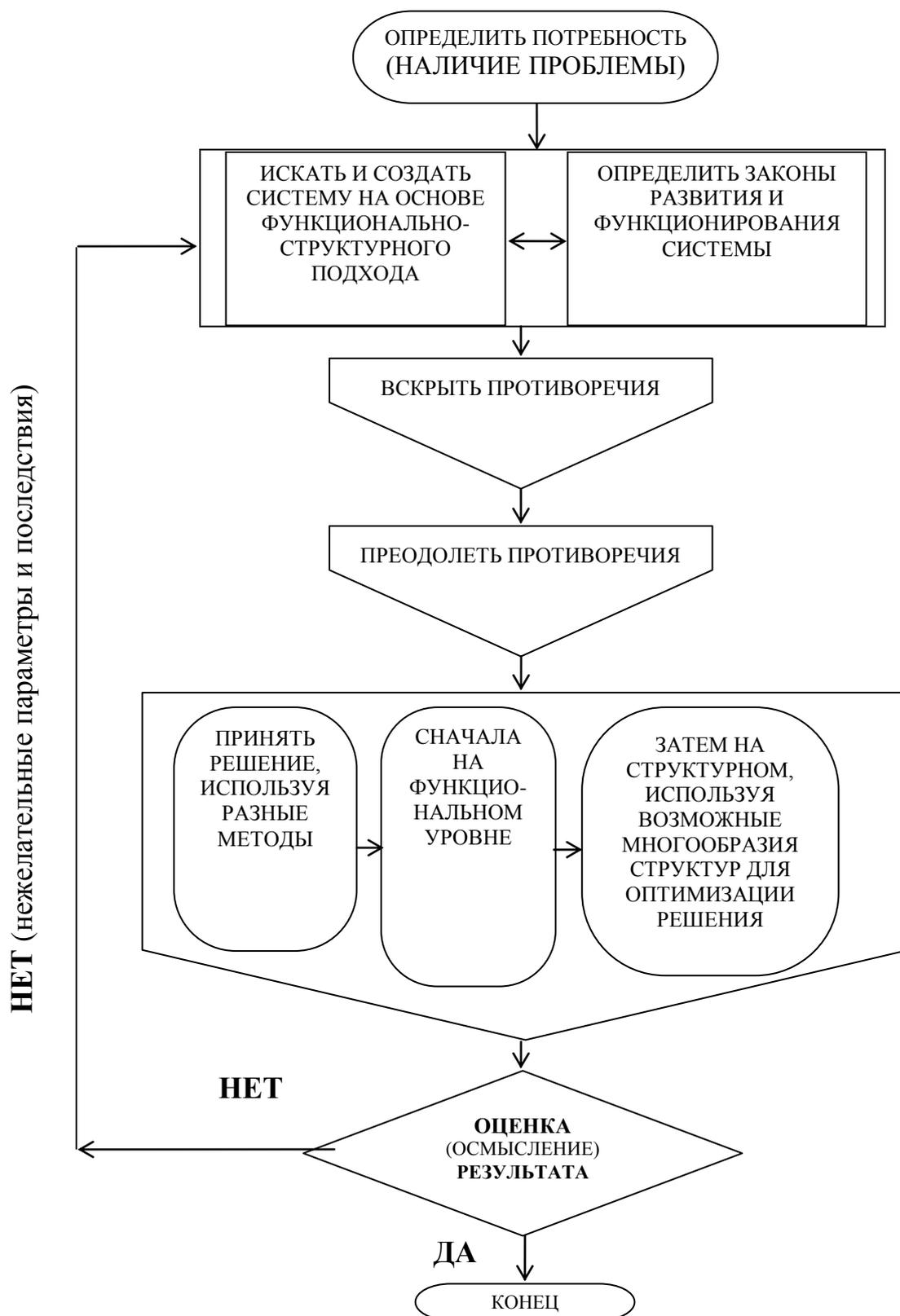


Рис. 1. Алгоритм творческого процесса

ные наиболее существенные противоречия, затрудняющие успешное функционирование данной системы.

- Поиск путей и средств **преодоления выявленных противоречий** – важнейший этап мышления. Для технических систем здесь используются известные фонды физических эффектов, а также новые достижения науки и техники. Не исключено, что на этом этапе возможно придется внести изменения в исходную систему (например, расширить ее путем введения дополнительных элементов), а затем повторить этапы 1 и 2.

- Опираясь на принятый вариант преодоления противоречий, можно приступить к **формированию структуры, выбору ее лучшего варианта из многообразия возможных**. Здесь целесообразно использовать известные различные методы принятия решений (мозговой штурм и др.). Заметим, что некоторые из этих методов могли быть использованы и на предыдущих этапах алгоритма, например для выбора системы.

- **Оценка принятого решения** завершает цикл творческого поиска. Необходимо не только оценить эффективность принятого решения, но и *рассмотреть те проблемы, которые возникают после реализации данного решения*. Известно, что решение одних проблем, порождает новые. Процесс заканчивается, если желаемое достигнуто. Если же нет, то необходимо вернуться к этапу 1, внести изменения (часто дополнения) в исходную систему и повторить процесс на новом витке поиска.

Схема данного алгоритма приведена на рис. 1.

**Некоторые практические рекомендации пользователям** данной триады творчества:

- ◆ исходя из выявления и определения потребности, сформулировать проблему, затем подбирать и создавать соответствующую систему на основе функционально-структурного подхода;

- ◆ при выборе (поиске) системы, охватывающей проблемную ситуацию, отдавать предпочтение сначала функциональному уровню (т. е. сначала определять функциональный состав – целостность системы), а затем определить многообразие ее структурных форм, обеспечивающих возможность ее оптимизации (или, по меньшей мере, перебор вариантов);

- ◆ при выборе системы целесообразно заранее определить возможные переменные параметры, управление которыми позволит достичь желаемого решения; какие из неизменяемых параметров можно перевести в разряд переменных (управляемых)?

- ◆ искать и находить закономерности и взаимосвязи явлений и частей в данной системе;

- ◆ вскрыть противоречия в функционировании и развитии систем;

- ◆ для преодоления данных противоречий находить и использовать условия их единства (может быть компромисса) противоречий. (Помня о борьбе противоположностей, не забывать об их единстве);

- ◆ понимать и сопоставлять решения с закономерностями и тенденциями развития техники;

- ◆ переходить от изолированных друг от друга антропогенных элементов и внешней среды к системам САУ, к развитию интеллектуальных систем. Создание САУ – пример активной реализации творческого системного подхода. Перерастание отдельных явлений и частей в САУ – закономерность развития систем;

- ◆ определить источник энергии, необходимый для функционирования (управления) системы. В качестве источника энергии может быть использование части энергии внешнего воздействия на систему или возможное перераспределение внутренней энергии системы между ее элементами;

- ◆ используя многообразные методы принятия решения, нельзя забывать о важности и необходимости оценки последствий принятого решения;

- ◆ цикличность творческого процесса позволяет вернуться к новому витку, если решение неудовлетворительно.

