

**Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации**

**Красноярская государственная
архитектурно-строительная академия**

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
"УПРАВЛЯЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ"**

*Описание работы, представленной на конкурс
на медали и дипломы Российской академии архитектуры
и строительный наук за 2001 год,
посвящённый 10-летию создания Академии*

**Красноярск
2001**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ЧАСТЬ 1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И РАЗРАБОТКИ	15
1.1. Принципы создания и функционирования управляемых конструкций ...	15
1.2. Функциональные схемы управления конструкциями	17
1.3. Общая методика, алгоритм и способы управления конструкциями.....	17
1.4. Нейроуправляемые конструкции как закономерный этап развития управляемых конструкций	18
1.4.1. Тенденции развития и преимущества нейроуправляемых конструкций	19
1.4.2. Описание авторских разработок и перспектив развития нейроуправляемых конструкций	21
1.4.3. Системный взгляд на развитие нейроуправления конструкциями и системами	22
1.4.4. Общая постановка задачи нейроуправления	28
1.4.5. Активные нейросети	28
1.4.6. Нейросетевые управляющие приборы (нейроКУПы)	30
1.4.7. Научно-образовательный центр "Прикладная нейроинформатика"	30
ЧАСТЬ 2. ПРИЛОЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ ТЕХНИКИ.....	35
2.1. Управляемые конструкции.....	36
2.1.1. Способ управления строительными конструкциями.....	36
2.1.2. Устройство для регулирования механических.....	37
2.1.3. Способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки и устройство для осуществления предлагаемого способа	38
2.1.4. Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки и устройство для его реализации (Патент №2122188).....	39
2.1.5. Устройство защиты моста от бокового ветра.....	40
2.1.6. Плотина.....	41
2.1.7. Устройство автоматического управления деформированием высокой башни	42
2.1.8. Сейсмостойкое здание, сооружение	43

	4
2.1.9. Кран с системой автоматического управления	44
2.1.10. Применение ЭВМ для автоматического управления конструкциями	45
2.2. Нейроуправляемые конструкции	47
2.2.1. Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки с помощью контроллера с нейросетевой программой и устройства для его управления (заявка на изобретение №97107519/09, решение о выдаче патента РФ от 29.04.1998).	47
2.3. Контрольно-управляющие приборы (КУПы и НейроКУПы)	48
2.3.1. НейроКУПы	48
2.3.2. Контрольно-управляющее устройство для управления напряженно- деформированным состоянием неразрезной балки (Патент №21059593, 1998).	51
2.4. Автоматическое регулирование дорожного	51
2.4.1. Обоснование практической потребности	51
2.4.2. Снижение задержек - эффективный способ уменьшения загазованности атмосферы	52
2.4.3. Способ нейросетевого координированного управления транспортными потоками в районе регулирования (Патент РФ №2169946 от 02.08.99).	53
2.4.4. Реальный пример гибкого светофорного регулирования	54
2.4.5. Нейросетевой способ межрайонного координированного управления транспортными потоками (Патент №2169946)	55
2.4.6. Устройство управления светофорным объектом с ЭВМ с нейропрограммами (Патент №2151424).	56
2.4.7. Расчет экологической эффективности. Снижение техногенной нагрузки от автотранспорта на окружающую среду на основе гибкого нейросетевого управления светофорами	57
2.5. Управление деформированием отражающей	58
2.5.1. Прямой способ управления деформированием отражающей поверхностью антенны. Патент РФ №2050755	58
2.5.2. Способ предотвращения деформации зеркала Патент РФ №2041535	60
2.6. Активное управление колебаниями конструкции	60
2.6.1. Основные положения активного управления конструкциями.	61
2.6.2. Технические разработки, Патенты	63
2.6.3. Внедрение в учебный процесс	64
2.6.4. Перспективы развития	65
2.7. Новые пространственные строительные конструкции	65

	5
2.7.1. Сталежелезобетонные конструкции.....	66
2.7.2. Серия 1.065.9-1 "Сталежелезобетонные панели покрытия размерами 3x18 и 3x24" (рис.2).....	73
2.7.3. Техничко-экономический эффект применения серийных конструкций	73
2.7.4. Альтернативные проекты. Перспективы внедрения	76
2.7.5. Патенты и изобретения.....	78
2.7.6. Деревометаллические конструкции	82
2.7.7. Облегченные монометаллические конструкции покрытий.....	85
2.8. Нейросетевые аппроксимации в задачах строительной механики	87
2.9. Нейросетевой метод практического прогнозирования и его приложения	91
2.9.1. Обоснование целесообразности нейросетевого прогнозирования	91
2.9.2. Разработка нейросетевого метода пошагового прогнозирования.....	92
2.9.3. Численный эксперимент по обоснованию набора гипотетических представлений, заложенных в метод пошагового нейросетевого прогнозирования.....	93
ЧАСТЬ 3. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И	
РАЗРАБОТКИ.....	98
3.1. Учебные пособия.....	98
3.2. Нетрадиционный учебный курс «Управляемые конструкции»	100
3.3. Концепция активного обучения.....	101
3.4. Учебный класс управляемых моделей конструкций.....	102
3.5. Оригинальный лабораторный практикум по управлению конструкциями	108
3.6. Компьютерные программы и средства визуализации	121
3.7. Новый тип учебных заданий	122
3.8. Работы студентов.....	126
ЛИТЕРАТУРА	127

ВВЕДЕНИЕ

Научно-образовательный комплекс "Управляемые конструкции" представляет новое фундаментальное междисциплинарное направление создания и функционирования управляемых конструкций, которые имеют эффективные приложения в различных областях техники (строительство, системы автоматического управления, приборостроение, антенностроение и др.), в активном творческом образовании и являются разновидностью современных интеллектуальных систем.

Управление конструкциями отражает закономерный современный этап и перспективы их развития.

Представленная работа "Управляемые конструкции" состоит из трех частей:

Часть 1 - Научные концепции и разработки [1.1 - 1.43];

Часть 2 - Приложения в строительстве и других областях техники [2.1-2.49];

Часть 3 - Научно-образовательные проблемы и разработки [3.1 -3.35];

В структуру комплекса включены: нетрадиционный курс «Управляемые конструкции» и его учебно-методическое обеспечение; учебный класс действующих управляемых моделей конструкций, выполненных по авторским патентам и изобретениям (более 30 типов); оригинальный лабораторный практикум; компьютерные программы по управлению и регулированию НДС и средства визуализации; новый тип учебных заданий и образцы их выполнения.

ЧАСТЬ 1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И РАЗРАБОТКИ [1.1 - 1.43]

Разработаны **основы теории управляемых конструкций**, содержащие следующие принципы создания и функционирования управляемых конструкций и систем:

- *системный философский анализ законов и тенденций развития техники*, высветивший проблему, показавший ее актуальность, приоритетность на мировом уровне и определивший активный творческий подход к созданию управляемых конструкций;

- *системообразующие принципы создания и функционирования управляемых конструкций*; классификацию задач и общую методiku управления;

- *новые способы, функциональные схемы управления и устройства* для их осуществления (составляющие предмет более чем 25 изобретений, защищенных патентами), включая современные *нейросетевые программы и устройства*;

- *критерии и программы управления для ЭВМ и нейроуправляемых систем, в том числе для созданного контроллера с нейропрограммой.*

ЧАСТЬ 2. ПРИЛОЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ ТЕХНИКИ [2.1 - 2.49]

Научные концепции, функциональные схемы и способы управления нашли применение в различных областях техники в виде запатентованных способов и устройств управления напряжениями и деформациями *в зданиях, мостах, башнях, балках, вантах, плотинах, сейсмостойких зданиях, антеннах и приборах*. Благодаря управляемости существенно повысилась эффективность этих конструкций по количественным и качественным показателям.

Особое значение получил синтез управляемых *конструкций с нейросетевыми устройствами*, превращающий их *в разновидность интеллектуальных систем*. Разработан *нейроконтроллер* и получен патент на управление конструкциями с его помощью.

Предложен и разработан *новый тип контрольно-управляющих приборов (нейроКУПов и КУПов)*, объединяющих функции измерения, обработки и управления. НейроКУПы *обучаются* на желаемые режимы управления.

Весьма важным и перспективным явился предложенный *способ гибкого управления дорожным движением с помощью обучаемых нейросветофоров*, дающий большой социально-экономический и экологический эффект. Разработан *новый способ прямого управления деформированием рефлекторов антенн*, эффективно влияющий на технологию создания и функционирование антенн, особенно больших размеров.

Для активного управления колебаниями конструкций реализован (в моделях и ряде патентов на изобретения) *принцип динамического противодействия*, направленный на использование части «вредной» внешней энергии или перераспределение внутренней энергии деформирования.

Разработаны и внедрены *новые эффективные пространственные конструкции покрытия*, с учетом региональных условий строительства в Сибири .

Представленные в технике разработки показывают большие перспективы дальнейшего широкого применения управляемых конструкций и систем, особенно нейроуправляемых.

ЧАСТЬ 3. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РАЗРАБОТКИ [3.1-3.35]

Комплект научных монографий, учебных пособий, лабораторной базы и методических материалов:

- *учебные пособия нового типа «Регулирование, Синтез, Оптимизация» с грифом Госкомобразования СССР* (третье издание, 1993 г.), в том числе недавно опубликованные *английский перевод* третьего издания, *монография – учебное пособие «Управляемые конструкции»* (с грифом регионального УМО) с предшествующим ей циклом учебных пособий по данной тематике, *учебное пособие «Нейросветофоры. Создание интеллектуальных систем управления дорожным движением»*, *монография «Сталежелезобетонные конструкции»*, *монография «Творчество в строительстве»* (второе издание - «Творчество»), *Сборник научных трудов «Пространственные конструкции в Красноярском крае»* - всего 10 книг. Эти издания направлены на прогрессивную активную творческую ориентацию студентов, на расширение возможностей личности инженера, основанное на идеях управления конструкциями.

- **оригинальный учебный класс действующих управляемых моделей конструкций**, не имеющий аналогов, и **новый уникальный лабораторный практикум** для нетрадиционного курса «Управляемые конструкции», на основе которых Минвузом РСФСР была открыта учебная лаборатория «Управляемые конструкции», переросшая затем в межвузовскую. Лаборатория основана на изобретениях и патентах авторов и развивается с участием студентов. В ней проводится лабораторный практикум, органично синтезирующий физический и теоретический (численный) эксперименты по управлению конструкциями;

- комплект учебных пособий, методических разработок и компьютерных программ, обеспечивающих проведение лекций, практических и лабораторных занятий по нетрадиционному курсу; держащий предложенные новые принципы создания управляемых конструкций, в частности, энергетический принцип, принцип динамического противодействия и ряд новых способов управления.

- нетрадиционный междисциплинарный курс «Управляемые конструкции», базирующийся на вышеперечисленных научно-практических разработках и содержащий предложенные новые принципы создания управляемых конструкций, в частности, энергетический принцип, принцип динамического противодействия и ряд новых способов управления.

Конечные результаты изучения курса отражаются в расчетно-проектировочных, курсовых и дипломных работах, а также в разработках действующих моделей управляемых конструкций для создания реальных управляемых конструкций, в изобретениях и научно-практическом творчестве. Этот курс является благодатной почвой для привлечения студентов к участию в научных разработках и формирования творческой личности.

АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВИЗНА, СООТВЕТСТВИЕ МИРОВОМУ УРОВНЮ

Управляемые конструкции - это конструкции нового класса, представляющие собой деформируемые системы с переменными управляемыми параметрами. Управление деформированием и перестройкой конструкции осуществляет управляющий модуль в цифровом, аналоговом, нейросетевом или механическом вариантах с измерительной аппаратурой и исполнительными устройствами (актуаторами), реализующими прямую и обратную связи с конструкцией. В целом - это система автоматического управления напряжённо-деформированным состоянием (САУ НДС). Управляемые конструкции – это разновидность современных интеллектуальных систем.

Управляемые конструкции создаются на стыке механики деформируемого твёрдого тела с общей теорией управления, кибернетикой, робототехникой, электротехникой, вычислительной математикой и др. На пути интеграции указанных наук определена новизна и приоритетность общей постановки задачи автоматического управления деформируемыми конструкциями и возможность решения ряда прикладных задач на уровне изобретений и открытий.

В традиционных конструкциях, используемых во многих областях техники, лишь учитывают и нормируют их деформативность и стремятся преодолеть ее негативные последствия. Процессом деформирования конструкций на разных стадиях функционирования не управляют.

Управляемые конструкции определяются как системы автоматического управления напряженно-деформированным состоянием конструкций (САУ НДС).

Традиционные конструкции трактуются с позиции теории управления как преобразователи, связи, распределительные устройства, регуляторы, **но без обратной связи**. Среди принципов создания управляемых конструкций обращено особое внимание на энергетический, обучаемости конструкций и принцип динамического противодействия. Показано, что управление конструкциями является закономерным этапом современного развития, включающим применение в качестве управляющих модулей компьютеры, аналоговые и механические устройства, а также нейросетевые программы и нейроконтроллеры. Нейроуправляемые конструкции являются разновидностью обучаемых интеллектуальных систем.

Назначение управляемых конструкций

Управление конструкциями имеет целью подчинения их НДС желаемым требованиям на различных стадиях функционирования конструкций. Концепция традиционного проектирования на самые невыгодные комбинации нагрузок и воздействий, которые практически проявляются весьма редко, во многих случаях неэффективна как с позиций материалоемкости, так и достижения высоких технологических и эксплуатационных характеристик конструкций. Защита конструкций от аварийных ситуаций также не всегда обеспечивается. Необходимы конструкции, которые могли бы адаптироваться к изменяющимся внешним воздействиям. Эту проблему решают управляемые конструкции. Управление позволяет по-новому решать задачи прочности, жесткости, в том числе, например, геометрической стабилизации формы оболочки антенны, устойчивости, гашения колебаний, исключения аварийных ситуаций, а также технологические задачи, например, при металлообработке в связи с деформативностью инструмента, оснастки и изделия, или при прокатке металла.

Наиболее успешно формирование желаемого НДС на различных стадиях функционирования конструкции может осуществляться в системе автоматического регулирования (САУ). При этом управляемая конструкция должна включать в свою структуру, кроме «собственно» конструкции, управляющий модуль и элементы прямой (сенсоры, измерители, наблюдатели) и обратной связей.

При автоматическом управлении информация от конструкции через элементы прямой связи поступает в управляющий модуль, в котором вырабатывается управляющее решение и по обратной связи с помощью актуаторов реализуется изменение НДС управляемой конструкции (схема САУ – НДС, рис. 1).

Исторические аспекты развития управляемых конструкций

Выделим закономерности развития конструкций как управляемых систем:

- старинное строительное мастерство как стремление подчинить конструкцию желаемым требованиям, защиты от нежелательных внешних воздействий не предусматривали управления в процессе эксплуатации (за исключением некоторых фортификационных и артиллерийских систем);
- традиционные строительные конструкции с позиции теории управления системами представляют собой некоторые преобразователи, связи, передающие и распределительные устройства, регуляторы, но не содержат обратных связей. Получили применение трансформируемые системы.

- XX-й век, знаменитый кибернетическим открытием «обратной связи», открыл дорогу для перехода традиционных конструкций на уровень автоматически управляемых – САУ НДС. (Controlled Structures, Like Live, Smart materials, Adaptronic, Structronic);
- использование компьютерных устройств для управления конструкциями и осмысление устройств САУ позволило предложить для управления аналоговые и механические устройства;
- конец XX и начало XXI веков – отмечены созданием обучаемых нейросетевых конструкций как разновидности интеллектуальных систем.

На схеме (рис. 1) образно представлены этапы и состояние развития управляемых конструкций по работам Красноярских авторов. Выделены модули управления: с помощью ЭВМ, нейропрограмм, механических и аналоговых устройств. Эти разработки освещены в [1] и в целом ряде патентов и изобретений [2].

Создание и развитие управляемых конструкций является в настоящее время закономерным этапом эволюции конструкций и отражает современные и перспективные потребности развития антропогенного мира. Актуальность и важность развития управляемых конструкций подтверждается хотя бы тем фактом, что в августе 1994 года была создана Международная ассоциация по управляемым конструкциям (IASC). Зарубежная научная литература в последние годы начала более широко освещать разработки по управлению конструкциями. Проводятся международные конференции (1994 г., Pasadena, USA, и 1998 г., Kyoto, Japan), в Италии издается специальный журнал по управлению конструкциями, за рубежом развивается уже второе поколение управляемых конструкций. Однако теория управляемых конструкций не была разработана. В литературе имеются отдельные статьи на технические темы. Отсутствуют научные монографии и учебные пособия, а также сведения об учебной лабораторной базе.

К сожалению, российские ученые совершенно недостаточно привлечены к этому перспективному научному направлению, и высшее образование может серьезно отстать от мирового уровня, хотя наши отечественные разработки имеют более чем четвертьвековую историю. Одна из первых публикаций была в 1979 г., а первое издание учебного пособия по регулированию вышло в Красноярске в 1971 г. Представленные здесь авторами монографии и учебные пособия приоритетны, не имеют аналогов и направлены на преодоление данного разрыва.

Созданная в 1985 г. Минвузом России на кафедре строительной механики Красноярского инженерно-строительного института (КИСИ) лаборатория "Управляемые конструкции", которая преобразована в 1994 г. в Межвузовскую лабораторию КИСИ - КГТУ, является пока единственным в России научным коллективом, который разрабатывает данную проблему. Лаборатория выполнила ряд приоритетных научных разработок, ее работы получили международное признание. В международном журнале "Journal of Structural Control (The Bulletin of ACS)" опубликована статья о принципах создания и функционирования управляемых конструкций, а руководитель работ Н.П.Абовский назначен сопредседателем секции исполнительного комитета международной ассоциации "Управляемые конструкции" (Active Control Structures, ACS) с центром в Италии. Убедительные доказательства важности и приоритетности работ авторов в области науки и образования были получены в ходе научной командировки проф. Н.П.Абовского в США в результате общения с учеными ряда университетов (Berkeley, San-Francisco, Stanford).

Отдельные результаты работ авторов многократно представлялись и публиковались в трудах различных международных форумов; например, только в последние годы на следующих конференциях, конгрессах и симпозиумах: IASS – LCSS –98, Moscow, 1998 (МКПК – 98); LCSS – 98, Warsaw, Poland; 2WCSC – Kyoto, Japan, 1998;

Спутниковые системы связи и навигации (Красноярск, 1997); Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике (Минск, 1999); Сталежелезобетонные конструкции (Братислава, 1987); Креативная педагогика XXI века (Москва, 1999); Международный симпозиум «Современные строительные конструкции из металла», Одесса, 1997; Международный симпозиум «Современные строительные конструкции», Самара, 1996.

Разработанные нейроуправляемые конструкции неоднократно были представлены на международных и всероссийских конференциях по нейроинформатике, нейромикрокомпьютерам и их приложениям (Москва, МИФИ – 99; Центр нейромикрокомпьютеров, Институт проблем управления РАН, 1998, 1999), на ряде всероссийских семинаров (1995, 96, 98 г.г.).

Работа выполнялась в рамках научно-технических программ: федеральной целевой программы "Интеграция" (проект № 68 по направлению 2.1); программы Министерства науки "Новые технологии для управления и развития региона" (А.93); программ Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации "Вузовская наука регионам" (Н.Р.200) и "Архитектура и строительство" (П.Т.455); краевой целевой программы "Новые технологии для управления и развития региона" (Закон Красноярского края № 5-302 от 12.02.99).

Новизна, приоритет и важность выполненных работ авторов признаны в 25 патентах и изобретениях, открывающих новые способы и устройства для управления конструкциями.

Проводимая в Межвузовской лаборатории "Управляемые конструкции" работа была одобрена научно-методическим советом Минвуза по сопротивлению материалов, теории упругости и строительной механике (по докладу Н.П.Абовского). В результате вопросы регулирования НДС конструкций были включены в типовую учебную программу, рекомендуемую для вузов России.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАБОТЫ

Разработано новое *фундаментальное научное междисциплинарное направление развития конструкций как автоматически управляемых систем, синтезирующее ряд конкретных наук*. Особое место занимает управление с использованием нейросетевых модулей. Управляемые конструкции становятся разновидностью современных интеллектуальных систем.

В отличие от широко используемых в различных областях техники традиционно неуправляемых конструкций, автоматическое управление их деформированием позволяет достичь *качественно новых характеристик*:

- *снизить материалоемкость* за счёт рационального изменения напряжённого и деформированного состояния при переменных во времени внешних воздействиях и параметрах конструкции;

- *обеспечить стабильность эксплуатационных характеристик и повысить надёжность* конструкций за счёт расширения их адаптивных свойств;

- улучшить характеристики управляемости *механизмов* путём обеспечения управления деформативностью их элементов;

- повысить **качество и точность изготовления продукции** на основе управления деформативностью изделия и технологического оборудования;

- полнее **использовать ресурсы конструкций**, повысить их эффективность в различных областях техники (в строительстве, радиотехнических устройствах, летательных аппаратах, робототехнике, машиностроении и др.), особенно там, где традиционные способы конструирования становятся малоэффективными или технически нереализуемыми;

- **предотвращать аварийные ситуации** (разрушение конструкций);

- управлять конструкцией в труднодоступных для человека местах.

Приборы на нейросетевой основе является *новым типом приборов*, в которых соединяются функции измерения, обработки, принятия решений и управления. Такие их особенности, как обучаемость, приспособляемость способствуют существенному совершенствованию систем автоматического управления.

Одним из эффективных примеров системы нейрорегулирования является **автоматическое регулирование дорожного движения с помощью обучаемых нейросветофоров**, предложенное авторами и поддержанное Красноярскими краевой и городской администрациями и экологическими фондами. Расчетный эффект их применения – снижение примерно **вдвое** задержек транспорта на перекрестках. При этом, вредные выбросы в атмосферу снижаются не менее чем в два раза, **экологическая обстановка** в городе значительно улучшается (расчеты сделаны для г. Красноярска). Повышается эффективность работы автотранспорта не менее чем **на 15%**, сокращается расход топлива, повышается **безопасность движения**. Кроме социального и экологического эффекта, только за счет снижения простоев транспорта **расчетный экономический эффект (без учета экономии бензина) составляет 350 млн. руб. в год** (для Красноярска). При этом требуемые первоначальные затраты не превышают 10%.

В перспективе – **тиражирование в другие города**, в частности, проявлена заинтересованность Российского центра нейрокompьютеров и ГУВД Москвы.

Разработанные на пути регулирования НДС *новые пространственные строительные конструкции – сталежелезобетонные панели покрытия* - обладают большими преимуществами на стадиях строительства и эксплуатации по расходу материалов, трудозатратам и эксплуатационным расходам по сравнению с лучшими традиционными конструкциями, учитывают региональные условия Сибири и готовность строительной базы для их производства. В связи с этим *перспективы широкомасштабного внедрения данных конструкций весьма велики*, в том числе для осваиваемых районов Сибири.

В ряде областей применения традиционные конструкции уже исчерпали свои возможности развития. Отличительные особенности управляемых конструкций, а также достигнутые результаты (созданные модели, устройства, системы, полученные патенты, новые строительные конструкции) ярко подтверждают целесообразность и перспективность их внедрения, являются базой для их дальнейшего развития, расширения области применения, в частности для большепролетных конструкций антенн, экскаваторов и других машин, надводных и подводных аппаратов, к учету деформирования ракет в полете, к конструкциям неземного и космического строительства.

Значение в области образования.

В настоящее время, когда многие новые научные и технологические разработки слабо востребованы промышленностью страны, особое значение имеет творческое наращивание интеллектуального потенциала в перспективных направлениях, без ко-

того невозможны подъем экономики и национальная независимость. Поэтому ***разработанная и внедренная теория и практика управления конструкциями в инженерное образование имеет особое значение.***

Заложенное новое направление развития конструкций и систем, созданные научные концепции, основы теории управляемых конструкций, принципы их создания реализованные в ряде патентов, ***являются новой теоретической и инженерно-практической базой для обучения инженеров.*** Идеи активного управления конструкциями, особенно с использованием нейросетей, закладываются в умы будущих специалистов и способствуют формированию активной личности инженера.

Созданное приоритетное учебное и научно-методическое обеспечение, оригинальная лабораторно-материальная база ***не имеют аналогов в отечественной и зарубежной литературе*** и уже получили применение в ряде вузов и организаций страны, тиражируются для дальнейшего распространения.

Идеи активного управления конструкциями, творческие подходы к созданию и обучению ***обеспечили основу для инженерной педагогики начала следующего тысячелетия.***

ЧАСТЬ 1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И РАЗРАБОТКИ

1.1. Принципы создания и функционирования управляемых конструкций

Для разработки основ теории управляемых конструкций была использована предложенная триада творчества: системный (функционально-структурный) подход – законы развития конструктивных систем – методы принятия решений [1.10].

Управляемая конструкция впервые была определена как система, что имело *принципиальное значение* для становления теории управляемых конструкций [1.3,1.12]. В отечественной и зарубежной литературе подобный системный подход не применялся. Активно-управляемая конструкция – это система из целостного набора элементов: механической части конструкции с переменными параметрами и управляющего модуля.

В механической части предусмотрены переменные параметры, воздействие на которые изменяет ее свойства и особенности функционирования, в частности, ее напряженно-деформированное состояние. Управляющий модуль вырабатывает решение об эффективных значениях переменных параметров. Прямая и обратная связь между этими элементами (включая актуатор) и внешней средой, обеспечивает заданное функционирование управляемой конструкции на основе притока дополнительной энергии. Причем источник энергии целесообразно рассматривать как один из элементов данной системы. Дополнительная энергия может быть заимствована из внешней среды или путем перераспределения внутренней энергии деформации системы с помощью вспомогательных устройств.

В итоге были сформулированы следующие *принципы создания* систем автоматического управления напряженно-деформированным состоянием, базирующиеся на системном подходе к разработке управляемой конструкции во взаимосвязи с внешними воздействиями и энергией, необходимой для управления [1.2] (рис.1.):

- *энергетический принцип управления* [1.12,1.43], суть которого состоит в



Рис.1. Принципы создания управляемых конструкций

том, что управление напряженно-деформированным состоянием конструкции может быть осуществлено на основе управляемого притока, отвода энергии во внешнюю среду или перераспределения энергии внутри системы (рис.2.). При этом, источник энергии, необходимой для управления, рассматривается как составная часть управляемой системы: отметим, что данный принцип лег в основу целого ряда изобретений авторов по способам и устройствам в разных областях техники [2.1-2.8].

- **принцип динамического противодействия** [1.6]: создать дополнительный динамический процесс, на основе управления которым можно желаемым образом противодействовать вынужденным колебаниям упругой конструкции. Необходимый приток энергии для функционирования процесса противодействия осуществляется из внешнего или внутреннего источника системы. Приток дополнительной энергии в систему может реализовываться с помощью подсистемы, взаимодействие которой с основной создает желаемые параметры процесса колебаний. Показано, что все известные способы управления являются частными проявлениями данного принципа [1.6].



Рис.2. Энергетическая система обеспечения САУ НДС

- **принцип мобилизации внутренних ресурсов системы**, определяющий целесообразность преимущественного использования конструктивных приемов адаптации, сооружения под действующей нагрузкой;

- **принцип трансформации внешнего воздействия на конструкцию**, согласно которому управление напряженно-деформированным состоянием конструкции может быть реализовано за счет управляемого преобразования внешних воздействий;

- **принцип дополнительного внешнего воздействия на конструкцию**, в соответствии с которым действенным механизмом управления напряженно-деформированным состоянием конструкций является приложение дополнительных внешних нагрузок, создающих желаемый разгружающий эффект;

- **принцип управляемых связей**, определяющий возможность создания системы автоматического управления напряженно-деформированным состоянием на основе использования системы связей, управляющих жесткостью;

- **принцип использования истории создания системы**, суть которого состоит в наделении конструкций на стадии ее создания (изготовление, монтаж, реконструкция) "элементами памяти", поведение которых зависит от воздействий на сооружение и изменения его состояния в процессе эксплуатации;

- **принцип изоляции конструкции или ее части от внешней среды**, в соответствии с которым процесс управления напряженно-деформированным состоянием может быть реализован за счет управляемой изоляции элементов конструкции от внешней среды. Этот принцип является частным проявлением принципа трансформации внешнего воздействия.

- **принцип перестройки системы** в соответствии с которым для достижения целей управления при изменении внешних воздействий и состояния конструкции должно происходить изменение структуры и организации взаимодействий внутри объекта управления (конструкции).

1.2. Функциональные схемы управления конструкциями

В [1.3] разработаны разнообразные схемы управления конструкциями (САУ НДС). Разработка их на функциональном уровне (рис.3) позволила предложить в последствии разные структурные схемы для их реализации, в частности с применением различных модулей управления (компьютерных, аналоговых, нейросетевых, механических актуаторов и контрольно-управляемых приборов (КУПов), которые описаны в части 2 и представлены в ряде патентов [2.1-2.10].

1.3. Общая методика, алгоритм и способы управления конструкциями

В [1.2-1.10] предложена общая методика управления, опирающаяся либо на натурные (или модельные) физические эксперименты, когда математическая модель системы неизвестна или неточна, или на вычислительный эксперимент с помощью математической модели.

Суть методики для линейной модели управления состоит в получении матрицы единичных (базовых) воздействий, с помощью которой быстро определяются управляющие воздействия (путем перемножения этой матрицы на вектор-столбец внешних воздействий). Универсализм данной методики управления позволяет использовать ее и для тех случаев, когда конечный результат функционирования лежит вне пределов механики. Пример этого метода реализован для управления волновым фронтом антенны путем стабилизации формы ее оболочки способом механического деформирования [2.18], т.е. на основе связи между параметрами волнового фронта антенны (диаграммы направленности) и прогибами оболочки антенны.

Для построения нелинейных моделей управления применены наиболее перспективные гибкие, универсальные и простые в использовании средства нелинейного моделирования – нейронные сети. Модифицированная общая методика единичных воздействий оказалась весьма эффективной для построения обучающей выборки нейросетевых модулей управления, пример такого модуля реализован в патенте [2.9].

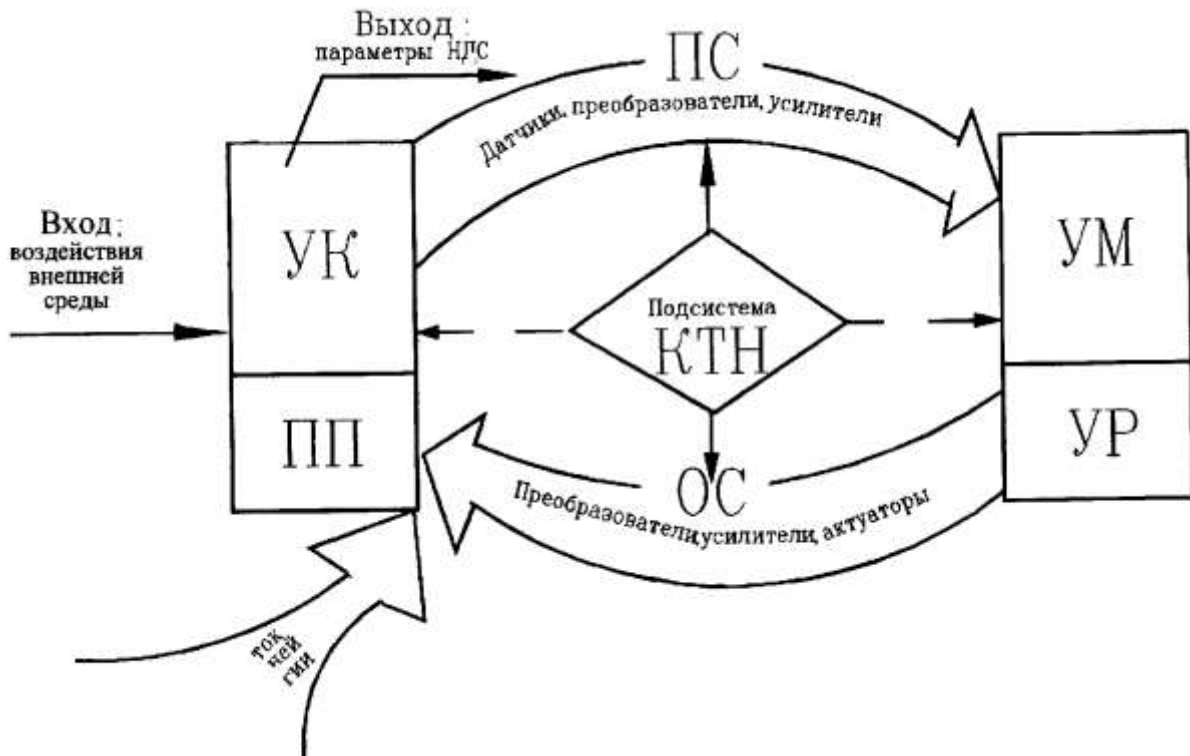


Рис.3. Функциональная схема УК

УК- управляющая конструкция, ПП – переменные параметры, ПС – прямая связь, ОС – обратная связь, КТН – контроль точности и надежности управления, УР – управляющее решение.

Эффективны, реализованные в патентах, способы управления деформированием неразрезной балки путем вынужденного смещения опор [2.2], натяжения затяжек и др. с использованием компьютерного, аналогового, нейроуправляющих модулей [2.1-2.10].

1.4. Нейроуправляемые конструкции как закономерный этап развития управляемых конструкций

Синтез двух направлений: нейроинформатики и управления конструкциями, разрабатываемый в КрасГАСА, создал основу нового этапа развития управляемых конструкций и устройств как нейроуправляемых систем. Их важнейшие особенности - *обучаемость* и уточненный учет реальных свойств конструкции. Они представляют собой *разновидность интеллектуальных систем автоматического управления и могут называться обучаемыми конструкциями*.

На основе системного подхода нейроуправляемые конструкции получили трактовку как цельные систем [1.33]. Это позволило дать обоснованные постановки проблем создания нейроуправляемых конструкций и определить роль человека в их обучении. Весьма интересным и перспективным является, по-видимому, впервые примененный к нейроуправляемым конструкциям вариационный подход как к цельным системам. Вариационный подход позволяет вскрыть глубинные энергетические связи обучаемой системы, по-новому трактовать и практически организовывать нейроуправляемые системы [1.37,1.38,1.41].

Новым является физический (нетрадиционный) подход к разработке управляемых конструкций, который согласуется с современной физической теорией управления. Данный подход основывается на непосредственном учете законов строительной механики и конструирования реальных систем, их ресурсов и приоритетов [1.9].

Предложено разделение нейросистем на природные, искусственные и формальные. К природным тяготеют управляемые конструкции, оснащаемые нейросетевым модулем управления. Весьма перспективными являются предложенные контрольно-управляющие приборы с нейропрограммами как современный этап развития измерительной, информационной и управляющей техники. В качестве примера искусственной нейросети разработана обучаемая гибкая система нейросветофорного управления дорожным движением, отличающаяся большим технико-экономическим, социальным и экологическим эффектом.

Перспективное направление развития нейроруправляемых конструкций с использованием нейроконтроллеров (нейроКУПов) и сетей из них, осуществленное авторским коллективом, не имеет аналогов в России. Их актуальность и значение подтверждается полученными патентами [2.10, 2.14] и рядом докладов на международных и всероссийских форумах [1.31, 1.32, 1.34, 1.35, 1.37, 1.39, 1.40, 1.42]. Создан научный центр «Прикладная нейроинформатика», возглавляемый одним из авторов.

1.4.1. Тенденции развития и преимущества нейроруправляемых конструкций

Тенденция создания управляемых конструкций сама по себе замечательна. Конструкция как бы оживает, приобретая способность приспосабливаться к внешним условиям. И здесь само собой напрашивается предположение о целесообразности использования нейронных сетей, способных к адаптации и обучению. Вообще говоря, обучающиеся системы находят свое место в любой области применения САУ НДС (систем автоматического управления напряженно-деформированным состоянием).

Работы [1.7] по использованию нейронных сетей для управления конструкциями являются логическим продолжением разработок по автоматическому управлению конструкциями. Они отличаются актуальностью и новизной, открывают новые возможности.

Нейросетевые алгоритмы отличаются от традиционных универсальностью (в пределах определенного класса задач) и простотой программной реализации. При обучении с помощью физического эксперимента нейросеть автоматически учитывает особенности конкретной конструкции, не требуя ее математического описания. Кроме того, нейронные сети могут доучиваться в процессе эксплуатации, используя свой опыт управления конкретной конструкцией, что позволит учесть конструктивные несовершенства и изменения параметров конструкции во времени, тем самым повысить ее надежность и продлить срок эксплуатации.

Особенно целесообразно использование нейросетевых алгоритмов для решения нелинейных задач регулирования и управления, так как методами математического моделирования достичь эффективной работы управляющего модуля в данном случае трудно.

Программы-имитаторы нейронных сетей не требуют большой памяти и могут быть реализованы в специализированных микроЭВМ, что обеспечит автономность управляющего модуля. Эти достоинства подтверждает функционирование созданного авторами цифрового нейроконтроллера с нейросетевой программой, использованного для автоматического управления деформированием неразрезной балки.

Создание аналоговых вариантов нейронных сетей может значительно упростить управляющий модуль и увеличить его быстродействие.

Используемые в современных САУ (для различных конструкций, в том числе, упругих корпусов ракет, самолетов и др.) цифровые ЭВМ в качестве управляющего модуля наряду с достоинствами имеют ряд существенных недостатков, которые в значительной мере могут быть преодолены при использовании нейросетей (см. табл.1) [1.7].

Таблица 1.

САУ НДС с использованием традиционных ЭВМ	САУ НДС с использованием нейросетей
1. Требуется математическая модель НДС управляемой конструкции.	Можно обойтись без математической модели, используя непосредственно экспериментальные данные, опыт экспертов и эксплуатации.
2. Существуют различия между математической моделью и действительной схемой конструкции из-за неучета ряда факторов, например, трения, дефектов изготовления, разброса свойств материала, нагрузки, особенностей узловых соединений, податливости и т.п. В математической модели трудно (часто и невозможно) учесть изменение свойств управляемой конструкции из-за ее старения, износа и других особенностей эксплуатации.	Нейросеть, используя показания датчиков с реальной конструкции, учитывает все ее особенности, причем нейросеть может продолжать обучаться и в процессе доводки САУ и эксплуатации конструкции. Таким образом, нейросети могут использоваться, когда формализация задачи затруднена или отсутствует вовсе.
3. Надежность САУ НДС с цифровой ЭВМ определяется работоспособностью всех ее блоков. Выход из строя хотя бы одного из них (при отсутствии дублирования) означает прекращение функционирования всей САУ. Это происходит и при старении ЭВМ.	Надежность (живучесть) САУ НДС на основе нейросети значительно выше: при выходе из строя части нейросети, оставшаяся часть может продолжать функционировать (возможно с потерей точности). Срок эксплуатации здесь больше.
4. Программирование и реализация САУ с нелинейными НДС при использовании цифровых ЭВМ (как и расчет ряда нелинейных систем) связаны с определенными трудностями.	Нелинейности НДС в САУ с использованием нейросетей учитываются значительно проще, естественнее. Здесь содержится больше возможностей.
5. САУ НДС с использованием цифровых ЭВМ нуждается в интерфейсах типа ЦАП, АЦП и др., что усложняет конструкцию.	Переход к аналоговым вариантам нейросетей открывает возможности упрощения САУ НДС.
6. Ряд программ для расчета сложных конструкций с помощью	Использование нейросетей может решить проблему быстродействия для

<p>цифровых ЭВМ методами конечных разностей или конечных элементов требует решения больших систем уравнений и значительного машинного времени, что не годится для САУ с желаемым быстродействием.</p>	<p>конкретной системы на основе идеи прямой связи входных данных с выходными, т.е. исключения объемной промежуточной информации. С этой целью для обучения можно использовать имеющиеся программы расчета на цифровых ЭВМ и опыт их эксплуатации. Кроме того, фундаментальные возможности обеспечения быстродействия содержатся в присущей нейросетям возможности распараллеливания счета при обучении и функционировании.</p>
---	--

1.4.2. Описание авторских разработок и перспектив развития нейроуправляемых конструкций

Характеризуя состояние развития и применения нейросетей к управлению конструкциями, следует отметить актуальность, новизну и приоритетность данного направления. Подобные работы активно проводятся за рубежом, в частности, американскими и японскими авторами, но описание нейросетевых устройств в литературе отсутствует, представляя, по видимому, секретные материалы фирм. В отечественной литературе по данному направлению публикаций практически нет.

Отметим следующие проблемные вопросы, которые разработаны в публикациях авторов [1.33-1.44]:

- системный подход к нейроуправляемым конструкциям, рассмотрение их как цельных систем, включая взаимосвязанное создание и функционирование всех составляющих ее элементов на стадиях проектирования, обучения, доучивания в процессе эксплуатации, самонастройки и самоорганизации;

- проникновение в природу и закономерности создания и функционирования нейроуправляемых конструкций, учитывающее принципы механики, кибернетики, теории автоматических систем, измерительной, исполнительной и другой техники. Весьма важным в этом направлении является осмысление и рационализация энергетического баланса нейроуправляемой системы с учетом притока внешней энергии, возможного перераспределения внутренней энергии деформирования механической конструкции, энергетических потребностей и управления, оттока и потерь энергии в системе. Перспективным и необходимым для этих целей может служить применение и развитие классических вариационных принципов и формулировок, известных в механике. Актуальным является использование не только методов классической логики, но и нечетких множеств (Fuzzy sets);

- проблемы информационного обеспечения нейроуправляемых конструкций как разновидности интеллектуальных систем, включающих целый спектр вопросов, начиная от создания обучающей выборки, ее обоснованности, полноты, дополнения в процессе эксплуатации конструкции с целью доучивания и перестройки, оценки точности принимаемых решений в соответствии с погрешностями и неполнотой поступающей информации, с реальными свойствами конструкции, прогнозируемостью и упреждаемостью управленческих решений и др.;

- вопросы взаимоотношения нейроуправляемой системы с человеком, создающим ее, его ответственностью на этапах создания обучающей выборки, назначения

критериев, организации контроля и обеспечения эксплуатационных условий, включая старение и демонтаж;

- теоретические положения и обоснование опыта рационального выбора структуры нейросетей для различных конструкций, в том числе пространственных, т.к. управление одной и той же конструкцией может осуществляться различными структурами нейросети (т.е. при разном числе нейронов, их расположении и связях), существует проблема выбора рациональной архитектуры нейросети;

- решение проблем обучения нейросетей для САУ НДС (т.е. выбор задач и методология обучения на традиционной математической модели и новом экспериментальном (физическом) подходе. Если первый подход исходит из идеализированной математической модели конструкции и не учитывает ряд ее реальных свойств, то второй подход лишен этого недостатка и не требует составления математической формализации;

- разработка нейросетей для САУ НДС в различном исполнении и накопление опыта их применения. Весьма перспективным здесь является разработка нейросетевых контроллеров на современной технической основе, названных нами нейроКУПами (контрольно-управляющие устройства с нейросетевым программным обеспечением) а также сетей из них (см. часть 2);

- совместное (гибридное) использование нейросетей с компьютерными программами и устройствами для совершенствования расчетов и управления конструкциями. Наряду с этим перспективным является использование нейросетей для организации параллельных конечно-элементных вычислений.

1.4.3. Системный взгляд на развитие нейроуправления конструкциями и системами

Теория управления динамическими системами прошла этапы от решения дифференциальных уравнений (линейных, нелинейных), затем включения компьютера (позднее нейрокомпьютера) в контур управления, а на современном этапе - до использования нейроинформатики. В последние годы “нейроуправление” формируется в отдельный раздел науки.

Нейроуправляемые конструкции и системы – одно из новых современных перспективных направлений теории и практики нейроуправления, синтезирующее нейроинформатику с другими науками. С развитием нейроуправления связаны самые интересные и эффективные успехи современной науки и техники; поднимаются на новую ступень проблемы механики и процессов управления, а также интеллектуальных систем.

Если управляемые конструкции развиваются на стыке таких наук, как теория управляемых систем, кибернетика, механика деформируемого твердого тела, теория сооружений и конструкций, математика, электроника, теория систем и системный подход и другие науки, то синтезируясь с нейроинформатикой, в частности с нейроуправлением, нейроуправляемые конструкции и системы представляют собой новое междисциплинарное научное направление, близкое к интеллектуальным системам (см. рис. 5).