Действенность алгоритма творческого мышления доказана временем и достигнутыми успехами в учебном процессе, в изобретательской и научно-исследовательской деятельности. На его основе построен научно – образовательный комплекс «Управляемые конструкции и системы», изданы учебные пособия, патенты, обучено несколько тысяч студентов [1-7].

## **2.2. Альтернатива традиционному обучению решения кем-то поставленных учебных задач**

Системный подход позволяет по-новому подходить к методологии обучения, альтернативной традиционной.

**Вместо распространенного обучения умению решать различные типы задач нужно изучать и анализировать определенные системы и подсистемы, уметь определять в них зависимые (переменные) и независимые (постоянные) параметры и связи между ними и, наконец, добывать для этого необходимую информацию.** Развитие такого уровня мышления позволяет не только решать, но и **ставить задачи** в зависимости от того, **что известно и что требуется определить**, анализировать, возможно ли решение, единственно ли оно и т. д., а также переходить к другой (расширенной) более общей системе, в которой больше возможностей получения более выгодных (рациональных) решений. Такой альтернативный традиционному обучению подход имеет ряд преимуществ, способствует творческому обучению [2]. Отметим, что системный подход способствует применению новых технологий.

Известно, что примеры учат не меньше, чем теоремы. Полный набор примеров (паттерн) используется сейчас для развития и применения нейросетевой технологии, в том числе нейропрогнозирования [9].

### 3. О системном тестировании знаний

*Тестирование как часть процесса обучения должно способствовать развитию системного мышления*

Известно, что традиционное тестирование знаний не оценивает логику испытуемого и скорее похоже на «угадайку».

Бессистемность тестов, отсутствие логики и полноты охвата проблемы, уравнительный подход без стимулов стремления к лучшему знанию – все эти черты традиционного тестирования развивают шаблонное мышление. Развитие тестирования должно стремиться к **проверке понимания знаний** (а не их формальному набору), в том числе развитию логики мышления и в какой-то мере восполнить человеческое общение с учителем. Понимая всю сложность проблемы тестирования, в данной статье обращается внимание на одну из возможностей более качественного тестирования на основе системного подхода, прежде всего к определению понятий и синтезирующихся на их основе знаний, которые лежат в основе творческого мышления и обучения.

#### 3.1. Тестирование понятий. Системный подход к определению понятий

Ниже предлагается целостный подход к определению понятий в виде своеобразной формулы. **Понятие рассматривается как некоторая система, в которой целостный набор элементов выполняют ключевые слова, выражающие общие и специфические признаки данного понятия, а связи между ключевыми словами расставлены так, чтобы достигалось указанное желаемое назначение данного понятия (рис. 2).**

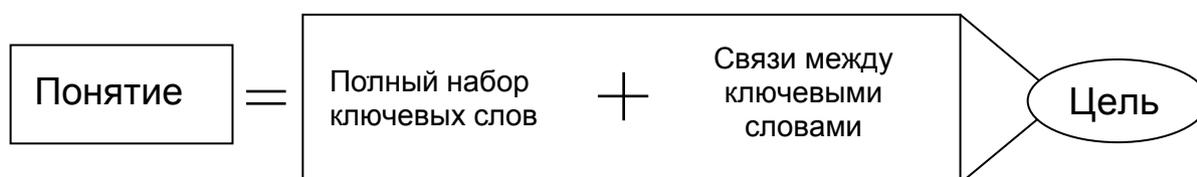


Рис. 2. Функционально-структурная схема «понятий»

Таким образом, активное (не описательно пассивное) определение "понятия" полностью (укладывается) определяется как некоторая система.

Без глубокого смыслового осознания нельзя системно определить: содержательно то или иное понятие и его предназначение (цель). С другой стороны, смысловому содержанию понятия требуется придать соответствующую содержанию форму (или, в некоторых случаях, формы), которая выражается через полный набор ключевых слов, связанных между собой так, чтобы распознавалась цель. В этом конкретность знания. Ключевые слова представляют собой некоторые подсистемы, из которых состоит данная система (понятие). **Неполнота набора ключевых слов нарушает целостность системы (понятия). Значит, если студент пропускает одно или несколько ключевых слов или не указывает связи между ними, то он не владеет должным понятием, допускает ошибку.**

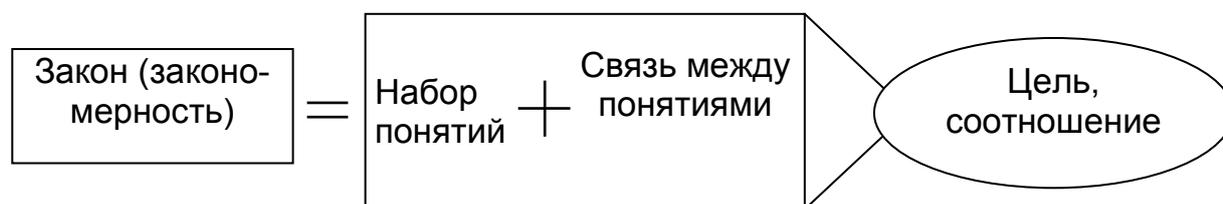
Набор ключевых слов должен отразить общие и специфические свойства понятия. Обязательно должна быть отражена цель (назначенные понятия). Без этого не может быть достигнута конкретность и однозначность определения. Можно полагать, что, зная цель (функцию) данного понятия, студент сможет **логически верно расставить необходимые связи (вспомогательные слова и согласования) между набором ключевых слов.**

Тестируемый должен назвать (или выделить) полный набор ключевых слов, уметь расставить связи между ними и указать конечный результат (цель, функцию, назначение). Здесь проявляются не только знания, но и логика мышления. Компьютерная реализация (программа) позволяет осуществлять проверку, давать подсказку, вести в какой-то мере диалог и делать оценки на разных уровнях.

Аналогично данной методике строятся процедуры тестирования (или обучения) для других моделей (устройств, методов, алгоритмов, тематических разделов и областей знаний). По мере накопления опыта система дополняется, совершенствуется, в том числе с учетом ошибочных ответов тестируемых.