Еще недавно приходилось объяснять, что такое управляемые конструкции, ибо к традиционным конструкциям обычно относятся как к неуправляемым, не подчиняющимся изменениям внешних условий в процессе функционирования. Под управляемыми конструкциями (САУ НДС) понимаются автоматически управляемые системы с переменными параметрами, содержащие управляющий модуль, прямые и обратные связи, собственно механическую конструкцию, функционирующие благодаря притоку энергии извне и перераспределению внутренней энергии.

Синтез двух направлений: нейроинформатики и управления конструкциями – создал основу для развития нейроруправляемых конструкций. Управляемые конструкции, управляющий модуль которых снабжен обученной нейропрограммой, являются нейроруправляемыми. Благодаря нейропрограмме управляемые конструкции приобретают качественно новые свойства, в частности могут доучиваться в процессе эксплуатации и другие особенности. Таким образом, они преобразуются в интеллектуальные системы. Им принадлежит будущее, но и сейчас интеллектуальные нейроруправляемые системы начинают занимать ключевые позиции.

Создание управляемых конструкций и их нейроруправляемого варианта является **закономерным этапом развития техники.** Многие естественные природно-образованные конструкции и системы эволюционным путем адаптировались к окружающим условиям. Они исторически проходили естественное обучение (адаптацию), подобную в некоторой мере нейроруправляемым конструкциям и системам, которые сейчас удается создавать искусственным инженерным путем. Поэтому создание нейроруправляемых конструкций – это современный шаг к более глубокому пониманию природных систем и удовлетворению потребностей общества.

Имеет место существенный негатив – **системные противоречия** в развитии нейроруправления, которые наследуются еще из истории развития теории автоматического управления. Истоки этого обстоятельства можно найти в фундаментальной работе известного специалиста в области автоматически управляемых систем А. А. Красовского (Справочник по теории автоматического управления под редакцией А. А. Красовского. - М.:Наука.1987). Он указывал: «Главное негативное влияние на практическое внедрение СТАУ (современной теории автоматического управления) оказывает масса оторванных от практических потребностей и возможностей работ и даже направлений, интересных в математическом отношении, но бесплодных в отношении современных приложений». Необходимо учитывать изменение условий в процессе функционирования, резервирования, структурное обеспечения надежности, недостаточности априорной информации, энергетическую управляемость процесса, энергетические ограничения. Без этого невозможна подлинная оптимизация автоматического управления. Но одной математике это не под силу. Теория и методы нейроруправления в ряде работ рассматриваются в общем для всяческих объектов управления, т.е. в отрыве от свойств и закономерностей функционирования конкретного объекта (или их совокупности), т.е. нарушается принцип системного подхода, и от этого страдает проблема в целом и в частности.

Существенный прогресс в этом деле может оказать нейроруправление и системный подход к проблеме.

Принципиально необходимо рассматривать нейроруправляемую конструкцию как систему, элементами которой являются нейроруправляемый модуль, объект управления, актуаторы, измерительные устройства, прямые и обратные связи внутри системы и с внешней средой, в том числе с внешними воздействиями и энергоисточниками, необходимыми для осуществления управления. Несистемность, неучет како-

го-либо из данных факторов влечет за собой определенную ущербность управления. На такие негативы-противоречия указаны в монографии Н.П. Абовского (Управляемые конструкции. КрасГАСА. – Красноярск, 1998). Например, это произошло при создании некоторых станков с программным управлением (ЧПУ), когда на старые конструкции станков просто «навесили» программное управление, получив в итоге весьма тяжеловесные станки с мощными станинами и другими деталями. Заметим, что учет континуальных свойств материала конструкции, закономерности их формирования позволили автору упростить структуру используемой нейросети. Системный подход в указанной монографии с учетом энергетической составляющей позволили получить новые эффективные автоматические системы управления конструкциями, защищенные многими патентами.

Отметим, что классификация нейроуправления по типам объектов управления еще не разработана. Именно с таких позиций возникла необходимость выделить нейроуправляемые конструкции в отдельное направление. Аналогичное положение с нейросветофорным управлением дорожным движением и другими искусственными системами.

Еще Норберт Винер в свое время пророчески утверждал, **что теория управления, теория информации и теория нейронных сетей должны рассматриваться как разделы одной науки – кибернетики.**

Это по сути замечательное утверждение о необходимости системного подхода. В действительности, к сожалению, наблюдается тенденция отдельного развития этих отраслей знаний, что приводит к негативным последствиям. Мы стремимся преодолеть этот разрыв, пользуясь системным подходом. В частности показана и использована взаимосвязь между содержанием обучающей выборки, т.е. информации, со схемами нейроуправления в поисковых и беспоисковых вариантах, а также в задачах оптимизации и практического прогнозирования. Показано также влияние усредненной (интенсивности) и оперативной информации на качество нейросветофорного управления системой дорожного движения.

Подтверждениями закономерности и естественности развития нейроуправляемых конструкций могут служить, например, следующие факты определенной аналогии единства природы, искусственных (в том числе механических конструкций) и естественных систем:

- работа механической конструкции, ее функционирование аналогично нейросетевой модели в смысле прямой связи: «вход» (внешнее воздействие)- «выход» (параметры НДС конструкции). «Доводка» инженерной конструкции – это процесс ее «доучивания»;
- модели механических конструкций (в том числе континуального типа - пластины, оболочки) в конечно-разностном (конечно-элементном) представлении аналогичны нейросетевым системам (имеют узлы и связи-синапсы, входы-выходы);
- применение механических управляющих модулей для управления конструкциями (типа рычагов, тросо-блоковых систем) с использованием энергии внешних возмущений или перераспределения внутренней энергии подобно обучению нейросетей при подборе параметров механического управляющего модуля.

Не противоречит ли нейроуправление традиционным подходам?

Укажем на возможный комплексный подход к развитию нейроуправляемых конструкций.

Например, строительная механика и конструирование являются классическими областями, в которых имеется ряд формализованных алгоритмов, в осно-

ве которых лежат идеализированные математические модели. На их основе с помощью теории автоматического управления могут создаваться традиционные контроллеры (типа ПИД, СНИД). Но при этом существует барьер разногласий между идеализированной моделью и действительной конструкцией, что связано, как правило, с многими нелинейностями. Учет этих особенностей приводит к большим, часто непреодолимым, математическим трудностям.

Для преодоления данного противоречия (несоответствия, разрыва) могут использоваться нейроконтроллеры, обученные на опытных данных, учитывающих реальные свойства и особенности конструкции. Этому помогает то, что нейросети лучшим образом способны учитывать различные нелинейности, т.к. функция активации каждого из нейронов нелинейна. С этой целью разумно использовать, например, синтез традиционных контроллеров с нейроконтроллерами. Поэтому нейроконтроллеры могут употребляться как самостоятельно, так и в синтезе с традиционными и нейросетевыми контроллерами. Это представляет эффективное практическое направление развития управляющих модулей для управления конструкциями и системами.

Таким образом, нейроуправление не отрицает (не противоречит) использованию классических традиционных средств и может употребляться в сочетании с ними для совершенствования результатов. Например, путем создания доучивания и внесения поправок.

Об одной ложной оценке возможностей нейросетевого управления

Встречаются ошибочные оценки возможности нейросети. От полного непонимания («нейросеть – черный ящик») до профессиональных заблуждений.

Например, японские авторы (С. Омату, и др. Нейроуправление и его приложения - М.:ИПРЖР, 2000) утверждают, что «нейронные сети могут автономно «изучать» статические и динамические свойства управляемого объекта на основе измерений, производившихся в прошлом, а затем действовать таким образом, чтобы принять *лучшее решение при неизвестном состоянии внешней среды* в противоположность обычным компьютерам, которые «не могут работать за пределами решений, задаваемых программой». Данное мнение японские авторы подтверждают ссылкой на распостраненный американский источник (White, D.A. and D.A. Sofge, «Handbook of Intelligent Control», Van Nostrand Reinhold, New York, 1992).

По отношению к возможностям нейросетей действовать при неизвестном состоянии внешней среды лучшим образом эта оценка неверна и вводит в заблуждение, приписывая нейросетям некие необыкновенные (прямо-таки божественные) свойства. Причина такой оценки кроется в несистемном подходе японских и американских авторов к нейросетевой методологии, в отрыве ее связи с информационным обеспечением (обучающей выборкой), а также с закономерностями развития и функционирования систем управления.

Действительно, возможности нейросети всецело определяются и ограничиваются информацией, содержащейся в обучающей выборке (т.е. тем, что в них вложено), теми закономерностями, которые в неявном виде в этой выборке содержатся.

Восприняв эту информацию и содержащиеся в ней закономерности, нейросеть представляет аппроксимационную модель, которая может принимать *интерполяционные решения* в области обучающей выборки (в пределах ее точности) и *экстраполяционные решения* в некоторой небольшой зоне, полагая, что на нее распространяются те же закономерности.

Если же в зоне экстраполяции «неизвестное состояние внешней среды» содержит закономерности, не содержащиеся в обучающей выборке, то будет наивным заблуждением ожидание того, что нейросеть даст «лучшее решение».

Отметим, что инженерные конструкции представляют собой своеобразные искусственно созданные сетевые системы. Поэтому их связь с нейросетевыми системами находит достаточные органичные (согласующиеся) соединения. Это же можно сказать и о других инженерных системах (например, электрических, водопроводных и других технологических системах и процессах). Многие из них могут рассматриваться по аналогии, другие – непосредственно как искусственные своеобразные нейросетевые устройства. В целом это стремление (тяготение) к развитию обучаемых интеллектуальных систем. В связи с тем, что многие инженерные системы являются сетевыми системами, снабжение их нейросетевым управляющим модулем может существенно повысить их качественный уровень.

Не менее важно стремление к прогнозированию развития, оптимизации решений и оптимизации управления, которые приоткрываются по-новому, благодаря нейросетевым возможностям.

Данные разработки имеют пионерный приоритетный характер по целому ряду вопросов. Особое значение приобретут самообучающиеся и самонастраивающиеся системы с использованием передовой электронной техники.

Отметим, что если сложившаяся в прежние годы общая теория управления автоматических систем ориентирована, главным образом, на использование математических моделей, на моделирование дифференциальных уравнений, то нейроуправление может применяться и тогда, когда математическая модель неизвестна, возможен учет реальных свойств конструкции и нейроуправление конструкций в процессе эксплуатации, доучивание. Изменяются взаимоотношения конструкции и человека.

Иными словами, нейроуправление необходимо рассматривать как современное развитие классической теории автоматического управления. В зарубежной литературе есть отдельные статьи по некоторым вопросам нейроуправления, в частности по управлению колебаниями, антисейсмической защите, обучению шасси самолета и др. Необходимы более широкие и глубокие аспекты развития нейроуправляемых конструкций и систем.

Таким образом, проблемы нейроуправления характеризуются:

- взаимосвязью между фундаментальными и прикладными проблемами нейроуправляемых конструкций, в отличие от существующего разрыва между математическими и прикладными направлениями развития современной теории автоматических систем, между теорией нейроуправления вообще и инженерными конструкциями и системами;
- системным подходом к нейроуправлению конструкциями и системами, в частности, учетом взаимосвязи между информацией и системами нейроуправления, между архитектурой нейросети и реальными свойствами материала и конструкции, искусственной сети и ее аналогии с нейросетью, с закономерностями их развития, преемственностью и рациональным синтезом с традиционными системами и т.д.;
- приоритетным применением нейроинформатики к проблемам механики деформируемых тел, к строительной механике и строительным конструкциям, новыми постановками задач и их решением, в том числе проблем оптимизации, повышения точности, быстродействия, практического прогнозирования, нейровариационных и других задач нейроматематики.

Разработанный метод практического нейропрогнозирования существенно расширяет возможности экстраполяции традиционного типа, благодаря возможностям обучаемой нейросети, как по точности, так и по расширению области прогнозирования и позволяет обратиться к решению ряда новых задач:

- созданию системы нейросветофорного управления, которая может служить некоторым убедительным примером для эффективного развития других искусственных сетевых систем и приближения их к интеллектуальным нейроруправляемым системам.

Развитие затронутых здесь вопросов освещено в журнале "Нейрокомпьютеры: разработка, применение", 2001 г., №9, посвящённом работам красноярской группы исследователей.

1.4.4. Общая постановка задачи нейрорувления

Общую постановку задачи нейрорувления целесообразно ставить целиком для всей системы. Решение задачи управления должно дать конечный результат – управляющее решение. В этом случае осуществляется наиболее полный учет свойств управляемой конструкции. В сущности - это задача синтеза управляемой конструкции и нейросети. Традиционно нейронная сеть рассматривается отдельно от управляемого объекта, может иметь произвольную структуру и через обучающий паттерн в процессе обучения строит модель процесса управления.

Если нейронная сеть, отражает природу конструкции и структурно привязана к ней, то целесообразно устроить систему таким образом, чтобы элементы конструкции являлись одновременно элементами нейросети, а конструкция и нейросеть составили единый объект. Этим достигается две цели: 1). Ничто так хорошо не моделирует управляемый объект как сам объект. Поскольку элементы конструкции являются хотя бы частично элементами нейросети, то конструкция сама присутствует при работе нейросети в качестве своей модели. Таким образом обеспечивается наиболее полный учет особенностей конструкции, зачастую плохо формализуемых. 2). Система становится наиболее экономичной, без лишних элементов и связей.

Общая вариационная постановка задачи нейрорувления дана в [1.37,1.38,1.41].

Таким образом, управляемые конструкции получают определение *обучаемых*, что устанавливает их представление как *разновидности интеллектуальных систем*. Обучение управляемых конструкций может производиться не только цифровым, но и *аналоговым (образным) способами*.

1.4.5. Активные нейросети

Известно, что нейронные сети представляют собой сетевые устройства определённого типа. Необходимо их осмысление в классе других сетевых устройств с позиций системного подхода, а также с точки зрения автоматического управления системами (в том числе сетевыми).

Предлагается условно подразделить нейронные сети с учителем по признаку их функционирования на два типа:

- *Пассивные*, не содержащие обратной связи между входными и выходными параметрами, а также источника энергии для управления;
- *Активные*, являющиеся элементами системы автоматического управления.

Под *пассивными* понимаются традиционные нейросети без учителя, которые обучены на заданной выборке задач, т.е. на известных решениях, и их функциониро-

вание не предполагает выход далеко за пределы данной области. Все нейроны в данной сети, как правило, однотипны, а разные сети отличаются своей архитектурой.

Среди нейросетей следует особо выделить те, в которых процесс решения не базируется на известных решениях в обучающей выборке, а организован целенаправленно, например, на минимизацию энергии (как это реализовано в сетях Хопфилда). В таких сетях направленность процесса осуществляется шаговыми или итерационными процедурами (их можно рассматривать как разновидности обратных связей).

Отличительной особенностью *активных* нейросетей является то, что в них предусмотрено принятие управляющих решений и реализация их с помощью обратных связей, т.е. активные элементы обучаются на эти цели (рис. 6).

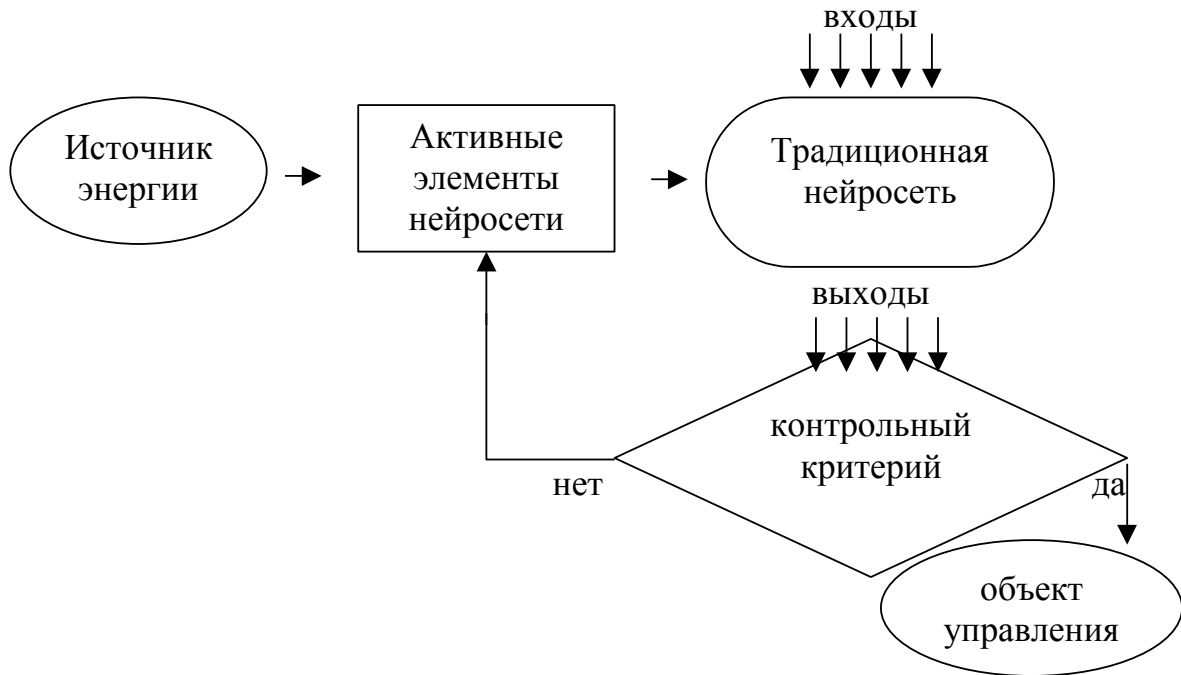


Рис. 6. Схема нейронной системы автоматического управления (НСАУ).

Данная схема в принципе аналогична известным в технике САУ. Но её отличие состоит в том, что основные блоки способны обучаться, а благодаря источнику энергии и активным элементам, - ещё и самонастраиваться, перестраиваться и самоорганизовываться. Поэтому такие НСАУ следует отнести к интеллектуальным системам. Данная система является гибридом традиционной нейросети с программным блоком управления, и может использоваться как в качестве САУ, так и для решения задач оптимизации.

Пассивные нейросети могут использоваться в САУ для управления по жёсткой схеме, а активные – по гибкой схеме.

Например, блок контроля может представлять собой нейроКУП и соответственно обучаться на анализ выходных данных (да – нет) и принятие управляющих решений.

Активные нейроэлементы могут обучаться на реализацию управляющих решений в основном нейросетевом блоке, используя для этих целей поступление энергии из источника.

Функции блоков НСАУ.

Традиционная нейросеть выполняет функции обученного на заданных выборках пакета нейроподпрограмм.

Переход от одной подсистемы к другой инициируется с помощью *активных* элементов. В простейшем виде они работают как переключатели, а в более сложном – синтезируются со специальной нейросетевой программой или традиционной компьютерной программой или электронным устройством, включая возможность доучивания нейропрограммы на основе дополнительной выборки, позволяющей совершенствовать управление во время эксплуатации.

Контрольный критерий – выполняет функции контрольно-управляющего прибора (КУП). Если параметры выхода удовлетворяют критерию, то процесс заканчивается (или продолжается в том же направлении). Если же нет, то КУП направляет решение активным элементам нейросети для повторного цикла.

Источник энергии необходим, так как без притока энергии невозможно осуществлять действия по активному управлению и функционированию системы.

Полезность такого представления заключается, на наш взгляд, в следующем:

- 1) Выделение функциональных элементов даёт осмысленный взгляд на решение задачи управления и оптимизации;
- 2) Важно выделить активный элемент: им может быть, например, нейросеть типа Хопфилда, решающая задачу минимизации энергии системы, какие-либо логические элементы, традиционная компьютерная подпрограмма оптимизации, опирающаяся на быстрый перебор вариантов с помощью нейросети;

Схема НСАУ (рис. 6) может относиться как к формальным активным нейросетям, реализуемым в компьютере, так в качестве блока управления и к искусственно созданным физическим управляемым системам и конструкциям, так называемым нейроуправляемым конструкциям и нейроконтроллерам. Сюда же можно отнести и сети нейросветофоров.

В заключение следует отметить, что в высокоразвитых биологических системах, по-видимому, также имеются активные нейронные элементы.

1.4.6. Нейросетевые управляющие приборы (нейроКУПы)

Нейросетевые модели управления конструкциями позволяют придать управляемым конструкциям ряд важных новых качественных свойств (в том числе как системам автоматического управления). В связи с этим большое значение для широкого внедрения нейросетевого управления приобретают разработки *нейросетевых контрольно-управляющих приборов*, одним из примеров которого является созданный нами нейроконтроллер [2.12]. Эти контрольно-управляющие приборы следует рассматривать как *современный синтезирующий этап развития измерительных, информационных и управляющих устройств*. Реализация данного направления представлена в разделе "Технические разработки" в виде созданного нейроконтроллера и способа использования его для управления конструкциями.

1.4.7. Научно-образовательный центр "Прикладная нейроинформатика"

Создан в КНЦ СО АН ВШ (Красноярский научный центр Сибирского отделения Академии наук Высшей школы) научным руководителем которого является проф. Абовский Н.П. Разрабатываются следующие направления.

Теоретические исследования и разработки программного обеспечения.

Основная цель - обеспечить за счет этих исследований преимущество по отношению к мировому уровню, поскольку в плане наличия широкого спектра приложений преимущества в настоящее время нет, и быстро изменить эту ситуацию не удастся, а в теоретических исследованиях можно опираться на традиционно высокий уро-

вень отечественной прикладной математики, и математической грамотности. Без активных теоретических исследований мы неизбежно попадем в положение отстающих. Непосредственно примыкают к теоретическим исследованиям разработки новых нейроалгоритмов и пакетов программ. С учетом сегодняшнего состояния в области нейроалгоритмов акцент может быть сделан на следующие вопросы:

Тема разработки	Ожидаемые результаты
Развитие методов быстрой автоматической оптимизации структуры, типа и управляющих параметров нейросетей.	Уменьшение полного времени исследования массива "сырых" данных в 10 - 100 раз.
Поиск подходов к автоматизированной предварительной обработке массивов информации, архивированию и хранению с тем чтобы избежать перегрузки бесполезными (не представляющими интереса для конкретных задач) данными..	Уменьшение необходимых объемов данных и уменьшение времени исследования ориентировочно в 10 раз.
Обеспечение простой и удобной интеграции нейропакетов с популярными базами данных, электронными таблицами, источниками информации.	Уменьшение времени исследования ориентировочно в 10 раз для небольших массивов данных.
Создание нейропакетов, интегрированных с ГИС-технологиями.	Увеличение степени использования ГИС - информации, спутниковых карт и т.п., и ускорение составления карт прогноза в 10-1000 раз.
Создание нейропакетов, стыкуемых с датчиками, работающими в реальном времени.	Возможность обработки больших потоков данных в реальном времени, ускорение работы на много порядков.
Развитие макропрограммирования на основе нейропроцедур, позволяющего давать компьютеру сложно структурированные задания на обработку "сырых" данных, вплоть до автоматического формирования экспертных систем.	Ускорение создания экспертных систем при наличии "сырых" данных в 100-1000 раз по сравнению с традиционными подходами, и до 10 раз по сравнению с имеющимися нейросетевыми подходами.
Развитие теоретических основ концепции "врастания" нейросетей в управляемые системы, когда учитываются физические свойства системы и элементы управляемой системы физически включаются в процесс выработки управляющих воздействий.	Упрощение систем адаптивного управления в 10-100 раз.

Перспективные направления разработок по прикладной нейроинформатике.

Основная цель - создание новых научно-технических систем с использованием нейросетевых устройств. Не исключено, что при этом удастся до некоторой степени оживить многие имеющиеся технические разработки, повысив их эффективность с помощью нейросетевого подхода. Классическим примером может быть проблема вы-

держивания технологического регламента, и эксплуатационных параметров системы - если система должна управляться самонастраивающейся нейросетью, ее "нестандартизованность" может оказаться несущественной. Возможны следующие варианты применения нейроподхода:

Тема разработки	Ожидаемые результаты
Создание нейроуправляемых конструкций различных типов: управляемых стандартизованным нейропроцессором, управляемых нейропроцессором адаптированным под специфические параметры конструкции, управляемых перестраиваемым (самообучающимся) процессором, конструкций интегрированных с системой нейроуправления.	Упрощение и удешевление систем автоматического управления конструкциями в 10 - 100 раз. Обеспечение возможности подстройки системы управления под изменяющиеся во времени параметры конструкции. Непосредственная связь «входа» и «выхода», увеличение быстродействия.
Создание нейросетевых контрольно-управляющих приборов - приборов нового типа.	Увеличение быстродействия, учет реальных свойств управляемых объектов, обеспечение возможности обучения и доучивания.
Создание нейросистем прогноза и управления элементами городской техно-сферы (использование электроэнергии, дорожное движение и т.п.).	Обеспечение учета совокупности трудноформализуемых факторов, влияющих на обстановку в городе.
Нейропрогноз технологических параметров, контроль и оптимизация технологических процессов на этой основе.	Упрощение управления технологическими процессами в 10-100 раз.
Использование нейросетевых элементов в конструкции роботов различных типов, автоматизация производственных операций на основе нейропроцессоров.	Упрощение и удешевление микроэлектронных систем для роботов в 10-1000 раз.
Нейросетевая сортировка сырья и заготовок.	Ускорение в 10-1000 раз.
Использование элементов нейроподхода в проектировании зданий.	Обеспечение гибкого встраивания проектов зданий в окружающую среду.
Нейросетевое управление космическими и летательными аппаратами.	Возможность достижения времени реакции информационных систем до 10^{-9} секунды, с многократным увеличением надежности системы управления.
Нейросетевая юстировка антенн.	Возможность упрощения систем управления формой антенн в 10-1000 раз.

В данном перечне упомянуты лишь те разделы, в отношении которых в мире, а нередко и в Красноярске, имеется некоторый опыт успешного использования нейросетевого подхода, и работа по которым представляется актуальной в рамках края.

1.5. Философские аспекты развития нового междисциплинарного направления "Управляемые конструкции"

Для развития и обоснования управляемых конструкций использован системный междисциплинарный подход, опирающийся на закономерности технических систем как творческий научный процесс (в науке и образовании), который можно определить как практическую диалектику [1.10]. На его основе показана закономерность перехода к автоматизированно-управляемым конструкциям, от пассивной работы к активному творчеству.

В связи с тем, что управляемые конструкции создаются на стыке ряда наук, невозможно было обойтись без методически системного подхода в увязке с закономерностями развития технических систем. Здесь необходимо научное и инженерное творчество.

Между тем, в литературе понятие "творчество" определено как некоторая загадочная деятельность, сочетающая талант и нечто неуловимое, т.е. не раскрываются действенные пружины этого процесса.

В связи с этим предложено следующее рабочее определение:

научное и инженерное (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.

В этом определении выделено главное назначение (цель), состоящее в новом решении определённой проблемы, и указаны функциональные элементы, составляющие суть творческого процесса и раскрывающие многообразие его структурных форм реализации. Без всего этого определение неполноценно и не обладает действительностью. Действительно, без указания результата (решения проблемы) понятие творчества остаётся беспредметным, творчеством ради творчества или достижения неведомого результата. А значит, проблема должна быть определена как расхождение (противоречие) между желаемым и действительным состоянием системы. Именно системы, с привлечением системного подхода, позволяющего наиболее полно, целно, всесторонне сделать анализ и выявить главные противоречия. Данную систему следует рассматривать в развитии на основе объективных законов её функционирования и совершенствования, в том числе с учётом преемственности в удовлетворении старых и новых условий существования. Выбор достаточной системы, выделение её из внешней среды с учётом ограничений и связей является важнейшим творческим моментом, ибо здесь гипотетически закладывается автором (творцом) возможность решения данной проблемы на новом уровне с помощью некоторых управляемых автором средств. Сразу редко удаётся выбрать наиболее удачную систему, и поэтому этот процесс становится многоцикловым спиралеобразным, оставаясь целенаправленным, активным. Всё здесь сначала решается на функциональном уровне (в функциональных модулях), т.е. функции (содержанию) отдаётся предпочтение перед структурными формами. При этом сохраняется на последующих этапах возможность творческого выбора эффективной структуры из большого разнообразия структурных форм, способных реализовать желаемую функцию. Иными словами, таким путём создаются благоприятные возможности для творческого поиска наиболее эффективной структурной формы, лучшим образом соответствующей содержанию (функции).

На этом этапе могут успешно использоваться известные многообразные методы и *алгоритмы принятия решений*. В литературе описаны многие их десятки, но все они имеют одну функциональную сущность: *анализ ситуации (системы) - выявление противоречий системы - преодоление противоречий - оценка (осмысление) принятого решения*.

Заметим, что в ряде случаев последнему этапу принятия решения (оценке результата) часто не уделяется должного внимания. Ведь известно, что решение одной проблемы неизбежно порождает другие. Без осмысления и предвидения последствий нельзя эффективно оценить принимаемое творческое решение.

В чём состоит отличие предлагаемого понимания творчества от известных в литературе? Каждая из составляющих концепции творчества (системной триады) известна, но каждая из них преподносится, как правило, изолированно, вне связи с другими, как самостоятельные творческие процессы, т.е. они не составляют единой цельной концепции творчества.

Отметим что, к сожалению, нет ни одного вузовского учебника системного типа, обучающего творчеству. В настоящее время, по мнению авторов, назрела потребность в научном обобщении творчества как процесса и осуществима реальная возможность такого обобщения как практической методологии. Ею достаточно просто можно овладеть в два этапа. На первом этапе ознакомиться с философско-методологической сущностью данной концепции творчества, а на другом - осмыслить её применительно к своей конкретной специальности ("пропустить через своё дело").

В КрасГАСА авторы читают фундаментальный курс "Принятие решений", направленные на активизацию творчества студентов, аспирантов и преподавателей.

Предложенный подход фактически не только содержит определение творчества, но и вариант практического алгоритма творчества. Пользуясь им, автор и его коллеги получили, например, следующие новые приоритетные результаты:

- созданы новые пространственные конструкции, синтезирующие лучшие свойства известных и удовлетворяющие региональным условиям Сибири;

- обоснован и разработан новый современный этап развития строительных и других конструкций в виде автоматически управляемых систем как некоторой разновидности интеллектуальных систем с применением компьютерных, аналоговых и механических модулей; особое перспективное место принадлежит здесь использованию нейроподобных обучаемых модулей для управления и создания искусственных нейроподобных систем и технологических процессов, возможности обучения на примерах (примеры учат не меньше, чем теоремы);

- подготовлены некоторые системообразующие курсы лекций и активные методы обучения, и др.

ЧАСТЬ 2. ПРИЛОЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ ТЕХНИКИ

Теоретические основы управляемых конструкций, представленные в части 1 (принципы, способы, функциональные схемы, алгоритмы), *получили реализацию в виде разнообразных управляемых конструкций, устройств и способов управления применительно к строительным конструкциям, неразрезным балкам, подвесным вантам, мостам, гидротехническим плотинам, высоким башням, сейсмическим зданиям, мостовым кранам и др.*

Управление конструкциями осуществлено в ряде случаев путем использования части "вредной" внешней энергии или перераспределения внутренней энергии деформирования.

Разработаны и реализованы в моделях и приборах нейроуправляемые конструкции, включая нейросветофоры для управления дорожным движением, новые типы конструкций, контрольно-управляемые приборы (КУПы и нейроКУПы), способы управления НДС антенн и активного управления колебаниями конструкций.

Для управления разработаны и применены *управляющие модули* различного вида: компьютерные устройства; аналоговые устройства (в частности, электроаналоговые); различные механические устройства; нейросетевые контроллеры; контрольно-управляющие приборы на нейросетевой и электрорелейной основах.

Управляющие модули снабжены разработанными различными программами традиционного и нейросетевого типов.

Разработанные новые пространственные строительные конструкции из комбинированных материалов (сталежелезобетонных) содержат в себе идеи управления конструкциями на стадии их разработки, проектирования и технологии изготовления, учитывают региональные условия строительства в Сибирских регионах и максимально приспособлены к существующей строительной базе. Отличаются от известных традиционных конструкций повышенной эффективностью по расходу материалов не только в период строительства, но и эксплуатации. Данные конструкции получили промышленное внедрение в виде построенного объекта и ряда альтернативных проектных предложений. *Разработана серия конструкций 1.065.9-1 для зданий различного назначения.*

Новизна разработанных управляемых конструкций, управляющих модулей, способов и программ управления, подтверждена многими патентами и заявками на изобретения.

Данные научно-технические разработки получили *признание на многих международных конференциях, осуществлены в ряде конструкций и в целом наборе действующих моделей управляемых конструкций, представляющих собой фундаментальную базу для инженерного образования в области управляемых конструкций. Новизна этих разработок подтверждена также серией патентов в [2.1-2.11].*

2.1. Управляемые конструкции

2.1.1. Способ управления строительными конструкциями

Патент РФ № 2068918

Изобретение относится к строительству, а именно: к строительству промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий и сооружений.

Известно, что активное управление конструкций может осуществляться лишь с привлечением внешней энергии. Обычно такая энергия используется в виде электрической, гидравлической, пневматической и др. Механическая энергия для управления конструкцией в процессе ее функционирования, как правило, не применялась. Основной причиной этого является то обстоятельство, что подвод и аккумуляция механической энергии (подобно электрической, гидравлической и т.д.) сложны и способы этого не разработаны.

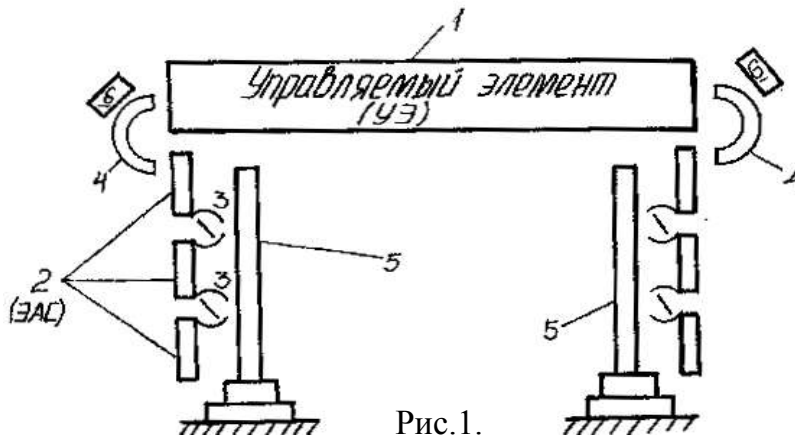


Рис.1.

На рис.1. изображен пример функциональной схемы устройства, с помощью которого можно осуществить способ управления строительной конструкцией с помощью накопленной потенциальной энергии.

Устройство состоит: из управляемого элемента 1 (УЭ) энергетического, активного элемента 2 (ЭУЭ), включате-

лей-выключателей 3, связей 4 между УЭ и ЭУЭ, нейтрального элемента 5 и обратной связи 6 (измерительные устройства-наблюдатели, корректирующие и управляющие воздействия).

Способ осуществляется следующим образом. Для управления элементом конструкции 1 накапливают в активных элементах 2 механическую потенциальную энергию, которую с помощью включателей-выключателей 3 порциями через связи 4 или непосредственно передают для воздействия на управляемый элемент конструкции. С помощью приборов-наблюдателей 6 осуществляется корректировка управляющих воздействий, т.е. осуществляется обратная связь управления.

Управление напряженно-деформированного состояния (НДС) осуществляется как в условиях статики, так и в условиях колебаний путем регулируемого трения и изменения массы подвешенных блоков. Наблюдения за процессом и корректировка его осуществляется с помощью измерительных приборов 6, которые измеряют и формируют управляющий сигнал включателю-выключателю 3.

Предложенный способ позволяет расширить конструктивные возможности и область их применения в условия статики и динамики а также снизить материалоемкость, повысить надежность и живучесть конструкции за счет управления НДС механическим путем.

2.1.2. Устройство для регулирования механических напряжений в подвесных вантах

Патент РФ № 2053539

Изобретение относится к строительству и может быть использовано в других отраслях, где требуется автоматическое регулирование механических напряжений в вантах.

Целью изобретения является повышение точности регулирования, надежности устройства и расширение области его применения. Указанная цель достигается тем, что в устройство, содержащее привод, прикрепленный к одной из опор и состоящий из реверсивного электродвигателя и редуктора с планетарно-резьбовой передачей, в анкерный шток для изменения натяжения, дополнительно установлен тензодатчик сопротивления, включенный в плечо моста Уитстона с реохордом, к выходу которого через усилитель мощности подключен реверсивный электродвигатель привода натяжения и параллельно ему - индикатор напряжения, в другие плечи моста включены тензодатчики сопротивления, установленные на анкерном штоке другой ванта, и переменные регулируемые сопротивления (рис.2). Индикатор напряжения на выходе моста Уитстона предназначен для контроля за наступлением баланса моста, который достигается перемещением ползуна реохорда при отсутствии натяжения в вантах. С помощью переменных регулируемых сопротивлений осуществляется настройка устройства на регулирование в заданном режиме.

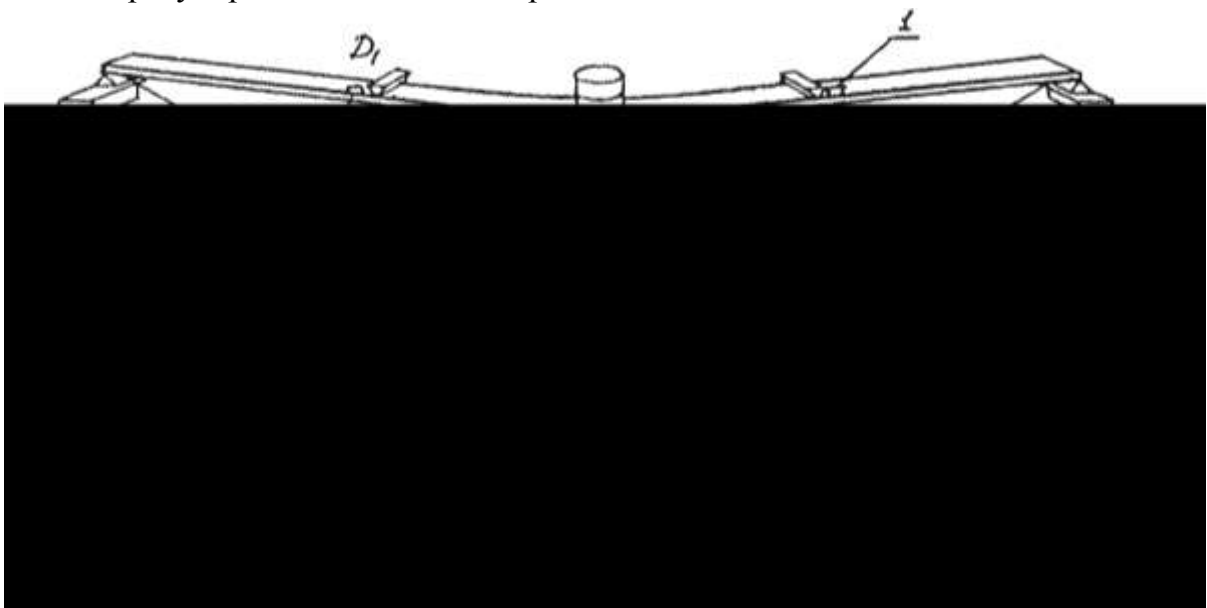


Рис. 2 Автоматическое управление шпренгельной балкой с помощью аналогового устройства (моста Уитсона).

Шпренгельная балка снабжена автоматическим устройством для натяжения затяжки (актуатором), которое приводится в действие по сигналу рассогласования моста Уитсона. Мост Уитсона обеспечивает равенство деформаций в сечениях балки с тензодатчиками (1). Сигналы с тензодатчиков (1) в 2-х сечениях балки поступают на мост Уитсона (3) и в случае неравенства показаний тензодатчиков, с моста Уитсона поступает сигнал на электродвигатель (2) актуатора, реализующий выравнивание показаний двух тензодатчиков. **Таким образом, при любом положении нагрузки на балке обеспечивается равенство напряжений в двух сечениях балки.** Для автоматического регулирования натяжения более двух вант разработано устройство [2.2].

2.1.3. Способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки и устройство для осуществления предлагаемого способа (Патент РФ №2073839)

Изобретение относится к области строительства и может быть использовано в других отраслях техники, где применяется многопролетная неразрезная балка с изменяющейся по величине и месту приложения нагрузкой. (рис.3).

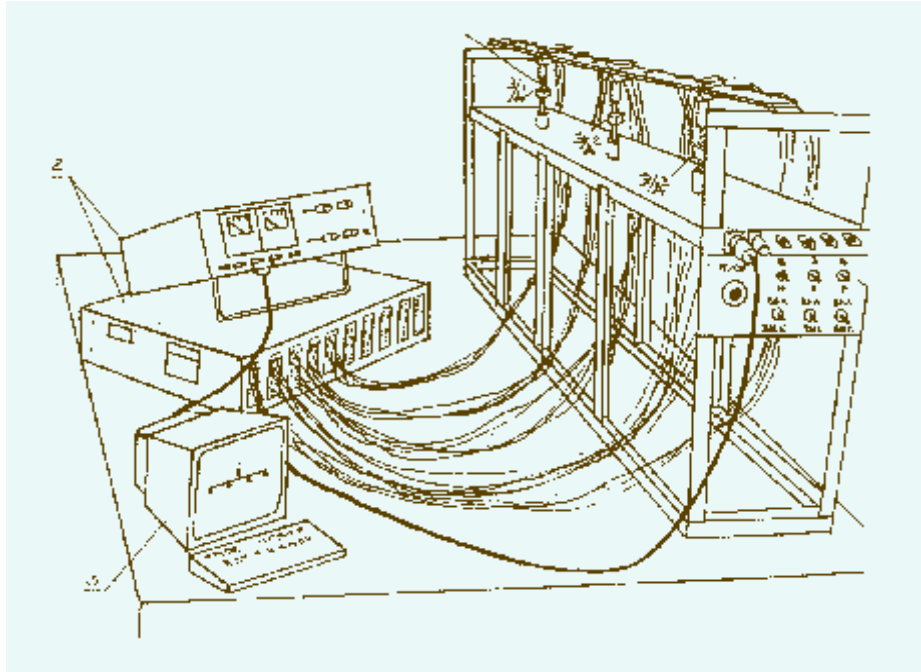


Рис.3.

Цель изобретения - повышение прочности многопролетной неразрезной балки, подвергающейся воздействию переменной по величине и месту приложения нагрузки и снижение ее материалоемкости при наименьших затратах энергии на осуществление смещения опорных приспособлений. Способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки осуществляют следующим образом. На многопролетной неразрезной балке 2, находящейся под воздействием переменной по величине и точке приложения нагрузки, устанавливают датчики деформации 1, сигналы с которых поступают в блок обработки сигналов 3, с помощью которого оценивается состояние балки под нагрузкой и вырабатывается сигнал на поперечное смещение опор балки с помощью исполнительных механизмов 4. В качестве блока обработки сигналов 3 используют ЭВМ, связанную через систему интерфейсов и коммутирующих устройств с датчиками деформации 2 и с исполнительными устройствами 4 через интерфейсы и усилители мощности. В этом случае по регистрируемым сигналам с датчиков деформации производят анализ состояния балки в отношении величины и точки приложения нагрузки. Эти данные используют для расчета требуемых смещений опор, осуществляемых исполнительными механизмами 4.

Изобретение позволяет повысить прочность многопролетной неразрезной балки подвергающейся воздействию переменной по величине и месту приложения нагрузки, а также снизить ее материалоемкость при наименьших затратах энергии на осуществление смещения опорных приспособлений.

**2.1.4. Способ автоматического управления
несущей способностью многопролетной неразрезной балки
и устройство для его реализации
(Патент №2122188)**

Изобретение относится к области автоматического управления конструкциями, их напряженно-деформированным состоянием.

Целью предложенного способа является повышение эффективности автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки за счет предварительного осуществления обучения нейронной сети, которая является инвариантной частью и не требует повторения при каждом цикле принятия решения, что приводит к увеличению быстродействия, повышает надежность и качество управления за счет учитывания реальных свойств конструкции.

Эффективность способа автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки с помощью блока обработки сигналов в виде ЭВМ с нейропрограммой (нейроконтроллера) достигается повышение эффективности автоматического управления многопролетной неразрезной балки за счет предварительного осуществления обучения нейросети.

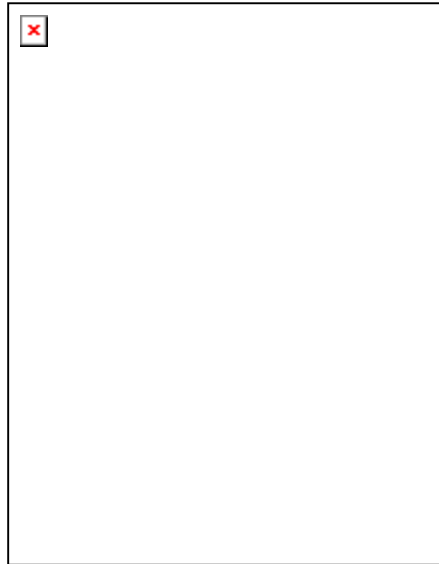


Рис.4.

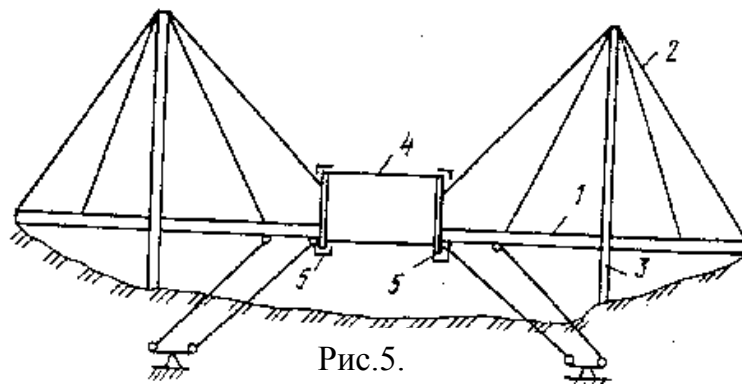
Технический результат заключается в повышении эффективности, надежности и качества управления, который достигается за счет создания дополнительного напряженного состояния балки путем поперечного по отношению к ее оси смещения опор. При этом измеряют деформацию в контролируемых точках балки и осуществляют смещение опор.

Для осуществления смещения опор осуществляют два этапа. Первый этап связан с обучением нейросети. На втором этапе осуществляют автоматическое управление несущей способностью неразрезной балки, при котором непрерывно опрашивают с помощью ЭВМ с нейропрограммой тензодатчики и принимают управляющие решения по программе функционирования нейронной сети, которая реализует прямую связь между показаниями тензодатчиков и эффективным управляющим решением, и передают это управляющее решение на привод исполнительных механизмов.

2.1.5. Устройство защиты моста от бокового ветра Патент РФ № 2120515

Устройство защиты моста от бокового ветра относится к конструкции мостов, защиты моста от бокового ветра, приводящего к его разрушению.

Изобретение обеспечивает упрощение автоматизации устройства управления деформациями моста от бокового ветра за счет использования силы ветра и простых механических устройств и позволяет повысить надежность моста от деформирования боковым ветром (взрывной волной). Устройство защиты моста от бокового ветра включает мост на опорах и снабжено устройством автоматического управления, состоящим из парусов-аккумуляторов ветровой энергии, расположенных на направляющих с возможностью сдвигаться по ним.(рис.5).



Каждый конец паруса-аккумулятора ветровой энергии тросом связан с неравноплечим рычагом, расположенным на неподвижной опоре, а другой конец неравноплечего рычага соединен управляющим тросом соответственно с пролетной конструкцией моста, причем паруса-аккумуляторы ветровой энергии расположены либо в средней части моста, либо на мосту в нескольких местах, либо по обе стороны моста на берегу не менее чем в четырех точках.

Устройство работает следующим образом. При отсутствии ветра устройство защиты моста от бокового ветра находится в покое. При наличии бокового ветра под его действием парус-аккумулятор 4 ветровой энергии от ветра надувается и сдвигается по направляющим 5 по направлению ветра, при этом натягивает трос, связанный с неравноплечим рычагом. Другой конец неравноплечего рычага оттягивается и тянет управляющий трос, связанный с мостом 1 и тем самым действует на мост с целью снятия боковой нагрузки от действия ветра.

Использование устройства защиты моста от бокового ветра позволяет автоматически управлять деформацией моста от бокового ветра или порывов, улавливает энергию ветра и направляет ее на "добро", используя простые механические устройства, повышает надежность моста от действия ветра.

2.1.6. Плотина

Патент РФ №2090693

Изобретение относится к гидротехнике в частности к заанкерным плотинам и предназначено для защиты (укрепления) плотины от увеличивающегося динамического напора воды, смягчения гидравлического удара в приливных, селевых и других плотинах

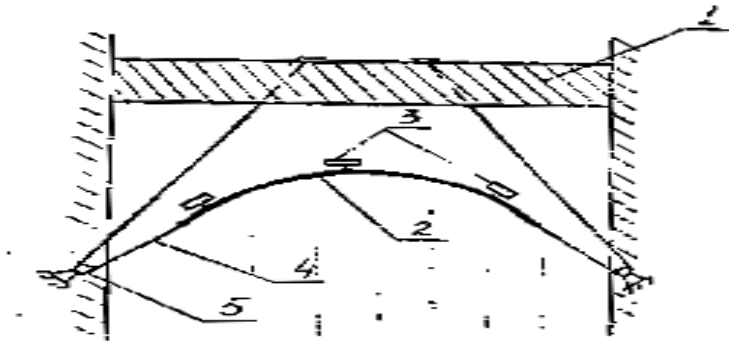


Рис.6.

Цель изобретения - автоматическое регулирование нагрузок на плотину в зависимости от внезапного повышения гидродинамического давления и уровня воды в верхнем бьефе и управление ее напряженно деформированным состоянием плотины.

Устройство работает следующим образом. Под действием гидродинамического напора воды разгружающее устройство, выполненное в виде гибкого полотнища 2 и поплавков 3 на ее верхней кромке, натягивается, натягивает при этом прикрепленные к верхней кромке полотнища тяги 4, переброшенные через закрепленные на берегах русла блоки 5, передавая по тросам 4 усилие натяжения на плотину 1, направленное против движения воды и разгружающее перемычку (рис.6). Гибкое полотнище 2 разгружающего устройства меньше по площади, установленное перед основной плотиной 1 удерживается плавучими поплавками 3 и тросами 4, как экран собирает энергию гидродинамического напора, который натягивает (преднапрягает) тело плотины 1 навстречу напору в зависимости от величины давления, что происходит автоматически. Плавучие емкости 3 в зависимости от уровня воды в верхнем бьефе благодаря выталкивающей силе автоматически поддерживают гибкую плотину, а также могут натягивать заанкерные в плотине тросы 4, как это предусмотрено в прототипе.

Размеры гибкой плотины, диаметры тросов, плавучих емкостей, анкеровка тросов в плотине и напряженно-деформированное состояние плотины определяются расчетами.

Использование плотины, снабженной установленными на берегах русла блоками, разгружающим устройством выполненным в виде гибкого полотнища с поплавками на верхней кромке, причем полотнище прикреплено нижними концами к дну, а верхними концами к плотине через блоки укрепленные на берегах реки, позволяет автоматически регулировать гидродинамическое и гидростатическое давление на плотину, управляет её напряженно-деформированным состоянием, автоматически регулируя нагрузку на плотину.

2.1.7. Устройство автоматического управления деформированием высокой башни

Патент РФ №2105853

Устройство автоматического управления деформированием высокой башни относится к строительной технике и предназначено для повышения жесткости и уменьшения колебания высоких сооружений от воздействия ветра.

Целью изобретения является автоматическое регулирование нагрузок, возникающих от воздействия ветра на сооружения, повышение его жесткости за счет снижения перемещений от ветра и уменьшение вибраций (колебаний) от порывов ветра.

Устройство работает следующим образом. При воздействии ветра любого направления происходит автоматическое управление натяжением тросов 5 и 12 за счет энергии ветра, действующего на устройство парусов - полотнищ 2, которое получает горизонтальное смещение относительно башни 1 на горизонтальной площадке 4 и натягивает управляющий трос 5 (при этом другие диаметрально расположенные тросы 5 ослабевают и в работе не участвуют) (рис.7.) Управляющий трос 5 увлекает за собой конец разноплечего рычага 6, который поворачивается относительно подвижной опоры 7 и перемещается вместе с закрепленным на его конце грузом 8 в нижнее положение (показано пунктиром) и оттягивает трос 12. При отсутствии ветра тросы 12 натянуты грузами 8. Натяжение троса 12 вызывает автоматическое смещение башни 1 в сторону, противоположную направлению ветра, и стремится вернуть башню в первоначальное вертикальное положение,

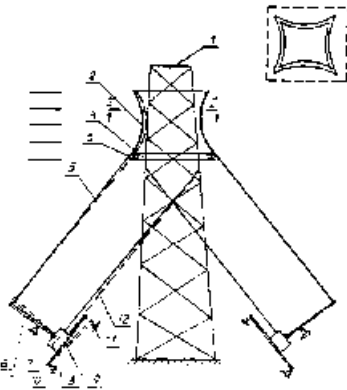


Рис.7.

препятствуя колебаниям башни.

Величина смещения башни 1 против ветра определяется по расчету, исходя из размеров парусов - полотнищ 2 (т.е. величины внешнего воздействия), соотношения плеч неравноплечего рычага, расположения вант и высоты их закрепления на башне. Сначала определяют смещения башни при отсутствии тросов 5 от ветрового воздействия в зависимости от формы башни и ее сопротивления ветру (в СНиПах имеются для этого данные), а затем уже подбирают размеры парусов - полотнищ 2, плеч разноплечего рычага 6, расположение и крепление управляющих и оттягивающих тросов для создания желаемого противодействия.

На кафедре "Строительная механика" КрасГАСА создана модель автоматически управляемой установки, испытания, которые макета дали положительные результаты.

Использование устройств автоматического управления деформированием высокой башни позволяет удерживать башню в вертикальном положении автоматически с усилением гасящих колебания воздействий, используя вредную энергию ветра.

2.1.8. Сейсмостойкое здание, сооружение (Патент РФ №2087622)

Изобретение относится к строительству и служит для повышения сейсмостойкости зданий, сооружений

Цель изобретения - повышение сейсмостойкости здания путем уменьшения смещения основного фундамента с помощью преобразования части сейсмической энергии. Сейсмостойкое здание, сооружение включает основной фундамент, подвижные вспомогательные массивные фундаменты, которые расположены вне основного по его центральным главным осям, оперты на грунт через опоры качения и соединены с основным фундаментом жесткими связями.(рис.8)

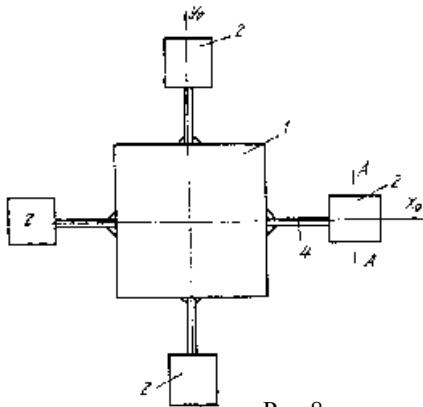


Рис.8.

Суть данного изобретения состоит в том, что часть энергии сейсмического воздействия используется для того, чтобы предотвратить (уменьшить) сейсмическое смещение фундамента. Для реализации этой идеи используются подвижные вспомогательные массивные фундаменты на опорах качения, связанные жесткими связями с основным фундаментом, происходящий откат вспомогательных фундаментов противоположен направлению сейсмического воздействия. Через связующие устройства вспомогательные фундаменты оказывают на основной фундамент действие, противоположное направленное сейсмическому воздействию. Этим самым уменьшается или предотвращается полностью смещение основного фундамента чем и оберегается надфундаментная часть.

Этим самым уменьшается или предотвращается полностью смещение основного фундамента чем и оберегается надфундаментная часть.

Работает сейсмостойкое здание следующим образом.

При сейсмическом воздействии основной 1 и массивные подвижные вспомогательные фундаменты 2 при отсутствии связей между ними сместились бы - основной фундамент 1 в направлении сейсмического воздействия, а массивные подвижные вспомогательные фундаменты 2 откатились бы назад. Вспомогательные массивные фундаменты 2 обладают большой подвижностью, благодаря своей массе и опорам качения 3 они откатываются назад увлекая за собой через жесткие связи 4 основной фундамент 1 заставляя его вернуться в первоначальное положение или существенно уменьшить его линейные и угловые смещения вокруг вертикальной оси

Расположение совокупности вспомогательных массивных фундаментов 2 и их связей 4 с основным фундаментом 1 позволяет устройству работать при любом направлении сейсмического воздействия, включая и сопротивление повороту основного фундамента 1 вокруг вертикальной оси

Использование данного изобретения позволит повысить сейсмостойкость здания за счет уменьшения смещения основного фундамента и служит для повышения сейсмостойкости зданий, сооружений.

2.1.9. Кран с системой автоматического управления Патент РФ № 2090486

Изобретение относится к подъемно-транспортному машиностроению, а именно к устройствам, разгружающим пролетное строение от поперечного изгиба и снижающим горизонтальные колебания груза.

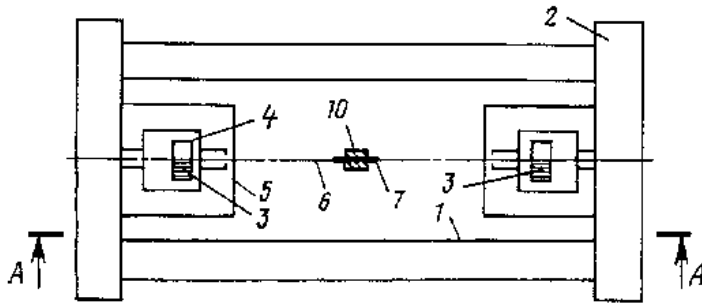


Рис.9.

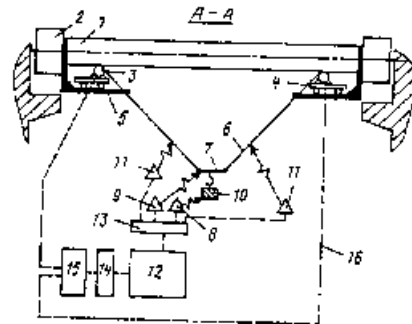


Рис.10

Цель изобретения: улучшение качественных характеристик работы крановой системы (точности плавности, скорости перемещения груза) ее габаритных и весовых параметров

Предлагаемый кран мостового или козлового типа показан на (рис.9,10) и представляет собой систему, содержащую пролетное строение 1, концевые балки 2 две лебедки 3 с короткозамкнутым двигателем и частотным преобразователем на тележках 4, установленных эксцентрично по отношению к продольной оси сечения пролетного строения на консолях 5 в приопорных участках пролетного строения и обладающих подвижностью и возможностью стопорения на этих участках, грузовые канаты 6, каждый из которых одним концом закреплен на грузовой подвеске 7 а другим соединен с лебедками 3 систему управления, включающую в себя датчики 8, 9 положения и колебания груза 10 соответственно, датчики 11 натяжения канатов 6, управляющий модуль 12, входной интерфейс 13, преобразующий сигналы с датчиков 8, 9, 11 для управляющей программы выходной интерфейс 14, передающий команды лебедкам 3, коммутирующее устройство 15 и кабели прямой и обратной связи.

Подвижные лебедки, установленные на консолях, прикрепленных к торцевым сечениям пролетного строения с эксцентриситетом относительно его продольной оси, работают согласованно под управлением автоматической системы, обеспечивают повышение точности, плавности скорости перемещения груза, предотвращение его горизонтальных колебаний притормаживанием (ускорением) одной из лебедок, снижение металлоемкости и габаритных характеристик пролетного строения за счет уменьшения его поперечного сечения.

2.1.10. Применение ЭВМ для автоматического управления конструкциями

Система автоматического управления (САУ) НДС неразрезной балки представляет систему из целостного набора элементов:

- механической конструкции с переменными параметрами;
- управляющего модуля (ПЭВМ), который вырабатывает решение об эффективных значениях переменных параметров;
- прямой и обратной связи между этими элементами, обеспечивающих заданное функционирование управляемой конструкции на основе притока внешней энергии.



Рис.11. Структурная схема САУ НДС с цифровым управляющим модулем

Управление САУ НДС с цифровым управляющим модулем (рис.11) происходит по программе ЭВМ. Процесс управления НДС реализуется, в отличие от аналогового управляющего модуля, не непрерывно, а в результате систематического опроса датчиков и осуществления управляющих воздействий с периодом, определяемым режимом работы таймера ЭВМ. В качестве объекта управления взята модель четырехпролетной неразрезной балки (рис.12). Как известно из истории механики, неразрезная балка - это тот классический пример, на котором отрабатывались примеры, легко переносимые на другие системы.

Общий вид САУ НДС четырехпролетной балки приведен на рис.11. Пример управления НДС четырехпролетной балки показан на рис.12.

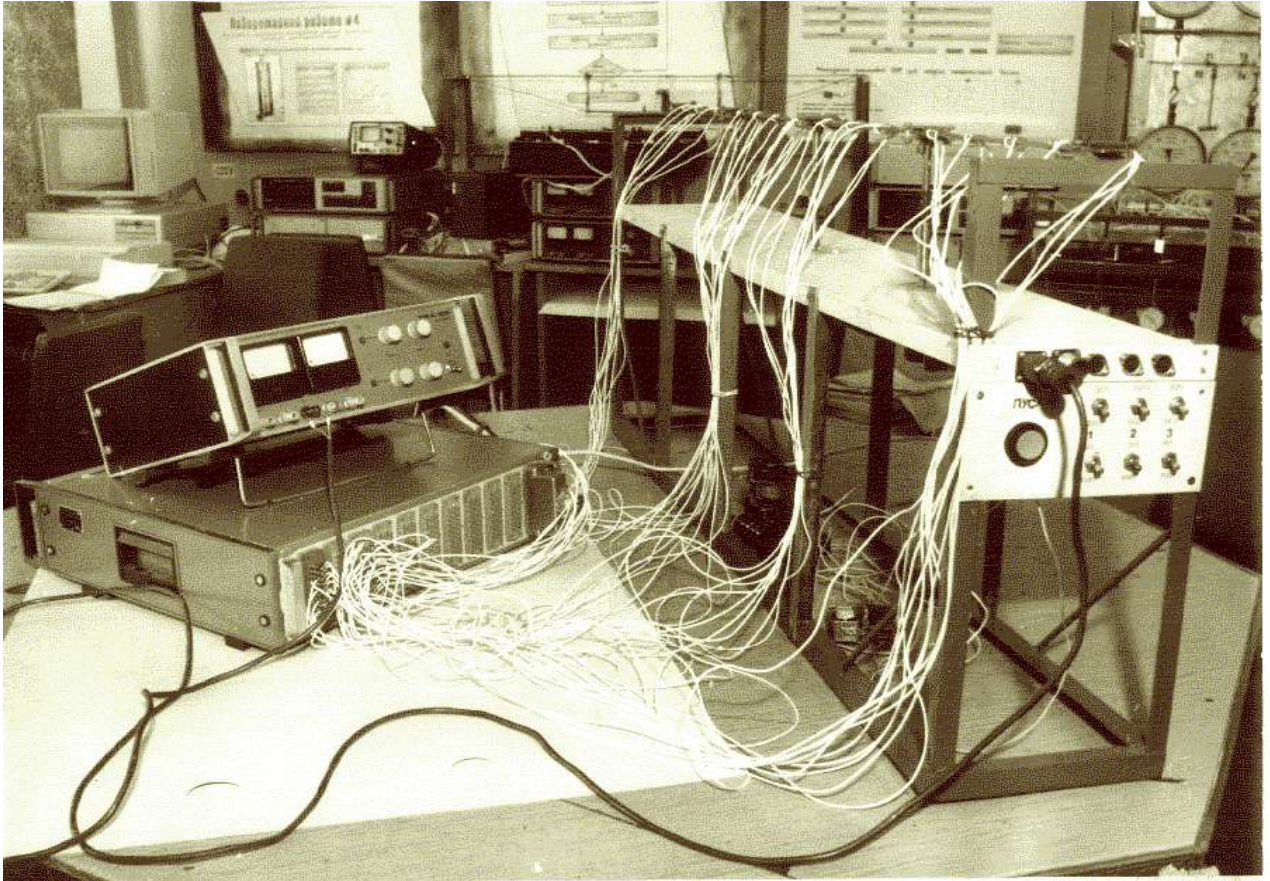


Рис. 12. Общий вид САУ НДС четырёхпролётной балки

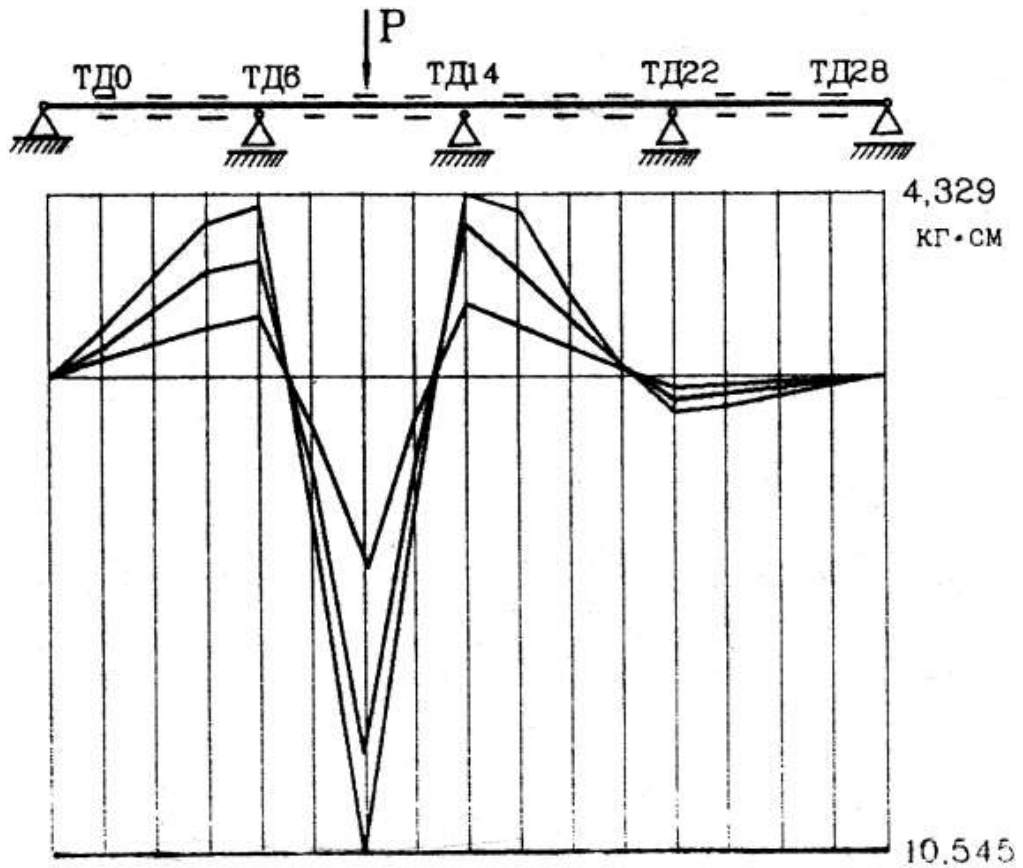


Рис.13. Пример управления НДС четырехпролетной балки

2.2. Нейроуправляемые конструкции

Теоретические основы нейроуправления конструкций изложены в части 1 раздел 1.4. Важнейшей особенностью нейроуправляемых конструкций является обучаемость. Они представляют собой разновидность интеллектуальных систем автоматического управления и могут называться обучаемыми конструкциями. Одним из наиболее перспективных в этой области является направление развития нейроуправляемых конструкций с использованием нейроконтроллеров (нейроКУПов) и сетей из них (см. разделы 2.3 и 2.4).

2.2.1. Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки с помощью контроллера с нейросетевой программой и устройства для его управления (заявка на изобретение №971107519/09, решение о выдаче патента РФ от 29.04.1998).

Способ осуществляется в два этапа: первый - связан с обучением нейросети, при котором подают сигналы с тензометрических датчиков через коммутатор-измеритель сигналов, усилитель-преобразователь, считывают в ЭВМ, высвечивают на индикатор и принимают наилучшее управляющее решение, затем полученные примеры с решениями заносят в задачник для обучения нейросети.

Второй этап - автоматическое управление несущей способностью неразрезной балки, при котором непрерывно опрашивают тензометрические датчики, установленные на балке, вносят данные в однокристальную ЭВМ и принимают управляющее решение по программе функционирования нейросети, которая реализует прямую связь между показаниями тензометрических датчиков и эффективным управляющим решением, передают это решение на привод исполнительных механизмов и создают дополнительное напряженное состояние балки путем поперечного смещения ее опор.

На рис.1 представлен общий вид устройства для осуществления данного способа.

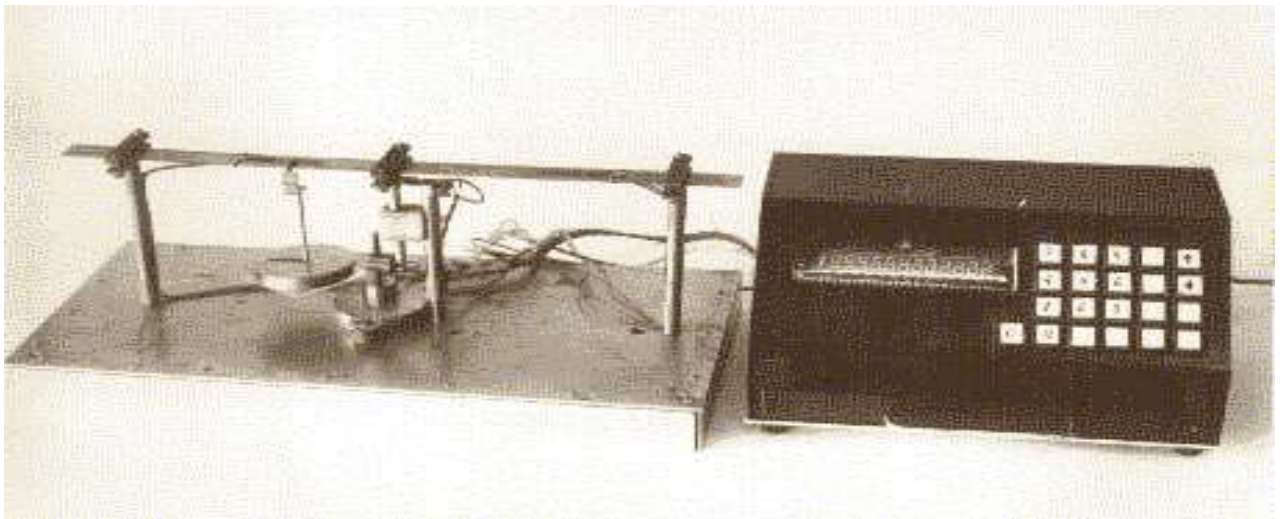


Рис.1.

Эффективность управления в описанном изобретении достигается за счет увеличения быстродействия и учета реальных свойств конструкции.

2.3. Контрольно-управляющие приборы (КУПы и НейроКУПы)

КУПы и нейроКУПы – являются новым типом приборов, в которых соединяются функции измерений, обработки, принятия решения и управления.

Новое направление отличается тем, что современная традиционная техника выпускает приборы, в которых каждая из функций выполняется отдельно от других. Это приводит к существенному изменению техники САУ.

Нейросетевые управляющие приборы (нейроКУПы) [2.10-2.12] объединяют функции: *измерение - обработка - принятие решений - передача управляющего решения.* НейроКУПы являются обучаемыми устройствами (разновидностью интеллектуальных систем), т.е. могут обучаться и доучиваться на основе выборки примеров без применения математической модели. Им присуще быстроедействие, непосредственное соединение с управляемой системой, сопровождающееся учетом изменяющихся свойств системы, надежность, малогабаритность.

2.3.1. НейроКУПы

На рис.1. представлена схема организации процесса управления с использованием нейроКУПа.



Рис.1.

При реализации конкретной задачи с применением контроллеров следует учитывать некоторые особенности проектирования и программирования нейросетевых алгоритмов. Так как контроллер не обладает развитыми системами взаимодействия с оператором и большими вычислительными ресурсами, используется предварительное имитирующее контроллер программное обеспечение, включающее в себя задачник и имитатор ПЗУ (Постоянное Запоминающее Устройство). Процесс выполнения задачи включает обучение нейросети на достаточном количестве практических или теоретических примеров и собственно функционирование.

В случае проектирования нейросетевых устройств на микроконтроллерах программная реализация разбивается на две части. Первая предполагает использование универсальной ЭВМ, на которой происходит процесс обучения нейросети для выполнения определенной задачи с учетом вычислительных особенностей микроконтроллера. Вторая часть программного обеспечения жестко запрограммирована в контроллере и обеспечивает только необходимый при эксплуатации алгоритм и необходимое

взаимодействие с объектом управления. При этом используются коэффициенты связей хорошо обученной нейросети полученные в универсальной ЭВМ.

Работа нейросетевых алгоритмов характерна тем, что процессы обучения и функционирования можно четко разделить. Вследствие этого появляются богатые возможности комбинирования различных способов реализации одной и той же нейронной сети в различных режимах.

В связи с этим предлагается следующий подход к решению конкретных прикладных технических задач, в частности, задач управления конструкциями, с использованием нейросетей.

Первый этап - создание выборки обучающих примеров на базе экспериментальных данных, снятых с данного конкретного объекта. Использование экспериментальных данных имеет преимущество перед расчетными, т.к. в данном случае при обучении нейросеть будет автоматически учитывать особенности данного объекта.

Второй этап - отладка алгоритма и обучение нейронной сети происходит в стандартной персональной ЭВМ, что удобно пользователю вследствие хорошей сервисной оболочки и достаточно большой памяти современных персональных компьютеров.

Третий этап - полученная в результате обучения карта синапсов используется для работы в режиме функционирования. Программа для функционирования нейронной сети пишется в расчете на специализированную микроЭВМ и, с помощью программатора, переносится в соответствующий микроконтроллер. В данном случае функционирующая нейросеть оформляется в виде небольшой приставки, которая обслуживает данный конкретный объект.

Такой подход дает возможность тиражирования простых специализированных нейросетевых устройств с малыми габаритами, стоимостью и энергопотреблением.

Разработан ЦНК (цифровой нейроконтроллер), назначение которого в системе автоматического управления конструкцией состоит в выполнении следующих функций:

- связь с тензодатчиками, установленными на конструкции, т.е. получение исходной информации в аналоговом виде, преобразование ее в цифровую форму;
- выработка управляющего решения для актуаторов с использованием нейросетевых методов;
- подача управляющего воздействия на двигатели актуаторов.

Для реализации данных функций ЦНК снабжается коммутатором съема сигналов с тензодатчиков, усилителем-преобразователем сигналов, аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и, наконец, однокристальной микроЭВМ, откуда управляющие сигналы поступают на блок управления шаговым двигателем.

На рис.2 представлена блок-схема работы нейроконтроллера, включающая процессы обучения и функционирования.

СХЕМА ОБУЧЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦНК

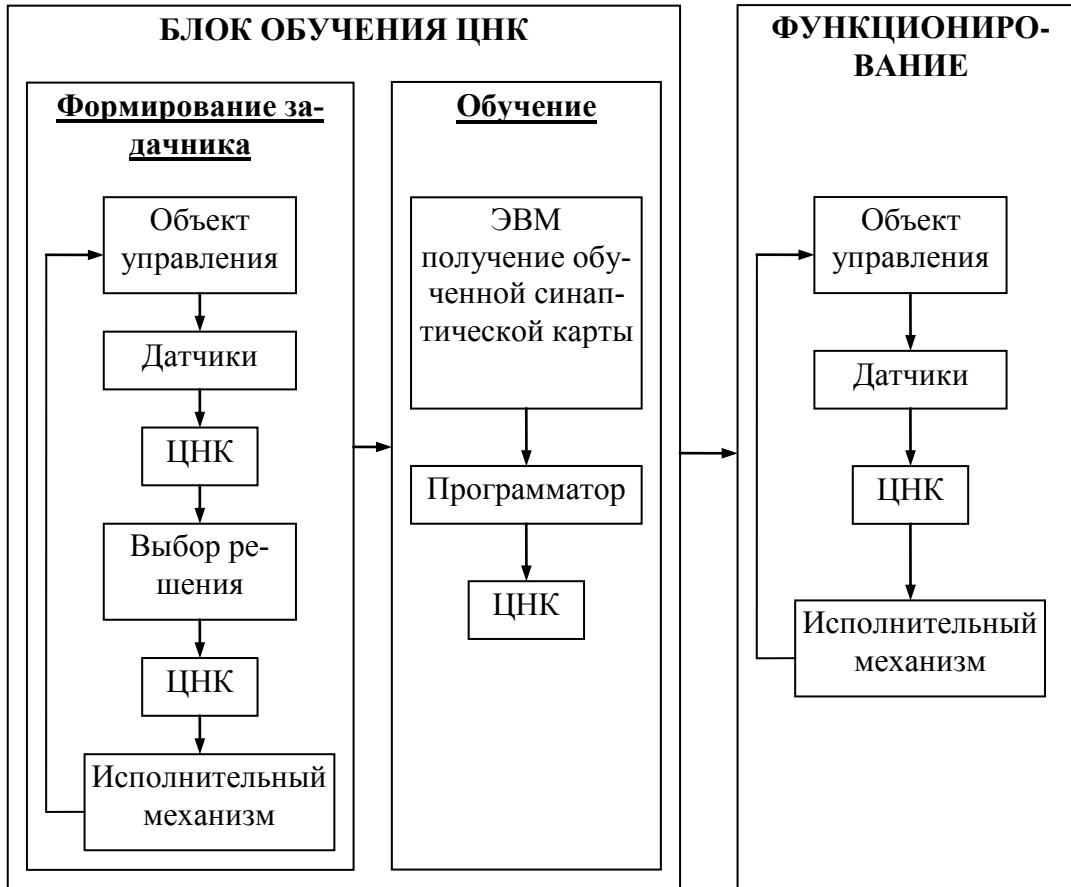


Рис.2.

В качестве примера в КрасГАСА разработан прибор ЦНК-001/97, специализированный на управление учебной моделью двухпролетной балки, снабженной тензодатчиками и актуатором на средней опоре. Данный прибор можно использовать как наглядное пособие для обучения студентов описанной выше методике.

Модификации ЦНК предусматривают возможности:

- замену нейропрограмм и совмещение нескольких нейропрограмм для разных режимов управления в одном ЦНК;
- в дальнейшем в микроЭВМ может быть заложена не только функционирующая нейросеть, но и обучаемая в процессе непрерывной работы, т.е. совершенствование управления по мере накопления опыта эксплуатации с учетом изменений условий работы и самой конструкции (например, ее износа или старения);
- наращивание ЦНК с целью увеличения числа датчиков и актуаторов (или изменения их параметров).

Эти модификации делают пригодным использование контроллера для решения широкого круга практических задач, включая статические, динамические, линейные, нелинейные, а также трудно формализуемые задачи управления и контроля.

ЦНК - это устройство специализированное и, одновременно, достаточно универсальное, т.к. специализацию можно легко изменить, и может широко использоваться для управления.

2.3.2. Контрольно-управляющее устройство для управления напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки (Патент №21059593, 1998).

Изобретение относится к области измерения контрольных и управляющих устройств, используемых для систем управления конструкциями, их напряженно-деформированным состоянием. Целью изобретения является возможность автоматического управления конструкцией для обеспечения надежности ее работы.

Цель достигается тем, что контрольно-управляющее устройство для управления напряженно-деформированным состоянием многопролетной неразрезной балки, содержащее исполнительные механизмы для осуществления поперечного относительно оси балки смещения ее опор, причем в него введены концевые выключатели-датчики деформации, установленные в контролируемых точках многопролетной неразрезной балки и блок обработки сигналов, концевые выключатели-датчики деформации через блок обработки сигналов связаны с исполнительными механизмами (рис.3).

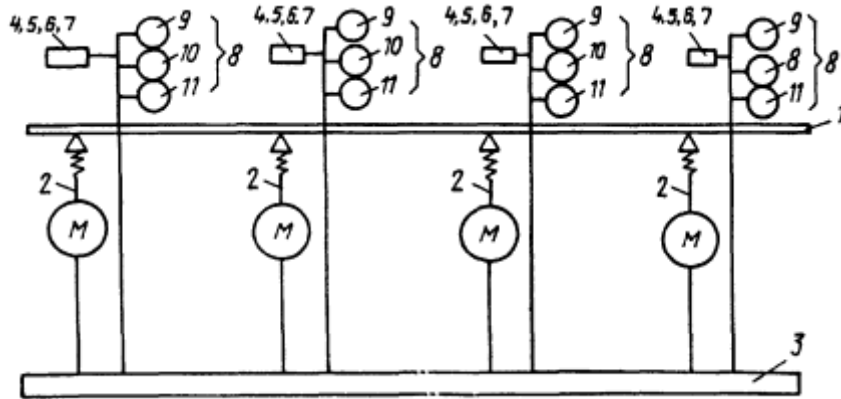


Рис.3.

Введение в контрольно-управляющее устройство концевых выключателей-датчиков деформации и блока управления многопролетной неразрезной балки, причем концевые выключатели-датчики деформации через блок управления связаны с исполнительными механизмами, позволяет достичь *цель изобретения – автоматически управлять напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки, позволяет визуально наблюдать за счет индикаторных ламп (красной, желтой, зеленой) состояние балки и реагировать автоматически на различные ее состояния.*

2.4. Автоматическое регулирование дорожного движения с помощью обучаемых нейросветофоров (Пример искусственных сетей нейроКУПов)

2.4.1. Обоснование практической потребности

Регулирование дорожного движения – одна из наиболее жизненно необходимых задач, требующая постоянного совершенствования и перестройки в связи с постоянно меняющейся интенсивностью движения, появлением новых видов транспортных средств, изменениями в жизни города и т.п.

В большинстве случаев регулирование с помощью светофоров производится по жесткой схеме без учета изменения интенсивности движения, времени суток, дней недели, погодных условий и пр.

Любое отклонение от начально-заданной нормы приводит к значительным задержкам транспортных средств и пешеходов на перекрестках, возникновению заторов. В результате снижается скорость сообщения, ухудшается экологическая ситуация в городе. Основные недостатки организации работы светофоров по жесткой схеме - повышение загазованности, увеличение расхода топлива, увеличение задержек транспортных средств и пешеходов, снижение скоростей сообщений, заторы, увеличение вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий, ухудшение психофизического состояния участников дорожного движения, невозможность обеспечения специальных режимов управления, социально - экономическая неэффективность.

Научно-техническое обеспечение системы организации и управления дорожным движением не соответствует современным требованиям и перспективам развития

Рассмотрим одну из главных проблем нашего времени - проблему загазованности в частности от автотранспорта.

Объем вредных выбросов в атмосферу возрастает несоразмерно с увеличением числа машин. По данным областного комитета экологии г. Новосибирска, доля выброса от автотранспорта свинца оценивается в 99%, бензопирена - одного из сильнейших канцерогенов - не менее 60-70%. Экологи установили прямую связь между увеличением смертности и выбросами от автотранспорта.

Эти же проблемы находятся в центре внимания мэра г. Москвы Лужкова и Министра внутренних дел РФ Степашина, которые издали 'Инструкцию' о порядке взаимодействия милиции и нарядов экологического контроля по предупреждению экологических правонарушений.

В Красноярске резкое увеличение интенсивности движения не соответствует пропускной способности улично-дорожной сети и увеличивающемуся потоку транспорта. Существующие схемы жесткого светофорного регулирования не могут решить данные вопросы. Задержки транспорта на перекрестке достигают 8 - 10 часов в течение часа работы светофорного объекта.

Приведем для справки данные зарубежных экономистов: Увеличение скорости движения автобусов, например в Париже, с 10 до 12 км/час позволит экономить 250 млн. франков в год. По всей Франции в заторах теряется 80 млн. часов, что составляет потери в 6 млрд. франков, не учитывая затраты на топливо.

Повышение загазованности является одной из наиболее насущных проблем современных городов. Возможными мероприятиями по снижению экологической загрязненности явились бы замена горючего, строительство развязок и другие. Но эти дорогостоящие мероприятия в настоящее время трудно осуществить. А вот мероприятия по снижению задержек, заключающиеся в замене жесткой схемы регулирования дорожного движения на возможно более гибкую, являются возможными и экономически недорогими. Внедрение гибкой нейросетевой схемы нацелена на борьбу с причинами от загазованности от автотранспорта.

2.4.2. Снижение задержек - эффективный способ уменьшения загазованности атмосферы

Предлагаемое нейросетевое управление дорожным движением в заданном районе состоит в следующем. Создается сеть нейроКУПов, установленных на перекрестках и других узловых пунктах, связанных между собой каналами взаимной информации. Каждый нейросветофор работает по своей нейропрограмме на основе обучаю-

щей выборки и может доучиваться на основе текущей внешней информации. Благодаря взаимной информационной связи вся сеть нейросветофоров может само настраиваться, в том числе с учетом установленных командных приоритетов на магистральных направлениях и других обстоятельств.

С помощью нейроКУПов возможно создание более дешевой и одновременно более гибкой системы автоматического регулирования дорожного движения со сверхбыстрым реагированием светофоров на различного рода изменения ситуации на дороге.

Перечисленные выше качества предполагаемой системы обеспечиваются применением нейроКУПов в узлах регулирования. Можно, например, применять нейроКУПы, содержащие программные имитаторы нейронных сетей с малым количеством нейронов, реализованных в микроЭВМ и встроенные непосредственно в блок управления светофорами.

Рассматривая дорожную сеть города в целом, можно провести аналогию между ее функционированием и функционированием искусственной нейронной сети. И в том и в другом случае качество функционирования определяется величиной потока между узлами сети. Величина потока является теми подстроечными параметрами сети, которые необходимо отрегулировать для решения той или иной конкретной задачи.

В традиционной искусственной нейронной сети узлами сети являются некоторые простые устройства с нелинейным преобразованием, а подстроечные параметры регулируются специальными алгоритмами с учетом поставленной задачи, определяемой извне.

В дорожной сети города регулирование величины потока производится не извне, а внутри сети - в ее узлах. Помещая в узлах сети обучающиеся (адаптивные) элементы и связывая их каналами информации, мы тем самым получаем адаптивную сеть макро уровне. Т.е. мы имеем двухуровневую обучающуюся нейронную сеть (аппаратно это будет сеть нейроКУПов), но затраты делаем только на нижнем уровне, помещая обучающиеся нейросетевые элементы в узлы регулирования потока. Верхний уровень в данном случае выстраивается сам собой за счет обратной связи между светофорами.

2.4.3. Способ нейросетевого координированного управления транспортными потоками в районе регулирования (Патент РФ №2169946 от 02.08.99).

Способ нейросетевого координированного управления транспортными потоками в районе регулирования, основанный на измерении интенсивности транспортных потоков на входах перекрестков района регулирования. Выбор в результате измерений плана координации, наиболее близкого к контрольной совокупности. И подаче управляющих сигналов на светофорную сигнализацию. Отличается тем, что назначают желаемые показатели по коэффициентам предпочтений на «входах-выходах» района регулирования на контрольных светофорных объектах на основе предварительно измеренных и вычисленных интенсивностей транспортных потоков на «входах-выходах» района регулирования. После чего выбирают схему размещения внутренних светофорных объектов внутри района регулирования, позволяющую обеспечить стратегию управления с учетом условий и ограничений. Снабжают все светофорные объекты микроЭВМ с нейропрограммой и средствами взаимного обмена информацией об интенсивности транспортных потоков «входах-выходах» района регулирования.

Обучают все связанные информационной сетью светофорные объекты, снабженные микроЭВМ с нейропрограммой на основе практической выборки задач, учитывающей гибкую смену режимов во времени, резервирование, возможные сбои, аварийные ситуации, различные предпочтения спецтранспорту и т.п. Сравнивают полученные параметры потоков с назначенными желаемыми показателями по коэффициентам предпочтений на «входах-выходах» района регулирования, и при наличии существенных отклонений осуществляют обратную связь путем подачи сигналов по коэффициентам предпочтений с контрольных светофорных объектов на «входах-выходах» района регулирования, снабженных микроЭВМ с нейропрограммой, на внутренние светофорные объекты внутри района регулирования.

2.4.4. Реальный пример гибкого светофорного регулирования

Для демонстрации преимуществ гибкого регулирования и работы нейронных сетей был выбран перекресток ул. Партизана Железняка - ул. Аэровокзальная, изображенный на рис.1.

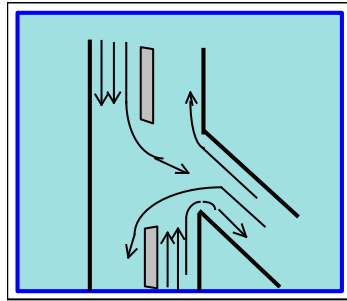


Рис.1.