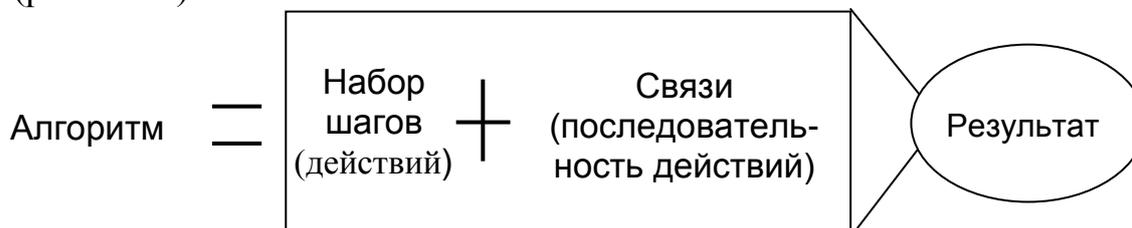
### 3.2. Схема тестирования определенных законов (закономерностей)

Исходим из функционально-структурной схемы (рис. 3).

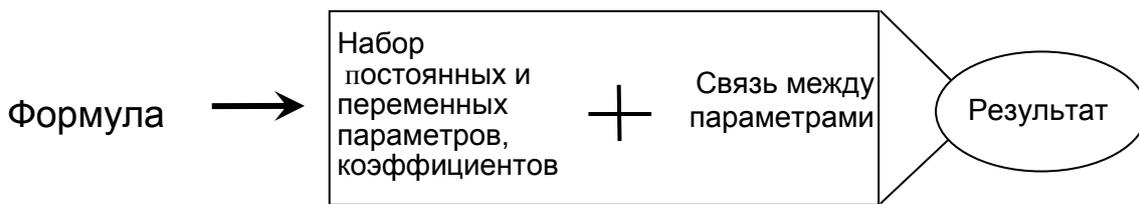


Фиг. 3. Функционально-структурная схема «законов» (закономерностей)

### 3.3. Схема тестирования знаний определенных алгоритмов и формул (рис. 4 и 5)



Фиг. 4. Функционально-структурная схема «алгоритма»



Фиг. 5. Функционально-структурная схема «формулы»

Целесообразна качественная проверка формулы: указать размерность каждого параметра и их соответствие размерности искомого результата.

**3.4. Тестирование знаний по определенной теме (области)** должно содержать следующее:

- из чего состоит данная тема как система, ее целостный состав (набор элементов – частей, разделов), их взаимосвязанность и целевая направленность на решение конкретной проблемы;
- актуальность, научное и практическое значение;
- связь с подсистемами;
- основные понятия;
- "внешние" законы, которым подчиняются знания по этой теме, и "внутренние" законы, которые устанавливаются в данной теме;
- применение, т. е. что достигается в этой теме;
- какие задачи и вопросы возникают для подтем и смежных тем;
- вопросы конкретного умения использования знаний по данной теме и др.

### **3.5. О подготовительном этапе тестирования**

Целью тестирования должна быть не только проверка, но и элементы обучения. Поэтому студентов надо *обучать умению тестироваться* как способностям аргументировать, доказывать, обосновывать свои знания и понимание, содержащиеся в ответах на вопросы. Если этого не делать, то студенты, выбирая простейший путь, будут просто заучивать правильные ответы на тесты.

Подготовительный этап обучения для тестирования должен включать ознакомление (изучение) структуры тестируемой дисциплины, раскрывающей его содержание.

Например, вариант структуры системного тестирования:

- цель и задачи курса;
- понятийный аппарат и наличие связей между понятиями;
- модель закономерности, гипотезы, ограничения, допущения;
- единицы измерений и их размерности;
- понимание данной темы как системы и ее связь с окружающей средой;
- основные подсистемы (части);
- функционирование, методы;
- основные трудности развития;

- противоречия, внутренние источники развития.

#### 4. Предложения по модификации традиционного тестирования

*... Чудодейственная сила живого общения учителя и ученика не должна вытесняться шаблонной компьютеризацией*

Предлагается некоторое дополнение к традиционному компьютерному тестированию (типа выбора одного из предлагаемых вариантов), которое дает студенту определенную свободу мышления и создает стимул для получения более высокого балла.

Схема усовершенствования (дополненного) тестирования состоит из двух частей:

**Часть 1** сохраняет существующие тесты, оценка по которым считается **минимально необходимой**.

**Часть 2** является дополнительной к части 1, которой может пожеланию воспользоваться тестируемый. Это не вопрос, а открытая возможность проявить свои знания и понимание по теме части 1. Такой дополнительный ответ может, например, содержать следующее:

- критическую (личностную) оценку содержания вариантов ответов части 1;
- обоснование (доказательство и т. п.) принятого ответа или показ его неполноценности, неточности и т. п.;
- свое видение (уточнение, опровержение) вопроса;
- пример, иллюстрирующий ответ и т. п. (т.е. различное углубленное понимание) или контрпример, опровергающий предложенные варианты ответа;
- составить достаточно полный набор ключевых слов и терминов по данной теме;
- выразить свое мнение о том, в какой мере поставленный в тестовом задании вопрос вскрывает сущность и глубину темы;
- предложить свою формулировку откорректированного вопроса и свой ответ.

Умение продумать вопрос – это важнейший элемент познания! Приведем пример. Пусть студент должен ответить на следующий тест: *элементы, необходимые для управления деформированием и перестройкой конструкций:*

- а) измерительная аппаратура;
- б) актуатор (устройство, реализующее управляющее воздействие);
- в) программы управления;
- г) оператор автоматизированной системы управления;
- д) обратная связь;
- е) характеристики материала конструкции.

По существующим правилам тестирования достаточно указать на полный или даже частичный набор предложенных ответов, чтобы получить положительную оценку. Но, увы, этого совершенно недостаточно, чтобы оце-

нить логику и понимание, то есть знание вопроса. Среди предложенных здесь ответов отсутствует важный элемент – наличие управляющего модуля (мозгового центра), без которого управляющая система не может функционировать. Студент может дать дополнительный ответ, содержащий принципиальные замечания о том, что в тесте не содержится то, как элементы связаны или соподчинены между собой. Ведь неправильная расстановка связей приводит к абсурду. Такого рода дополнительный ответ студента показывает понимание проблемы, то есть позволяет более высоко оценить его знания.