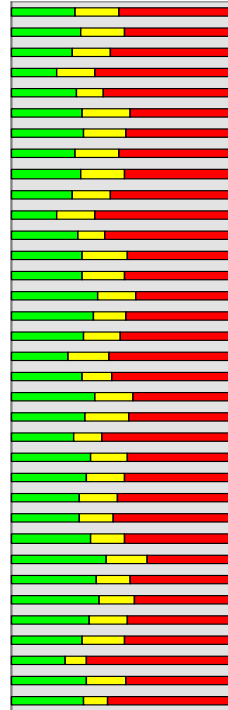


Рис.2.

Были проведены натурные измерения интенсивности движения по направлениям и получены расчетно-оптимальные времена горения светофора в зависимости от времени суток. Динамика изменения времени горения светофора представлена на рис.2. При жестком регулировании на светофоре устанавливается максимально возможная длительность цикла регулирования. В этом случае расчетная задержка транспортных средств на перекрестке составила в среднем 9.2 часа в час. Тот же расчет для гибкого регулирования (когда режим работы светофора изменяется раз в час) дал среднюю задержку равную 4 часам в час. Следовательно, ***время задержки на перекрестке уменьшилось на 5 часов (приблизительно в два раза).***

На основе натурных измерений интенсивности и проведенных расчетов был составлен обучающий паттерн для нейронной сети. На входы сети подавалась измеренная интенсивность движения, с выходов снималось время горения зеленого сигнала по направлениям. Среднеквадратичная ошибка обучения составила 0.0057. В резуль-

тате обучения получена карта подстроечных параметров, с помощью которой строится функция 'вход-выход' (в нашем случае - функция 'интенсивность движения - время горения зеленого сигнала').

Теперь, используя данную функцию, мы можем получать время горения зеленого сигнала для любых соотношений интенсивностей движения по направлениям без промежуточных расчетов.

2.4.5. Нейросетевой способ межрайонного координированного управления транспортными потоками (Патент №2169946)

Изобретение относится к координированному управлению дорожным движением, способам управления транспортными потоками в районах регулирования с использованием нейронных сетей.

Целью изобретения является эффективность межрайонного управления дорожным движением за счёт снабжения связью между собой контрольных светофорных объектов и с Центром управления дорожным движением и управление дорожным движением с Центра управления дорожным движением.

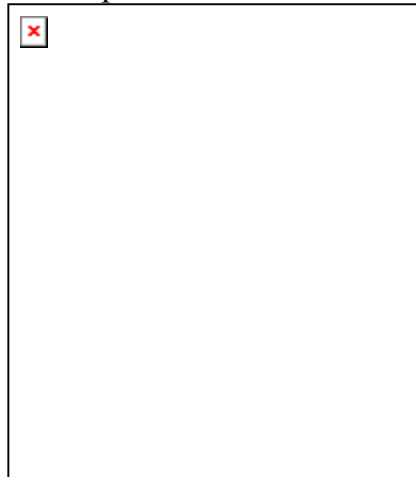


Рис. 3

Это позволяет эффективно управлять дорожным движением, способ более прост в управлении, всё управление осуществляется с Центра управления дорожным движением, что создаёт удобство в управлении, позволяет осуществлять визуализацию способа, удобство в обслуживании и ремонте, всё управление сосредоточено в одном месте.

Технический результат заключается в повышении эффективности межрайонного управления дорожным движением.

Способ управления заключается в том, что разделяют весь город на отдельные районы регулирования, на границах которых устанавливают контрольные светофорные объекты с микроЭВМ, связанные с Центром управления дорожным движением, снабженным ЭВМ, связывают контрольные светофорные объекты с внутренними светофорными объектами районов, которые снабжают микроЭВМ, и осуществляют одновременно межрайонное управление контрольными светофорными объектами с Центра управления и управление внутренними светофорными объектами районов с помощью нейропрограмм, которыми снабжают микроЭВМ всех светофорных объектов и ЭВМ Центра управления.

2.4.6. Устройство управления светофорным объектом с ЭВМ с нейропрограммами (Патент №2151424).

Устройство управления светофорным объектом с ЭВМ с нейропрограммами относится к автоматическому координированному управлению дорожным движением, транспортными потоками на светофорном объекте с помощью нейронных сетей.

Целью изобретения является автоматическое гибкое управление светофорным объектом с помощью обучающейся нейронной сети, связанное с увеличением в установленный промежуток времени пропускной способности транспортного потока на перекрёстке.

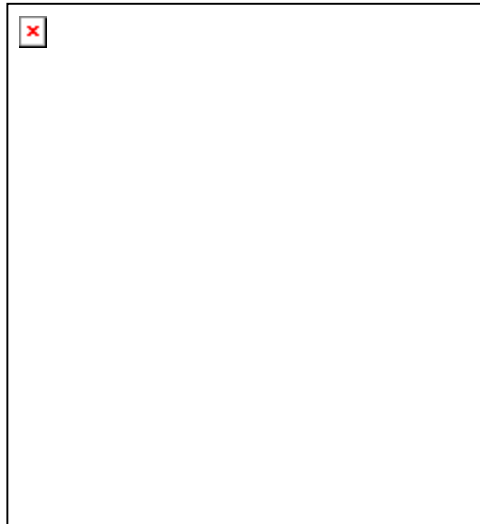


Рис. 4.

Технический результат заключается в автоматическом гибком управлении светофорным объектом с помощью обучающейся нейронной сети, связанном с увеличением в установленный промежуток времени пропускной способности транспортного потока на перекрестке. Устройство управления светофорным объектом с нейропрограммами состоит из контроллера, содержащего ЭВМ, часы реального времени, энергонезависимую память с записанной в ней конфигурацией перекрестка, детектор транспорта, снабженный ЭВМ с нейропрограммой, предварительно обученной на распознавание на перекрестке вида и количества транспорта, направления его движения, скорости движения, полосы движения на основе информации с датчиков транспорта, контроллер с ЭВМ снабжен нейропрограммой, предварительно обученной на практическую выборку задач, учитывающую гибкую смену режимов регулирования во времени, резервирование, аварийные ситуации, а также на предпочтения спецтранспорту и корректировку поступающей информации с соседних светофорных объектов, функционирующей на основе информации с детектора транспорта на этом перекрестке и от соседних светофорных объектов и корректирующих коэффициентов предпочтения с контрольных светофорных объектов на входах-выходах района регулирования, при этом контроллер с ЭВМ с нейропрограммой связан приемопередающей информационной сетью с соседними и контрольными светофорными объектами через приемопередатчик и антенну.

2.4.7. Расчет экологической эффективности.

Снижение техногенной нагрузки от автотранспорта на окружающую среду на основе гибкого нейросетевого управления светофорами

Известно, что работа двигателя автомобиля на холостом ходу и при торможении способствует значительному увеличению выброса токсических веществ в 3-5 раз больше по сравнению со скоростным движением. Поэтому снижение задержек автотранспорта на перекрестках является одним из эффективных способов защиты окружающей среды от вредного воздействия автомобильного транспорта.

В Красноярске объем выбросов от автотранспортных средств примерно равен объему выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферы города.

Автомобили при работе на холостом ходу (в основном из-за задержек на перекрестках дорог) работают не менее 30% от общего времени и при этом выбрасывают в атмосферу в 3-5 раз больше вредных выбросов (а при неисправном карбюраторе вдвое больше).

Таким образом, можно полагать, что за время простоя на перекрестках автотранспорт Красноярска выбрасывает в атмосферу вредных выбросов больше, чем в процессе всего движения по городу.

На основе расчетов и компьютерного опыта КрасГАСА и КГТУ показано, что благодаря гибкой схеме управления движением с помощью обучаемых нейросветофоров задержки автотранспорта на перекрестках могут быть снижены не менее чем в два раза, т.е. вдвое снижается время работы двигателей на холостом ходу. ***А значит – не менее, чем в два раза снижаются вредные выбросы в атмосферу на перекрестках дорог, а общий выброс вредных газов от автотранспорта по отношению ко всем источникам загрязнения атмосферы города снижается не менее чем на 25%.***

Кроме этого социального эффекта имеет место дополнительный экономический эффект, который связан с уменьшением задержек автотранспорта - уменьшение расхода топлива, повышение безопасности дорожного движения, повышается эффективность работы автотранспорта на 15-20%. Сокращение задержек составляет на одном светофоре 5 часов в час без учета экономии горючего и улучшения ситуации на дорогах. В городе существует около 200 светофорных объектов, следовательно, сокращения задержек составит порядка 10 тыс. часов в день. Если один час работы транспортного средства стоит порядка 100 руб., то, ***ежедневная экономия по городу составит приблизительно 1 млн. руб., или около 350 млн. руб. в год***

Конкретное внедрение предполагается на основе программы «Совершенствование организации и управления дорожным движением в г. Красноярске», согласованной с ГАИ УВД, СМЭУ ГАИ, департаментом транспорта и связи, КрасГАСА и КГТУ и разрабатываемой по решению Управления коммуникационным комплексом при администрации Красноярского края краевой программы.

2.5. Управление деформированием отражающей поверхности антенны

Управление деформированием отражающей поверхности антенны находит все большее применение для антенн малых размеров и без них невозможно обойтись для больших космических и наземных антенн, телескопов и др.

Однако известные способы управления требуют измерения искажения формы антенны, для чего требуется сложная дорогая аппаратура, а также последующие трудоёмкие вычисления (определение величин механических воздействий на деформируемую оболочку).

2.5.1. Прямой способ управления деформированием отражающей поверхностью антенны. Патент РФ №2050755

Предложенный в патенте способ управления лишен указанных выше недостатков. В его основу положен экспериментальный подход, позволяющий установить прямую взаимосвязь между определенными сигналами, вызывающими деформацию формы антенны, и характеристиками волнового фронта (например, диаграммой направленности) антенны, заключающийся в контроле формы поверхности монолитного зеркала антенны, на тыльной стороне которого в n точках закреплены n механизмов, деформирующих эту поверхность, вычисления и формировании n управляющих сигналов и подаче их на n механизмов соответственно для восстановления формы поверхности, отличающийся тем, что предварительно подают сигнал на антенну и измеряют в m контрольных точках пространства характеристики её электромагнитного поля, запоминают их в виде матрицы – столбца A^0 размерностью m , поочередно на каждый из n механизмов одинаковый по знаку единичный управляющий сигнал $R_i=1$, где $i=1,2,\dots,n$, деформируя поверхность поочередно в каждой из n точек и при этом измеряют характеристики электромагнитного поля в m контрольных точках, сравнивают эти характеристики электромагнитного поля недеформированной поверхности монолитного зеркала в соответствующих контрольных точках пространства, запоминают величину и знак изменения характеристики и составляют матрицу A , размеры которой $m * n$, подают противоположные по знаку единичные управляющие сигналы на n механизмов, восстанавливая первоначальную форму поверхности, контроль формы поверхности монолитного зеркала антенны производят путем периодического измерения характеристик электромагнитного поля антенны при деформированной внешними воздействиями поверхности монолитного зеркала в m контрольных точках пространства, запоминают величины и знаки этих характеристик в виде матрицы-столбца A с размерностью m , сравнивают эту матрицу-столбец с матрицей-столбцом A^0 и, если различия превосходят установленные допуски, вычисляют значения управляющих сигналов решая уравнение:

$$(A^T \cdot A) R + A^T(A^* - A^0) = 0, \quad (1)$$

где A - матрица $m \cdot n$, каждый из n столбцов которой выражает характеристики электромагнитного поля в m точках от единичных управляющих сигналов n , A^T - транспонированная матрица A ; A^* , A^0 - соответственно матрицы-столбцы из m характеристик реального и эталонного (желаемого) электромагнитных полей; R - матрица-столбец n искомым значений сигналов для элементов управления (актуаторов).

Способ, охватывающий стадии проектирования, изготовления и эксплуатации антенн, позволяет снять некоторые ограничения на технологические допуски изго-

товления и не требует измерений формы поверхности при функционировании антенны. Отметим, что в существующих технических решениях при изготовлении антенны используются сложные технологии изготовления с целью обеспечения требуемой высокой точности формы оболочки антенны. В предложенном способе требования к точности изготовления могут быть упрощены, а необходимая точность достигается с помощью последующего механического регулирования формы антенны прямым способом.

Целью настоящего способа управления является повышение стабильности диаграммы направленности и надежности эксплуатации антенны путем устранения деформации оболочки механическими приемами. Актуаторы могут быть реализованы различными способами: механическими, пьезоэлектрическими, электростатическими, термоупругими и другими.

Блок-схема реализации данного способа представлена на рис. 1.

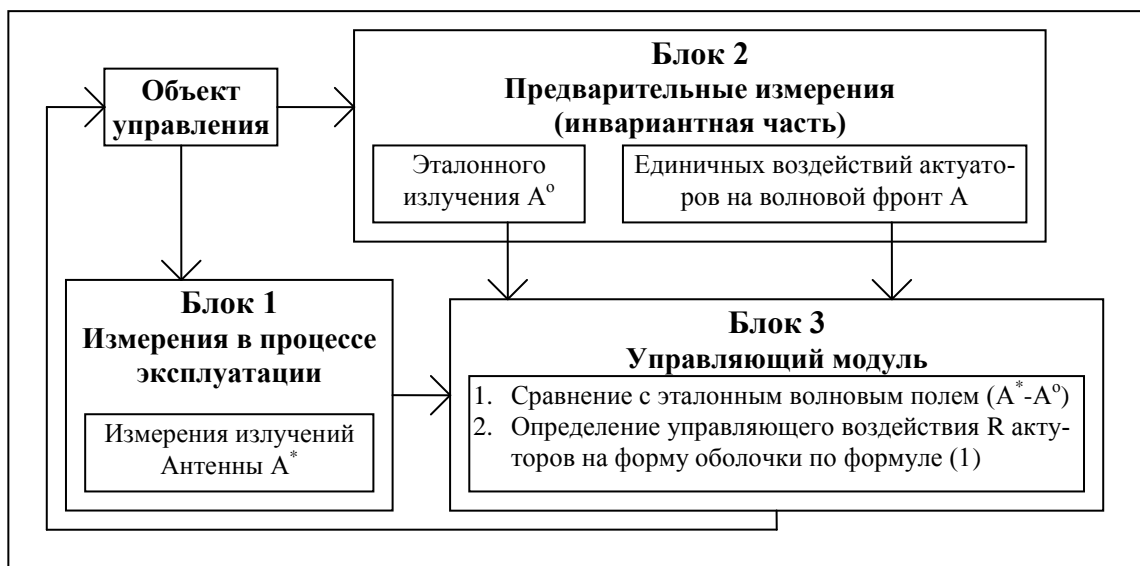


Рис. 1. Блок-схема прямого способа управления волновым фронтом антенны

Предложенный способ позволяет получить высокую стабилизацию диаграммы направленности антенны простым, естественным и надежным путем, что приводит к удешевлению и повышению надежности управления. Для управления по такой схеме в процессе эксплуатации могут быть использованы и обученные нейросетевые контроллеры [2.15]. Отличительными особенностями данного способа являются:

- исключение замеров искажения формы антенны как промежуточной косвенной (ненужной) для управления информации; благодаря этому не требуются измерения формы оболочки антенны;
- повышенная точность управления (нет потерь точности из-за несоответствия реальной и расчетных схем, сложности счета, погрешностей работы актуаторов и измерительных приборов); экспериментальная часть способа благодаря прямой связи вносит ясность в точность управления, позволяет скомпенсировать ряд погрешностей (ошибки управления не накапливаются);

С целью визуализации данного прямого способа управления антенной и отработки технологии его практической реализации было предложено запатентованное специальное устройство, основанное на оптической аналогии [2.20].

При этом возможны как экспериментальный, так и теоретический пути реализации. Теоретический способ синтезирует теории деформирования тонких оболочек и функционирования антенн.

Для численной реализации алгоритмов управления НДС антенн в форме оболочек разработан программный комплекс "RITM" предназначенный для управления напряженно-деформированным состоянием тонких упругих анизотропных непологих оболочек, имеющих произвольное закрепление по контуру или свободный край, за счет изменения граничных условий или перераспределения внешней нагрузки.

2.5.2. Способ предотвращения деформации зеркала Патент РФ №2041535

Используется для управления формой поверхности зеркал радиотелескопов оптических и других отражательных систем.

Сущность изобретения: улавливают энергию ветрового потока, например посредством паруса, и преобразуют ее в механическое воздействие на тыльную поверхность зеркала, противоположное действию на нее ветра и тем самым нейтрализуют действие ветра (Рис.2).

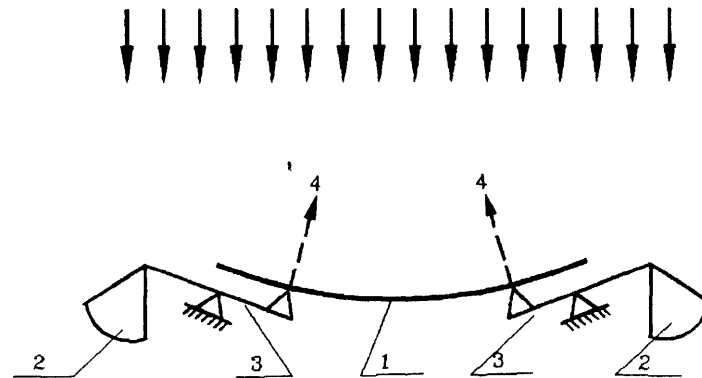


Рис.2. Способ предотвращения деформации зеркала

1 - оболочка антенны, 2 - ветроуловители, 3 – связи
4 – восстанавливающие воздействия

Предполагается возможность изменения величины улавливаемой энергии и параметров её преобразования

2.6. Активное управление колебаниями конструкции

Известно, что задача управления колебаниями - это одна из актуальных проблем, возникающая не только на стадии оптимального проектирования, но и при эксплуатации конструкции. Способы управления колебаниями условно можно разделить на **активные, пассивные и комбинированные** (полуактивные) (рис.1).

На актуальность данной проблемы указывает примечательный факт создания в 1994 году американскими и японскими учеными Международной Ассоциации по управлению конструкциями (IASC) и проведение первой международной конференции по управляемым конструкциям. IASC занимается в основном строительными конструкциями. Подавляющее количество докладов на упомянутой конференции посвящено управлению конструкциями при динамических воздействиях, особенно связанных с сейсмикой и ветром.

Однако в отечественной учебной, научной и прикладной (инженерной) литературе активные методы управления развиты недостаточно. В большинстве источников, описаны только пассивные методы управления колебаниями. Определение управляемой конструкции как системы практически отсутствует, отсутствуют системные разработки принципа динамического противодействия [2.23]



Рис.1.Методы управления колебаниями конструкций

Потребности в создании *новых большепролетных и высотных строительных конструкций, больших наземных и космических антенн* и других конструкций выдвинули на первый план *активные подходы к управлению колебаниями.*

Системно определяя принцип динамического противодействия и управляемость конструкции (выделив, в частности необходимость притока энергии для управления) получаем более широкие возможности для постановки задач активного управления колебаниями и их реализации.

2.6.1. Основные положения активного управления конструкциями.

Концепция активного управления колебаниями конструкций строится авторами на следующих положениях:

- на системном подходе к управляемой конструкции, т.е. на понимании ее как системы с притоком энергии и соответствующими источниками энергии;
- на принципе динамического противодействия;
- на синтезе механики колебаний упругих систем и теории автоматического управления;

- на использовании современных достижений в различных областях науки и техники (механики, кибернетики, теории автоматического управления, электроники, компьютерной и измерительной техники и др.) и анализе накопленного опыта пассивных способов управления.

Именно такой комплексный, синтезирующий, системный подход позволяет достаточно широко, свободно, творчески подойти к проблеме активного управления колебаниями конструкции.

Описанный ниже подход к активному управлению колебаниями конструкций строится авторами *на принципе динамического противодействия* [1.6]:

Необходимо создать дополнительный динамический процесс, на основе, управления которым можно желаемым образом противодействовать вынужденным колебаниям упругой конструкции.

Необходимый приток энергии для функционирования данного процесса противодействия осуществляется из внешнего или внутреннего источника системы.

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 связей между этими элементами (включая актуатор), обеспечивающих заданное функционирование управляемой конструкции на основе притока внешней энергии, причем источник энергии целесообразно рассматривать как один из элементов данной системы.

Таким образом, отличительными особенностями активных способов управления колебаниями являются:

- наличие устройств активного управления, которые вместе с управляемой конструкцией представляют собой системы автоматического управления, т.е. содержат все элементы системы, включая управляемую конструкцию - прямую связь - управляющий модуль - обратную связь (актуатор) - приток энергии, необходимый для управления;

- требование притока энергии, осуществляемого из внешнего или внутреннего источников, которые существенно расширяют понятие системы автоматического управления.

Весьма важно определить источники энергии, подразделив их по отношению к конструкции *на внешние и внутренние. Внутренним* источником энергии может быть сам процесс колебания конструкции и здесь возможна постановка задачи об управляемом перераспределении этой энергии между отдельными частями конструкции. Перераспределение включает отбор, транспортировку и передачу энергии от одной части конструкции к другой.

Такое управляемое перераспределение внутренней энергии может быть пассивным (способы виброизоляции, демпфирования, гашения, изменения жесткостей и др.) и активным, когда устройства перераспределения энергии четко просматриваются и этой энергией можно управлять.

В [1.6] показано что практически все существующие методы демпфирования, пассивные и полуактивные приемы управления можно рассматривать как частное проявление принципа динамического противодействия.

2.6.2. Технические разработки, Патенты

В [1.6,1.9] приведены различные способы управления колебаниями, в том числе с использованием электромагнитных (рис.2) и механических устройств (актуаторов).

Механические актуаторы рассматриваются как одна из частей системы автоматического управления, которая в совокупности, с модулем управления, собственным источником энергии и другими образует САУ.

Рассмотрен пример управления вынужденными колебаниями с помощью механического актуатора, перераспределяющего внутреннюю энергию колебаний (деформирования) упругой балки (рис.3).

В качестве механического актуатора применен рычаг с тягами, связывающий между собой перемещения двух точек системы в противофазе, т.е. образуется динамическое противодействие за счет перераспределения внутренней энергии. Рычаг "перекачивает" энергию с одного места в другое.

Примером утилизации "вредной" внешней энергии может служить пример управления колебаниями высокой мачты от ветрового воздействия с помощью механического актуатора, использующего энергию ветра [2.5], (рис.4). Высокая мачта с массой M на вершине снабжена оттяжкой, другой конец которой переброшен через неподвижный блок (шарнир) и присоединен к подвижному парусу, аккумулирующему энергию ветра и натягивающему трос оттяжки так, что оттяжка оказывает автоматически в противофазе управляющее противодействие деформированию мачты от ветрового воздействия. Аналогичное автоматическое устройство запатентовано для защиты зеркала антенны от ветра [2.18], приведено в разделе 2.5.3.

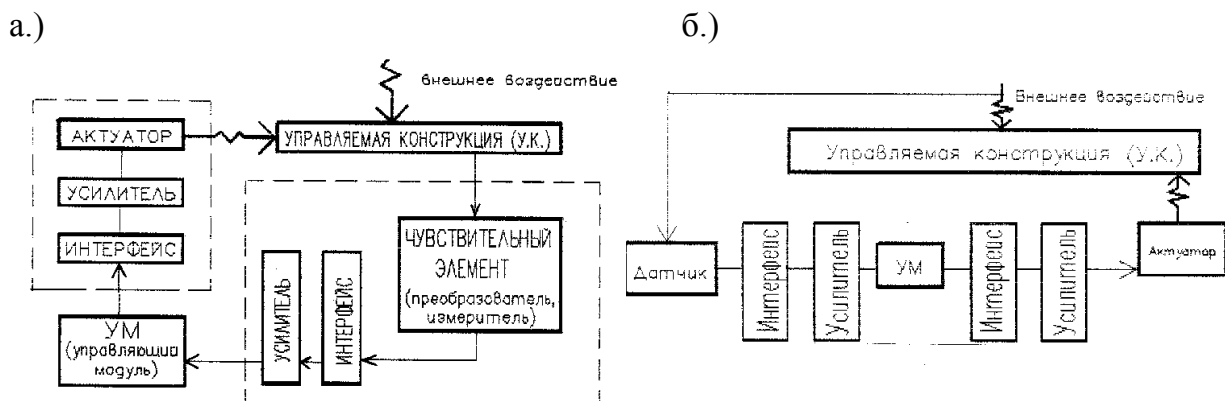


Рис.2. Функциональная схема активного управления колебаниями и примеры их структурной реализации.

- а.) управление колебаниями, основанное на принципе отклонений;
- б.) управление колебаниями, основанное на принципе возмущений.

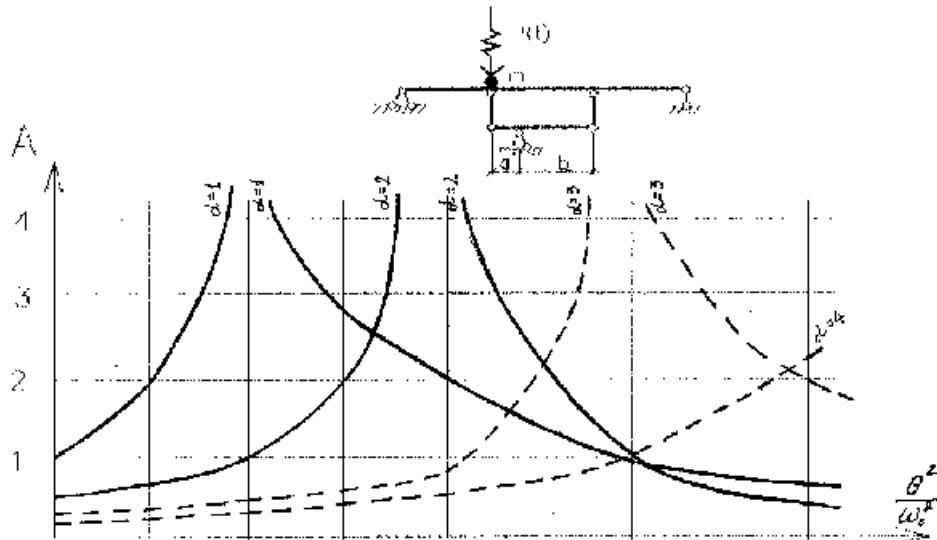


Рис.3. Пример управления упругими колебаниями с помощью механических устройств (рычага)

График изменения амплитуды колебаний (A), взятый в точке m в зависимости от отношения частот колебаний и размеров a и b рычага.

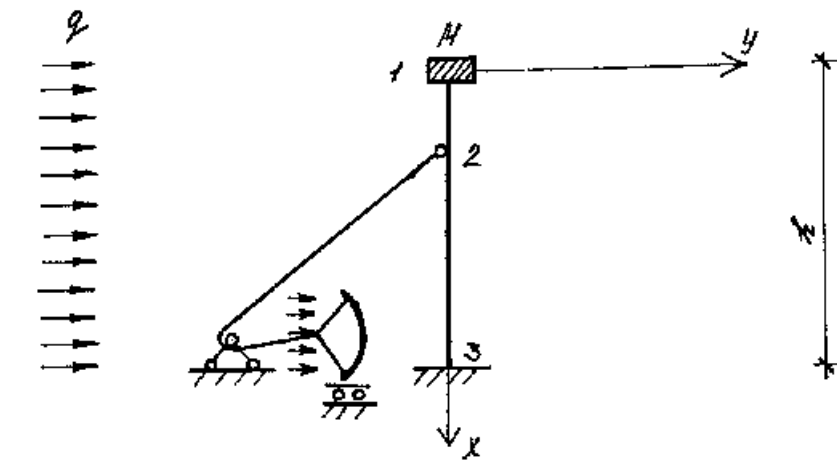


Рис.4. Пример управления колебаниями мачты от ветрового воздействия с помощью механического актуатора, использующего энергию ветра (Патент РФ N 2105853)

2.6.3. Внедрение в учебный процесс

Результаты работы внедрены в учебный процесс и используются при выполнении следующих лабораторных работ:

1. «Активное управление упругими колебаниями балки с помощью электромагнитного актуатора при электромагнитном возбудителе».
2. «Активное управление колебаниями балки с помощью механического актуатора (рычага), перераспределяющего внутреннюю энергию деформирования упругой системы.»
3. «Активное управление колебаниями пластины»

2.6.4. Перспективы развития

Возможности активного подхода качественно расширяют область применения управляемых конструкций. Примеры решения таких задач наиболее часто встречаются в **машиностроении, авиастроении**, при проектировании и изготовлении конструктивных элементов различных **космических объектов**, в том числе и для **больших космических антенн, краностроении, робототехники транспорте и других областях техники**.

Для управления колебаниями конструкций авторами эффективно используются компьютеры, нейросети, аналоговые и механические устройства [1.4,1.5,2.13].

Перспективы широкого применения активных методов управления колебаниями в различных областях весьма велики.

2.7. Новые пространственные строительные конструкции

В последние годы чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор Л.В. Енджиевский, д-р техн.наук, профессор И.С.Инжутов, канд.техн.наук, доценты С.Н.Абовская, С.В.Григорьев, Е.М.Сергуничева, аспиранты С.В.Деордиев, А.Ю.Марышев проводили исследования по формообразованию, конструктивным решением, алгоритмом расчета, анализу НДС конструкций на основе численных и физических экспериментов. В результате было создано и внедрено несколько типов пространственных комбинированных и облегченных монометаллических конструкций.

К комбинированным конструкциям будем относить конструкции, в структуру которых включены элементы, выполненные из различных материалов, например, сталь и железобетон; металл и дерево; метал, дерево и элементы из других материалов.

Целесообразность использования таких конструкций обусловлена прежде всего не одинаковой способностью разных материалов сопротивляться деформациям растяжения и сжатия. В конструкциях с четко выраженными зонами сжатия (сжатия с изгибом) и растяжения существенный экономический эффект может быть достигнут, если взамен мономатериала (железобетона, металла или дерева) использовать в сжатой зоне железобетон, дерево или другой композитный материал, а в растянутой – сталь.

Кроме конструктивных требований при обсуждении вопросов формообразования названных комбинированных конструкций авторами особое внимание уделялось учету региональных сибирских условий (не только климатических, но и социально-инфраструктурных) и перспектив освоения новых территорий. Благодаря учету региональных особенностей строительства в Сибири, данные конструкции отличаются эффективными технико-экономическими показателями на стадиях транспортировки, строительства и эксплуатации. С применением данных конструкций разработан ряд альтернативных проектных предложений для объектов промышленного и гражданского назначений, отличающиеся высокими технико-экономическими показателями.

2.7.1. Сталежелезобетонные конструкции.

Таким условным названиям авторы обозначают различные по назначению конструктивные формы частей или здания (сооружения) в целом, основой которых является дискретно-континуальный элемент (рис.1).

Разработанные конструкции представляют **новое междисциплинарное направление развития конструкций, которые синтезируют лучшие свойства традиционных металлических и железобетонных строительных конструкций (из мономатериалов).**

Разработка данных конструкций реализует идеи управления их напряженно-деформированным состоянием на стадии создания и проектирования за счет рационального выбора соотношения материалов, пространственной формы конструкций и эффективных условий работы каждого из материалов. Предложен эффективный способ управления напряженно-деформированным состоянием конструкции на стадии изготовления и эксплуатации путем многоступенчатого преднапряжения.

Создание и совершенствование данных конструкций осуществляется путем ряда ступеней (этапов) практической оптимизации на стадиях проектирования, изготовления, промышленного освоения и строительства промышленного объекта.

Первый этап. Анализ большепролетных конструкций из мономатериалов (только из железобетона или только из металла). Каждая из данных конструкций (например, железобетонные плиты "на пролет": КЖС, ПСП, металлические структуры) наряду с достоинствами имеет и существенные недостатки. Анализ выявил противоречия: железобетонные конструкции имеют большой вес и неэффективно работают в растянутой зоне, на которую тратится почти половина металла; а в металлических структурных конструкциях более половины всего металла расходуется на сжатую зону.

Преодолеть эти противоречия можно путем комбинирования материалов - **создания сталежелезобетонных конструкций**, в которых каждый материал находился бы в выгодных условиях работы.

На начальной стадии создания сталежелезобетонных конструкций покрытия ряд авторов обратили внимание на конструктивную форму «сборная железобетонная плита из серийно выпускаемых типовых плит, подкрепленная пространственной шпренгельной системой». Однако, приспособивание типовых плит к работе в принципиально других условиях напряженно-деформированного состояния, приводит к снижению эффективности конструкции. Действительно, если при использовании типовых плит покрытий или перекрытий по прямому функциональному назначению они работают только на изгиб по балочной схеме, то в комбинированной конструкции в них появляются дополнительные сжимающие усилия и, что более существенно, качественно меняются изгибные деформации. В местах шпренгельных подкреплений могут возникать растягивающие напряжения в верхней части плиты. При этом не может быть в полной мере реализован принцип рационального распределения материалов с учетом пространственного формообразования, так как отсутствует возможность варьирования соотношением материалов сжатой и растянутых зон.

Сталежелезобетонные конструкции

Абовская С.Н.
Сталежелезобетонные конструкции (панели и здания) КрайГАСА 2001

Абовская С.Н.
Новые сталежелезобетонные конструкции покрытия Строндхат 1992

Узлы

взаимодействие элементов

Альтернативный проект депо Красноярского метро

предлагаемое решение

разработка Харьковметропроекта

облегчение покрытия 27%

Международные конгрессы по пространственным конструкциям:

IASS - 1998 (Москва), IASS - 2001 (Япония, Нагоя)

Унифицированный строительный ЭЛЕМЕНТ

натурные испытания

составные конструкции

пространственные блоки

сборные ПАНЕЛИ

проектная серия 1.065.9-1 «Сталежелезобетонная панель покрытия 3x18 и 3x24»

Сборные ПОКРЫТИЯ

преднапряженные блоки

полносборные здания и сооружения

замкнутые полносборные здания

МОНОЛИТНЫЕ сталежелезобетонные панели и перекрытия

Сборные ПАНЕЛИ

Сборные ПОКРЫТИЯ

полносборные здания и сооружения

замкнутые полносборные здания

МОНОЛИТНЫЕ сталежелезобетонные панели и перекрытия

Рис. 1. Сталежелезобетонные конструкции

Целенаправленный поиск оптимального соотношения различных по видам материалов может быть осуществлен лишь в конструкциях, элементы которых функционально ориентированы на конкретный тип комбинированных конструкций. Такой подход в сочетании с синтезом лучших образцов современных пространственных конструкций из мономатериалов – металлических структур и железобетонных плит «на пролет» реализован в [4.10, 4.11] при разработке сталежелезобетонных панелей покрытий $3 \times (18 \div 36)$ м (см. сборные панели на рис. 1).

В этих панелях нижний пояс и решетка могут быть выполнены из электросварных прямоугольных труб, С-образных холодногнутых профилей или горячекатаных уголков, элементы верхнего пояса – из специально спроектированных облегченных ребристых железобетонных плит 3×6 м [4.12, 4.13]. Объединение элементов в единую пространственную конструкцию, за исключением плит между собой, осуществляется с помощью болтовых соединений. Все элементы конструкции унифицированы и позволяют формировать комбинированную конструкцию под серию пролетов и на нагрузки в большом диапазоне их изменения. Порядок проектирования и подбор сечений отдельных элементов комбинированной конструкции аналогичны соответствующим процедурам с выполнением нормативных требований для конструктивных элементов из мономатериалов. При выполнении статических расчетов необходимо учитывать пространственность системы, податливость узловых соединений и в некоторых случаях физическую нелинейность железобетона. Эти вопросы частично решены в [2.37, 4.14].

Эффект предлагаемых конструкций достигается из-за снижения доли собственного веса в общей расчетной нагрузке, создания выгодных условий работы для каждого из материалов, а также из-за пространственной формы подкрепления плит, создающей опоры через 3 м [2.33]. Но традиционные решения узлов не позволяли передать на тонкие железобетонные плиты с малым количеством бетона растягивающие усилия от раскосов.

Второй этап. Поиск конструкции узлов соединения металлической части с железобетонной. Особые трудности возникают при выборе конструкции узловых соединений обусловленные рядом факторов:

- заводской технологией раздельного изготовления железобетонных и металлических элементов конструкций и стендовой их сборкой на строительной площадке в единую конструкцию;
- необходимостью обеспечения центрированной передачи силового потока от металлических раскосов к закладным деталям тонкопалочных железобетонных плит;
- не одинаковыми допусками на изготовление железобетонных и металлических элементов, что требует либо включения в систему дополнительных устройств, выбирающих свободные зазоры после сборки, либо в учете на стадии проектирования узловой податливости.

Был произведен конструкторский поиск таких соединений, при которых на бетон плит передавались только сжимающие усилия от раскосов. Найденная конструкция узла состоит из трех жестко соединенных элементов, которые, вне зависимости от напряженного состояния раскоса (сжатого или растянутого), передают на бетон только сжимающие усилия [2.33].

Принципиальная схема оригинального узлового соединения (см. взаимодействие элементов, рис. 1), предложенного в [4.10], может быть представлена тремя конструктивными элементами: концевые детали металлических стержней, закладные де-

тали-упоры железобетонные плиты и промежуточное звено. Промежуточное звено, объединенное с указанными деталями высокопрочными болтами или сваркой, предназначено для передачи растягивающих или сжимающих усилий от концевых деталей раскосов соответственно на верхние или нижние детали-упоры. Конструктивно промежуточное звено может быть выполнено из круглой арматурной стали, высокопрочного болта или шпильки листового или фасонного проката, детали-упоры выполняют из шайб, уголков, швеллеров, листового проката; конструкции концевых деталей зависят от формы поперечного сечения металлических раскосов (труба, уголок, С-образный профиль и др.). Функции концевых деталей состоят в центрированной передаче усилий от раскоса на промежуточное звено и равномерном распределении напряжений по поперечному сечению основного стержня. Это достигается определенным расположением концевых деталей по отношению к оси стержня, использованием заглушки поперечного сечения стержня и другими деталями.

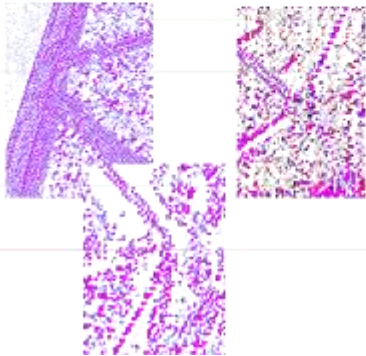
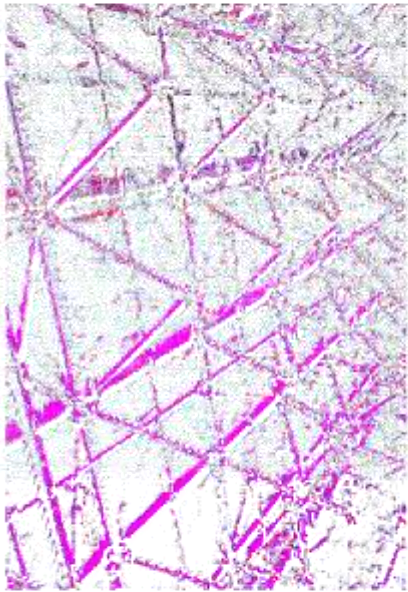
Третий этап. Разработка узлов сопряжения. Известное крепление раскосов из одиночных уголков за одну полку приводит к невыгодным эксцентричным условиям их работы, поэтому узловое соединение должно быть центрировано. Был создан "строительный элемент", в котором раскос из уголка снабжен концевыми вилками, центрирующими передачу усилий от плиты и нижнего пояса. Это улучшило условия работы раскосов и снизило расход металла на конструкцию [2.33, 2.44].

В результате проделанной работы была создана *серия 1.065.9-1 "Сталежелезобетонные панели покрытия размерами 3x18 и 3x24 м"*, где расход металла на разрабатываемые конструкции по сравнению с металлическими сокращен почти вдвое, а бетона по сравнению с КЖС также вдвое [2.29, 2.37, 2.38].

Четвертый этап. Изготовление и испытание заводского образца сталежелезобетонной панели. Проведенные расчеты и натурный эксперимент (рис.2.) показали неиспользованные резервы железобетонного пояса по отношению к металлической ферме. В то время как несущая способность металлической части использовалась до предела железобетонные плиты на сжатие еще были существенно недонапряжены. Необходимо использовать резервы железобетонной части с целью уменьшения расхода металла.

Рассмотренная конструктивная форма была всесторонне изучена, подвергнута большому количеству численных и физических экспериментов, в том числе на натуральных заводских образцах. Все исследования подтвердили надежность и эффективность конструкций и технологичность их изготовления. Получены отраслевые согласования на промышленное их использование. Сталежелезобетонная панель покрытия 3x18 м использована при покрытии гаража общей площадью 1000 м² (см. фрагмент сборные покрытия, рис. 1). В альтернативных проектах ряда зданий, в том числе, депо Красноярского метрополитена, с применением данных панелей достигаются экономия бетона более 30%, снижение примерно на 12% эксплуатационных расходов за счет уменьшения отапливаемого объема здания.

Панели ПСЖ 3x18(24)м



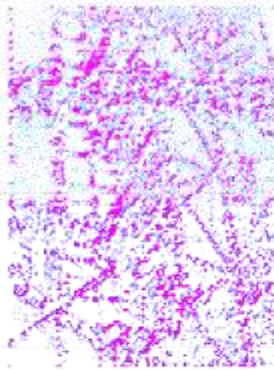
Угловое соединение
трубы с панелью ПСЖ



Покрывные из ПСЖ
с использованием трубчатых элементов



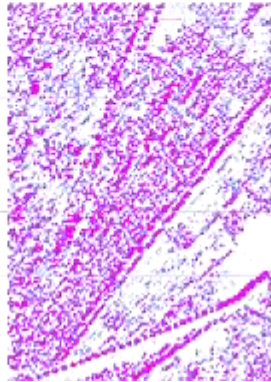
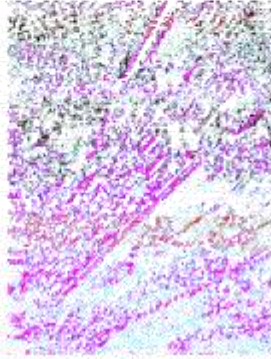
Угловые соединения
из труб



Испытания ПСЖ



ПСЖ на сборочном стенде



Монтаж ПСЖ

серия 1.065.9-1



Пятый этап. **Разработка предварительно напряженных панелей.**

Проведенные натурные испытания заводского образца панели пролетом 18 м, не только подтвердили эффективность конструкции, но и выявили некоторые неиспользованные резервы. С целью дальнейшего совершенствования проведен численный эксперимент и расчетно-конструкторский поиск с введением нового варьируемого параметра в виде величины предварительного напряжения. Реализовать его удалось путем введения дополнительного металлического пояса шпренгельного типа. Желаемый эффект был достигнут в результате варьирования весовых и прочностных соотношений металла существующего и дополнительного поясов. В итоге удалось существенно снизить расход металла по сравнению с серийными образцами для пролетов 18-24 м, а также разработать конструкции данного типа для пролетов 36-48 м [2.25, 2.28].

Теоретически и практически выявлены условия управления напряженно-деформированным состоянием конструкций (НДС) с использованием преднапряжения. Управление НДС конструкции рассмотрено на стадиях проектирования и изготовления конструкции. Определены наиболее эффективные условия управления НДС и алгоритмы их нахождения с использованием преднапряжения [2.36, 2.38, 2.40]. Найден оптимальный способ управления, который выражается в соответствующем подборе многоступенчатого преднапряжения и эффективного соотношения жесткостей элементов конструкции. При этом, в процессе управления используются резервы конструкции, выявленные в результате испытаний.

Традиционный путь предварительного напряжения (с изменением напряженного состояния только металлической части) не дал результата. Решено использовать преднапряжение железобетонного пояса с целью разгрузки металлической фермы путем передачи дополнительного сжатия на верхний пояс. Для этого был введен дополнительный криволинейный пояс шпренгельного типа, натягиваемый на верхний железобетонный пояс и связанный с металлической решеткой при помощи подвесок и стоек. Но предварительные расчеты эффекта не дали. Анализ причин показал необходимость определения такого соотношения жесткостей металла дополнительного и нижнего поясов, при котором высокопрочный дополнительный пояс брал бы на себя большую часть нагрузки и разгружал нижний пояс (рис 1, преднапряженные блоки).

Приоритетность такой конструктивной формы была подтверждена патентом [2.28].

В результате преднапряжения, удается получить следующий эффект: догрузить железобетонную часть сжимающими усилиями; разгрузить металлическую часть, снизить расход металла, повысить жесткость панели.