Организационно (технически) дополнительный ответ может тестируемым набираться на компьютере и (или) сообщаться учителю в личном общении, отметив специальный признак при тестировании. Имея положительную оценку по обязательному тесту части 1, студент может повысить свой балл в дополнительной части 2. Сохраняется стимул, повышается качество обучения. Отметим одну важную особенность данного предложения: кроме уважительной свободы мысли испытуемого и возможности общения с учителем, данный подход к тестированию позволяет постоянно совершенствовать (эволюционизировать, модернизировать) тесты, накапливая дополнительные мнения (ответы) студентов, которые выступают уже как активные участники процесса обучения.

Внедрение данного предложения, не требуя коренных изменений и затрат, использует уже существующую компьютерную систему тестирования и способствует повышению качества обучения и развитию системного мышления.

Внедрение данного предложения сокращает влияние случайного угадывания ответа, нацеливает на вдумчивый анализ, на умение аргументировать, доказывать, т.е. на проявление способностей, знания и понимания. Такое тестирование способствует формированию творческой личности.

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Секреты инженерного творчества. Научиться учиться. /Н.П. Абовский. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Институт архитектуры и стр-ва, 2007, - 304 с.

2. **Абовский, Н. П.** Творчество: системный подход – законы развития – принятие решений / Н. П. Абовский. Второе издание, М.: "Синтег ", 1998, – 293 с.

3. **Абовский, Н. П.** Современные аспекты активного обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управляемые конструкции. 3-е издание. /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, А. А. Светашков, О. М. Максимова. Красноярск : Сибирский федеральный ун-т. 2009, –407 с.

4. **Абовский, Н. П.** Чему учат и не учат инженеров. Учить творчеству: научное издание, Красноярск: КрасГАСА, 2006,- 139 с.

5. **Абовский, Н. П.** Сюрпризы творчества Диалоги и монологи о творчестве, его природе и принципах обучению творчеству» / Н. П. Абовский. Красноярск, КрасГАСА. 2004, – 353 с.

6. **Абовский, Н. П.** Управляемые конструкции /Н. П. Абовский. Красноярск. 1998, –433 с.

7. Нейроуправляемые конструкции и системы /под ред д.т.н. проф. Абовского Н. П. М. Радиотехника. 2003, –368 с.

УДК 624.041.5(075.8)

## **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ АКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ И НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Абовский Н. П., Марчук Н. И., Максимова О. М.,  
Палагушкин В. И., Савченков В. И., Стерехова Б. А.

Целью данной работы является развитие и применение в СФУ творческой инновационной составляющей в образовании и научно-инновационной деятельности. Разработка творческой составляющей основывается на созданном научным коллективом кафедры СМиУК СФУ междисциплинарном научно-образовательном инновационном комплексе (МНОИК) «Управляемые конструкции и системы», научных разработках и методологии активного творческого обучения.

Существенным недостатком нынешнего образования инженеров традиционно, как и раньше, является неумение действовать в нестандартных ситуациях и на их предупреждение. К таким ситуациям относятся не только аварии, участвовавшие в последнее время, но также весьма распространенные воздействия внешней среды, которые характеризуются неопределенностью по времени, месту и величине (например, провалы земной поверхности на обрабатываемой территории, карстовые проявления в грунтовой толще, сейсмичность, наводнения, сели, снежные лавины и др.).

Одна из главных причин такого положения в том, что нынешних инженеров и студентов не учили и не учат, как действовать и какие принимать решения в названных ситуациях. Действующие Государственные стандарты (ГОСы) на обучение, например, для инженеров строительных специальностей по направлениям 653500, **ориентированы только на пассивные постановки задач обучения, порождают бессилие и незащищенность перед ситуациями, выходящими за рамки математической обусловленности моделей.** Необходимость не только анализировать, но и синтезировать, активно управлять, подчинять процесс желаемому функционированию и результату, - таковы реальные задачи, систематически возникающие в творческом инже-

нерном процессе. Парадоксально, но концепция современного инженерного образования не сформулирована. ГОСы на инженерное образование весьма несовершенны, несистемны, содержат существенные пробелы и не охватывают всех необходимых направлений деятельности инженера.

Выделение в ГОСах региональной составляющей не спасает положения, хотя является некоторой отдушиной. Фундаментальная часть ГОСов ориентирована на математизацию, информатизацию и компьютеризацию подготовки инженеров, а также на обширную гуманитарную составляющую. Инженерную специализацию не относят к фундаментальной части и она часто имеет описательный характер, ориентированный на эмпирику и нормативы. Активные творческие поисковые проблемные постановки, как правило, отсутствуют.

Нами сформулирована и реализована в учебном процессе концепция системы активного творческого инженерного образования по следующим направлениям (рис. 1):

1. В областях, в которых известны **явные закономерности** и возможные математические формализации, необходимо учить задачам **активного управления** конструкциями и решениями, включая регулирование, синтез, оптимизацию. При этом необходимо гармонично сочетать математическое и физическое моделирование, без чего инженерное образование – ущербно [1-2].

2. В других областях, в которых **закономерности проявляются в неявной форме** в виде набора примеров, следует обучать прикладной нейросетевой технологии, включая новые методы нейроуправления, нейрооптимизации, нейропрогнозирования. Здесь существенным отличием от классических формализованных моделей является возможность совершенствования (доучивания) модели в процессе функционирования, что приближает ее к интеллектуальному уровню управления и соответствует современной теории эволюционной кибернетики [3].

3. В областях, в которых **закономерности не определены и теория весьма слабо развита** (например, неопределенные сейсмические воздействия или неравномерные осадки и просадки грунтов и др.), т. е. когда классические математические подходы и нейросетевая технология не эффективны, необходимо обучать умения находить такие конструкции и решения, **которые были бы мало чувствительны к неопределенности воздействий**, но обладали бы повышенной живучестью. Такой подход вместо решения «в лоб» реализует эффективный обходной маневр [4].

4. Овладение искусством **формообразования новых пространственных композиционных конструкций** с привлечением инженерной интуиции, изобретательства и творчества – этот старый по сути прием необходимо развивать на современном уровне, используя системный подход, новые материалы и их комбинации, технологии и технику.