Отличительная суть изобретения состоит в том, что величина натяжения введенного пояса оптимизируется с учетом условий: достаточного (эффективного) обжатия железобетонной части, рационального выбора соотношений жесткости дополнительного пояса по отношению к имеющемуся металлическому поясу и ступеней преднапряжения (рис.3.) [2.40-2.45].

Очертание тросового пояса в составе сталежелезобетонной панели покрытия выполняется по квадратной параболе, чем достигается равномерность продольного усилия по длине тросов и равенство усилий в подвесках. Итерационным методом найдено рациональное соотношение жесткостей нижнего и тросового поясов, позволяющее наибольшую часть растягивающих усилий передавать на высокопрочный дополнительный пояс. Проведено проектирование и расчет элементов дополнительного пояса. Разработаны узлы соединения элементов дополнительного пояса между собой, а также узлы сопряжения тросов с железобетонными плитами и подвесок с нижним



поясом.

Рис.3. График нагрузка-прогиб при одноступенчатом и двухступенчатом натяжении дополнительного пояса

В результате удалось существенно снизить общий расход металла, повысить жесткость всей конструкции и выявить дополнительные резервы несущей способности конструкции: возможность либо большего ее загрузки, либо увеличения пролета.

Шестой этап. Проектирование конструкций пролетами 36-48 м. Известные решения конструкций покрытия на 48 м имеют повышенный расход металла. Предлагаемые большепролетные сталежелезобетонные панели покрытия (для IV снегового района) имеют более эффективные показатели: стрелу подъема 3,5 м, расход металла 25,0 кг/м², расход бетона 0,035 м³/м². Для сравнения: в покрытиях с применением предварительно-напряженных ферм из трубчатых профилей, разработанных Уральским политехническим институтом, расход металла составляет 47,1 кг/м² (для III снегового района) при стреле подъема 3,5 м.

Седьмой этап. Проектирование полносборных зданий. В дальнейшем унифицированный строительный элемент был применен для создания **полносборных зданий** и сооружений различного типа и назначения [4.11]. Особый интерес представляют полносборные большепролетные здания **замкнутого** типа, которые можно возводить на слабых, просадочных, вечномерзлых грунтах и в сейсмически активных

зонах. Достигается это благодаря многосвязности замкнутого здания, совместной работе фундаментной части, стен и покрытия как единого целого.

Развитие сталежелезобетонных конструкций (панелей и зданий в целом) представляет собой **новую эффективную технологию строительства**, охватывающую все этапы от поточного изготовления элементов до транспортировки и возведения полносборных зданий различного типа средствами небольшой грузоподъемности.

2.7.2. Серия 1.065.9-1 "Сталежелезобетонные панели покрытия размерами 3x18 и 3x24" (рис.2)

В составе проектной документации серии представлены 4 альбома (выпуски 0-4) и дополнение к ней [2.29, 2.45].

ПСЖ применяются при строительстве промышленных, сельскохозяйственных и общественных зданий пролетами 18 и 24 м, с перепадом высот, в неагрессивной и слабоагрессивной газовой среде для III-IV районов по весу снегового покрова. К ним возможна подвеска кранов грузоподъемностью до 5 т, а также пропуск вентиляционного оборудования и устройство проемов под зенитные фонари размером 2,7x2,7 м. Верхний пояс ПСЖ состоит из тонких ребристых железобетонных плит размерами в плане 3x6 м, решетка и нижний пояс - из металлических прокатных профилей. Узловые соединения решетки и нижнего пояса выполнены на болтах, а металлических раскосов и железобетонных плит верхнего пояса с помощью специальных закладных деталей. Плиты верхнего пояса соединены между собой накладками. Опирание ПСЖ запроектировано на типовые подстропильные фермы, балки или кирпичные стены.

2.7.3. Техничко-экономический эффект применения серийных конструкций

Все характерные преимущества выявлены как результат обобщения проведенных технико-экономических обоснований применения серии 1.065.9-1 на целом ряде объектов различного назначения: промышленного, гражданского, сельскохозяйственного, намечаемых к строительству в крае [2.35-2.38]. Конструкции уже прошли апробацию, построен гараж КрасГАСА (рис.4).

Отмечены общие факторы экономического эффекта по зданию в целом, покрытию зданий, а также **дополнительный эффект** по использованию конструкций в регионах Сибири.

По покрытию зданий:

- **удачное комбинированное применение материалов и использование их в выгодных условиях работы** (бетон на сжатие, металл на растяжение) **в пространственной форме панелей;**
- **уменьшение расхода бетона почти в 2 раза** по сравнению с железобетонными аналогами (элементами покрытия) и расхода **металла почти в 2 раза** по сравнению с металлическими аналогами (структурными покрытиями);
- **уменьшение расчетной нагрузки** из-за снижения веса покрытия;
- **типизация элементов и поточная технология их изготовления;**
- **транспортировка элементов на обычном** (неспециализированном) **транспорте и т.д.**



Рис. 4. Фрагмент покрытия гаража КрасГАСА

По заданию в целом:

- *снижение эксплуатационных затрат за счет сокращения отопляемого и вентилируемого объема зданий на 15-20% (благодаря малой высоте покрытия);*
- *уменьшение расчетной нагрузки на фундамент из-за снижения веса покрытия -20%;*
- *удобство устройства подвесного потолка и подвесного транспорта $Q = 1,0-5,0$ т (опоры через 3 м), размещения вентиляционного и эксплуатационного оборудования в межферменном пространстве панелей;*
- *увеличение производственных площадей и возможности замены устаревшего оборудования* благодаря использованию большепролетных конструкций в покрытии.

Дополнительный эффект

Разработанные сталежелезобетонные панели учитывают региональные условия строительства в районах Сибири (в т.ч. Приангарья), которые можно сформулировать следующим образом:

- *целесообразно разрабатывать конструкции в сборном варианте - для обеспечения дальнейшей перевозки к местам сосредоточенного строительства при слабо развитой инфраструктуре и производственных базах;*
- *создавать конструкцию повышенной заводской готовности с учетом унификации и типизации элементов - для разных пролетов;*
- *технология эксплуатации сибирских отопляемых зданий требует, чтобы конструкции покрытия не увеличивали объем здания, не создавали снеговых мешков.*

Сталежелезобетонные панели покрытия в сборном варианте отвечают этим специфическим требованиям. Благодаря малогабаритности элементов, транспортировка их возможна любым транспортом и в любой труднодоступный район.

Готовность строительной базы

На Красноярском заводе КЖБМК отработана технология изготовления ПСЖ, включая готовую опалубку железобетонных плит размерами 3х6 м, из которых собирается верхний пояс, и металлических элементов серийных панелей. Имеется опыт транспортировки, складирования, сборки и испытания панели по данной серии.

Разработаны необходимые технологические чертежи и документация (с учетом опыта проведенных испытаний заводского образца панелей по данной серии). Никаких дополнительных капитальных затрат на выпуск конструкций по данной серии практически не требуется.

Данные серийные конструкции фактически единственные большепролетные конструкции, производимые в Красноярском крае, на заводе КЖБМК. Поточное изготовление элементов этих конструкций из однотипных элементов, а также возможность их транспортирования на обычном транспорте, позволяет осуществлять строительство зданий и сооружений различных пролетов и разнообразного назначения, даже в труднодоступных районах края, например Приангарья.

Серийные конструкции размерами 3х18 и 3х24 м. являются хорошей основой для создания новых конструктивных решений:

- ◆ *блоков покрытия размерами 6х24 и 6х18 м, путем объединения отдельных панелей затяжками по нижним поясам;*

- ◆ составных большепролетных конструкций с треугольным или полигональным очертаниями верхнего пояса пролетами 36-48 м, с помощью затяжек по верхнему поясу;
- ◆ консольно-балочных систем с разгружающими консолями по 6 м, выполненными также из серийных плит и стержней.

2.7.4. Альтернативные проекты. Перспективы внедрения

На основе разработанной серии 1.065.9-1 и рекомендованной Градостроительным советом г.Красноярска к широкому внедрению, авторами разработан ряд проектных предложений объектов различного назначения для строительства в Красноярском крае:

- *Плавательный бассейн школы - интерната N9;*
- *Школа дзю-до в Красноярске;*
- *Цех по ремонту путевых машин в Красноярске;*
- *Цех лесопиления и столярных изделий;*
- *Главный корпус спортивно-оздоровительного комплекса Геологоуправления (покрытие бассейна);*
 - *Цех локомотивного депо на ст. Иланская;*
 - *Гараж для путевых машин;*
 - *Ремонтно-механические мастерские;*
 - *Комплекс объектов электродепо Красноярского метрополитена (Главный корпус, корпус текущего ремонта, материальный склад);*
 - *Торговый центр на Взлетке г.Красноярска;*
 - *Международный аэропорт в Емельяново;*
 - *Рыночные павильоны, подземные гаражи, крытые автостоянки и другие.*

Предложения является альтернативными к разработанным различными проектными организациями. Например, проекты объектов электродепо Красноярского метро, разработанные институтом "Харьковметропроект" выполнены с покрытием из типовых железобетонных конструкций. Проект электродепо Красноярского метрополитена представляет собой комплекс зданий: главный корпус, корпус текущего ремонта, материальный склад.

Разработанный КрасГАСА альтернативный проект объектов депо отличается тем, что в качестве элементов покрытия предполагается применять сталежелезобетонные панели по серии 1.065.9-1 (разработанной КрасГАСА и "Красноярсгражданпроект").

На примере одного из объектов депо – материальный склад, представлены технико-экономические показатели применения сталежелезобетонных панелей [2.34].

На рис.5-6 представлены разрезы материального склада, отличающиеся элементами покрытия.

Технико-экономический эффект от применения серийных панелей:

- *экономия бетона - 35% ;*
- *снижение нагрузки на фундамент за счет облегчения веса покрытия (соответственно уменьшение количества свай) на 22% ;*
- *уменьшение эксплуатационных затрат на здание за счет уменьшения отапливаемого объема на 13% ;*

- **значительное сокращение транспортных расходов**, т.к. стропильные фермы по проекту «Харьковметропроект» предлагается изготавливать и транспортировать по железной дороге из г. Уяра, 150 км от г. Красноярска, а серийные конструкции изготавливаются в г. Красноярске на КЖБМК.

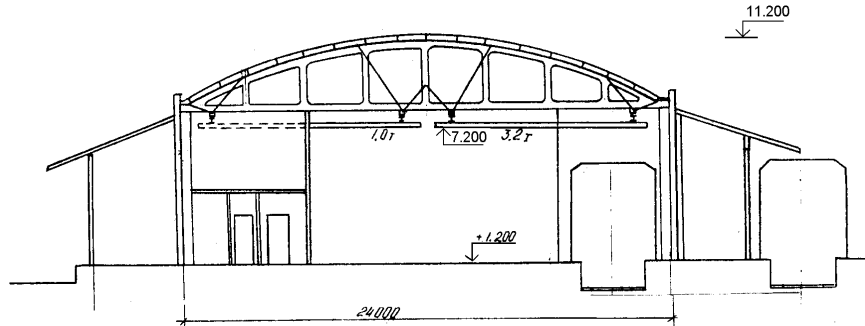


Рис.5. Разработка Харьковметропроекта– покрытие из железобетонных плит по фермам

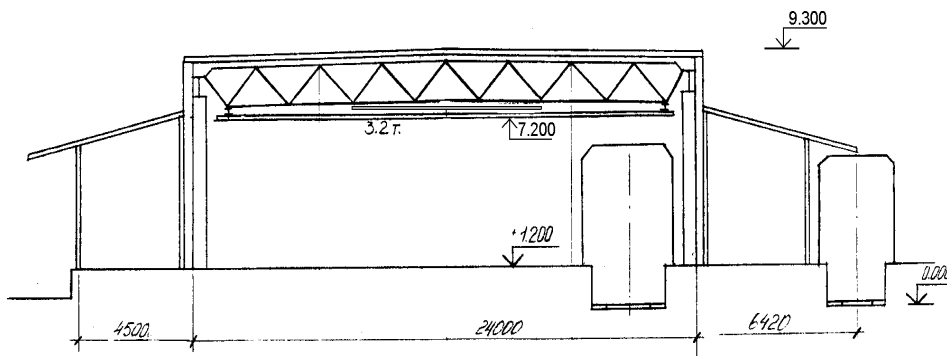


Рис.6. Предлагаемое решение– сталежелезобетонные панели покрытия (серия 1.065-9.1)

Аналогичный эффект достигается и на других объектах депо.

Применение серийных панелей для объектов депо получило одобрение в Управлении по строительству Красноярского метрополитена (письмо от заказчика метрополитена № 334-04).

Данное новое направление развития конструкций имеет дальнейшие перспективы развития как с точки зрения управления, увеличения пролетов и нагрузок и многообразного применения на объектах различного назначения.

2.7.5. Патенты и изобретения

Строительный элемент Патент №2039176

Изобретение относится к строительству а именно к конструкции и монтажу пространственных ферм для покрытий зданий.

Целью изобретения является экономия материала, улучшение условий работы строительного элемента.

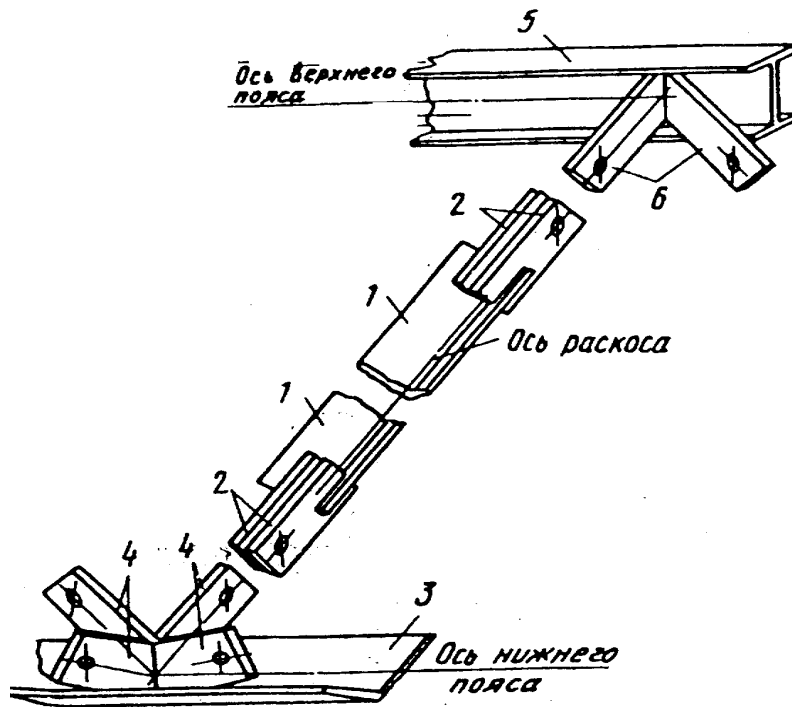


Рис.7. Строительный элемент

Строительный элемент (рис.7) в виде раскоса из уголка 1 соединенного болтами с верхним и нижним поясами пространственной фермы узловыми пластинчатыми фасонками 4, 6, расположенными под углом к поясам, снабжен наконечниками в виде парных пластин центрированных с осью уголка и жестко прикрепленных к его концам между которыми пропущены пластинчатые элементы фасонки, соответствующих поясов соединенных с наконечниками болтами.

Таким образом, изобретение позволяет создать экономию материала, улучшить условия работы строительного элемента. Благодаря центрированным наконечникам и пространственно расположенным фасонкам верхнего и нижнего узлов, усилие в раскосе из одиночного уголка передается вдоль его оси, т. е. центрировано.

Ячейка покрытия Патент РФ №2067644

Изобретение относится к строительству и может использоваться в качестве покрытия зданий и сооружений.

Цель изобретения является снижение материалоемкости и уменьшение габаритов высоты ячейки покрытия.

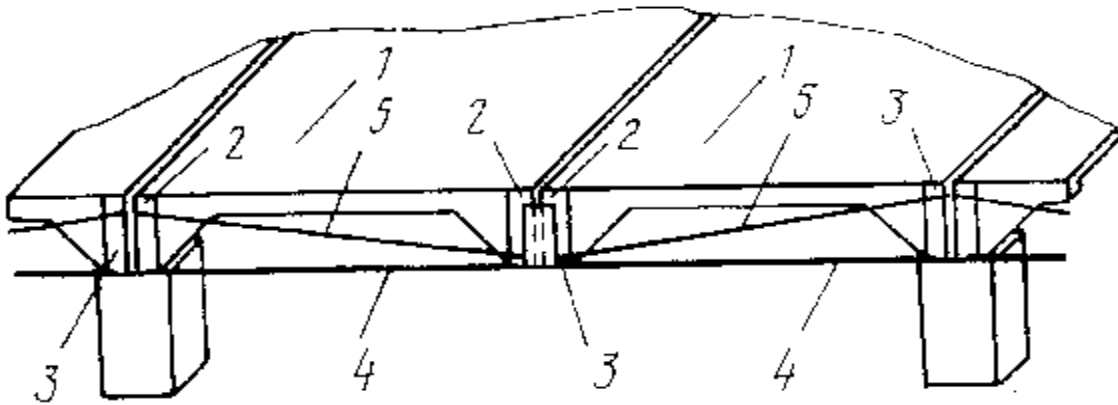


Рис.8. Ячейка покрытия

Цель достигается тем, что ячейка покрытия (рис.8) включающая опирающиеся по углам железобетонные панели 1 соединенные между собой по торцам посредством накладок и присоединенные к ним металлические стержневые подкрепления. У железобетонных панелей выполнены торцевые ребрами переменной высоты с опорными выступами, имеющими закладные металлические пластинчатые детали соединенные накладкой 3, а металлические подкрепления выполнены в виде горизонтальных и наклонных стержней-затяжек 4, размещенных в пределах габаритной высоты панелей с образованием вместе с торцевыми ребрами многопролетной рамно-стержневой системы, причем стержни затяжки выполнены из арматурной стали.

Данное изобретение существенно использует форму торцевых элементов типовых плит покрытия (например плит покрытия 3х12 серия 1.4651-3/80) выполненных с торцевыми ребрами переменной высоты с опорными выступами, позволяющими опирать плиту в углах на четыре точки. Добавляя к торцевому элементу закладные детали и прикрепленные к ним стержни, превращаем торцевые элементы в многопролетную рамно-стержневую систему, габариты которой не превышают высоты плиты покрытия.

Использование преднапрягаемой ячейки покрытия позволяет снизить металлоемкость и повысить производительность труда на строительной площадке. Ячейка покрытия вписывается в габаритную высоту типовой плиты покрытия и не уменьшает полезный объем здания.

**Панель покрытия.
Патент РФ №2087641**

Изобретение относится к области строительства и может быть использовано для покрытия зданий и сооружений.

Цель изобретения - упрощение конструкции и технологии ее изготовления, снижение трудозатрат, уменьшение веса и расхода материалов, снижение стоимости конструкции.

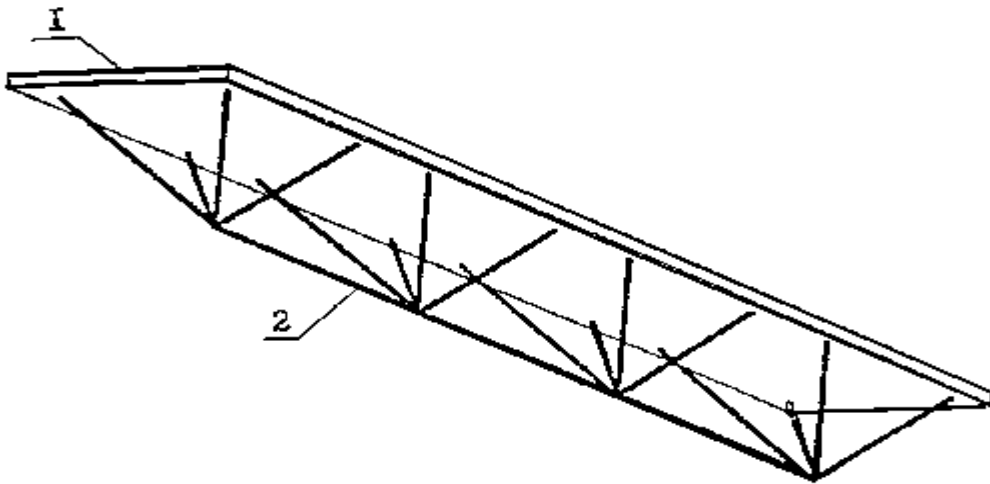


Рис.9. Панель покрытия

Поставленная цель достигается тем, что в панели покрытия (рис.9), содержащей тонкую железобетонную плиту 1 с металлическими подкрепляющими элементами 2 в виде шпренгеля, соединенного с плитой в узлах основной металлической пластиной, узел шпренгеля снабжен дополнительными металлическими пластинами, размещенными в бетоне плиты перпендикулярно к основной пластине, и размещен в бетоне плиты, при этом плита выполнена облегченной, а элементы решетки шпренгеля - из стали.

Предложенное изобретение позволяет располагать узлы в любой части облегченной панели и делать шпренгель пространственным. Появляется возможность создания различных панелей на основе многообразия форм шпренгеля.

Таким образом панель покрытия - пространственная конструкция "на пролет", верхний пояс которой собирается из железобетонных плит, работающих в основном на сжатие, и подкрепляющих металлических элементов, работающих в основном на растяжение. В панели существует возможность выбора рационального соотношения материалов (бетона и металла) которые поставлены в наиболее выгодные условия работы, позволяет достичь сокращения расхода материалов и сокращения веса покрытия.

Преднапряженная панель покрытия Патент РФ 2117117

Преднапряженная панель покрытия относится к строительству и предназначена для большепролетных зданий и сооружений, а также для несущих элементов транспортных галерей, переходов и других аналогичных объектов.

Целью изобретения является повышение эффективности работы конструкции за счет повышения несущей способности жесткости, снижения металлоемкости и стоимости.

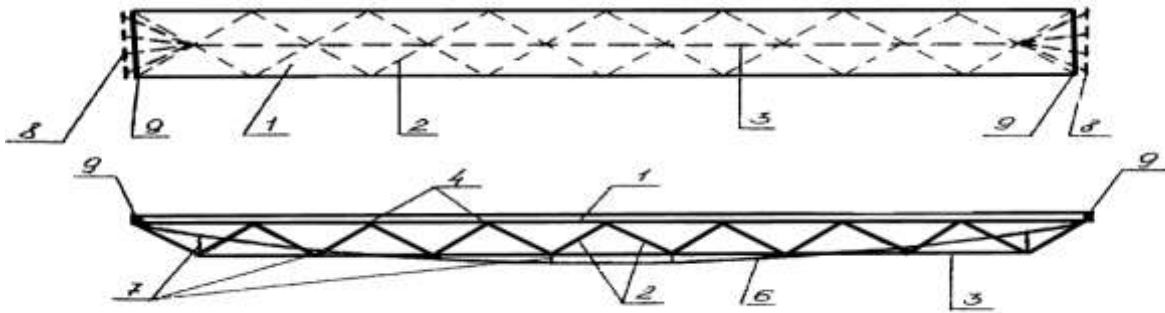


Рис.10. Преднапряженная панель покрытия

Преднапряженная панель покрытия (рис.10), представляет собой облегченную тонкую железобетонную плиту 1, выполняющую роль верхнего пояса, к которой присоединены металлические подкрепляющие элементы в виде пространственно ориентированных шпренгелей, состоящих из стержней решетки 2, нижнего пояса 3. Она снабжена дополнительно криволинейным поясом 6 из пучков высокопрочной арматурной стали или тросов с подвесками или стойками, присоединенными к узлам нижнего пояса, снабженным натяжным устройством. Концы криволинейного пояса закреплены в торцевых элементах железобетонной плиты. Узлы соединения с железобетонной плитой 10 содержат металлические пластины, ориентированные в пространстве по трем направлениям, и дополнительную пластину, ориентированную по направлению оси раскоса и жестко присоединенную к другим пластинам.

Изобретение позволяет получить следующие эффекты:

- а) догрузить железобетонную часть сжимающими усилиями**, улучшая условия ее работы, и использовать в большей мере ее резервы;
- б) разгрузить металлическую часть**, создавая в узлах нижнего пояса усилия, противоположные направлению внешней нагрузки;
- в) снизить расход металла, в том числе за счет разгрузки нижнего пояса и ряда раскосов и использования высокопрочной арматурной стали (или тросов) для наиболее напряженной части, которой является введенный дополнительный пояс с подвесками (стойками),**
- г) повысить жесткость панели.**

В итоге за счет оптимизации величины преднапряжения, его многоступенчатости, выбора рациональной формы дополнительного пояса, его материала, эффективной жесткости, сокращается металлоемкость, повышается жесткость панели, конструкция может воспринимать большие нагрузки и может быть увеличена в пролете.

2.7.6. Деревометаллические конструкции

Возрождение интереса в конструкциям из дерева определило потребность в создании пространственных конструкций в основном средних пролетов. Для строительства унифицированных зданий достаточно эффективно могут быть использованы блочные, комбинированные на основе древесины конструкции. В основу их формообразования заложен принцип блокировки плоскостных конструкций элементами ограждения, некоторым образом реализующим идею сплачивания по ширине поперечного сечения. В результате этого основным конструктивным элементом блочных конструкций являются крупноразмерные плиты с деревянными каркасами и обшивками из фанеры, плоских или профилированных металлических или асбестоцементных листов. Благодаря такому укрупнению элементов, по сравнению с традиционными плоскостными конструкциями, в блочных конструкциях обеспечивается возможность использования пиломатериалов с небольшими размерами поперечных сечений, а также ускорений возведения зданий. Особо отметим то, что вследствие блокировки оказывается возможным наделять блоки и новым качеством: вовлечь в совместную работу все элементы конструкции, обеспечив ее некоторую пространственность и рациональность расходования материалов.

Авторами разработаны принципы формообразования и конструирования блок-ферм на основе как цельной, так и клееной древесины для широкого диапазона перекрываемых пролетов, реализованных в создании конкретных конструкций различного использования [4.15-4.18]. Прделана большая конструкторская работа по созданию технических решений узловых соединений блоков [4.19, 4.20].

Для покрытий зданий с пролетами от 12 до 24 м созданы комбинированные блок-фермы треугольного и линзообразного очертаний (рис. 11). Номинальная ширина конструкций составляет 3 м. В целях наиболее полного соответствия конструкций технологическим возможностям предприятий-изготовителей предложены блок-фермы с верхними поясами в виде крупноразмерных плит с обшивками из плоских асбестоцементных листов, присоединенных шурупами к каркасу из цельнодеревянных элементов, и из водостойкой фанеры, приклеенной к каркасу.

С целью изучения НДС конструкций проведены физические эксперименты натурных образцов блок-фермы треугольного и линзообразного очертаний с пролетами 12-18 м.

В качестве примера дадим описание трехгранной блок-фермы (рис. 11), разработанной до стадии рабочих чертежей. Блок-ферма запроектирована под нагрузки IV снегового и III ветрового районов. Пролет 18 м, ширина – 3м, строительная высота в середине пролета – 2,7 м. Верхний П-образный пояс выполнен из однотипных, крупноразмерных плит; регулярно расставленные раскосы из брусьев; нижний пояс - из стальных стержней с круглым сечением. Каждую плиту образуют каркас из основных деревянных ребер, расположенных в нижней части поперечного сечения и раскрепленных по торцам совмещенными диафрагмами. Обшивка склеена из деревянных щитов, причем продольные оси досок ориентированы под углом 45° к пролету. В верхней части сечения плит обшивку подкрепляют вспомогательные поперечные дощатые ребра. Диафрагмы совмещают функции прогонов и своеобразных подстропильных элементов. Между вспомогательными ребрами на обшивку укладывается утеплитель из полистирольного пенопласта марки ПСБ. Гидроизоляцию покрытия устраивают из трех слоев рубероида по выравнивающему слою из стеклоткани. Стержни нижнего пояса имеют по концам V-образные разветвления для сопряжения с основными ребрами верхнего пояса. Поперечные, по отношению к продольной оси

конструкции усилия воспринимают деревянные распорки. Приопорные стержни нижнего пояса напрямую соединяют опорные узлы с его средним стержнем. При этом крайние нижние узлы раскосов подвешены к нижнему поясу растянутой стальной стойкой. Узлы сопряжения нижних концов раскосов в крайних и средних частях пролета конструкции запроектированы взаимозаменяемыми, используемый здесь узловой элемент включает в себя отрезок трубы, к которому по бокам прикреплены электросваркой два стержня, снабженные на свободных концах фасонками с отверстиями под болты.

В качестве покрытий для **большепролетных зданий** (например ангары для самолетов, предлагается линзообразная блок-ферма пролетом 96 м (рис. 11). Конструкция включает в себя криволинейный, очерченный по дуге окружности с радиусом 242 м, клефанерный верхний пояс, связанный со стальным нижним поясом мембранного типа клеедощатыми стойками и гибкими металлическими нисходящими и восходящими раскосами.

Конструкции плит верхнего пояса состоят из четырех основных клеедощатых ребер, поставленных с шагом 750 мм, фанерной обшивки толщиной 10 мм, вспомогательных поперечных ребер и обрамляющих элементов. Поперечные ребра расположены с шагом 750 мм. Обшивка соединяется с элементами каркаса на водостойком клее. для обеспечения геометрической неизменяемости поперечного сечения плиты предусмотрены три диафрагмы: в середине пролета и по торцам. Утепляются плиты в заводских условиях заливочными пенопластами. По верху теплоизоляции устраивается мягкая кровля. Плиты стыкуются лобовым упором их основных ребер через стальные вкладыши. Раскосы из стержней имеют V-образные концы, снабженные фасонками с отверстиями под болты. Для регулирования длины стержни снабжены муфтами. Нижний пояс законструирован из стальных листов-картин, усиленных уголками обрамления и имеет ломанное очертание с точками перегиба, находящимися на дуге окружности того же радиуса, что и криволинейный верхний пояс. Вдоль пролета блок-фермы картины соединяются на сварке или болтах при –помощи стального обвязочного элемента стоек. Сопряжение верхнего пояса с нижними выполнено с использованием двух широкополочных двутавров длиной по 3 м, играющих роль бортовых элементов. Основные ребра крайних плит соединяются с бортовым элементом лобовым упором, что обеспечивает наивыгоднейшие условия для работы.

Рациональное очертание поясов и способность блок-фермы к статическому самоперестраиванию (раскосы работают только на растяжение) обеспечивают минимальность усилий в решетке конструкции.

Использование пространственных совмещенных блок-ферм, арок, балок и ограждающих плит, щитов и др.) позволяет: резко снизить трудоемкость монтажа вследствие уменьшения количества монтажных элементов; в большинстве случаев заметно уменьшить расход строительных материалов; упростить конструктивную схему здания, в частности, за счет отсутствия необходимости устройства горизонтальных и вертикальных связей; уже на стадии изготовления конструкций можно предусмотреть поставку оборудования для пропуска инженерных коммуникаций и т.д.; улучшить условия труда строительных рабочих за счет резкого уменьшения количества сборочных операций и трудоемкости верхолазных работ; ускорить ввод объектов в эксплуатацию и, следовательно, сократить сроки окупаемости зданий и сооружений.

2.7.7. Облегченные монометаллические конструкции покрытий.

Ориентируясь на использование конструкций в быстровозводимых бескрановых зданиях, складских помещениях, укрытиях, нами разработаны и комплексно исследованы под нагрузки IV снегового и III ветрового районов два типа облегченных пространственных двухпоясных конструкций покрытий на основе стандартного профилированного листа (рис.12), в которых в полной мере используются прочностные свойства материала за счет совмещения ограждающих и несущих функций.

Обе конструктивные формы за счет предварительного выгиба элементов поясов (до их объединения в единую систему) являются преднапряженными.

Покрытие из линзообразных блоков [4.21, 4.23]. Пролеты – (9-15)м, высота $H=1/20L$

Блоки покрытия представляют собой пространственную систему из металлического профилированного листа (рис.12). Пояса блоков изогнуты по форме квадратной параболы (в соответствии с эпюрой изгибающих моментов). По торцам гофры верхнего профилированного листа размещены в гофрах нижнего профилированного листа и соединены по всему контуру поперечного сечения. Соединения - фланцево-паянные на контактной точечной сварке.

Подбор сечений поясов выполняется из существующего сортамента профилированного листа по ГОСТ 24045-86 или ТУ 36-1928-76.

Высота блока назначается из условия местной потери устойчивости сжатых граней сечения поясных профилированных листов (из условия докритической стадии работы поясов) при их конструктивном изгибе по формуле: $H=2f=5\sigma_{cr}\cdot L^2/(24E C_{ш})$,

где $\sigma_{cr}=k \zeta E (t/b)^2$ – критическое напряжение в рассматриваемом сечении; коэффициенты k и ζ определяются как для сжатоизгибаемого профилированного листа; $C_{ш}$ – расстояние от нейтральной оси профлиста до широкой сжатой полки.

Шаг промежуточных элементов предварительно назначается равным $(1/8...1/12) L$

Покрытие из двухпоясных блок-секций арочного очертания [4.22]. Пролеты – (18-24) м Полная высота $-(1/8 - 1/9) L$. Максимальное расстояние между поясами $(1/20 \div 1/25) L$.

Пространственное арочное покрытие состоит из блок-секций, поперечный размер которых кратен ширине профилированного листа. Блок-секции покрытия выполняются «на пролет» и объединяются вдоль длинных боковых сторон с обеспечением герметичности надвижкой одного блока на другой или с использованием уплотняющих прокладок и нащельников.

Верхний и нижний пояса блок-секции составлены из трех соединенных внахлест профлистов марки С 21-1000-0,7, объединенных решеткой, состоящей из рам-стоек с шагом – 1 м, три из которых имеют поперечные связи, и раскосов. Рамы-стойки выполнены из профилей минимального сечения и служат упругоподатливыми промежуточными связями между поясами конструкции. На торце пояса объединены опорным швеллером. Распор должен восприниматься либо опорным контуром, либо преднапряженной затяжкой.

2.8. Нейросетевые аппроксимации в задачах строительной механики

Аппроксимационные возможности нейросетевых подходов к расчетно-проектировочным и оптимизационным задачам строительной механики, теории упругости и теории оболочек не получили должного развития. В этой классической области могут быть исследованы области эффективного применения нейросетевых подходов, их достоинства и недостатки, а также рациональные постановки таких задач. Их разработки носят *фундаментальный характер*, который заключается в общности, универсальности подходов к решению различных типов задач и отличаются *новизной*. В результате применения нейроинформационных методов происходит переосмысление решения известных классических задач, ускорение их решения, расширение области решения, а так же возникают постановки задач нового типа (не имеющие адекватной формализованной модели).

Целью работы является:

- поиск и построение эффективных нейросетевых моделей для решения прямых и обратных задач механики;
- постановки и типы некоторых оптимизационных задач и анализ их решения;
- выделение проблемных перспективных вопросов.

Приведем некоторые характеристики эффективного применения аппроксимационной модели (типы задач, рациональные области применения, преимущества нейросетевой аппроксимации), некоторые из них были рассмотрены в предыдущей статье:

- Возможности нейросетевого *моделирования* систем и процессов путем создания аппроксимационной модели, позволяющей получать явные знания из неявных зависимостей, характерными особенностями которой являются простота и надежность.
- Использование для создания имитационных нейросетевых моделей *двух подходов*: *первый* - на основе расчетно-теоретических данных, *второй* - на основе физических (опытных, экспериментальных) данных.
- Эффективность нейросетевых моделей предопределена *быстродействием* вычислений, которое следует из прямой связи между «входом» и «выходом», которое устанавливается в процессе обучения нейросети. Возможные распараллеливания процесса вычислений, по-видимому, еще больше могут увеличить быстродействие.
- Уменьшение габаритов и стоимости является одним из важнейших преимуществ нейроконтроллеров, которые являются управляющим модулем для управляемых конструкций.
- Применение нейросетевых подходов позволяет при решении расчетно-проектировочных задач добиваться значительного ускорения счета, быстрого получения решений для большого объема однотипных задач на различные виды нагрузок, дает возможность выполнять интерполяционное уточнение численных решений, осуществлять экстраполяцию решений в смежную область, учитывать особенности (ребра, отверстия и т.д.) и выявлять закономерности их влияния на НДС для линейных и нелинейных задач.
- Нейросетевые модели принципиально позволяют решать *обратные задачи* с такой же эффективностью, как и прямые. Следует обратить внимание на еще недос-

таточно разработанные возможности нейросетевых подходов к решению обратных задач

- Представляют интерес различные *задачи оптимизации*, в том числе основанные на синтезе быстродействующих нейросетевых моделей с традиционными компьютерными программами (так называемые гибридные программы), с перебором большого числа вариантов, который становится практически возможным опять таки благодаря быстродействию.

- Существенную область применения нейросетевых моделей составляют задачи *управления конструкциями* (управление формой, колебаниями, оптимальное управление, регулирование НДС и т.д.). Одним из важных направлений в использовании нейросетевого моделирования является создание самонастраивающихся, самоорганизующихся нейронных систем автоматизированного управления.

- К достоинствам нейросетевых моделей можно отнести возможность доучивания нейросети в процессе эксплуатационного функционирования управляемых систем.

- Перспективными вопросами нейросетевого моделирования являются попытки создания нейронных сетей, учитывающих архитектуру рассчитываемых конструкций, а также сетей, построенных на основе нечеткой логики, создание «логических» нейронных сетей, которые включают в себя структуры с явно указанной логикой правил вывода для принятия решений..

Нейросетевые модели аппроксимации «без учителя» имеют дополнительные возможности, но в данной статье не рассматриваются.

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;

- Использовать в обучающей выборке сложные (различного вида) ограничения и целевые предпочтения;

- Учитывать изменения свойств управляемого объекта (в задачах оптимального управления) во времени (нестационарность) путем сопровождения объекта во время его эксплуатации (или в процессе управления).

Отличительными чертами нейросетевой методики оптимизации также являются:

- универсальность в отличие от различных классических методов, каждый из которых имеет «свою» область применения в зависимости от типа ограничений (линейных, нелинейных, равенств, неравенств и т.д.);

- 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 нейросетевой аппроксимации **быстро перебрать и восполнить поле численных значений зависимостей**, среди которых нужно отыскать экстремальные.

С помощью нейросетевого подхода был решен *ряд задач строительной механики и теории оболочек*. Использовалась нейросетевая программа «Модели», написанная в среде Excel для Windows. Исходные данные для обучения и тестирования

нейросетей получены в основном с помощью вариационно-разностного метода в форме МКР и экспериментальных данных.

Физически нелинейные задачи. Рассмотрена физически-нелинейная система, от воздействия однопараметрической нагрузки, при нескольких ее значениях. Строятся нейросетевые модели, для получения решений при других значениях параметра нагрузки или уточнения на более густой сетке, либо при совместном изменении параметра нагрузки и густоты сетки.

Сформулированная задача рассматривалась на примере шарнирно опертой полой квадратной в плане сферической оболочки, подкрепленной взаимно ортогональными ребрами, под действием равномерно распределенной нагрузки.

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что, имея сеть, обученную на ряде сеток, можно получить уточненный результат, соответствующий более густой сетке с быстродействием несравнимым с решением, получаемым по расчетной программе. При этом погрешность нейросетевого решения по отношению к точному не превышает 4 %.

Рассмотрены примеры и такого характера, когда нейросеть обучена на данных одной подобласти, а функционирование ее ведется в экстраполяции на продолжении этой области.

Использование нейросетей для ускоренного расчета пластин и балок на произвольную нагрузку. Для заданной системы имелся ряд решений на некоторые нагрузки. Требовалось построить нейросетевую модель, обученную на этих примерах, для ускоренного расчета (без традиционного процесса решения) на любую нагрузку или на более густой сетке. Конечно, реализация такой задачи возможна, если обучающая выборка обладает достаточной полнотой.

Нейросетевые модели строились для задач изгиба балок и пластин и для расчета неоднородной анизотропной оболочки под действием различных нагрузок.

Для данных задач исследовались структура сети (количество используемых нейронов, спектральная плотность, полнота обучающей выборки), точность нейросетевых решений.

Задачи управления напряженно-деформированным состоянием конструкций под действием силовых и деформационных факторов. Строились нейросетевые модели на основе экспериментальных и расчетных данных. Результаты были вставлены в однокристалльную ЭВМ, являющуюся управляющим модулем для нейроконтроллера. Благодаря нейросети, было получено то быстродействие, без которого невозможно управлять конструкциями. Кроме того, получение обучающей выборки на основе экспериментальных данных (в отличие от расчетных) позволило учесть реальные свойства конструкции, в том числе нелинейные.

Управление рассматривалось на примерах двух- и четырехпролетных балок и плиты. В данных задачах была выявлена рациональная архитектура нейросети, значимость межнейронных связей, минимальное количество нейронов, дающее достаточно хорошее качество результатов управления.

Прямые и обратные задачи теории пластин и оболочек. Для различного вида оболочек и плит построены нейросетевые модели, которые для прямой задачи по геометрическим размерам оболочки и подкрепляющих элементов определяли бы соответствующие максимальные изгибающие моменты; для обратных задач – по известному максимальному моменту находили бы необходимые размеры оболочки и подкрепляющих элементов.

Рассматривалась линейная задача расчета *гладкой цилиндрической оболочки* при осесимметричном нагружении внутренним давлением. Днища резервуара шарнирно-неподвижно закреплены.

В прямой задаче построена нейросетевая модель, по которой определяется максимальный изгибающий момент от рассматриваемой нагрузки в зависимости от радиуса цилиндра. В обратной задаче вход и выход поменялись местами.

Из полученных результатов видно, что для обратной задачи требуемые ресурсы (минимально необходимая выборка задач и число нейронов) оказалась примерно такими же, как для прямой задачи. При этом погрешности обучения и тестирования получились примерно одинаковыми.

Таким образом, для прямой и обратной задач нейросетевая аппроксимация дает хорошие результаты (менее 1 % погрешности) для задач, лежащих в границах обучающей выборки и чуть хуже, если задачи немного (в пределах 10 %) выходят из этих границ.

Рассматривалась линейная задача расчета *цилиндрической оболочки, подкрепленной контурными кольцевыми ребрами*, при осесимметричном внутреннем давлении. Днища резервуара закреплены шарнирно-подвижно.

В прямой задаче построена нейросетевая модель, по которой определяется максимальный изгибающий момент в зависимости от толщины оболочки, высоты ребра и заданной нагрузки.

В обратной задаче построена нейросетевая модель, которая по заданному максимальному моменту (вход) находила бы необходимые размеры резервуара (толщину оболочки и высоту ребра). Однако в силу двухпараметричности задачи и неоднозначности ее решения (одному и тому же моменту могут соответствовать несколько различных толщин оболочки и соответствующих высот ребер), задачу обучения пришлось разделить на несколько подзадач. Например, при зафиксированной толщине оболочки, нейросеть обучалась находить необходимую высоту ребра. В силу сложности по сравнению с прямой задача потребовала больше ресурсов – увеличился объем минимально необходимой выборки, число нейронов, более чем в 100 раз увеличилось число необходимых итераций. В то же время на порядок увеличилась погрешность получаемого нейросетевого решения, но она не превысила 3 %. Можно, наоборот, задать высоту ребра и подбирать соответствующую данному моменту толщину оболочки. В такой постановке задача решается проще и требует меньше ресурсов.

Для тонкой *пологой гладкой сферической оболочки* на квадратном плане при равномерно распределенной по полосе нагрузкой ставилась прямая задача изучения влияния ширины полосы нагрузки на величину максимального изгибающего момента. Интерполяционные и экстраполяционные задачи решаются быстро и с достаточной точностью (не более 1,5 %).

В обратной задаче вход и выход меняются местами. В силу сложности задачи по сравнению с прямой (негладкости обрабатываемой функции) процесс обучения более длительный и трудоемкий. Наилучшие результаты, которых удалось добиться с помощью нейросетевого подхода, находятся в пределах 5 % погрешности.

Для аналогичной оболочки в прямой задаче исследовалось влияние податливости контурного подкрепления на ее напряженно-деформированное состояние. Обучение для интерполяционных и экстраполяционных задач происходит достаточно быстро и трудностей не вызывает. Максимальные погрешности наблюдаются в точке экстремального момента, их уменьшение требует значительного увеличения обучающей

выборки задач. Обратная задача решается значительно точнее, погрешность решения не превышает 2 %.

Для *ромбической плиты*, подкрепленной крестом ребер, находящейся под действием равномерно-распределенной нагрузки, исследовалось влияние высоты ребра на величину центрального прогиба плиты и обратная к ней задача. Для данной задачи полученные результаты подтверждают выводы, сделанные для рассмотренных выше задач.