*Таким образом, все четыре описанные выше области (направления) являются необходимыми элементами (составляющими частями) современной системы активного творческого образования.*

В институте градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета разработана такая *система активного творческого образования и реализована научно, методически и материально в научно-образовательном комплексе «Управляемые конструкции и системы»*, направленная на решение актуальной проблемы высшего технического образования – **усиление творчества как основного его компонента.**

**Развитие творческой составляющей базируется на[1-6]:**

- **активном творческом обучении**, включающем в себя:
  - моделирование конструкций и систем на основе эволюции расчетных схем;
  - управление конструкциями и системами, в том числе автоматическое управление;
  - подчинение конструкций и систем желаемым требованиям управления на стадиях создания, эксплуатации и модернизации, включая демонтаж (разрушение) конструкций;
  - обучении изобретательству;
  - принятии решений, в том числе в условиях неопределенности; сложности грунтовых условий; сейсмичности; требований экологичности, особенно для северных регионов; создании конструктивной безопасности; достижении оптимальности; предупреждении и оперативном управлении ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций;
- **учебных заданиях нового типа [2]**, общая методология которых имеет междисциплинарный характер и может быть использована для всех специальностей СФУ;
- **методах творческого мышления** – системном алгоритме творческого мышления (САТМ), законах развития и методах принятия решений, в том числе методах нешаблонного мышления и др.;
- **рекомендациях по работе над магистерскими и кандидатскими диссертациями;**
  - **новом системном тестировании знаний и обучении** (в том числе создании базовых конспектов лекционных курсов);
  - **рекомендациях как учить и как учиться;**
  - **разработанных и созданных на кафедре строительной механики и управления конструкциями СФУ учебных пособиях по активному творческому обучению**, в том числе выработке у обучающихся умения аргументировать, спорить и доказывать;
  - **изучении и овладении новыми технологиями** (компьютерными, физическим моделированием, нейрокомпьютерной информатикой);
  - **на сочетании физических и вычислительных алгоритмов;**

- **на участии обучающихся** в реальных практических разработках совместно с преподавателями.

- **научной философской методологической основе развития творческого мышления, включающей [1]:**

- системный подход, его развитие и перспективы;
- законы развития и функционирование технических наук;
- многообразные методы принятия решений;
- системный алгоритм творческого мышления (САТМ);
- нейросетевые технологии, включая новые методы нейропрогнозирования на основе эволюции и доучивания модели.

**Разработка научной инновационной составляющей, реализующейся в результатах выполненных работ и новых разработках по следующим направлениям:**

- управление конструкциями и системами;
- пространственные фундаментные платформы (ПФП), замкнутые здания, сложные грунтовые условия (данное направление одобрено письмом Минрегиона как вклад в национальную программу «Доступное жилье»);
- экологические проблемы строительства на Севере;
- конструктивная безопасность;
- оперативное управление ликвидациями последствий чрезвычайных ситуаций;
- исследование напряженно-деформированного состояния ПФП при разных параметрах;
- сейсмостойкое строительство (грант РФФИ 2006-08 г.г., патенты № 38789, 45410, 2206665, 50553, 55388, 59650, 2273697);
- резервуары, восстановление резервуаров (патенты № 53342, 63375,);
- нефтегазоносное строительство, опоры для магистральных трубопроводов (патенты № 2246657, 41829, 49251, 53006, 60669);
- нейропрогнозирование;
- новые комбинированные пространственные конструкции: реконструкция хрущевок, сталежелезобетонные конструкции (патенты № 29738, 44336, 46282, 2067644, 2039176, 2087641).

Научно-практическая ценность результатов заключается:

— **в разработке научно – философской методологической основы развития творческого мышления:**

- системный подход, его развитие и перспективы;
- законы развития и функционирования технических наук;
- многообразные методы принятия решений;
- системный алгоритм творческого мышления (САТМ);
- нейросетевые технологии, включая новые методы нейропрогнозирования на основе эволюции и доучивания модели.

— **в развитии материальной и научно-методической базы обучения и научных исследований, включающих:**

- учебный класс управляемых моделей с созданием рабочих мест для студентов;
- компьютерный класс с новейшими программами;
- создание лаборатории «Прикладной нейроинформатики»  
— *в разработке инновационной составляющей, включающей:*
- создание новых конструкций на изобретательском уровне, в том числе для нефтегазовых районов севера;
- новые подходы и конструкции для строительства в сложных грунтовых условиях;
- новые конструкции для сейсмостойкого строительства (патенты № 38789, 45410, 2206665, 50553, 55388, 59650, 2273697);
- вклад в реализацию национальной программы «Доступное жилье» (письмо- № 64-3-АШ/08 от 09.04.2007 г. Минрегиона) благодаря применению новых фундаментных платформ, позволяющих снизить себестоимость на 10-12 % по опыту строительства.
- опубликование в престижных изданиях 2007-2008 годах по тематике данного проекта 17 статей, в том числе в электронном журнале Springer, английской версии журнала Optical Memory and Networks, трудах РААСН и Альма-Матер, Международной конференции «Искусственный интеллект - 2007. Интеллектуальные системы» и др.;
- получение в 2007 году 3-х патентов и 2-х положительных решений на заявки на изобретения;
- предложение новой системы компьютерного тестирования знаний с возможностью обучения;
- издание книг «Секреты инженерного творчества. Научиться учиться», учебного пособия с грифом УМО строительных вузов «Современные аспекты обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управление строительными конструкциями», получившего в 2008 году медаль РААСН за лучшую научную и творческую работу в области архитектуры и строительных наук.

Научно-образовательный комплекс «Управляемые конструкции» ориентирован на вузы строительного профиля, предназначен для цикла расчетно-конструкторских дисциплин: сопротивление материалов, строительная механика, теория упругости и строительные конструкции и технологии.

Комплекс направлен на решение **актуальной проблемы** высшего технического образования – усиление творчества как основного его компонента. Предлагаемая система может быть развита и ее концепции использованы практически во всех инженерных вузах страны.

### Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Творчество: системный подход, законы развития, принятие решений: Сер. «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: Синтег, 1998. – 312 с.

2. **Абовский, Н. П.** Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, И. И. Гетц И.И. Уч. пособ.- Изд. 3-е, перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1993. -456 с.

3. **Абовский, Н. П.** Нейроуправляемые конструкции и системы / Н. П. Абовский, А. П. Деруга, А.П., Максимова О.М., Светашков П.А.: Уч. пособ. для вузов. – М.: Радиотехника, 2003. – 368 с.: ил. (Сер. «Нейрокомпьютеры и их применение», Кн. 13).

4. **Абовский, Н. П.** О некоторых противоречивых рекомендациях для сейсмостойкого строительства в сложных грунтовых условиях / Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, Е.О. Егоров. Ж. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2006. – № 6.

5. Нейрокомпьютеры: разработка, применение (Науч.-техн. журнал: Спец. выпуск, посвященный работам авторов – сотрудников КрасГАСА). – 2001. – № 9.

6. **Абовский, Н. П.** Управляемые конструкции: Уч. пособ. – Красноярск: КрасГАСА, 1998. – 433 с.

7. **Абовский, Н. П.** Загадки инженерного творчества. Учеб. Пособие. Красноярск, 2007.

УДК 624.041.5

**ПОДГОТОВКА МАГИСТРОВ  
НА ОСНОВЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ИННОВАЦИОННОГО  
КОМПЛЕКСА (МНОИК)  
«УПРАВЛЯЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ И СИСТЕМЫ»**

Абовский Н. П., Палагушкин В. И., Савченков В. И., Марчук Н. И.,  
Максимова О. М., Стерехова Б. А.

Управление конструкциями – новый современный междисциплинарный этап развития конструкций и систем, основоположником создания которых в России является кафедра строительной механики и управления конструкциями ИГУРЭ СФУ. Как пишет академик РАН И. Ф. Образцов, «Научные и учебно-методические **работы по управляемым конструкциям**, выполненные в Красноярской государственной архитектурно-строительной академии под руководством профессора Н. П. Абовского, **относятся к новому перспективному направлению фундаментальных исследований.**

Коллективу авторов работы научно-образовательный комплекс «Управляемые конструкции» принадлежит **несомненный приоритет** в области создания управляемых конструкций и гражданских сооружений. Разработанные

коллективом принципы, методики и устройства для управления конструкциями являются оригинальными, выполнены на высоком уровне и отражены в большом количестве статей, монографий, учебно-методических пособий, лабораторных работ и изобретений».

На кафедре создан и функционирует **междисциплинарный научно-образовательный инновационный комплекс «Управляемые конструкции и системы» (МНОИК)** (рис. 1), который получил применение не только в нашей академии, но и в ряде вузов России и стран СНГ. На его основе создана система активного обучения. Управление конструкциями **представляет собой новую методологию активного обучения** расчетно-конструкторским дисциплинам, основанную на **сочетании традиционного обучения с идеями активного управления напряженно-деформированным состоянием конструкций**, приближая их к разновидностям интеллектуальных систем.

Разработаны основы теории управляемых конструкций, содержащие принципы их создания и функционирования, новые способы и устройства управления, включая современные нейросетевые программы и устройства. МНОИК содержит комплект научных монографий, учебные пособия нового типа, уникальный учебный класс с управляемыми моделями конструкций, не имеющих аналогов, и новый лабораторный практикум, нетрадиционный курс и ряд спецкурсов.

Создана межвузовская лаборатория (КрасГАСА-КГТУ) «Управляемые конструкции и системы».

В рамках научной школы механики деформируемого твердого тела и пространственных конструктивных форм, сформировавшейся к 1970 г., защищено 4 докторских и более 45 кандидатских диссертаций. Высокий уровень научных результатов школы подтверждается многими наградами коллектива, изданными трудами, более 55 патентами, грантами РФФИ, выполнением заказов по программам Минобрнауки и Спецстроя, Законами Красноярского края № 5-303 и 305 по внедрению новых конструкций, а также отзывами ведущих ученых нашей страны: академика РАН Образцова И. Ф., академика РААСН, д.т.н., профессора Александрова А. В., президента МАН ВШ, профессора Шукшунова В. Е., зам. министра Минобрнауки РФ Виноградова Б. А., дипломами РААСН и Спецстроя и многими другими наградами. МНОИК занял первое место по России в конкурсе «Лучшие Российские научно-исследовательские организации строительного профиля «СТРОЙНАУКА–2004» в номинации «Лучшее высшее учебное заведение года».



Коллектив является ведущей пионерной организацией в стране по созданию и разработке управляемых конструкций, по активному формованию инженерных систем, по разработке нейросетевой технологии применительно к задачам механики и нацелен на подготовку высококвалифицированных специалистов по управлению конструкциями и системами. На кафедре прошло обучение более 2000 инженеров. Вложение в умы будущих специалистов прогрессивных идей управления конструкциями весьма положительно влияет на качество подготовки и творческий настрой.

**Стратегия развития МНОИК** на основе системы активного инженерного образования и современных основ автоматического управления напряженно-деформированным состоянием конструкций нацелена на подготовку магистров исходя из существующего в крае дефицита конструкторских кадров, а также аспирантов и докторантов, с непосредственным включением их совместно с преподавателями в решение инновационных задач развития края. Схема МНОИК содержит также и инженерно-гуманитарный блок «учить творчеству», нетрадиционные и специальные курсы, связь с различными междисциплинарными кафедрами, включая проблемы экологии с выходом на решение инновационных проблем безопасности, включая сейсмоустойчивость, национальные программы по доступному жилью, нефтегазовому строительству, строительству в Приангарье с использованием новых технологий и материалов и интеллектуализации сложных трудноформализуемых задач. Инновационная деятельность базируется на разработанном комплексе патентных решений, не имеющих аналогов в мировой практике, по строительству в сложных грунтовых условиях Сибири и районах сейсмичности, позволяя не только индустриально, но и экологично осуществлять строительство северных нефтегазовых объектов, успешнее реализовать национальную программу по доступному жилью, используя новые типы фундаментов, здания замкнутого типа, бросовые земли, в том числе в сейсмических районах.

**Цель реализации программы** – совершенствование системы активного инженерного образования на основе развития междисциплинарного научно-образовательного инновационного комплекса «Управляемые конструкции и системы» для подготовки специалистов высшей квалификации (магистров, аспирантов, докторантов).

**Задачи, реализуемые в рамках программы:**

- **Разработка концепции активного творческого образования** и создания инженерных конструкций и систем с целью активного управления ими, подчинения желаемому функционированию и конечному результату с системной оценкой ожидаемых последствий – как основа для создания и разработки программы подготовки магистров по научному и специализированному направлениям.

- **Развитие современной теории автоматического управления** напряженно-деформированным состоянием конструкций (САУ НДС), открывающей новые возможности инженерного конструирования и достижения но-

вых эффектов экологичности, надежности, безаварийности в различных областях инженерной деятельности. Современной междисциплинарной базой для разработки и создания управляемых конструкций является синтез таких наук, как строительная механика и конструкции, информатика, вычислительная математика, электроника, кибернетика, измерительная техника, теория и средства управления.

**Решение инновационных задач** на основе более 50 патентов и имеющегося научного задела с учётом сибирских условий, в том числе: участие в реализации национальной программы «Доступное жильё», снижение стоимости 1 м<sup>2</sup> на 10-12 %; эффективная новая технология строительства в нефтегазоносных районах Севера и промышленное строительство в Приангарье с учётом экологических требований и обеспечения безопасности; оперативной ликвидации аварийных последствий; сейсмоустойчивости конструкций и систем; новые конструктивные решения пространственного формообразования.