2.9. Нейросетевой метод практического прогнозирования и его приложения

Задача прогнозирования всегда привлекает математиков и инженеров. Однако классические традиционные пути сталкиваются с трудностями экстраполяции в пространстве состояний в связи с его многомерностью, многопараметричностью. Кроме того классические методы не позволяют экстраполировать на удаленные зоны.

Нейросетевая методология позволяет решать не только задачи интерполяции, но и экстраполяции. В связи с этим предложен метод практического нейросетевого прогнозирования, обладающий определенными возможностями и достоинствами именно за счет свойств нейросетевого подхода (быстродействие в получении интерполяционных решений, доучивание с существенным использованием предыдущих знаний (предыдущей карты синапсов) с привлечением возможной дополнительной информации). Эти особенности позволяют организовать эффективный пошаговый процесс экстраполяции. При этом весь процесс учета априорной информации и последующей текущей (апостериорной) информации осуществляется в единообразной форме при учете разнообразных ограничений, содержащихся в обучающей выборке.

2.9.1. Обоснование целесообразности нейросетевого прогнозирования

Нейросетевое прогнозирование – это одна из наиболее интересных и имеющих практическое применение областей использования нейросетевых подходов. В данной работе задачи прогнозирования (предсказания, экстраполяции, эволюции) понимаются в некотором обобщенном виде.

К ним относятся:

- экстраполяция и интерполяция (одно- и многомерных функций) в традиционных постановках, т.е. прогнозирование внутри и за пределами заданной области;
- подобные задачи с дополнительными условиями и ограничениями;
- многопараметрические оптимизационные задачи (т.е. оптимальное прогнозирование, ставящее целью минимизации некоторого критерия (или многоэкстремальные задачи), в том числе оптимизационное проектирование при удовлетворении дополнительных условий (ограничений);
- управление системами и процессами в пространстве и во времени и др.

Остаются открытыми для исследования вопросы способов повышения точности нейросетевого прогнозирования, а также области их возможного применения.

В отличие от классических аналитических подходов нейросетевая методология аппроксимации является весьма эффективной:

- универсальной по отношению к разным типам задач и их размерности (одномерным, многомерным, многопараметрическим), т.е. одна и та же нейросетевая программа может использоваться для различных задач и целей;

- хорошо приспособлена к последовательности задач с наращиваемой информацией путем доучивания предыдущей нейросети (при этом эффективно используется старая синаптическая карта).

Отмеченные выше качества нейросетевого подхода позволяют эффективно использовать его для практического прогнозирования. Под практическим прогнозированием будем понимать метод, использующий пошаговые процедуры со сгущением решений вблизи подвижной границы по направлениям прогнозирования.

Отметим, что такие идеи здравого смысла, как пошаговый процесс, интерполяционное сгущение решений и другие, известны, по-видимому, давно. Однако в нейроинформатике для рассматриваемых задач не применялись, возможно из-за трудностей математического обоснования, а достигаемая при этом точность прогнозирования не исследовалась.

2.9.2. Разработка нейросетевого метода пошагового прогнозирования

Основные гипотезы нейросетевой модели прогнозирования

Авторами предпринята попытка создания *феноменологической нейросетевой модели прогнозирования*. В основе ее построения лежат *три основных момента*:

- накопленный опыт,
- гипотезы (предположения), основанные на здравом смысле и прежнем опыте,
- проверка гипотез с помощью численных экспериментов.

Прогнозирование существует во времени, в пространстве, во времени и пространстве одновременно. Возможно прогнозирование в пространстве состояний, каждая точка которого характеризуется набором (матрицей) параметров состояния. Например, напряженное состояние в точке или в поперечном сечении характеризуется набором напряжений (по трем ортогональным площадкам) или некоторыми усилиями и изгибающим моментом. Назовем такую задачу многопараметрическим прогнозированием.

Задачу прогнозирования по пространству можно сформулировать следующим образом. Известны численные значения функции в некоторой ограниченной области. (Пусть математическое выражение самой функции неизвестно.) Требуется определить и исследовать эту функцию в расширенной области (в подобласти прогнозирования), т.е. экстраполировать, «продолжить» функцию в смежную область.

Высказывается ряд предположений для построения нейросетевой модели прогнозирования:

- 1) пошаговое (последовательное) нейросетевое экстраполирование с малыми шагами при использовании доучивания нейросети на каждом шаге на основе расширенной выборки (расширение выборки происходит путем включения в нее результатов прогноза на предыдущем шаге) даст более точный прогноз в отличие от одноразового (сразу на всю расширенную область),
- 2) увеличение информации (сгущение равномерной сетки) в известной зоне приведет к более точному прогнозированию;
- 3) сгущение сетки (обучающей выборки) вблизи границы известных значений функции (локальное сгущение сетки) должно повысить точность экстраполяции. (Для сгущения сетки может быть использовано функционирование обученной нейросети –

задача интерполяции.) Можно, конечно, сгущать решение по всей области, но это значительно повысит трудоемкость.

4) наличие отдельного (одного или нескольких) отдаленного ориентира (известного значения функции в расширенной области) позволит существенно уточнить и облегчить процесс прогнозирования;

5) чем больше область, на которой функция известна, и чем меньше подобласть прогнозирования, тем точнее прогнозирование;

Правильность этих отдельных гипотез и их сочетаний можно подтвердить только с помощью численных экспериментов сначала на примерах одномерных, затем двумерных и трехмерных функций, для которых известны точные либо приближенные значения на всей исследуемой области. Примером таких одномерных функций могут служить функции прогибов шарнирно опертой и жестко защемленной балок при равномерном давлении.

2.9.3. Численный эксперимент по обоснованию набора гипотетических представлений, заложенных в метод пошагового нейросетевого прогнозирования

Следуя схеме на рис.10, на примере ранее указанных задач (шарнирно и жестко закрепленные балки на давление) проанализируем особенности *традиционного прогнозирования*. Под таким прогнозированием мы понимаем экстраполирование функции (в данном случае функции прогибов), заданной или известной в некоторой ограниченной области, в смежную с ней область сразу за один шаг. Целью данного численного эксперимента является выявление зависимости точности прогнозирования от величины известной области функции и области прогнозирования.

Длина всей балки составляет четыре метра. Для простоты рассматриваем сеточный (дискретный) аналог балки с шагом 0.25 метра, что составляет 1/16 длины балки. Предположим, что прогибы балки известны в узлах сеточной области только на части балки (1/4, 1/2 и т.д.). Проэкстраполируем эти прогибы на остальную область балки для случаев шарнирного и жесткого закрепления.

а) Прогибы известны на 1/4 балки - [0; 1]. Прогнозируем прогибы на остальную часть балки - [1; 4]. Результаты прогнозирования для шарнирно закрепленной балки приведены в первой строке табл. 1, для жестко закрепленной - во второй:

б) Прогибы известны на 1/2 балки – [0; 2]. Прогнозирование прогибов на оставшуюся часть - [2; 4]. Результаты прогноза даны в табл.2 (первая строка – для шарнирно закрепленной балки, вторая – для жестко защемленной).

Таблица 1

Нейроны	Спектр	погрешности прогнозирования (%) при $x=$										
		1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
7	0.5	0.57	0.11	0.03	0.3	0.78	1.23	1.2	0.17	4.9	19	71
60	10	0.66	1.2	0.85	1.45	7.1	18	37	72	141	310	1063

Таблица 2

Нейро-ны	спектр	погрешности прогнозирования (%) при $x=$						
		2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
7	1.6	2.4	3.58	4.82	5.79	5.68	2.15	16.4
25	0.9	0.11	0.24	0.11	0.86	0.37	9.41	95.7

в) Прогибы известны на $[0; 2.75]$. Прогнозирование на остальную часть балки $[2.75; 4]$. Результаты прогноза - в табл. 3 (аналогично предыдущему).

Таблица 3.

кол-во нейро-нов	спектр	погрешности прогнозирования (%) при $x=$			
		3	3.25	3.5	3.75
10	1	0.8	2.37	12.3	51.2
10	33	0.54	0.98	6.61	24.079

Как показали численные эксперименты, в общем случае прогнозирование сразу на большое расстояние невозможно. Приемлемая точность прогнозирования достигается на расстояние, не превышающее размера «известной» зоны, а чаще не дальше, чем на 2-3 шага сетки от границы известной области. Однако можно подобрать задачи, для которых возможно прогнозирование на дальнейшее расстояние с приемлемой точностью (шарнирно закрепленная балка). Но это возможно, если прогнозируемое решение хорошо аппроксимируется с помощью той функции, которая является функцией нейрона используемой нейросети.

Но такой информацией при прогнозировании мы априори не обладаем.

Поэтому предлагается для уточнения прогноза использовать по возможности имеющуюся дополнительную информацию, например, некоторые *отдаленные ориентиры* (решения), из «неизвестной» области (области прогнозирования).

Был выполнен ряд численных экспериментов (на примере тех же балок) с целью выявления зависимости точности прогнозирования от положения ориентира и величины «известной» зоны. Исследовалось влияние положения ориентира внутри «неизвестной» области, а также на ее дальней границе. В табл. 4, 5 приведены результаты прогнозирования с использованием ориентира для шарнирно и жестко закрепленных балок, соответственно (известная область составляет $\frac{1}{2}$ всей области балки – $[0,2]$, один ориентир в неизвестной области $x=3$).

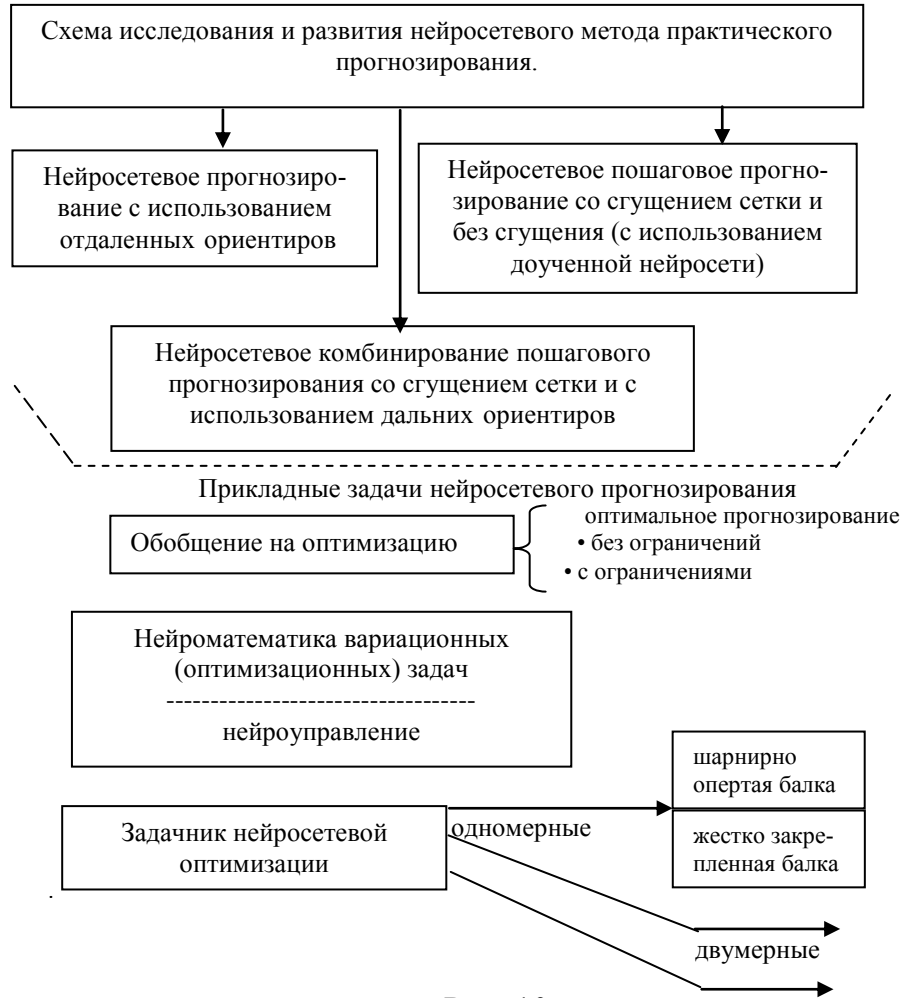


Рис. 10

Таблица 4.

	кол-во ней-ронов	спектр	погрешности прогнозирования (%) при $x=$						
			2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
без ори-ент.	7	1.6	2.4	3.58	4.82	5.79	5.68	2.15	16.4
Ори-ент $x=3$	60	1	0.36	0.43	0.4	0.1	0.84	3.5	13.3

Таблица 5.

	Кол-во нейронов	спектр	Погрешности прогнозирования (%) при $x=$						
			2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
без ориент.	25	0.9	0.11	0.24	0.11	0.86	0.37	9.41	95.7
ориент $x=3$	10	5	0.27	0.04	0.1	0.02	0.4	0.26	5.66

Как и предполагалось, наличие дальнего ориентира в качестве дополнительной информации о решении значительно улучшило результаты прогнозирования. Точность прогноза выросла по всей области примерно на порядок. Но надо отметить, что для исследуемых задач наличие ориентира внутри области привело к более существенному уточнению прогноза, нежели наличие ориентира на границе.

Численные исследования подтвердили высказанную выше гипотезу о преимуществах использования дальних ориентиров в неизвестной области и показали, что такого рода дополнительная информация позволяет уточнять результаты прогнозирования в десятки и даже сотни раз.

Еще один способ повышения точности прогнозирования – это использование *последовательного (пошагового) экстраполирования*.

Из опыта решения задач путем нейросетевой экстраполяции авторам стало известно, что точность экстраполяционного решения существенно зависит от длины шага экстраполяции, т.е. насколько далеко продвигается (прогнозируется) решение (по отношению к размерам известной области). Продвижение (расширение) может быть не только по геометрическим параметрам, но и по временным и другим параметрам, изменение которых содержится (неявно) в обучающей выборке.

Назовем шаг экстраполяции допустимым, если точность получаемого решения удовлетворительна.

Идея последовательного экстраполяционного прогнозирования по шагам заключается в следующем:

Шаг 1. Экстраполяция в допустимую область на достаточно небольшое расстояние.

Шаг 2. Обучение нейросети по дополнительной выборке по данным предыдущего шага.

Происходит расширение области функционирования нейросети. В этой области путем интерполяционных решений обученной нейросети могут быть сгущены данные вблизи границы, за которую предполагается далее экстраполировать. Можно полагать, что точность новой нейросети не ухудшилась. (в пределах точности экстраполяции).

Шаг 3. Экстраполяция в следующую допустимую область с помощью нейросети, доученной на предыдущем шаге и так далее. Точность прогнозирования уменьшается (ошибки накапливаются) по мере глубины пошагового прогнозирования, но она, видимо, выше, чем при длинном шаге одноразового прогноза.

Пошаговое прогнозирование осуществлялось (на тех же примерах) двумя способами: 1) на равномерной сетке решений на всей известной области, 2) со сгущением сетки вблизи границы известных значений функции.

Результаты прогнозирования для первого способа (известная область составляет примерно $\frac{3}{4}$ балки – $[0, 2.75]$) даны в табл. 6.

Таблица 6.

		погр-ти прогнозирования при x=			
		3	3.25	3.5	3.75
Шарнирно опертая балка	Прогнозирование за 1 шаг	0.8	2.37	12.3	51.2
	Пошаговое прогнозирование	0.8	0.03	0.18	1.82
Жестко закрепленная балка	Прогнозирование за 1 шаг	0.54	0.98	6.61	24.08
	Пошаговое прогнозирование	0.54	0.2	0.88	1.87

Такая пошаговая экстраполяция решений при том же объеме исходной информации позволила повысить точность прогнозирования больше, чем на два порядка вплоть до границы всей области задачи.

Сочетание пошагового процесса с локальным сгущением решений в «известной» зоне по сравнению с пошаговым прогнозированием без сгущения позволило еще примерно в три раза уточнить прогноз.

Возможно сочетание пошаговой экстраполяции с использованием заданных ориентиров, что позволит еще более повысить точность прогнозирования.

Выводы

Предложенный метод прогнозирования может найти эффективные приложения не только для рассмотренных в работе задач механики, но и во многих областях техники, процессах оптимизации и управления, в поисковом и вероятностном прогнозировании, оптимальном управлении, в решении новых вариационных задач с различными ограничениями (нейроматематике).

Отметим, что умение делать достаточно точный прогноз (даже на несколько шагов вперед в неизвестную область) может быть весьма полезным для задач оптимального управления, а предложенный авторами практический способ прогноза повышает его точность, т.е. его можно использовать для оптимального прогнозирования.

ЧАСТЬ 3. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РАЗРАБОТКИ

Одним из объектов для внедрения указанных научных концепций авторы выбрали образовательную систему. Здесь с наибольшим эффектом новые научные идеи управления инженерными системами могут трансформироваться в новое научное направление в области технического образования по расчетно-конструкторским дисциплинам. Создание и обеспечение функционирования активно управляемых конструкций обуславливает необходимость внедрения адекватного новым инженерным системам активного синтезирующего подхода к процессу обучения и воспитания инженеров.

Необходимость учить управлению НДС конструкций является насущным вопросом современного творческого образования конструкторов. Если ориентироваться сейчас только на сложившиеся классические курсы строительной механики и конструкций, которые, к сожалению, не содержат проблем управления конструкциями, то неизбежно отставание в этом перспективном направлении развития конструкций.

Управление конструкциями в нашей терминологии – это выбор эффективных актуаторов и переменных параметров конструкций, которыми целесообразно управлять.

Синтез таких наук, как строительная механика и конструкции, физический эксперимент и опыт, современная техника измерений, расчетов, теории и средств управления являются современной междисциплинарной базой для обучения управлению конструкциями.

Главное, на что необходимо обратить внимание в учебной методике регулирования (управления) – это то, что поиск эффективного управляющего решения, как и критериев управления, - не разовая процедура, а многоцикловый процесс принятия решения.

Успешно реализовать научные концепции в образовательной системе возможно лишь при комплексном решении ряда учебно-методических проблем. К которым следует отнести: разработка новых учебных курсов соответствующим образом взаимосвязанных с действующими учебными планами по различным инженерно-техническим специальностям; создание учебно-методических пособий и соответствующей новой идеологии лабораторной базы.

3.1. Учебные пособия

Во многих учебниках и пособиях основное внимание уделено поверочным расчетам заранее заданных схем сооружений, т.е. их анализу. Этот анализ необходим, но может служить лишь одной из стадий проектирования сооружений, подчиненных требованиям оптимальности. Методическое несовершенство такого подхода проявляется в том, что инженеру-проектировщику отводится пассивная роль. Для его преодоления было создано учебное пособие **«Регулирование, синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости»**. М.: Стройиздат, 1993. – 456 с. 3-е издание. Допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей высших учебных заведений [1.1] (1-е внутривузовское издание вышло в 1971 г.). Развитие этой идеи привело к переосмыслению истории, закономерностей и направлений развития конструкций и формированию описанного выше нового науч-

ного направления, связанного с управлением их напряженно-деформированным состоянием.

Эта область исследований удачно сочетается с основными психолого-педагогическими целями высшей школы, такими, как: *развитие у будущих специалистов умения активно влиять на проект сооружения, воспитание у них чувства создателя, подчиняющего конструкцию рациональным требованиям. Именно такие черты определяют инженерное искусство.*

В связи с отсутствием сложившейся теории учебное пособие было построено в виде целенаправленного набора задач, ориентированных на активизацию изучения и решения задач статики, динамики и устойчивости стержневых и континуальных систем на основе регулирования, синтеза и оптимизации. В нем заложены основы создания управляемых конструкций и представлен оригинальный физический практикум на базе созданного учебного класса. Вынося в название книги термины «регулирование», «синтез», «оптимизация», авторы пытались отразить основные аспекты инженерного творчества.

За данной книгой прочно закрепилась характеристика «*Учебное пособие нового типа*», которую дал рецензент, известный автор учебников по строительной механике, профессор В.Г. Рекач.

В недавно опубликованной книге [1.9], являющейся первой монографией - учебным пособием по данному направлению, обобщены предыдущие работы [1.2,1.6], разработаны основы теории и принципы создания систем автоматического управления напряженно-деформированным состоянием конструкций, системный подход к ним, рассмотрены системы с цифровым, аналоговым и механическим управлением, функциональные и структурные схемы, ряд технических устройств управления с ЭВМ, с нейросетями и без них, предложены эффективные, отличающиеся приоритетом и новизной оригинальные способы и устройства.

Английский перевод учебного пособия [1.1] будет способствовать более широкому применению развиваемого активного подхода к обучению за рубежом и в нашей стране.

Во многих вузах строительного и машиностроительного профилей России и стран ближнего зарубежья пособие используется в спецкурсах, для индивидуальной работы со студентами по УИРС и слушателями ФПК. Оно известно широкой научной общественности.

Развитие идей и подходы [1.1] представлены в серии *учебных пособий [1.2,1.9] и методических указаний к лабораторным работам [3.19 – 3.24]*.

В пособии [1.2] на основе анализа тенденций развития конструкций систематизируются постановки задач управления напряженно-деформированным состоянием и основные подходы к их решению. Предложены принципы создания управляемых конструкций, системный подход к ним, типы систем с цифровым, аналоговым и механическим управлением.

Изложен полный комплекс вопросов по созданию, разработке, проектированию, изготовлению и доводке конструкций применительно к модели управляемой неразрезной балки; методика и пример выполнения лабораторной работы; в приложениях – цифровая информационно-измерительная система «СИИТ-3-ПЭВМ» и прибор для автоматического управления тремя электродвигателями (коммутатор); словарь обозначений и понятий, иллюстративный материал. В [1.5] применены аналоговые, механические и другие устройства. В связи с новизной проблемы обсуждаются вопросы междисциплинарного характера, в частности, связь теории автоматического

управления с теорией сооружений. Осуществляется поиск эффективных областей развития и применения управляемых конструкций.

В [1.6] рассматриваются активные способы управления колебаниями с целью защиты конструкций от их вредных воздействий. Актуальность проблем управления колебаниями непрерывно возрастает в связи с увеличением размеров (пролетов) конструкций, повышением скоростей машин, применением высокопрочных материалов, ужесточением технологических и санитарных требований.

В [1.2] предлагается новое направление: разработка теории и практики автоматического управления конструкциями с помощью принципиально нового класса ЭВМ, основанного на принципах работы мозга – нейронных сетей.

3.2. Нетрадиционный учебный курс «Управляемые конструкции»

Кроме учебного пособия [1.1] и других на основе собственных разработок и изобретений создана экспериментальная база и открыта приказом министра высшего и среднего специального образования РСФСР И.Ф. Образцова учебная лаборатория «Управляемые конструкции» (1985 г.), позднее преобразованная в научно-образовательный центр прикладной нейроинформатики КНЦ СО АН ВШ. Все это в комплексе создало предпосылки для разработки нетрадиционного учебного курса «Управляемые конструкции», в 1994 г. он включен в качестве основного в учебный план специальности 290300 (Промышленное и гражданское строительство) в КрасГАСА. Чтобы это стало возможным сегодня, потребовались усилия большого авторского коллектива. Целесообразность введения данного курса обусловлена необходимостью психологического преодоления сложившегося в ряде областей техники отношения к конструкциям (особенно строительным) как к неуправляемым в процессе эксплуатации системам. Кроме того, раскрытие возможности влиять на напряженно-деформированное состояние конструкции способствует выработке у студентов активного инженерного мышления в процессе проектирования.

Проблемой регулирования и оптимизации конструкций коллектив кафедры «Строительная механика» занимается более 25 лет. За это время накоплен опыт теоретического и экспериментального решения указанных проблем, значительная часть которого постоянно находила отражение в различных разделах курсов строительной механики и теории упругости, теперь он обобщен в отдельном самостоятельном курсе, завершающем изучение этих дисциплин. Кроме собственного, обобщен отечественный и зарубежный опыт по проблеме управления конструкциями. Выполненный обзор отечественной и зарубежной литературы (более 200 источников) включает в себя все современные достижения по этой проблеме.

Курс построен в строгой логической последовательности:

- на основе анализа технических решений и опыта создания управляемых объектов в других отраслях техники дано обоснование целесообразности разработки и определены возможные области рационального применения управляемых конструкций:

- формируются принципы создания управляемых конструкций и требования к их проектированию;

- излагаются принципиальные функциональные и структурные схемы систем автоматического управления конструкциями;

- рассматриваются вопросы создания, проектирования и управления разнообразными управляемыми конструкциями.

На стадии становления курса четкая граница между лекционными, практическими и лабораторными занятиями не устанавливается. На лекциях излагаются принципиальные теоретические основы курса, а также приведенные в систему основные средства и методы управления конструкциями. Эти средства и методы постоянно пополняются новыми рекомендациями, рождающимися на практических занятиях при решении задач по регулированию конкретных конструкций. Происходит постоянное взаимное обогащение лекций и практических занятий. Ценные идеи часто возникают в процессе разработки и изготовления лабораторных установок и проведения физического эксперимента, а также на уровне выполнения и защиты индивидуальных расчетно-проектировочных заданий творческого характера. Это подтверждают научные работы студентов и ряда аспирантов.

Данный курс базируется на активном подходе к изучаемой проблеме с позиций не только традиционного анализа конструкций, но и решения задач регулирования, синтеза и оптимизации. При этом реализуется системный подход к проблеме, базирующийся на методах принятия решений, принципах и законах развития техники.

Методика преподавания основывается на взаимосвязи теоретических положений, численного эксперимента на базе компьютерной техники и физического эксперимента на моделях управляемых конструкций.

Эти работы продолжают в курсах строительных конструкций, в спецкурсах, в курсовом проектировании и дипломных работах.

Конечные результаты изучения курса отражаются в реальных проектах, изобретениях, а также в новых разработках действующих моделей управляемых конструкций с перспективой создания реальных управляемых конструкций.

Здесь используется **новый тип учебного задания**, состоящего из двух частей: *анализа и синтеза*.

Таким образом, представленный курс является благодатной почвой для привлечения студентов к участию в научных разработках, что в конечном счете, способствует формированию творческой личности студента.

Естественным продолжением и развитием активизации обучения на основе концепции управляемых конструкций являются *диссертационные исследования*, на основе которых созданы новые серии эффективных сталежелезобетонных и деревянных конструкций.

3.3. Концепция активного обучения

Концепция активного обучения обобщает опыт и достижения межвузовской лаборатории КрасГАСА – КГТУ по развитию и творческому обучению управлению конструкциями различных видов. Она включает в себя:

- **цикл учебных пособий** [1.1-1.8] по управляемым конструкциям, не имеющих аналогов в Российской и зарубежной практике;
- **нетрадиционный курс лекций**, содержащий предложенные принципы создания управляемых конструкций, в частности, энергетический принцип динамического противодействия и др.;
- **уникальный учебный класс** управляемых моделей для проведения лабораторного практикума;
- **комплект новых лабораторных работ**, представляющих физический эксперимент на моделях управляемых конструкций, сочетающийся с численным экспериментом по разработанным программам и сопоставление результатов;

- **поиск эффективных управленческих решений** на основе системного подхода, находящего выражение, в частности, в новом типе постановки и организации учебных заданий и проектов, ориентированных на творческое обучение;
- **ознакомление патентами и изобретениями** межвузовской лаборатории и участие студентов в проводимой изобретательской деятельности;
- **подход к управляемым конструкциям** как к автоматически управляемой системе и проведение демонстрационного эксперимента на моделях САУ;
- **разработанные современные технические решения** для управления моделями с прямой и обратной связью на основе персональных ЭВМ, электрических аналоговых и механических устройств, а также нейронных сетей и созданного нейроконтроллера;
- **визуализацию деформирования конструкций** с помощью механических устройств (например, портативного конструктора ферм, созданного по Российской программе Росучприбора «Учебная техника») и на экране ПЭВМ;
- **методологию системной практической оптимизации конструкций**, охватывающей возможности использования математических моделей и не поддающихся формализации конструкторских решений (конкретным результатом здесь являются созданные эффективные большепролетные конструкции покрытий зданий из комбинированного материала).

3.4. Учебный класс управляемых моделей конструкций

Учебный класс полностью оснащен оригинальными моделями и лабораторными разработками, которые отражают результаты многолетней работы авторского коллектива кафедры «Строительная механика» КрасГАСА.

1. Учебная модель: «Регулирование поперечного изгиба многопролетных балок»

Патент РФ № 1730657.

Предложен и разработан способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки и устройство для его осуществления. Способ позволяет в условиях, изменяющихся по величине и месту приложения нагрузки, действующей на балку, контролировать ее состояние в процессе эксплуатации и выдавать управляющие сигналы на исполнительный механизм для соответствующего смещения опор балки.



Рис.1. Управление НДС многопролетной неразрезной балки

Модель балки имеет в качестве опор винтовые устройства-актуаторы. Вынужденные перемещения винтовых опор поперек оси балки могут создавать в балке НДС, противодействующее ее поперечному изгибу от внешней нагрузки. Напряженное НДС контролируется прогибомерами и тензодатчиками.

2. Учебная модель: «Автоматическое управление НДС неразрезной балки с помощью ПЭВМ». Патент РФ № 2073839

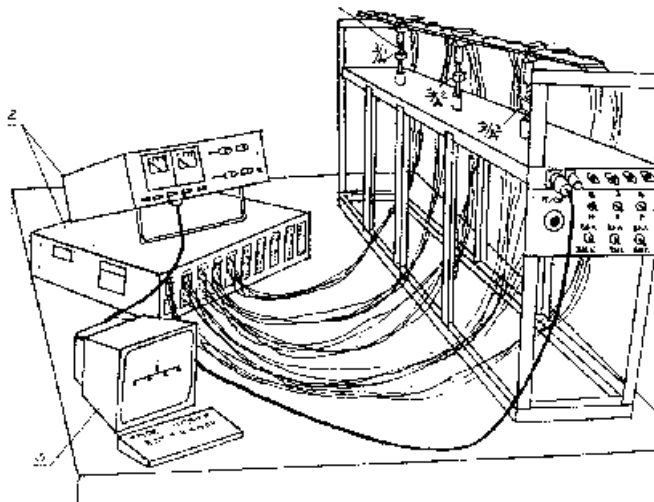


Рис.2. Автоматическое управление НДС неразрезной балки с помощью ПЭВМ
Неразрезная балка снабжена винтовыми опорами (актуаторами) с электроприводами, которые работают по управляющим сигналам с ПЭВМ. Информацию о НДС балки передаёт на ПЭВМ тензосистема СИИТ-3 через интерфейс. Предусмотрено также ручное включение (панель управления).

3. Учебная модель: «Регулирование поперечного изгиба плиты». Патент РФ № 2012063. Учебная установка для проведения лабораторных работ по теории упругости. Патент РФ № 1730657



Рис.3. Управление поперечным изгибом плиты

Модель состоит из тонкой плиты, по контуру которой дискретно размещены винтовые опоры, закрепленные на опорной раме. Винтовые опоры (актуаторы) позволяют создавать вынужденное искривление опорного контура плиты и вызывать в поле плиты НДС, противодействующее ее поперечному изгибу внешней нагрузкой. В итоге достигается регулирование поперечного изгиба плиты (прогибов, изгибающих моментов). НДС контролируется тензодатчиками и прогибомерами

4. Учебная модель: «Регулирование НДС многопролетной статически определимой балки». Патент РФ № 1795505.

Модель многопролетной балки имеет в качестве актуаторов НДС вспомогательные распределительные нагрузочные устройства («настил»), дополнительные («разгружающие») грузы, с помощью которых регулируется НДС. Измерительные устройства наглядно демонстрируют результаты регулирования.

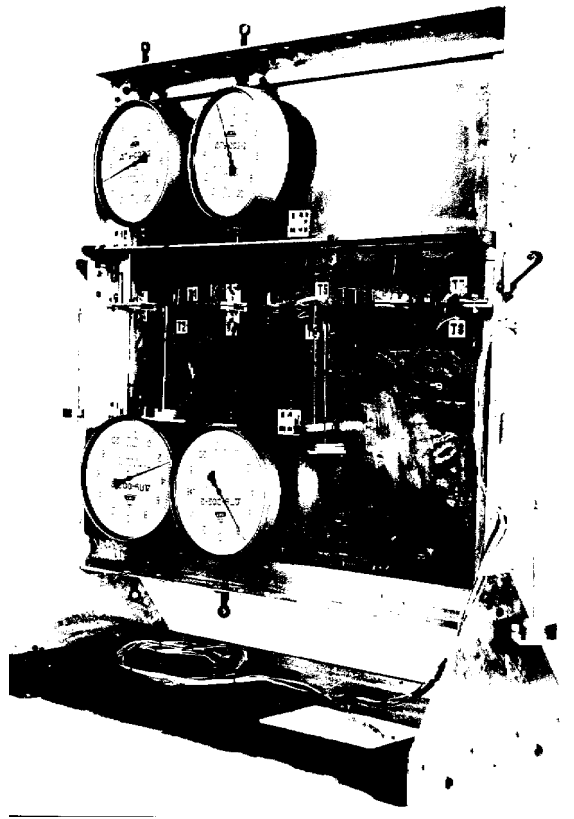


Рис. 4. Управление НДС многопролетной статически определимой балки

5. Учебная модель: «Регулирование устойчивости двухпролетного стержня». Патент РФ № 1720065.

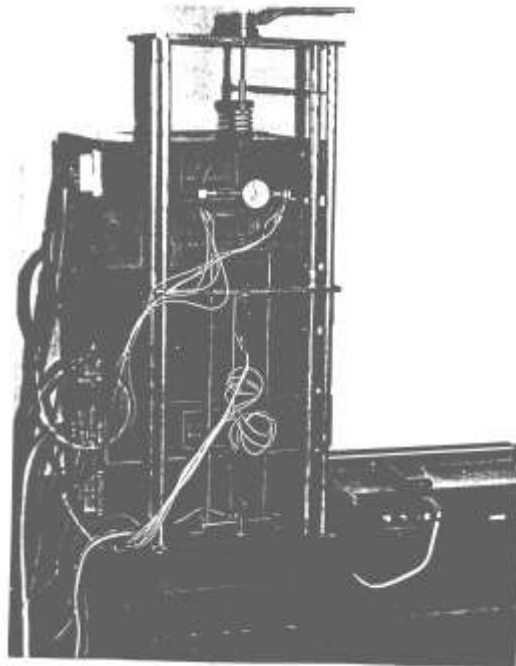


Рис.5. Регулирование устойчивости двухпролетного стержня

Регулирование устойчивости стержня осуществляется с помощью актуатора, меняющего положение промежуточной опоры. Результаты вычерчиваются на графопостроителе.

6. Учебная модель: «Контрольно-управляющее устройство для управления напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки». Заявка на патент РФ № 944023675, решение о выдаче патента от 13.10.96 г.

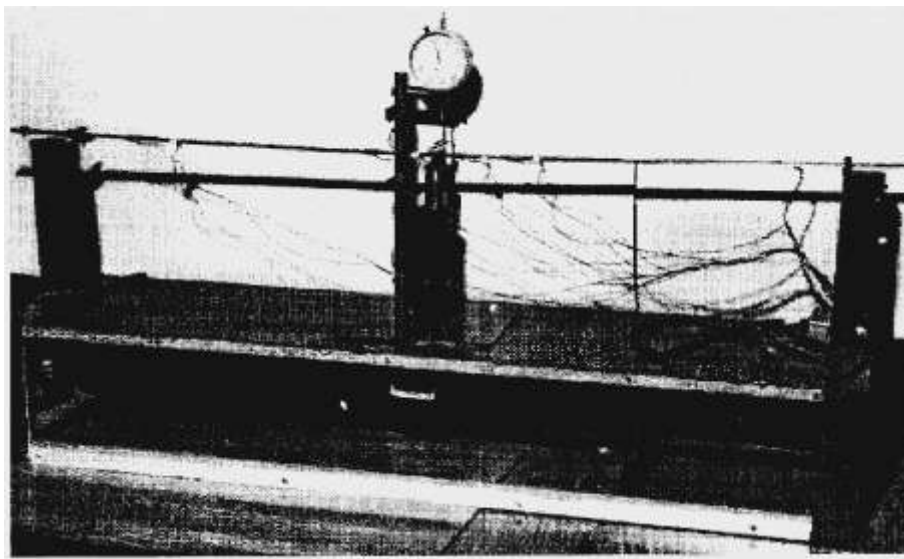


Рис.6. Управление прогибом балки с помощью опоры-домкрата и контрольно-управляющего прибора (КУП)

С помощью контрольно-управляющего прибора (КУП) (схематически изображен на рисунке) решаются разные задачи системы автоматического управления напряженно-деформированным состоянием многопролетной неразрезной балки: визуальный контроль за состоянием балки (световое табло), определение уровня управляемого параметра (перемещения, деформации, частоты), автоматическое включение двигателя актуатора, приводящего значение управляемого параметра в нужный диапазон управления. КУП автоматически управляет актуатором — опорой — домкратом, вызывающим вынужденный изгиб балки.

7. Учебная модель: «Способ визуализации влияния деформации оболочки антенны на волновой фронт и устройство для его осуществления». Патент РФ № 2069029.

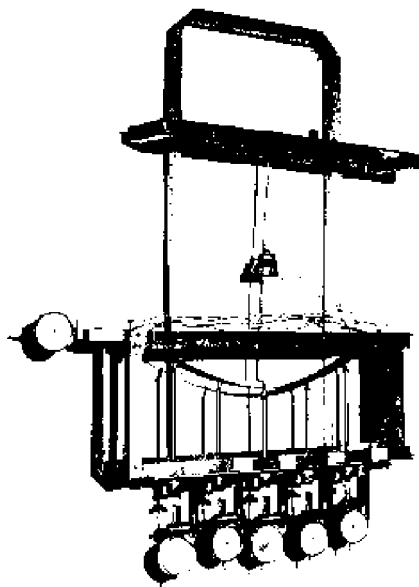


Рис.7. Фрагмент антенны и устройство для визуализации влияния его деформации

Для изучения волнового фронта антенны использована световая аналогия. В модели фрагмент оболочки антенны представлен полосовым арочным элементом, очерченным по квадратной параболе. В фокусе параболы установлен точечный источник света. Расположение световых «зайчиков» на плоском экране характеризует форму антенны и ее волновой фронт. В качестве актуаторов применен набор винтовых устройств, деформирующих форму антенны. Экспериментально устанавливается зависимость влияния смещения, вызываемого каждым винтовым устройством на положение световых «зайчиков» на экране. Зная данную зависимость, можно управлять параметрами волнового фронта (расположением «зайчиков») в зависимости от изменения формы зеркала антенны.

8-9. Учебные модели: «Регулирование НДС и автоматическое управление НДС шпренгельной балки». Патенты РФ № 205339 и № 2010345.

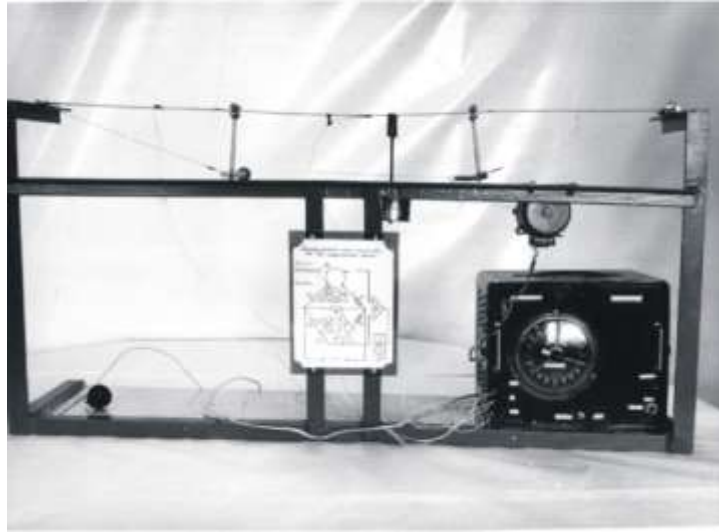


Рис.8. Автоматическое управления шпренгельной балкой с помощью аналогового устройства (моста Уитстона)

Шпренгельная балка снабжена автоматическим устройством для натяжения затяжки (актуатором), которое приводится в действие по сигналу рассогласования моста Уитстона. Мост Уитстона обеспечивает равенство деформаций в сечениях балки с тензодатчиками. Сигналы с тензодатчиков в 2-х сечениях балки поступают на мост Уитстона и в случае неравенства показаний тензодатчиков, с моста Уитстона поступает сигнал на электродвигатель актуатора, реализующий выравнивание показаний двух тензодатчиков. Таким образом, при любом положении нагрузки на балке обеспечивается равенство напряжений в двух сечениях балки.

10. Учебная модель: «Регулирование колебаний рамы»

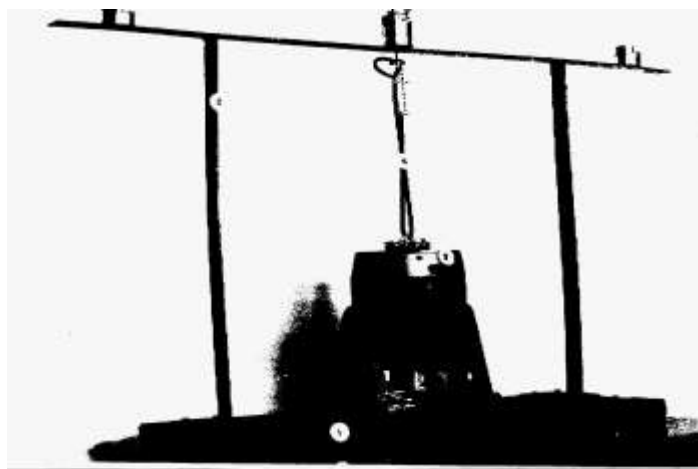


Рис. 9. Регулирование колебаний рамы

Регулирование колебаний на стенде осуществляется приспособлениями для загрузки рамы наборными нагрузками, моделирующими сосредоточенные массы.

Деформации определяются тензорезисторами сопротивления, расположенными на верхней и нижней балке в заданных сечениях. Тензорезисторы включены в измерительную цепь тензосистемы и соединены с двухкоординатным самописцем, записывающим график изменения сигнала. Возбуждаются колебания вибратором. На стенде возможно также моделирование неразрезных балок с упругооседающими опорами и плоских рамных систем.

Кроме названных выше учебных моделей в данном курсе и в традиционных курсах по строительной механике и строительным конструкциям авторами используются: *игра – тренажер. Патент РФ № 1214116; учебный конструктор. Патент РФ № 96118545; учебная модель здания. Патент РФ № 2087944.*

3.5. Оригинальный лабораторный практикум по управлению конструкциями

Практикум, новизна которого подтверждена 11 патентами авторов, включает в себя учебный класс для проведения комплекса лабораторных работ на созданных моделях различного типа конструкций, в том числе автоматически управляемых [2.9]. Лабораторные работы нацелены на управление напряженно-деформированным состоянием: многопролетной шарнирной балки за счет дополнительного нагружения и перераспределения нагрузки; шпренгельной балки – преднапряжением затяжки шпренгеля; неразрезной многопролетной балки – смещением (осадкой) опор; плиты – вынужденным смещением опорного контура и перераспределением нагрузки; а также на управление устойчивостью и частотными характеристиками балки [3.9-3.16].

Для автоматического управления используются управляющие модули: ПЭВМ, запатентованный контрольно-управляющий прибор (на релейной основе), цифровой контроллер с нейросетевой программой [2.15]. На этих моделях отрабатываются инженерные средства управления конструкциями.

В лабораторных работах гармонично сочетаются физический эксперимент на моделях конструкций и численный – на ПЭВМ. Для выполнения численного эксперимента разработан комплекс компьютерных программ.

На базе данного лабораторного комплекса студентами совместно с преподавателями созданы конструкции нового класса – управляемые конструкции – работы.

Общая методология и некоторые примеры лабораторных работ приведены на рис.10-21.

МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

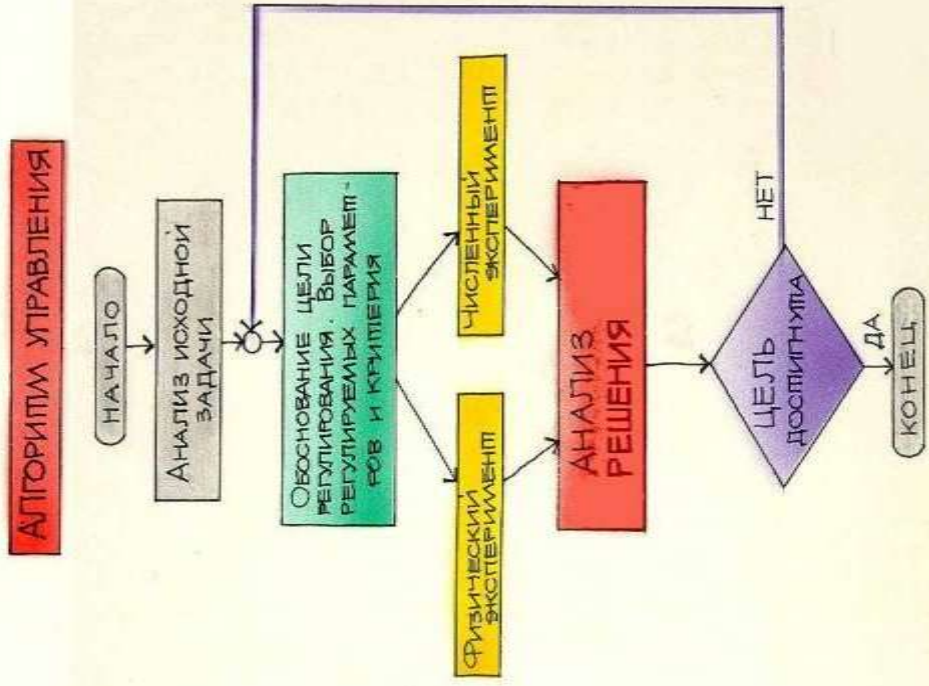
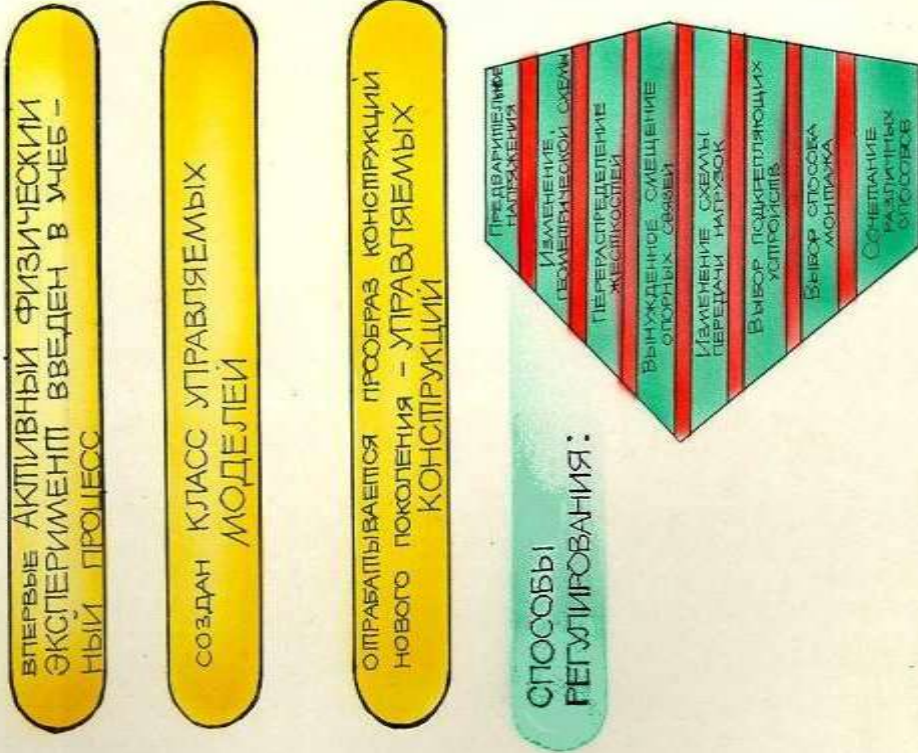
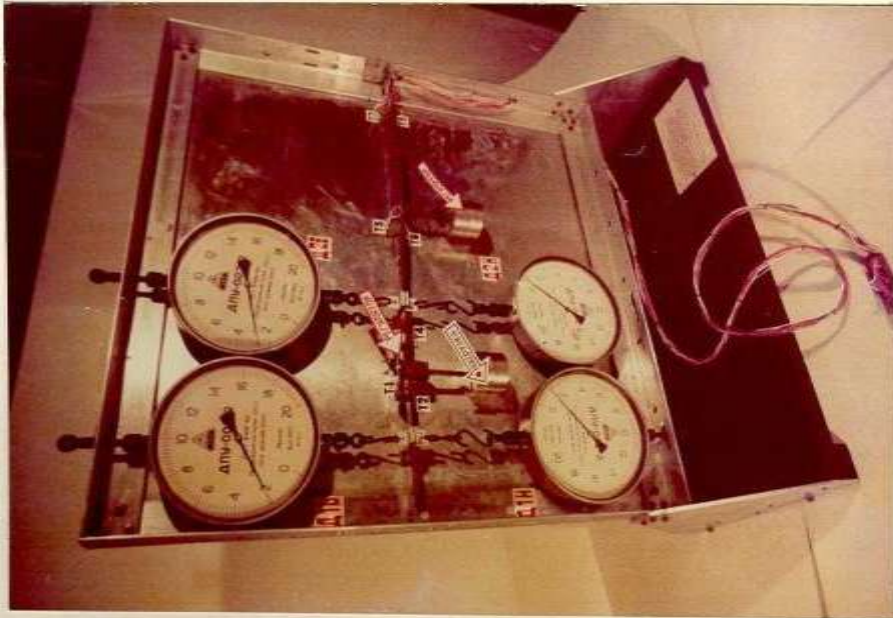
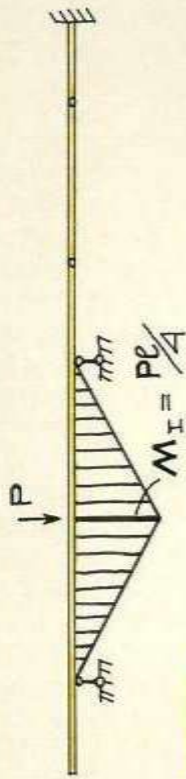


Рис. 10

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ

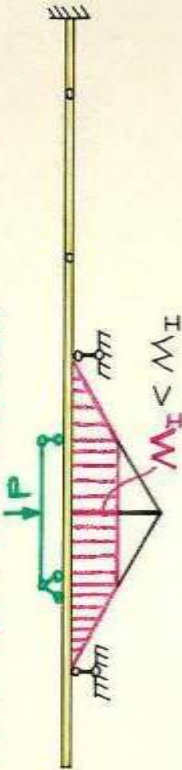


- ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ
- СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ
- ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

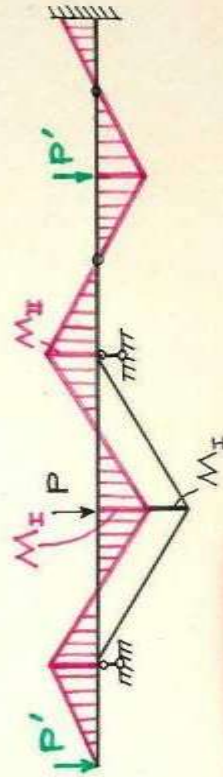


ЦЕЛЬ: УМЕНЬШИТЬ ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ M_I

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ: БАЛОЧНЫМ ПЕ- РЕДАЮЩИМ УСПРОЯЖИТЕЛЕМ



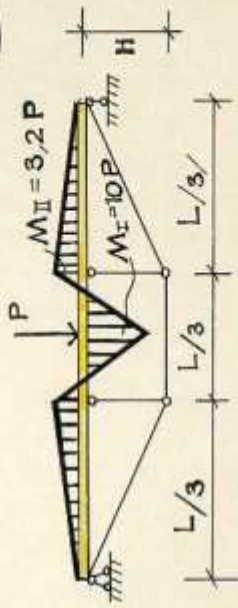
СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ: ДОПОЛНИТЕЛЬ- НЫМИ ГРУЗАМИ



РЕЗУЛЬТАТ: $M_I < M_I$

Рис. 11

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В ШПРЕНГЕЛЬНОЙ БАЛКЕ



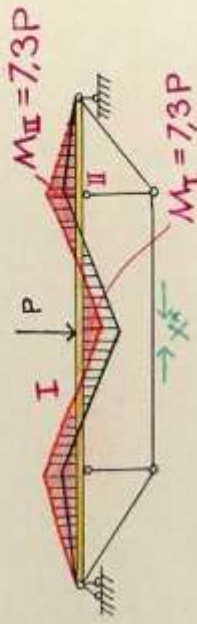
$$M_I = 10P > M_{II} = 3,2P$$

ЦЕЛЬ: ДРЕБИТЬСЯ ВЫРАВНИВАНИЯ МОМЕНТОВ $M_I = |M_{II}|$

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЕМ ЗАПЯЖКИ:



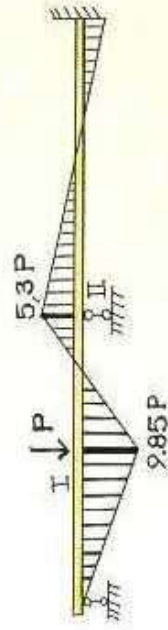
РЕЗУЛЬТАТ: $M_I = |M_{II}|$



- ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ
- СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ
- ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

Рис. 12

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ

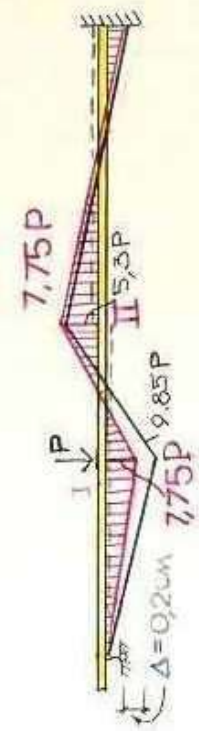


$$|M_I| = 9,85P > M_2 = 5,3P$$

ЦЕЛЬ: ДОВЕСТИСЯ РАВНОПРОЧНОСТИ В ОПАСНЫХ СЕЧЕНИЯХ $|M_I| = |M_{II}|$

РЕЗУЛЬТАТ

$$|M_I| = M_{II} = 7,75P < 9,85P = |M_I|$$



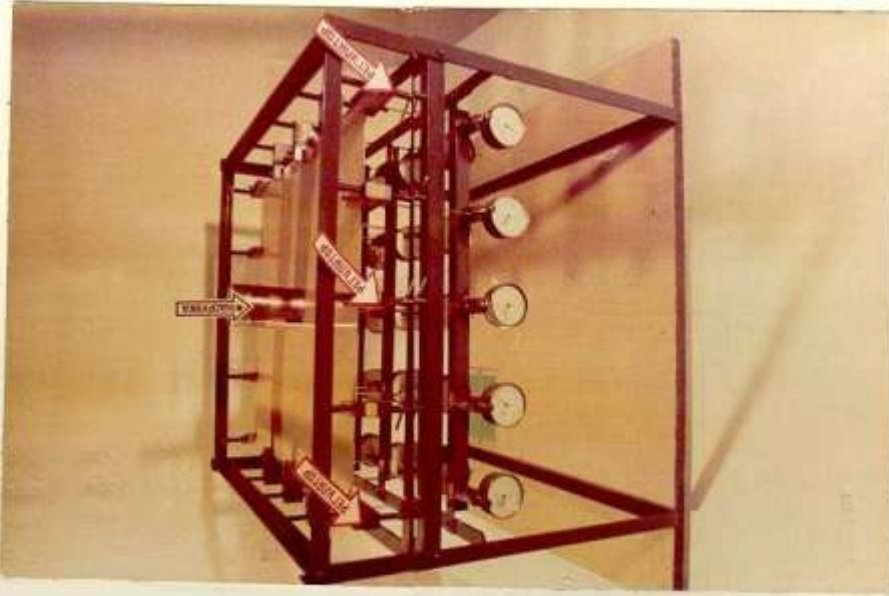
- - ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ
- - СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ
- - ДОСТИГНУТЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

Способы регулирования:

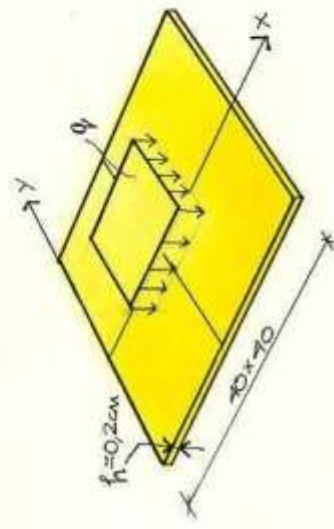
- перераспределением нагрузки;
- смещением опор Δ ;
- некоторым изменением длины пролетов;
- загрузкой консоли, пролетов;
- изменением жесткости пролетов.

Рис. 13

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА ПЛИТЫ

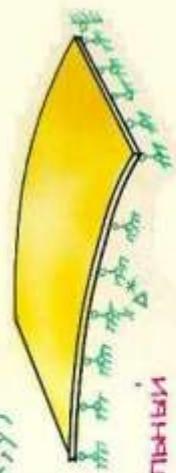


- - Исходный вариант
- - способ регулирования
- - достигнутый результат



ЦЕЛЬ: Уменьшить максимальный изгибающий момент.

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ: Смещением опорного контура $\Delta(x, y)$



РЕЗУЛЬТАТ: Максимальный момент уменьшен в 2 раза
 $M_x = 36,7$

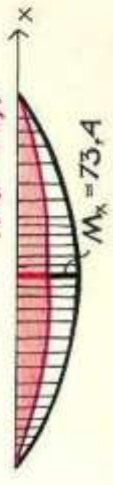


Рис. 14

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

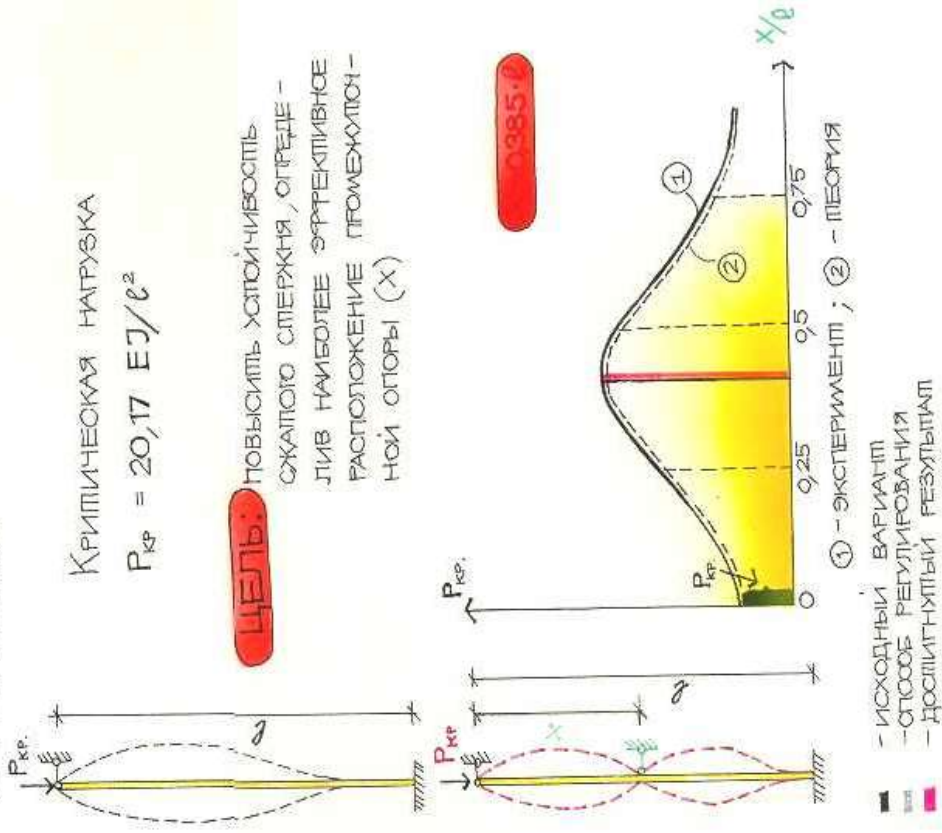
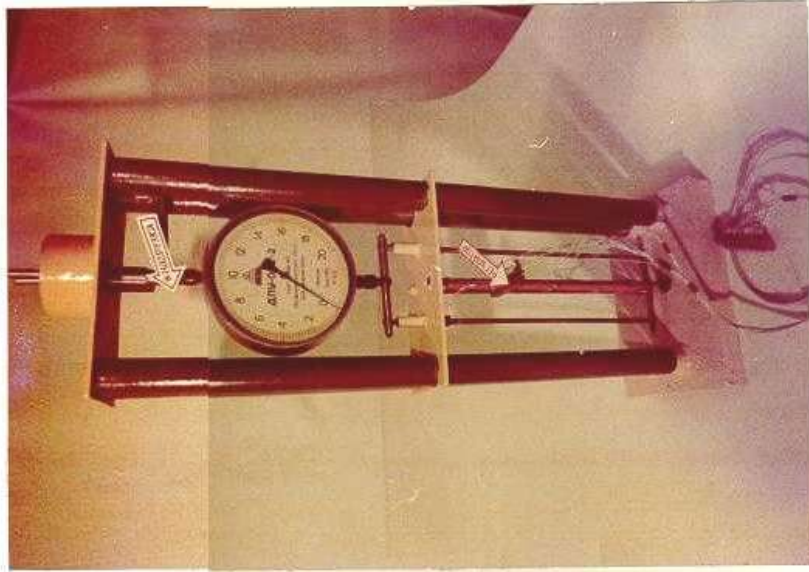


Рис. 15

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ РАМЫ

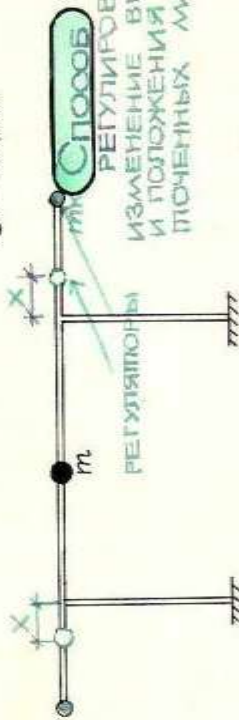


$$P(t) = P \sin \theta t$$



$$\mu_{\text{рег}} \text{ при } \theta = \omega, \delta = \frac{1}{10} = 10 \text{ - относительность резонанса}$$

ЦЕЛЬ: ИСКЛЮЧИТЬ РЕЗОНАНСНУЮ СИТУАЦИЮ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ РАМЫ, УВЕЛИЧИВАЯ ЧАСТОТУ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ $\theta \leq \omega_{\text{мин}}$



СПОСОБ

РЕГУЛИРОВАНИЯ: ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ПОЛОЖЕНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС

ДОСТИГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ $\mu_{\text{рег}} \text{ при } \theta = \omega$ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ УСПЕШАЕН РЕЗОНАНС ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ РАМЫ

$$\mu_{\text{рег}} \leq \mu_{\text{расч.}} \text{ при } \theta = \omega, \mu_{\text{рег.}} / \mu_{\text{расч.}}$$

- - ИСХОДНАЯ ЗАДАЧА
- РЕГУЛЯТОР
- ДОСТИГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

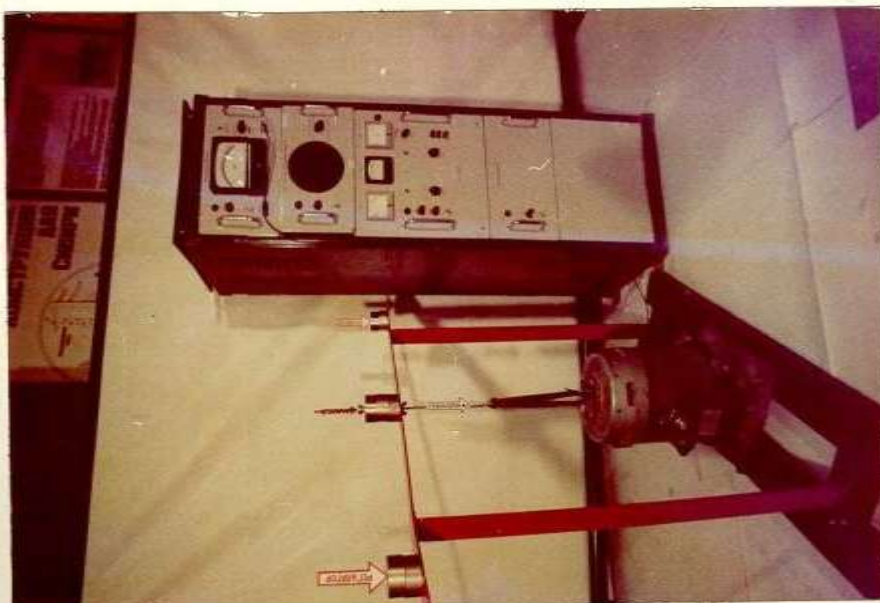
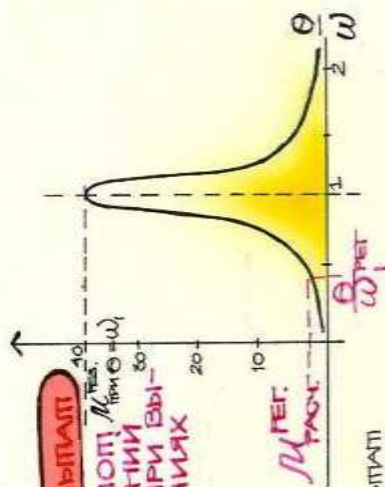
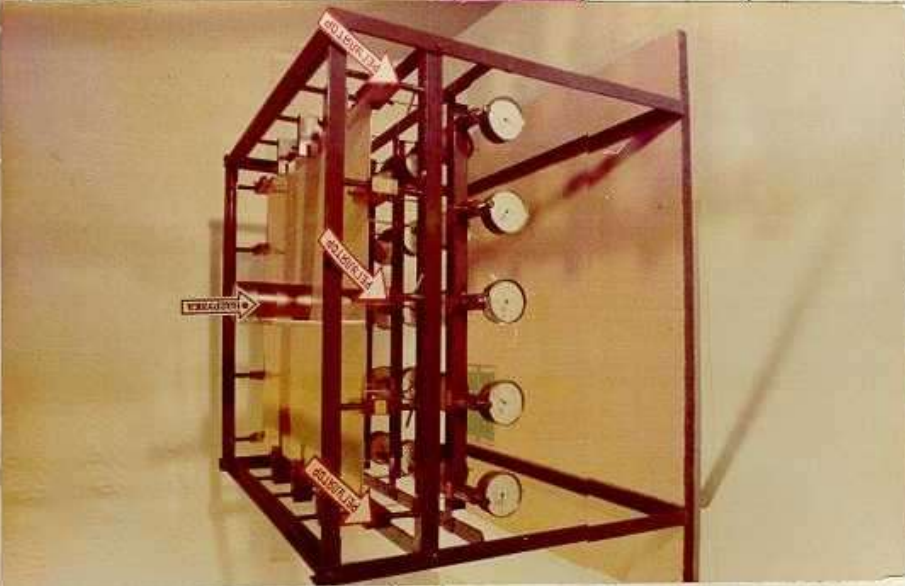


Рис. 16

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ В ПЛИТЕ



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
 РАССЕЛЮЮЩЕЕ УРАВНЕНИЕ $\Delta u = W(x,y)$
 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ.
 РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ — МЕТОДОМ ТАССА С РАЗЛОЖЕНИЕМ МАТРИЦЫ НА ПРИБЛИЖИТЕЛЬНЫЕ МОНОМЕТРИИ
 РЕАЛИЗАЦИЯ — ПРОГРАММА КТМ НА ЭВМ ПИКА ДВК-3

ДАНО: ПЛАСТИНА С НЕИЗВЕСТНЫМИ УСКРЯТЕЛЬНЫМ, ЗАРЯДОМ — ОПЕРАТОР КОМПЬЮРА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ОПРЕДЕЛИТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ W В ОПЕРАТОР КОМПЬЮРА

МЕТОД РЕШЕНИЯ:

$$\epsilon_{10} \cdot W_1 + \epsilon_{24} \cdot W_2 + \dots + \epsilon_n \text{ на } W_n = \epsilon_{0 \text{ эксл.}}$$

$$\epsilon_{25} \cdot W_1 + \epsilon_{25} \cdot W_2 + \dots + \epsilon_{16} \cdot W_n = \epsilon_{25}$$

$$\epsilon_{16} \cdot W_1 + \epsilon_{26} \cdot W_2 + \dots + \epsilon_{16} \cdot W_n = \epsilon_{16}$$

Используется методика идентификации параметров расчетной схемы на основе метода наименьших квадратов

ПРИБОРЫ: ИНДИКАТОРЫ ЧАСОВОГО ПИКА; ПЕНЗОРЕЗИСТОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СИИТ-3

РЕЗУЛЬТАТ: $W_{\text{контр}} = !$ ОПРЕДЕЛЕНА НАЧАЛЬНЫЕ НЕСОВЕРШЕННОСТИ ОПЕРАТОР КОМПЬЮРА УЛУЧШЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ПЛАСТИНЫ

ДВК-3

Рис. 17

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

ЦЕЛИ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

- СОПОСТАВЛЕНИЕ С ФИЗИЧЕСКИМ ЭКСПЕРИМЕНТОМ;
- ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИНЯТОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ;
- ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ;
- ОБЪЕДИНЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
- АНАЛИЗ И СИНТЕЗ В НЕДОСТУПНЫХ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ОБЛАСТЯХ.

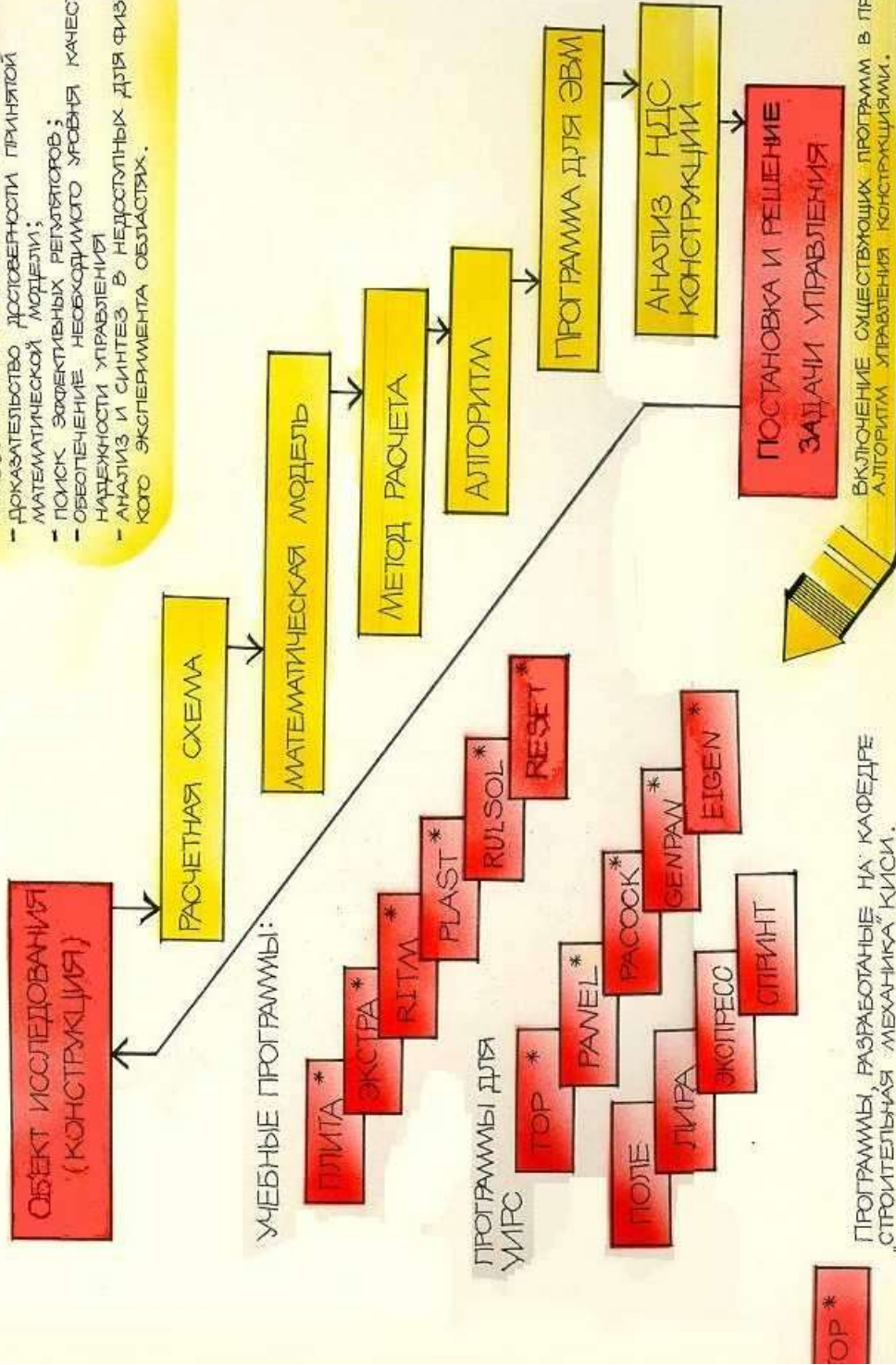
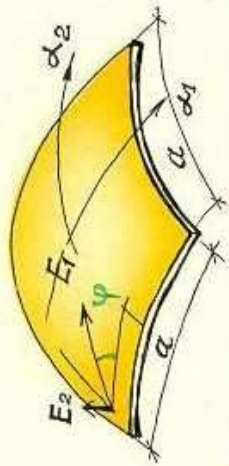
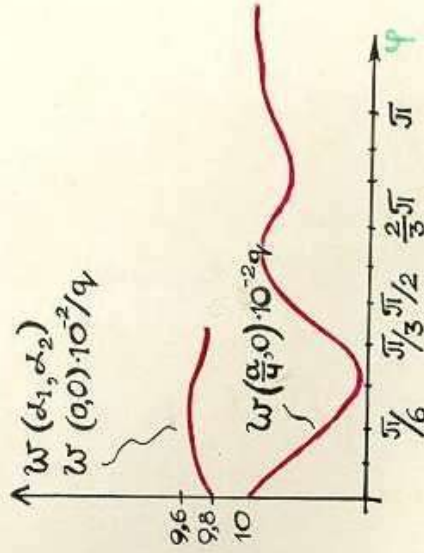


Рис. 18

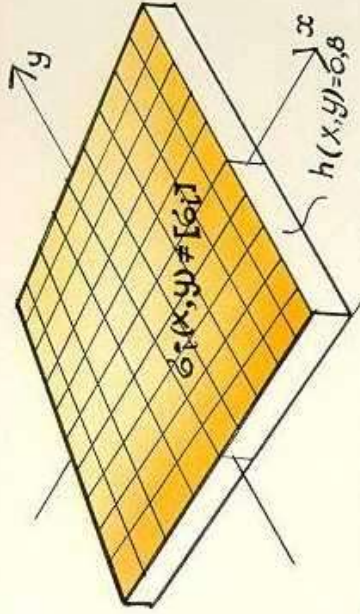
ПРИМЕР РАСЧЕТА ОРТОТРОПНОЙ ОБОЛОЧКИ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ И КРИВИЗНЫ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ.



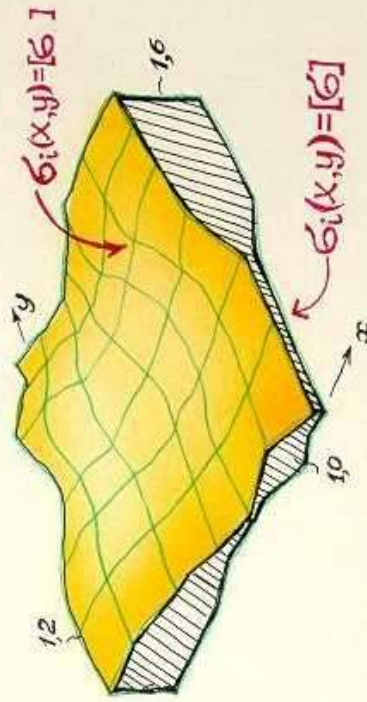
ИЗМЕНЕНИЕ УГЛА АРМИРОВАНИЯ φ ВЛИЯЕТ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ОБОЛОЧКИ:



ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ШАРИРНО-ОПЕРТОЙ РАВНОМЕРНО ЗАГРУЖЕННОЙ ПЛАС-ТИНЫ ПО КРИТЕРИЮ РАВНОПРОТНОСТИ.



ИЗМЕНЕНИЕМ ТОЛЩИНЫ $h(x,y)$ МОЖНО ДОВЕСТИСЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ:



$$\sigma_i = f(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$$

Рис. 19

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВЯЗЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ СДВИГОВОЙ ОСЕВОЙ ДЕФОРМАТИВНОСТИ СОСТАВНОЙ ТОРООБРАЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ (ПРОГРАММА "ТОР")

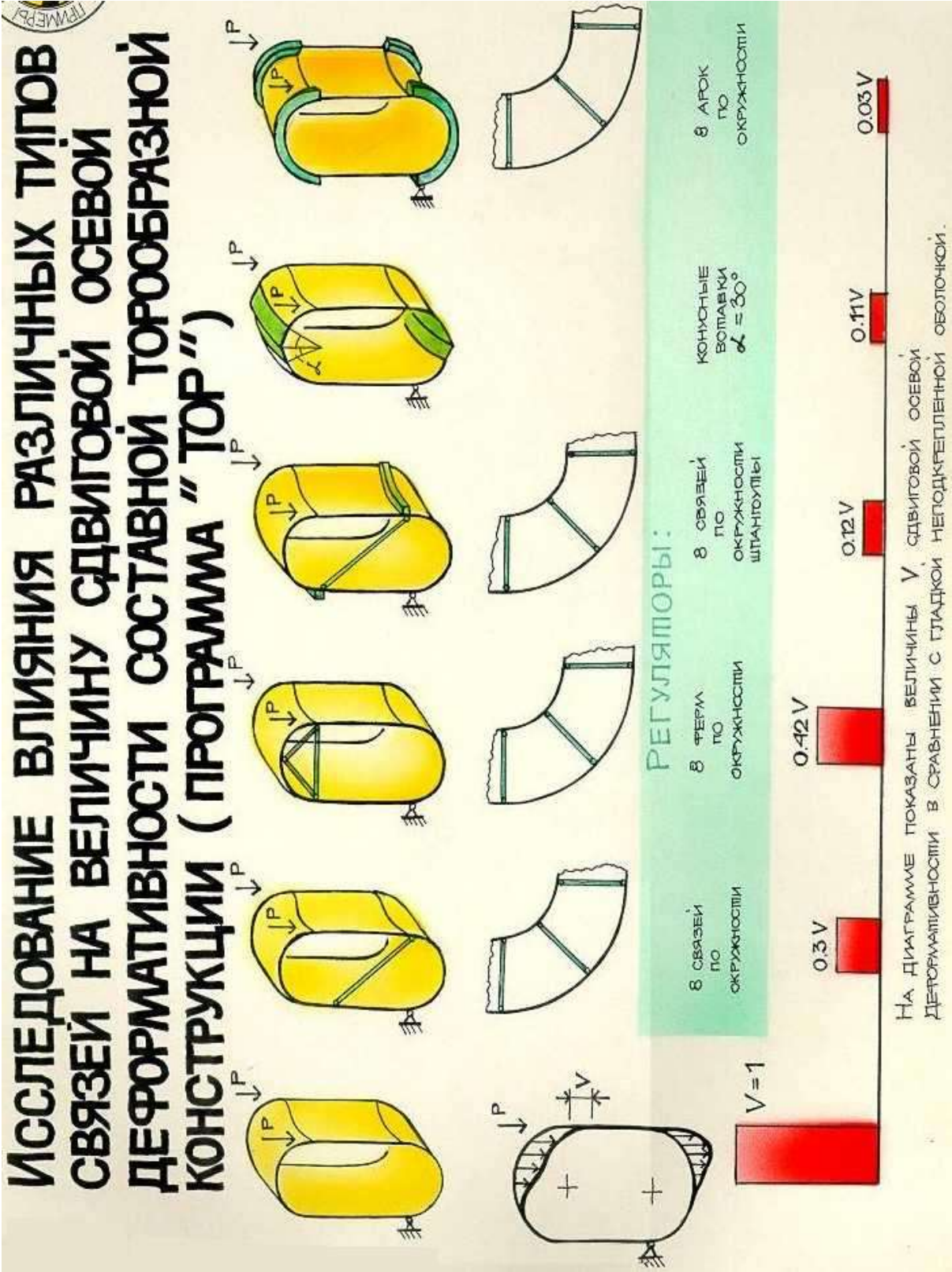
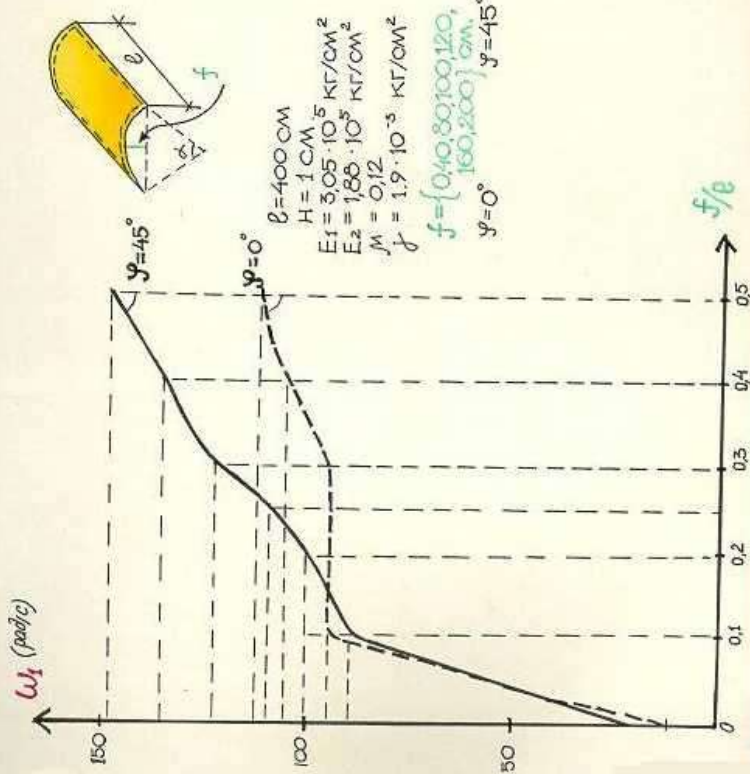
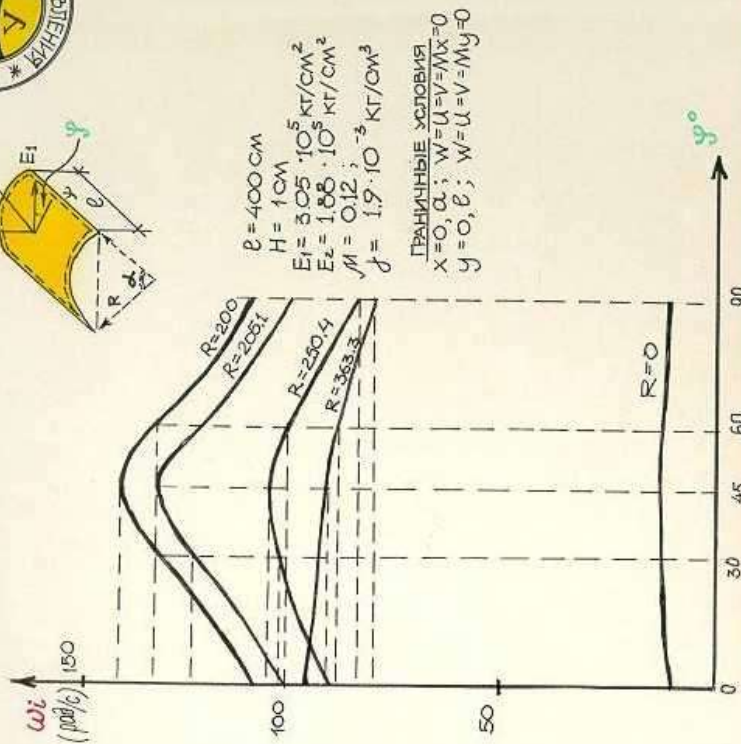
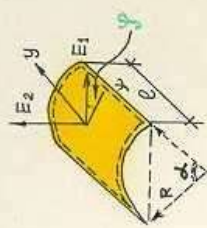


Рис. 20

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ КОЛЕБАНИЙ НЕПОЛОГИХ АНИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК (ПРОГРАММА "EIGEN": МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ - ИТЕРАЦИИ "В ПОДПРОСТРАНСТВЕ")



МИНИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЧЕТИ ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ СВММ ПРИ РАЗНЫХ РАДИУСАХ КРИВИЗНЫ (f/ℓ)



МИНИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ АНИЗОТРОПНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЧЕТИ, ВЫГОТОНЕННОЙ ИЗ СВММ, ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ УГЛА ОРИЕНТАЦИИ ПЛАННЫХ ОСЕЙ АНИЗОТРОПИИ (φ).

Рис. 21

3.6. Компьютерные программы и средства визуализации

Для успешной реализации идей регулирования, управления и выполнения заданий по УИРС и НИРС были разработаны предметно-ориентированные программные средства. Среди них отметим следующие программы и программные комплексы:

РАСЧЕТ ОБОЛОЧЕЧНО-СТЕРЖНЕВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА (OST). Программа используется в учебных заданиях №1,2 по теории упругости, в индивидуальных заданиях, в том числе, относящихся к задачам регулирования, в спецкурсах по пространственным конструкциям и управляемым конструкциям, в курсовом и дипломном проектировании.

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ (ASTRA-PC). Используется в лабораторных работах по информатике, в учебных расчетно-проектировочных заданиях по строительной механике и управляемым конструкциям, в индивидуальных заданиях, спецкурсах, курсовом и дипломном проектировании. В программе предусмотрена визуализация исходных данных и результатов расчета.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ (LRMIS). Учитываются ограничения в виде уравнений и неравенств, с исключением «зацикливаний». Программа предназначена для решения задач оптимального проектирования конструкций, используется в лабораторных и исследовательских работах по управляемым конструкциям.

РЕГУЛИРОВАНИЕ НДС ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ (REGYSS). Программа позволяет регулировать НДС широкого класса плоских стержневых конструкций в линейной постановке.

На базе графической части программы «ASTRA-PC» разработаны средства визуализации в виде графического вывода результатов решения: эпюр перемещений, изгибающих моментов, поперечных и продольных усилий на экран монитора или принтер.

Программа используется для решения задач регулирования при выполнении расчетно-проектировочных работ в курсах «Строительная механика», «Строительные конструкции», в нетрадиционном курсе «Управляемые конструкции», при выполнении индивидуальных заданий в рамках УИРС и НИР студентов, а также для решения задач регулирования при реконструкции, усилении эксплуатируемых сооружений и при создании новых равнопрочных и экономических конструкций в строительстве и различных областях современной техники.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ (КОЛЕВ). Предназначена для расчета и регулирования плоских стержневых систем при действии динамических нагрузок (определения и регулирования частот и форм собственных колебаний конструкций и выполнения проверки на резонанс, вычисления и регулирования динамических усилий, перемещений).

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПО ВИЗУАЛИЗАЦИИ НДС ОБОЛОЧЕЧНО-СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ (GRAF OST). Используется в учебных расчетно-проектировочных работах по теории упругости, в индивидуальных заданиях, спецкурсах, курсовом и дипломном проектировании, при решении задач регулирования.

РАСЧЕТ ПЛАСТИН НА ИЗГИБ ИЗ ИЗОТРОПНОГО ИЛИ ОРТОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА (PLITA, ANSWER). Программа используется в расчетно-проектировочном задании №2 по теории упругости, в лабораторной работе №6 по управляемым конструкциям, в индивидуальных заданиях.

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЕ ИЗ ИЗОТРОПНОГО И ОРТОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА (REGUL-PL). Программа предназначена для регулирования

усилий и перемещений в пластинах. Используется при выполнении лабораторной работы №6 по управляемым конструкциям, в индивидуальных заданиях.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОБОЛОЧЕК ИЗ ИЗОТРОПНОГО ИЛИ ОРТОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА (RIGM). Предназначена для идентификации параметров расчетных схем упругих непологих анизотропных оболочек и пластин и последующего восстановления поля их НДС. Программа используется в лабораторной работе №7 по управляемым конструкциям и при выполнении индивидуальных заданий.

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ И ЗАДАЧ О СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ И СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ МАТРИЦ (SYS, RSU, JORDAN, GAUSG). Используются в расчетно-проектировочных заданиях по информатике, строительной механике, теории упругости, в лабораторных работах по управляемым конструкциям, в исследовательских работах.