● **Совершенствование и развитие научного и учебно-методического комплекса магистерских программ на основе** создания и развития теории активного управления конструкциями, методологии активного обучения с разработкой и изданием новых монографий, учебных пособий (с грифом УМО) и применением новых технологий; **модернизации** уникального учебного класса управляемых конструкций, оснащении существующих и новых лабораторий современным оборудованием, средствами измерения и управления, программным обеспечением, видеоаппаратурой, мультимедиа и средствами коммуникации.

● **Альтернатива традиционному обучению решения поставленных учебных задач.** Вместо распространённого обучения умению решать различные типы задач нужно изучать и анализировать определенные системы и подсистемы, уметь определять в них зависимые (переменные) и независимые (постоянные) параметры и связи между ними и, наконец, добывать для этого необходимую информацию. Развитие такого уровня мышления позволяет не только решать, но и ставить задачи в зависимости от того, что известно и что требуется определить, анализировать, возможно ли решение, единственно ли оно и т. д., а также переходить к другой (расширенной) более общей системе, в которой больше возможностей получения более выгодных (рациональных) решений. Такой альтернативный традиционному обучению подход имеет ряд преимуществ, способствует творческому обучению. Отметим, что системный подход способствует применению новых технологий. Известно, что примеры учат не меньше, чем теоремы. Полный набор примеров (паттерн) используется сейчас для развития и применения нейросетевой технологии, в том числе для нейропрогнозирования.

● **Повышение квалификации и профессиональная переподготовка персонала** на основе организации постоянно действующей междисциплинарной школы-семинара по проблемам активного управления конструкциями и системами.

## Список литературы

1. **Абовский, Н. П.** Активные проблемы современного обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управляемые конструкции. 3-е издание /Н. П. Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, А. А. Светашков, О. М. Максимова. Красноярск : Сибирский федеральный ун-т. (приложение к журналу СФУ). 2009. –407 с.

2. **Абовский, Н. П.** Чему учат и не с.учат инженеров. Учить творчеству: научное издание, Красноярск: КрасГАСА, 2006. – 139 с.

УДК 539.3

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Абовский Н. П

Определение и выбор расчетных схем зданий и сооружений является фундаментальной проблемой развития строительной механики. Классическое понимание расчетной схемы содержит определение ее как некоторой идеализированной системы, содержащей существенные свойства реальной конструкции и пренебрегающей малозначимыми факторами, т.е. в основе выбора расчетной схемы лежат определенные гипотезы и допущения. Формализации этот процесс выбора не поддается, и он является некоторым синтезом инженерного искусства и научных достижений.

С философской позиции развитие и выбор расчетных схем являются некоторой **ступенью познания реальной работы конструкции**. Стремление приблизить расчетную схему к учету реальной конструкции является **постоянным неиссякаемым источником развития строительной механики**. Ему сопутствует необходимость (постоянная потребность) оценки точности и достоверности полученных результатов расчета по данным расчетным схемам. Это прекрасно исторически отражено в классических работах таких ученых, как В. Г. Шухов, Н. С. Стрелецкий, В. И. Федосьев, И. М. Рабинович и многих других.

Следует отметить, что в связи с развитием вычислительной техники и возникших возможностей численных методов происходили и вариации, и некоторые смещения (перекосы) по отношению к оценке развития строительной механики и методов расчета. Так, в прошлом веке с высоких трибун и в литературе заявлялось, что с появлением МКЭ а затем метода суперэлементов развитие строительной механики завершилось, а сейчас разработчики про-

грамм утверждают о неограниченных возможностях компьютерных методов расчета [1, 2].

С другой стороны приводятся примеры существенных отклонений теоретических расчетов от экспериментальных данных. Например, в определении периодов колебаний каркасных зданий, необходимых для расчетов на сейсмостойкость. А Росстрой инструктивно диктует необходимость дублирования расчетов по нескольким программам. Необходимо не терять определенную ясность в вопросах определения и выбора расчетных схем и компьютерных методов расчета на их основе, а также в оценке достоверности и результативности.

В ряде работ, например [1, 2], содержащих много ценных указаний по практическому применению тех или иных компьютерных программ (комплексов), упускается из вида основная связь принципиальных расчетных схем и их конечно-разностных реализаций с действительной конструкцией. Внимание уделяется только учету специфики конечноэлементной аппроксимации и освоения особенностей приспособления к программам. Пользователь, не знающий сущности программы и точно выполняющий инструктивные рекомендации, будучи ориентирован также только на эти вопросы, фактически работает «в темную».

Даже проверив решения МКЭ на последовательности сгущения сеток по нескольким программам (а многие авторы утверждают, что этого достаточно), пользователь-расчетчик остается в полном неведении об отношении данных результатов к реальной конструкции и в первую очередь – **к допустимости принятых гипотез и упрощений в расчетной схеме.** (Даже если огрубление результатов из-за использований редкой сетки снято). Однако такие возможности, как правило, имеются, но не используются. Разработчики программ и их инструктивные указания, к сожалению, не указывают на такие возможности оценки результата и не закладывают их в свои программы. Ниже укажем на такую возможность, используя эволюцию расчетных схем и итерационно-шаговый подход. Вряд ли здесь следует напомнить об ответственности проектировщика-расчетчика. Но автор с удивлением столкнулся с такой ситуацией при анализе компьютерных расчетов даже такой ответственной уникальной конструкции как плотина Богучанской ГЭС.

Мы не касаемся здесь методов физической экспериментальной проверки, это уже другая тема.

#### • Эволюция расчетных схем

Выбор расчетной схемы прежде всего зависит от цели расчета. Проектирование – это системная многоцелевая задача, и для расчета сооружения, как правило, используются различные расчетные схемы (упрощенные, прикидочные, балочные, плоскостные, пространственные и т. п.) на те или иные виды сопротивления или удовлетворения требованиям эксплуатации. Это широко распространенный прием. Но в нем разные расчетные схемы между собой, как правило, явно не связаны.

В других случаях можно использовать некоторую последовательность (эволюцию) расчетных схем. Например, для расчета сложного сооружения его искусственно расчлениают на части путем введения или удаления некоторых связей. Например, верхнее строение отделяют от фундамента, вводя жесткие опоры. Затем каждую часть рассчитывают независимо. Часто на этом проектирование завершается. Но остается несоответствие (противоречие, например, деформационного характера) в местах искусственного расчленения (расстыковки). Без учета влияния разрыва (несовместимости) деформаций такой расчет явно неполноценен. Методы строительной механики, в том числе и компьютерные программы, позволяют восполнить этот пробел. По существу классические методы строительной механики (метод перемещений, метод сил и др.), вводя сначала нарушения, устраняют их путем решения соответствующих канонических уравнений. Можно это сделать и итерационным путем, который здесь уместно применить. Покажем это на примере, взятом из учебного пособия [3, 4].