3.7. Новый тип учебных заданий

Предлагаемый новый тип учебного задания состоит из двух частей: *анализа (часть1) и синтеза (часть2) [3.29].*

Студент для анализа в качестве исходных данных получает готовую, например, выполненную его предшественником, завершённую работу. Он должен проанализировать ее, выявить достоинства и недостатки, доказать достоверность (или ошибочность) полученного решения, а затем сформулировать новую задачу, направленную на устранение замеченных им недостатков (в этом исходные данные для *части 2 – синтеза*). Здесь проявляются не только типовые знания, но и творчество во всем его многообразии. Преподаватель имеет возможность оценить работу на разных уровнях в соответствии со знаниями и способностями студента. Такой тип учебных заданий требует как от студента, так и от преподавателя творческого подхода. Эти затраты оправдываются качественным результатом.

Некоторые примеры заданий нового типа показаны на рис.22-24.

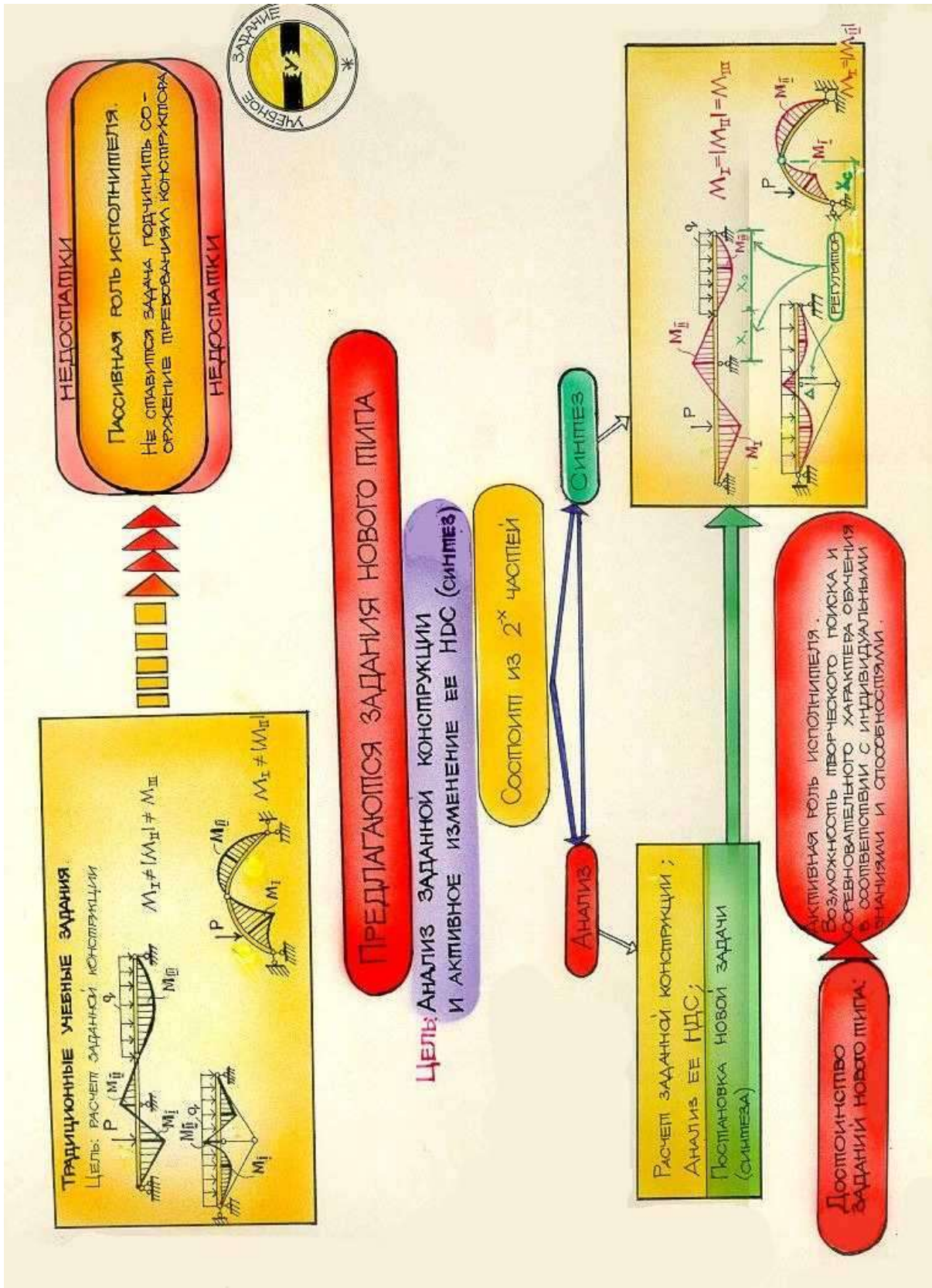


Рис. 22



ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ НДС В СТЕЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ

АНАЛИЗ
 $M_{\max} \neq M_{\min} \neq M_B$

ЗАДАЧА СИНТЕЗА
 НАЙТИ ПОЛОЖЕНИЕ ОПОРЫ И ШАРНИРОВ D И E, ПРИ КОТОРЫХ $M_{\max} = M_{\min} = |M_A| = |M_B|$

РЕЗУЛЬТАТ:
 ПРИ $a = c = 0,146l$; $b = 0,708l$,
 $M_{1\max} = M_{2\max} = -M_A = -M_B$

АНАЛИЗ
 $M_{\text{пр}} \neq |M_{\text{оп}}|$

ЗАДАЧА СИНТЕЗА
 СМЕЩЕНИЕ Δ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ ДОБИТЬСЯ РАВЕНСТВА $M_{\text{пр}} = |M_{\text{оп}}|$

РЕЗУЛЬТАТ:
 ПРИ $\Delta = \frac{P \cdot k \cdot l^3}{6EJ} \cdot \frac{K^4 - 5K^2 + 6K^2 - 2K}{K-2}$
 $M_{\text{пр}} = |M_{\text{оп}}|$

АНАЛИЗ
 $S_{\text{max}}^P = \frac{M_{\text{max}}^P}{h}$

ЗАДАЧА СИНТЕЗА
 ОПРЕДЕЛИТЬ ВЕЛИЧИНУ НАГРУЗКИ P, ПРИ КОТОРОЙ S_{max} УМЕНЬШИТСЯ НА 20%

РЕЗУЛЬТАТ:
 ПРИ $P = 0,025 \frac{q}{l^2} (l^2 - 4a^2)$
 $S_{\text{max}} = 0,8 S_{\text{max}}^P$

АНАЛИЗ
 $M_{\text{пр}} \neq |M_{\text{оп}}|$

ЗАДАЧА СИНТЕЗА
 ПУТЕМ УЖОЧЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ВЕЛИЧИНУ Δ ДОБИТЬСЯ РАВЕНСТВА $M_{\text{пр}} = |M_{\text{оп}}|$

РЕЗУЛЬТАТ:
 ПРИ $\Delta = -11,152 \frac{q \cdot l}{EJ}$
 $M_{\text{пр}} = |M_{\text{оп}}|$

— ИСХОДНЫЙ ВАРИАНТ (РАСЧЕТ И АНАЛИЗ)
 - - УПРАВЛЕНИЕ
 - - РЕЗУЛЬТАТ

Рис. 23

ПРЕД

РАЗМЕРЫ ЗАДАНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ НДС В ПЛИТАХ



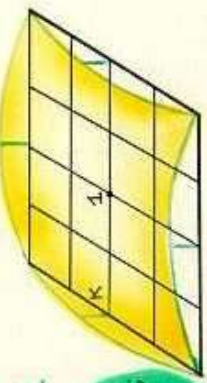
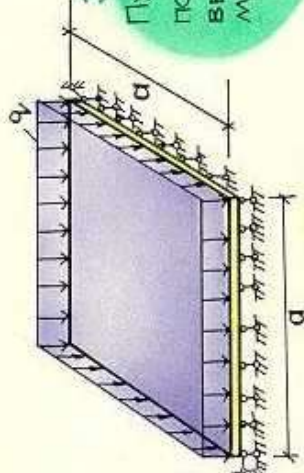
АНАЛИЗ

$M_{max} = 0,04$
клетки в центре
При этом
ная зона
ЖЕНА.

11,00² возни-
спире плиты
предконкурс-
недонапря-

ЗАДАЧА

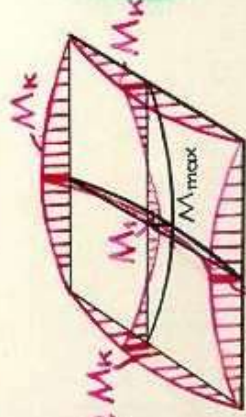
СМЕЩЕНИИ
КОМПЛЕКСА П
ПРИ $X=0, a$
ПРИ $Y=0, a$
ДОБИТЬСЯ
 M_{max} В 2



СИМПЕЗ 1

ЕМ ОПОРНОГО
О ЗАКОНУ
 $W = W_1 \cdot \sin \frac{\pi x}{a}$
 $W = W_1 \cdot \sin \frac{\pi y}{a}$
УМЕНЬШЕНИЯ
РАЗА

При $W \leq$
ГДЕ $D = 12$
 $M_1 = 0,5 M_{1max}$



- ИСХ
- УТРА
- РЕЗУ

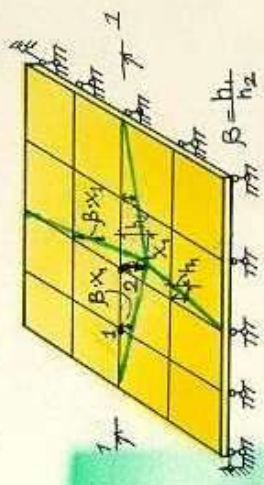
ЗАДАЧА СИМПЕЗ 2

ПЛИТЕМ ШПРЕНГЕЛЬНОГО
ПОДКРЕПЛЕНИЯ УМЕНЬШИТЬ
ВЕЛИЧИНЫ ИЗГИБАЮЩИХ МО-
МЕНТОВ В ПЛИТЕ.

РЕЗУЛЬТАТ

$$X_1 = \frac{1,031 + 3,0 \cdot \beta}{0,2187 + \beta + 1,5\beta^2 + \gamma} \cdot g \cdot a^4$$

при $h_1 = 1,2 h_2; \gamma = 0,562$



по 1-1 ЭП.М

$$M_1 = 0,127 \quad M_2 = 0,04$$

$$M_1 = 0,538 \quad M_2 = 0,658$$

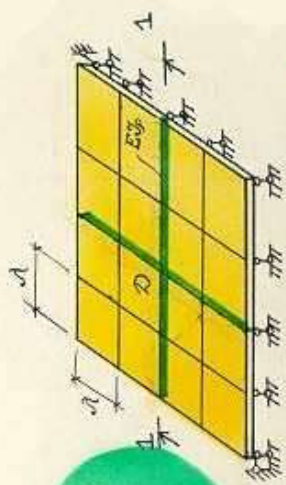
ЗАДАЧА СИМПЕЗ 3

ПЛИТЕМ ПОДКРЕПЛЕНИЯ
ПЛИТЫ КРЕСТОМ РЕБЕР
УМЕНЬШИТЬ W_{max} В 2 РАЗА

РЕЗУЛЬТАТ

ПРИ $\gamma = \frac{g \Delta}{EJ_p} = 0,0753$

$$W_1 = 0,5 W_{1max}$$



по 1-1 ЭП. W



Рис. 24

3.8. Работы студентов

Вопросы управления и оптимизации напряженно-деформированного состояния, изучаемые в рамках нетрадиционного курса «Управляемые конструкции», а затем спецкурсов, содержат богатый материал для исследовательской деятельности студентов. *Результаты учебно-исследовательской и научно-исследовательской работы студентов по данному направлению получили высокую оценку на конкурсах и научных студенческих конференциях, а также в отзыве академика И.Ф. Образцова, возглавляющего отделение РАН по проблемам машиностроения и процессов управления.*

По тематике управления конструкциями можно указать на такие интересные работы, как «Активные методы регулирования стержневых систем» студентов Бутенко В., Горбунова Г., Шипулина В., которые еще на третьем курсе успешно выступили на международной студенческой научно-исследовательской конференции в 1992 г. в г. Санкт-Петербурге. В 1993 г. они приняли участие в подготовке методических указаний. Заняли призовые места студенческие работы «Регулирование НДС и оптимальное проектирование стержневых систем с использованием ПЭВМ» (Коротков А., Дашко А.), «Результаты мозгового штурма по поиску «разгружающей» подвески груза» (Ясев В., Баранов Р., Алимасов Г.), группа докладов «Регулирование деформирования пластин и идентификация их расчетных схем», сделанный на основе перевода и анализа иностранной литературы доклад «О развитии управляемых конструкций» и др.

По разработке новых пространственных конструкций покрытий в течение более 15 лет целый ряд студентов успешно выполняли научные и проектно-исследовательские работы, заслужившие высокие оценки на Всероссийском уровне, в ряде изобретений. Студенты Лондон С., Солдатенко А., Полякова С., Сергуничева Е. совместно с авторами получили три патента, а Ясев В. и Чарушников Д. заявили изобретения. Работа четверокурсников Файвусович С., Ериной О., Безруковой О., Гришан Н., Осиповой И., Белошапкина Н. получила вторую премию на Всесоюзном конкурсе студенческих работ в 1988 г.; работы Луппы Е., Дряхловой Н. поощрены почетными грамотами и денежными премиями. На основе студенческих работ под руководством авторов сделаны проектные предложения по строительству зданий депо Красноярского метрополитена, международного аэропорта и других объектов с применением разработанных новых большепролетных сталежелезобетонных конструкций с пролетом 48 м. Ряд работ студентов опубликован в местной и центральной печати, в научных сборниках, методических указаниях, использован в практической деятельности.

По расчету и визуализации деформирования конструкций работа студента Юрченко А. отмечена призом на Всероссийском открытом конкурсе.

За последние 5 лет студентами опубликовано более 60 статей и тезисов докладов в сборниках региональных научно-технических конференций.

Многие бывшие студенты в дальнейшем продолжают активно заниматься научной и педагогической деятельностью: Абовская С.Н., Куликов М.Е., Максимов А.В., Сергуничева Е.М., Георгиев С.В., Марышев А.Ю. ныне доценты и ст. преподаватели, д.т.н., проф. Инжутов И.С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Список опубликованных научных трудов, монографий, учебных пособий, патентов и изобретений ^{*)}

Научные монографии, учебные пособия и научные статьи

1.1. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И., Деруга А.П., Гетц И.И. Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости. - М.: Стройиздат, 1993. - 456 с. 3-е издание, переработанное и дополненное. Допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей высших учебных заведений. 1-е внутривузовское издание - Красноярск: КПИ, 1971 (часть 1), 1977 (часть 2). 1-е издание с грифом Минвуза СССР - М.: Стройиздат, 1978. 2-е издание с грифом Минвуза РСФСР - Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 384с.

Abovskiy N.P., Endjievskiy L.V., Cavchenkov V.I., Deruga A.P., Goetz I.I. Structural control end optimization. Selected Exercises for Structural Mechanics and Theory of Elasticity (Перевод с русского под ред. проф. А.П.Деруги), Krasnoarsk, 1999, 428с.

1.2. Абовский Н.П. Управляемые конструкции - САУ НДС. КИСИ, Красноярск, 1995. 125с.

Абовский Н.П., Залялеева Г.А., Палагушкин В.И. Управление конструкциями с использованием механических и аналоговых устройств. КИСИ, Красноярск, 1995, 94с.

Абовский Н.П., Абросимов П.С. и др. Автоматическое управление конструкциями с помощью нейронных сетей. КрасГАСА, Красноярск, 1996, 88 с.

1.3. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1998.

1.4 . Абовская С.Н. Сталежелезобетонные конструкции (панели и здания): Учебное пособие, КрасГАСА-Красноярск, 2001,-460с.

1.5. Нейрокомпьютеры (разработка и применение), специальный тематический номер, посвященный трудам красноярских авторов КрасГАСА -№9, 2001 г.

1.6. Абовский Н.П., Палагушкин В.И. Активное управление колебаниями конструкций. КрасГАСА, Красноярск, 1996, 100 с.

1.7. Абовский Н.П., Деруга А.П., Жуков В.И. и др. Нейросветофоры. Создание интеллектуальных систем управления дорожным движением. КрасГАСА. Красноярск - 2000.

1.8. Абовский Н.П., Деруга А.П., Максимова О.М., Охонин В.А., Смолянинова Л.Г. Нейронные сети и аппроксимация функций, КрасГАСА, Красноярск, 1998, 62 с.

1.9. Абовский Н.П. Управляемые конструкции /монография - учебное пособие с грифом регионального Сибирского УМО, КрасГАСА, Красноярск. 420с.

Abovsky N.P., Energy Principle and its Application in Concerning Controlled Structrolled, Journal of Structural Control., Vol.4, N 2, December 1997.

^{*)} Основные научные труды, монографии, учебные пособия выделены жирным шрифтом.

1.10. Абовский Н.П. Творчество. Системный подход. Законы развития. Принятие решений. СИНТЕГ, Москва, 1998, 312 с. 2-е издание, переработанное и дополненное. 1-е издание – Красноярск: Стройиздат. Красноярское отд. 1992. 293с.

Управление конструкциями

1.11. Абовский Н.П. К развитию управляемых конструкций. Журнал "Известия Вузов. Строительство". N 11, 1994.

1.12. Абовский Н.П. Энергетический принцип и его применение к созданию управляемых конструкций. Журнал "Известия Вузов. Строительство". N 11, 1995.

1.13. Abovskiy N.P. Energy Principle and Its Application to Creation the Controlled Structures. Second world conference on structural control June 28-July 1 Kyoto Japan., 1998,

1.14. Abovskiy N.P. Stress-strain state control of spatial structures. International Colloquium on lightweight structures in Civil Engineering. Warsaw-Poland, 1998.

1.15. Абовский Н.П. Управляемая конструкция как система. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1992.

1.16. Абовский Н.П., Воловик Ю.А., Палагушкин В.И. Современное состояние и перспективы развития систем автоматического управления напряженно-деформированным состоянием конструкций. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1992.

1.17. Абовский Н.П. Развитие управляемых конструкций. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1993.

1.18. Абовский Н.П., Воловик Ю.А., Палагушкин В.И. и др. К проблеме снижения металлоемкости металлорежущих станков. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1993.

1.19. Абовский Н.П., Воловик Ю.А., Палагушкин В.И. и др. Цифровая информационно-измерительная система "СИИТ-3-ПЭВМ". Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1993.

1.20. Абовский Н.П. Об использовании энергетического принципа для создания управляемых конструкций. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

1.21. Абовский Н.П. Взгляд на классическую механику и строительные конструкции с позиции теории систем автоматического управления. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

1.22. Абовский Н.П., Залялеева Г.А., Палагушкин В.И. Разработка системы автоматического управления нагружениями конструкций. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

1.23. Абовский Н.П., Залялеева Г.А., Палагушкин В.И. Система автоматического управления напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

1.24. Доронин С.В. Абовский Н.П. Современное состояние и тенденции развития крановых конструкций. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

1.25. Деруга А.П., Марчук Н.И. Регулирование напряженно-деформированного состояния конструкций на ПЭВМ. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994 г.

1.26. Абовский Н.П. Управляемая конструкция как система. Электронная модель

- "Мозг" системы. Тезисы доклада. Белорусский учредительный съезд по теоретической и прикладной механике "Механика-94", 1994г.

1.27. Абовский Н.П. Управляемые конструкции. Синтез механики и кибернетики. Тезисы доклада на конференцию "Расчетные методы механики деформирования твердого тела" Новосибирск, 1995 г.

1.28. Деруга А.П. О вариационных принципах для нелинейных задач расчета конструкций// Пространственные конструкции в Красноярском крае, 1998

1.29. N.P.Abovsky Energy principle and its application for the creation of controlled structures. Spatial structures in new and renovation projects of building and construction: theory, investigations, design, erection – Proceeding international Congress ICSS-98, June 22-26.1998. Moscow-V.П "Construction" State Research Center of Russia. p. 307-314

1.30. Абовский Н.П., Палагушкин В.И.. Разработка конструкций нового типа с автоматическим управлением напряженно-деформированным состоянием. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1998.

1.31. Abovskiy N.P.. Energy Prinsiple and its application in Conceinting Controlled Structures. Journal of Structural Cjntrol (The Bulleeten of ACS). Vol.4,N2, Desember, 1997.

Нейроуправляемые конструкции и системы

1.32. Абовский Н.П., Смолянинова Л.Г., Ланкин Ю.П. Тезисы доклада на Всероссийском семинаре "Нейроинформатика и ее приложение". Красноярск, 1996г.

1.33. Абовский Н.П., Абросимов П.С., Ланкин Ю.П. САУ нагружением лабораторной конструкции на основе аналогового нейропроцессора. Тезисы докладов на Всероссийском семинаре "Нейроинформатика и ее приложение". Красноярск, 1996г.

1.34. Абовский Н.П. Управляемые конструкции и нейроподобные системы./ сб. Пространственные конструкции в Красноярском крае.//Красноярск,1998.

1.35. Абовский Н.П., Охонин В.А., Смолянинова Л.Г. Принцип привязки архитектуры нейросети к структуре объекта при нейросетевом управлении// Нейроинформатика и ее приложения: доклады V Всероссийского семинара. Красноярск, 1997г.

1.36. Абовский Н.П. Управляемые конструкции и нейроподобные системы.// Нейроинформатика и ее приложения. Тезисы докладов 6 Всероссийского семинара, 2-5 октября 1998, Красноярск, 1998.

1.37. Абовский Н.П., Смолянинова Л.Г., Бабанин В.Б. Нейросетевое управление конструкциями // Известия ВУЗов №7, 1998г.

1.38. Охонин В.А., Смолянинова Л.Г., Деруга А.П., Абовский Н.П. Нейросетевое управление конструкциями и возможности физической реализации уравнений двойственного функционирования//Третий сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике (ИНПРИМ-98): тезисы докладов. Часть 5. Новосибирск. Изд. Института математики СО РАН, 1998г.

1.39. Охонин В.А., Смолянинова Л.Г., Абовский Н.П., Деруга А.П., Вариационная задача нейроуправления и возможности физической реализации уравнений двойственного функционирования// Сборник «Пространственные конструкции в Красноярском крае», Красноярск, 1998г.,с.73-77.

1.40. Абовский Н.П. , Смолянинова Л.Г. Нейроуправляемые конструкции и системы/Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-99», Сборник научных трудов, часть 2, с.132-142 г.Москва, 1999г.

1.41. Абовский Н.П., Деруга А.П., Максимова О.М., Охонин В.О., Смолянинова Л.Г. Нейросетевые задачи в инженерном образовании/ доклад на 5 Всероссийскую

конференцию «Нейрокомпьютеры и их применение», г.Москва, февраль 1999г.

1.42. Абовский Н.П.Охонин В.А., Смолянинова Л.Г. Общая вариационная постановка задачи нейросетевого управления конструкциями/ статья в журнал «Известия ВУЗов», №5, 1999 г (в печати)

1.43. Абовский Н.П., Бабанин В.Б., Смолянинова Л.Г. О нейросетевом управлении конструкциями. Доклады всероссийского семинара "Проблемы оптимального проектирования сооружений". Новосибирск, 1997г.

2. Приложения в строительстве и других областях техники

Патенты, изобретения, публикации по управляемым конструкциям

Управляемые конструкции

2.1.Способ управления строительными конструкциями. Патент РФ№ 2068918.

2.2.Устройство для регулирования механических напряжений в подвесных вантах. Патент РФ № 2053539.

2.3.Способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2073839.

2.4.Сейсмостойкое здание, сооружения. Патент РФ № 2087622.

2.5.Устройство автоматического управления деформирования высокой башни. Патент РФ № 210 58 53.

2.6.Устройство защиты моста от бокового ветра. Патент РФ № 2120515.

2.7.Плотина. Патент РФ № 2090693.

2.8.Кран с системой автоматического управления. Патент РФ № 2090486.

Нейроуправляемые конструкции

2.9.Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки и устройство для его реализации (с помощью нейроконтроллера). Заявка № 97107519. Решение о выдаче патента РФ от 29.04.98.

Автоматическое регулирование дорожного движения с помощью обучаемых нейросветофоров

2.10.Способ нейросетевого координированного управления транспортными потоками в районе регулирования. Заявка № 97117398. Решение о выдаче патента 15.12..98

2.11. Устройство управления светофорным объектом с ЭВМ с нейропрограммами. Заявка N 98124018. Решение о выдаче патента 15..12.98.

2.12. Н.П. Абовский, Л.Г. Смолянинова, А.Л. Щемель Природные и искусственные нейросети, их разработка и применение для управления системами/ доклад на 5 Всероссийскую конференцию «Нейрокомпьютеры и их применение», г. Москва, февраль 1999г.

2.13 Н.П. Абовский, Л.Г. Смолянинова, Управление конструкциями с использованием нейронных сетей. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск. 1998

Контрольно-управляющие приборы (КУПы и НейроКУПы)

2.14.Контрольно-управляющее устройство для управления напряженно-деформированным состоянием неразрезной балки. Патент РФ № 2105959.

2.15. Цифровой нейроконтроллер ЦНК –001.97. КрасГАСА, Красноярск, 1998.

2.16. Абовский Н.П., Бабанин В.Б., Смолянинова Л.Г. Нейросетевые контрольно-управляющие приборы. Нейроинформатика и ее приложение, Тезисы докладов 5-го Всероссийского семинара, Красноярск, 1997.

2.17. Абовский Н.П., Киселев Н.А. О "сознательном" и "подсознательном" управлении конструкциями и устройствах, реализующими эти функции. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1994.

Управление деформированным состоянием рефлектора антенн

2.18. Способ управления деформированием оболочки антенны. Патент РФ № 2041535.

2.19. Способ стабилизации диаграммы направленности антенны. Патент РФ № 2050755.

2.20. Способ визуализации влияния деформации параболической оболочки антенны на волновой фронт и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2069029.

2.21. Абовский Н.П., Максимов А.В. Управление деформированием отражающей поверхности антенны. Труды международной научно-технической конференции. Спутниковые системы связи и навигации, т.2. Красноярск, 1997

2.22. Абовский Н.П. Управление деформированием отражающей поверхности антенн. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1993.

Управление колебаниями

2.23. Абовский Н.П., Палагушкин В.И. Управление колебаниями упругих систем. Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае", Красноярск, 1993.

2.24. Абовский Н.П., Палагушкин В.И. Об основах активного управления колебаниями конструкций. Доклады всероссийского семинара "Проблемы оптимального проектирования сооружений". Новосибирск, 1997г.

Новые пространственные строительные конструкции

2.25. Ячейка покрытия. Патент РФ 2067644.

2.26. Панель покрытия. Патент РФ N 2087641.

2.27. Строительный элемент. Патент РФ N 2039176. .

2.28. Преднапряженная панель покрытия. Патент РФ N 2117117.

2.29. Серия 1.065.9.1 "Сталежелезобетонные панели покрытия размерами 3x18 и 3x24 м." Разработчики: КрасГАСА-"КрасноярскГражданпроект", Выш.0-4

2.30. Abovskij N.P., Abovskaja S.N. Montovane spriamute acelobetovone priestorone konstrucsie z unifikovanych. "Pozeinm stavby". N 4. 1987. p. 178-179. Bratislava.

2.31. Абовская С.Н. Большепролетные пространственные сталежелезобетонные конструкции покрытия// Материалы III конф. Российской ассоциации "Пространственные конструкции" (JASC). М., 1996 г.

2.32. Абовская С.Н. Новые пространственные сталежелезобетонные конструкции покрытия. -Красноярск: Стройиздат. Красноярск, отд., 1992.-240 с.

2.33. Абовская С.Н., Егикян Н.Б. Практическая оптимизация большепролетных конструкций покрытия из комбинированных материалов// Материалы всероссийского семинара "Проблемы оптимального проектирования сооружений". Новосибирск, 1997 г.

2.34. Абовский Н.П., Абовская С.Н. Достижения науки и техники - развитию Красноярска. Альтернативный проект строительства депо Красноярского метрополитена//Материалы науч.-практ. конф. «Сибресурс-3-97» от 22-24 окт.1997 г/Подред. П.И.Пимашкова. Красноярск, 1997.

2.35. Абовский Н.П., Абовская С.Н. Достижения науки и техники-развитию Красноярска. Торговый центр и рыночные павильоны //Материалы науч.-практ. Конф: «Сибресурс-3-97» от 22-24 окт.1997 г/ Под ред. П.И.Пимашкова. Красноярск, 1997

2.36. Абовский Н.П., Абовская С.Н, Егикян Н.Б. Достижения науки и техники - развитию Красноярска. Доп. к сер. 1.065.9-1//Материалы науч.-практ. конф. «Сибресурс-3-97» от 22-24 окт.1997 г/ Под ред. П.И.Пимашкова. Красноярск, 1997

2.37. S.N.Abovskaaya. Space large steel-reinforced concrete roofs structures. JCSS-98, . JCSS-98, Moscow. 1998 Spatial structures in new and renovation projects of building and construction: theory, investigations, design, erection - Proceeding international Congress ICSS-98, June 22-26.1998. Moscow-V.11 "Construction" State Research Center of Russia, p. 589-595

2.38. Абовская С.Н., Егикян Н.Б. Эффективные сталежелезобетонные конструкции для покрытий большепролетных зданий в г.Красноярске// Сборник научных трудов «Пространственные конструкции в Красноярском крае», 1998

2.39. L.V.Endzhiievsky, L.S.Inzhutov, P.A.Dmitriev. Wooden spatial structures in Siberia. . JCSS-98, Moscow. 1998 Spatial structures in new and renovation projects of building and construction: theory, investigations, design, erection - Proceeding international Congress ICSS-98, June 22-26.1998. Moscow-V.II "Construction" State Research Center of Russia, p. 581-588

2.40. Абовская С.Н., Ясев В.А., Егикян Н.Б.. Преднапряженная панель покрытия. //Сборник научных трудов «Пространственные конструкции в Красноярском крае», 1998.

2.41. Абовская С.Н, Ясев В.А.. Методика проектирования сталежелезобетонных панелей покрытия. //Сборник научных трудов «Пространственные конструкции в Красноярском крае», 1998

2.42. Абовская С.Н., Егикян Н.Б., Черношейкин Б.И., Составные большепролетные и консольно-балочные сталежелезобетонные панели покрытия. //Сборник научных трудов «Пространственные конструкции в Красноярском крае», 1998.

2.43. Абовская С.Н., Егикян Н.Б., Ясев В.А., Черношейкин Б.Н. Эффективные сталежелезобетонные конструкции для покрытий большепролетных зданий в г.Красноярске и крае// Сборник научных трудов под ред. проф. В.В.Стацеры. Красноярск, 1998.

2.44. Проектирование сталежелезобетонных конструкций: Методические указания к курсовым и дипломным проектам; Сост. С.Н. Абовская, О.П. Медведева, Н.Б. Егикян/ КИСИ. Красноярск, 1996.

2.45. Абовская С.Н., Егикян Н.Б.. Пространственные сталежелезобетонные панели покрытия. Учебное пособие. КрасГАСА. 1998

2.46. Абовская С.Н., Ясев В.А. Методика проектирования преднапряженных сталежелезобетонных панелей покрытия» Сб. докладов 11-го Всероссийского семинара: Новосибирск, НГАС. 1998.

2.47. Abovskaaya. S.N. Space Large-Span Steel-Reinforced Concrete Structures of Roofs. Polish Chapter of Association for Shell and Spatial Structures. LSCE, Warszawa. Poland. 1998

2.48. Енджиевский Л.В., Григорьев С.В., Новиков О.Ф. Пространственные конструкции на основе пространственных листов из металла и полимерных материалов. Сб. докладов Международного симпозиума «Современные строительные конструкции из металла и древесины» Одесса 1997, 47-52с.

2.49. Енджиевский Л. В., Григорьев С.В., Новиков О.Ф. Пространственные блоки покрытия из металлического профилированного листа. Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных и пластмассовых конструкций» Самарская Государственная Архитектурно-строительная академия. Самара 1996, 15-17с.

3. Научно-образовательные проблемы и разработки

Учебный класс действующих управляемых моделей конструкций

Патенты и изобретения

3.1. Учебная установка для лабораторных работ по сопротивлению материалов и строительной механике. Патент РФ 1720065.

3.2. Учебная установка для проведения лабораторных работ по строительной механике. Патент РФ 1730657. .

3.3. Учебный прибор по сопротивлению материалов. Патент РФ 1795505.

3.4. Учебный прибор по сопротивлению материалов и строительной механике. Патент РФ 2010345.

3.5. Учебная установка для проведения лабораторных работ по теории упругости. Патент РФ 2012063.

3.6. Учебная модель здания. Патент РФ № 2087944.

3.7. Конструктор пространственных ферм. Заявка на изобретение № 96118545, получено решение о выдаче патента от 25.09.98 г.

3.8. Игра-тренажер. Патент РФ 2041727.

Оригинальный лабораторный практикум

3.9. Регулирование конструкций. Лабораторная работа по строительной механике и теории упругости. Части 1,2. КИСИ.-Красноярск, 1988 г.

3.10. Регулирование конструкций. Лабораторный практикум по строительной механике. КИСИ, Красноярск, 1993. 54с.

3.11. Регулирование напряженного состояния многопролетной статически определимой балки (лабораторная работа N 1).

3.12. Регулирование поперечного изгиба многопролетных неразрезных балок (лабораторная работа N 2).

3.13. Регулирование усилий в шпренгельной балке (лабораторная работа N3).

3.14. Регулирование устойчивости двухпролетного стержня изменением поло-

жения промежуточной опоры (лабораторная работа N 4).

3.15. Регулирование свободных колебаний статически определимой балки изменением величины и положения сосредоточенных масс (лабораторная работа N 5).

3.16. Идентификация параметров расчетной схемы пластины. Методические указания к лабораторной работе. КИСИ.-Красноярск, 1992 (лабораторная работа N 6).

Нетрадиционный курс “Управляемые конструкции”

и его учебно-методическое обеспечение

3.17. Рабочий план нетрадиционного курса “Управляемые конструкции”.

3.18. Учебный класс управляемых моделей конструкций. КрасГАСА, Красноярск, 1997.

3.19. Визуализация лабораторных работ в учебном классе управляемых моделей конструкций. КрасГАСА, Красноярск, 1996.

3.20. Регулирование конструкций. Лабораторные работы по строительной механике и теории упругости. КИСИ, Красноярск. Части 1, 2, 1988.

3.21. Регулирование изгиба тонких пластин. Методические указания к лабораторной работе по теории упругости для студентов специальностей 2903, 2910. КИСИ.-Красноярск, 1994.

3.22. Марчук Н.И. Расчет статически определимых стержневых систем с элементами регулирования их напряженно-деформированного состояния. КрасГАСА, Красноярск, 1996.

3.23. Программа REGYL. Регулирование напряженно-деформированного состояния непологих анизотропных ребристых оболочек. Руководство по составлению исходной информации к расчетам. КрасГАСА, Красноярск, 1996.

3.24. Идентификация параметров расчетной схемы пластины. Методические указания к лабораторной работе. КИСИ, Красноярск, 1992.

3.25. Портативный учебный прибор “Конструктор плоских ферм” (изготовлен по заказу Росучприбор). Рекламный проспект. КрасГАСА, Красноярск, 1996.

3.26. Программа OST. Статический расчет ребристых анизотропных оболочечно-стержневых панелей. Руководство по составлению исходной информации к расчетам. КИСИ, 1995.

3.27. Абовский Н.П., Деруга А.П., Гетц И.И., Савченков В.И., Марчук Н.И., Воловик Ю.А., Трушников Л.В. Система повышения качества и активизации обучения расчетно-конструкторским дисциплинам. Сборник научных трудов “Пространственные конструкции в Красноярском крае”, Красноярск, 1991.

3.28. Абовский Н.П. Нетрадиционный междисциплинарный курс “Управление конструкциями”. Тезисы докладов региональной межвузовской научно-методической конференции “Проблемы высшего образования на пороге XXI века”. Красноярск, 1997г.

3.29. Абовский Н.П., Деруга А.П. Новый тип учебных заданий. Тезисы докладов региональной межвузовской научно-методической конференции “Проблемы высшего образования на пороге XXI века”. Красноярск, 1997г.

3.30. Абовский Н.П., Гетц И.И. Факультативный курс “Принятие инженерных решений”. Тезисы докладов региональной межвузовской научно-методической конференции “Проблемы высшего образования на пороге XXI века”. Красноярск, 1997г.

3.31. Савченков В.И. Нетрадиционный курс управляемых конструкций. Сборник научных трудов “Пространственные конструкции в Красноярском крае”, Красноярск, 1994 г.

3.32. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И. и др. Активное управление конструкциями. Проблемы обучения. Тезисы доклада на II Белорусском конгрессе по теоретической и прикладной механике "Механика –99"

3.33. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И. и др. "Научно-образовательный комплекс "Управляемые конструкции" Сборник научных трудов "Пространственные конструкции в Красноярском крае". Красноярск, 1998 г.

3.34. N.P.Abovskiy, A.P.Deruga, L.V.Endjiyevski, I.I.Goetz, V.I.Savchenkov. Active Control Structures Educational Problems. Second world conference on structural control. Kyoto, Japan. 1998

Компьютерные программы

3.35. Компьютерные программные разработки. КрасГАСА, Красноярск, 1998, 4 с. Перечень программ:

-Расчет оболочечно-стержневых панелей из анизотропного материала (OST); расчет плоских стержневых систем (ASTRA); решение задач линейного программирования (LMIC); регулирование напряженно-деформированного состояния плоских стержневых систем (REGYSS); динамический расчет и регулирование колебаний плоских стержневых конструкций (KOLEB); графический интерфейс по визуализации НДС оболочечно-стержневых конструкций. (GRAF OST); расчет пластин на изгиб из изотропного или ортотропного материала (PLITA, ANSWER); регулирование усилий в прямоугольной пластине из изотропного и ортотропного материала (REGYL-PL); идентификация параметров расчетной схемы оболочек из изотропного или ортотропного материала (RITM); решение систем линейных алгебраических уравнений и задач о собственных значениях и собственных векторных матриц (SYS, RSU, JORDAN, GAUSG).

Альбомы

3.36. Автоматическое управление конструкциями. Красноярск, 1996.

3.37. Система повышения качества обучения на кафедре строительной механики. Красноярск, 1992.

4. Дополнительный список научных работ, публикаций, тезисов докладов, патентов, заявок на изобретения с 1999-2001 г.

Управление конструкциями

4.1. Енджиевский Л.В., Абовский Н.П., Савченков В.И., Деруга А.П., Марчук Н.И., Палагушкин В.И., Максимова О.М., Куликов М.Е., Максимов А.В., Сергуничева Е.М., Стерехова Г.А. Научно-образовательный комплекс «Региональные конструкции и интеллектуальные управляемые системы» / материалы третьей всероссийской научно-практич. конф. с международным участием и выставка «Достижения науки и техники – развитию Сибирских регионов», Красноярск, 6-7 июня 2001 г., Ч.2, с.27-29.

4.2. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И., Марчук Н.И., Максимова О.М., Палагушкин В.И., Сергуничева Е.М., Куликов М.Е., Стерехова Г.А., Белобородова Т.В., Максимов А.В., Деруга А.П. Управляемые конструкции и системы Сборник материалов XIX Региональной научно-технической конференции. Красноярск,-КрасГАСА. 20 апреля 2001г. с. 41-43.

Нейроуправляемые конструкции. Нейросетевые подходы в задачах строительной механики и оптимизации конструкции

4.3. Абовский Н.П. Основные направления и предпосылки развития нейросетевых подходов к задачам строительной механики, к управлению конструкциями и другими сетевыми системами/ научно-технический журнал Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, № 9, 2001 г. с.3-9.

4.4. Абовский Н.П., Максимова О.М. Системный подход к нейросетевому моделированию / научно-технический журнал Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, № 9, 2001 г. с.9-14.

4.5. Деруга А.П., Абовский Н.П., Максимова О.М., Белобородова Т.В. Постановки и алгоритмы решения оптимизационных задач строительной механики с использованием нейросетевых моделей/ научно-технический журнал Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, № 9, 2001 г. с.31-39.

4.6. Смолянинова Л.Г., Абовский Н.П., Бабанин В.Б., Светашков П.А. Нейроуправляемые конструкции. Учет свойств реального объекта/ научно-технический журнал Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, № 9, 2001 г. с.31-39.

4.7. Деруга А.П., Абовский Н.П., Светашков П.А. Нейросветофоры: гибкое управление дорожным движением с помощью нейросетевых моделей/. научно-технический журнал Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, № 9, 2001 г. с.50-59.

4.8. Абовский Н.П., Светашков П.А. Комплексная программа снижения загазованности, экономии горючего и ускорения перевозок путем внедрения гибкого светофорного регулирования/ Материалы третьей Всероссийской научно-практич. Конф. С международным участием и выставка «Достижения науки и техники – развитию Сибирских регионов», Красноярск, 6-7 июня 2001 г. , Ч.1, с.155-157.

4.9. Патент № 2169946 Нейросетевой способ межрайонного координированного управления транспортными потоками/Абовский Н.П., Бабанин В.Б., Смолянинова Л.Г., Жуков В.И.

Новые пространственные строительные конструкции. Патенты и заявки на изобретение

4.10. Абовская С.Н. Новые пространственные сталежелезобетонные конструкции покрытия//Красноярск: Стройиздат, 1992. - 238 с.

4.11. Абовская С.Н. Сталежелезобетонные конструкции (панели и здания). Учебное пособие для строительных вузов; под редакцией проф. Наделяева В.Д. //КрасГАСА, 2001.-560с.

4.12. Патент №2039176. РФ МКИ 6 E04C. Строительный элемент/Абовская С.Н., Медведева О.П. и др. Заявл. 29.03.93. Опубл. 9.07.95. Бюл. № 19.

4.13. Патент РФ № 2087641 МКИ 6 E04C Панель покрытия /Абовская С.Н., Сергуничева Е.М. и др. Заявл. 30.04.93. Опубл. 20.08.97. Бюлл. №23.

4.14. Abovskaya S.N., Egikyan N.B., Sergunicheva E.M. Steelreinforced Concrete Unified Elements for Prefabricated Fullassembltd Large Span Buildings JASS 2001, International Symposium on theory? Design and Realization of Shell and Spatial Structures, Japan, Nagjya,-2001,h/302-303.

4.15. Енджиевский Л.В., Инжутов И.С., Дмитриев П.А. Принципы и примеры создания комбинированных блок-ферм на основе древесины для покрытий зданий //Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. докл. междунар. симп. – Одесса, 1995. – С. 101-105.

4.16. Енджиевский Л.В., Инжутов И.С. Испытания натуральных образцов трехгранных деревометаллических блок-ферм покрытий //Известия вузов. Строительство и архитектура. 1994, - № 3. – С. 14-18.

4.17.. L.V.Endzhievsky, I.S.Inzhutov, P.A.Dmitriev. Wooden spatial structures in Siberia. Spatial structures in new and renovation projects of building and construction: theory, investigations, design, erection – Proceeding international Congress ICSS-98, June 22-26. 1998. Moscow-V.П «Construction» State Research Center of Russia. p. 581-588.

4.18. Енджиевский Л.В., Дмитриев П.А., Инжутов И.С., Дмитриев П.П. Безраскосная деревометаллическая блок-ферма покрытия пролетом 12 м //Информ. листок № 719-95 /ЦНТИ. Красноярск, 1995.

4.19. Патент РФ № 2102566 на изобретение. Узловое соединение стержней /И.С.Инжутов, Л.В.Енджиевский, П.П.Дмитриев, З.Л.Енджиевский; Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 20.01.98.

4.20. Патент РФ № 2101431 на изобретение. Блок-ферма покрытия /И.С.Инжутов, Л.В.Енджиевский, П.П.Дмитриев, З.Л.Енджиевский; Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 10.01.98.

4.21. Енджиевский Л.В., Григорьев С.В., Григорьев В.П. Пространственные конструкции из профилированного листа //Изв. Вузов Строительствово и архитектура № 11, 1996. с. 22-27

4.22. Енджиевский Л.В., Марышев А.Ю. Двухпоясная арочная конструкция из профилированных листов //Сб.науч. тр. «Современные строительные конструкции из металла и древесины», Одесса, ОГАСА, 1999. с. 66-72.

4.23. Патент РФ № 2163283. Пространственная плита покрытия /Григорьев С.В., Григорьев В.П., Енджиевский Л.В., Марышев А.Ю, Новиков О.Ф. Оpubл. 20.02.2001. Бюл. № 5.