**Пример.** Двухпролетная балка (рис. 1) опирается по концам на массивные кирпичные стены, а в середине – на колонну. Исходные данные:  $l$ ,  $EI$  – соответственно пролет и изгибная жесткость балки;  $h$ ,  $E_k F_k$  – соответственно высота и осевая жесткость колонны,  $\alpha = \left(\frac{EI}{l^3}\right) / \left(\frac{E_k F_k}{h}\right) = 1/100$ ; нагрузка – равномерно распределенная с интенсивностью  $q$  по всей длине балки. Расчет ригеля как двухпролетной балки на жестких опорах приводит к нарушению совместности деформаций между балкой и колонной.

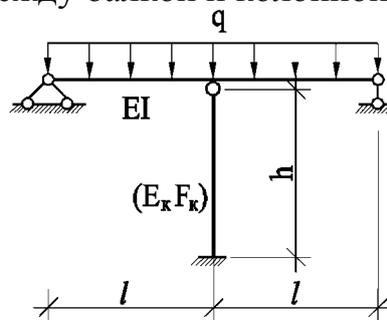


Рис. 1. Расчетная схема

Прикидочный расчет, оценивающий влияние упругой податливости колонны показывает, что величина обжатия колонны  $\Delta h$  того же порядка, что и прогиб балки (ригеля) пролетом  $l$ .

Вариант расчета. В качестве первого приближения рассмотрим ригель как двухпролетную балку на жестких опорах, пренебрегая осевой деформацией колонны. Используя табличные решения, найдем опорный момент

$$M_1 = -\frac{q\ell^2}{8} \text{ и опорную реакцию (продольную силу в колонне) } R_1 = \frac{5}{4}q\ell.$$

$$\text{Обжатие колонны } \Delta h = \frac{5}{4} \frac{q\ell h}{E_k F_k}.$$

Опорный момент в балке от осадки средней опоры

$$\Delta M_1 = 3 \frac{EI}{\ell^2} \Delta h = \frac{3EI}{\ell^2} \frac{5}{4} \frac{q\ell h}{E_K F_K}.$$

При  $\alpha = 0,01$   $\Delta M_1 = 0,0375q\ell^2$ .

Сопоставляя  $\Delta M_1$  с  $M_1$ , убеждаемся в необходимости последующего приближения.

Второе приближение. Определим добавку  $\Delta R_1$  к реакции  $R_1$ , вызванную опорным моментом  $\Delta M_1$ :  $\Delta R_1 = -2 \frac{\Delta M_1}{\ell} = -0,075q\ell$ .

Обжатие колонны  $\Delta(\Delta h) = \frac{\Delta R_1 h}{E_K F_K} = -(0,075q\ell h / E_K F_K)$ .

Приращение опорного момента:  $\Delta(\Delta M_1) = \frac{3EF}{\ell^2} \Delta(\Delta h) = -0,00225q\ell^2$ .

Таким образом, на этом этапе расчета опорный момент в балке

$$M_1 = -0,125q\ell^2 + 0,0375q\ell^2 - 0,00225q\ell^2 \approx -0,0898q\ell^2.$$

Заметим, что сходимость использованного здесь процесса последовательных приближений существенно зависит от значения  $\alpha$ . При увеличении  $\alpha$ , т. е. при уменьшении осевой жесткости колонны по отношению к изгибной жесткости балки, сходимость процесса будет ухудшаться. Это означает, что принятая здесь в качестве исходной позиции двухпролетная балка на жестких опорах весьма далека от истинной работы конструкции и что в пределе более близкой будет исходная схема в виде однопролетной балки пролетом  $2l$ , так как поддерживающее влияние колонны мало. Тогда в исходной позиции вместо увеличения жесткости связи лучше пренебречь ее влиянием и построить процесс последовательных приближений по схеме метода сил, а не метода перемещений.

В общем случае ригель можно рассматривать как двухпролетную балку с упругооседающей опорой или рассчитывать всю систему как некоторую раму с обязательным учетом влияния сжимаемости колонны, например, методом перемещений. С учетом симметрии рамы имеем:

$$r_{11}Z_1 + R_{1p} = 0; \quad r_{11} = 2 \frac{3EI}{\ell^3} + \frac{E_K F_K}{h}; \quad R_{1p} = 1,25q\ell; \quad Z_1 = -\frac{1,25q\ell^4}{EI} \frac{\alpha}{6\alpha + 1}.$$

Изгибающий момент в балке над колонной при  $x=0,01$

$$M_1 = -0,125q\ell^2 + 0,0353q\ell^2 = -0,0897q\ell^2.$$

Отметим необходимость развития такого гибкого инженерного мышления, использующего эволюцию расчетных схем, как некоторый познавательный процесс, позволяющий оценить влияние принимаемых упрощений и гипотез.

Таким образом, необходимо четко различать, что точность метода и точность расчетной схемы – это разные вещи.

Надо уметь определять точность решения в пределах возможности данного метода расчета. Но в конечном виде необходимо объективно оценивать влияние принятых гипотез и допущений в данной расчетной схеме и в принятом методе для ее расчета по отношению к реальной конструкции и условиям ее работы. Одно не может заменить другое, главное. Имеется объективная необходимость напомнить об этих известных вопросах сейчас, когда оценка возросших компьютерных возможностей затемняет принципиальное.

### Список литературы:

1. **Городецкий, А. С.** Компьютерные модели конструкций /А. С. Городецкий, И. Д. Евзнер. Киев. Изд-во «Факт». 2005. – 344 с.
2. **Перельмутер, А. Д.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа /А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. Киев. ВПП Компас. 2007. – 446 с.
3. **Абовский, Н. П.** Регулирование, синтез, оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости./Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков, А.П. Деруга. Учебное пособие с грифом Гос. СССР под редакцией проф. Абовского Н.П. М. Стройиздат. 1993. – 456 с.
4. **Абовский, Н. П.** Современные аспекты активного обучения. Строительная механика, теория упругости, управляемые конструкции. С грифом УМО. / Н. П.Абовский, Л. В. Енджиевский, В. И. Савченков, А. П. Деруга, Н. И. Марчук, Г. А. Стерехова, В. И. Палагушкин, Н. П. Андреев, П. А. Светашков, О. М. Максимова. Под редакцией проф. Абовского Н. П. Красноярск. ИАС СФУ. 2007. –570 с.