

УПРАВЛЯТЬ КОНСТРУКЦИЯМИ – АКТИВНАЯ ЗАДАЧА ТВОРЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

TO OPERATE DESIGNS – THE ACTIVE PROBLEM OF CREATIVE EDUCATION

*д.т.н., проф. Абовский Н.П. (Инженерно-строительный институт
Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*д.т.н., проф. Енджиевский Л.В. (Инженерно-строительный
институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*д.т.н., проф. Инжухов И.С. (Инженерно-строительный институт
Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*к.т.н., доцент Деордиев С.В. (Инженерно-строительный институт
Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*к.т.н., доцент Палагушкин В.И. (Инженерно-строительный
институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*к.т.н., доцент Марчук Н.И. (Инженерно-строительный институт
Сибирского федерального университета, г. Красноярск)*

*Dr. Sc. in Engineering, Professor Abovskiy N.P. (Construction institute of
the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

*Dr. Sc. in Engineering, Professor Endzhiyevsky L.V. (Construction institute
of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

*Dr. Sc. in Engineering, Professor Inzhutov I.S. (Construction institute of
the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

*D.S.in Engineering, Assoc. Prof. Deordiyev S. V. (Construction institute of
the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

*D.S.in Engineering, Assoc. Prof. Palaguskin B. I. (Construction institute of
the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

*D.S.in Engineering, Assoc. Prof. Marshyk N. I. (Construction institute of
the Siberian Federal University, Krasnoyarsk)*

Аннотация

В докладе излагаются основные положения по разработке и созданию конструкций нового поколения – управляемых конструкций.

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.

Известно, что фундаментальной основой образования инженера-конструктора является наука о деформируемом твердом теле, курсы строительной механики, сопротивления материалов, теории упругости и пластичности целый ряд конструкторских дисциплин, без знания которых нельзя обойтись для создания эффективных сооружений в разных областях техники.

В традиционной учебной литературе и в Государственном образовательном стандарте по направлению 270800 «Строительство» основное внимание уделено **анализу** моделей конструкций и **поверочным расчетам заранее заданных схем** сооружений. Не отрицая необходимости и важности анализа, следует отметить его образовательное несовершенство, которое ограничивает созидательные возможности инженера, отводя ему пассивную роль. **Активная позиция раскрывается в умении подчинить конструкцию (или принимаемое решение) желаемому функционированию и конечному результату.** Для этого еще в 1971 году авторами было создано первое внутривузовское учебное пособие «Избранные задачи по строительной механике и теории упругости», которое член-корреспондент АН СССР И.М. Рабинович определил как: «Первая попытка практически ввести в учебный процесс задачи регулирования, синтеза и оптимизации». В дальнейшем в расширенном и дополненном виде пособие трижды (1978, 1985, 1993 гг.) переиздавалось в «Стройиздате» в Москве с **грифом Госкомобразования СССР**, в том числе **английский перевод** третьего издания. За данной книгой прочно закрепилась характеристика «**Учебное пособие нового типа**», которую дал еще первый рецензент, известный автор учебников по строительной механике, профессор В.Г. Рекач.

Целью является развитие у будущих специалистов умения активно влиять на проект сооружения, подчиняя его желаемым требованиям. Дальнейшее развитие этих идей привело к переосмыслению закономерностей и направлений развития конструкций и формированию нового фундаментального междисциплинарного научного направления, связанного с управлением напряженно-деформированным состоянием конструкций на всех стадиях их развития: от создания, эксплуатации и до разрушения, что нашло отражение в учебном пособии [1,2].

В традиционных конструкциях, используемых в строительстве и многих других областях техники, лишь учитывают и нормируют их деформируемость, т.е. стремятся преодолеть ее негативные последствия. Процессом деформирования конструкций на разных

стадиях функционирования, как правило, не управляют. Переход к управлению деформированием конструкций на современном этапе открыл новые возможности для инженерного конструирования и достижения новых эффектов.

Управляемые конструкции - это конструкции нового класса, представляющие собой деформируемые системы с переменными управляемыми параметрами. Управление деформированием и перестройкой конструкции **может осуществляться** в ручном режиме или **с применением управляющего модуля в цифровом**, аналоговом, нейросетевом или механическом вариантах, **измерительной аппаратуры** и исполнительных устройств (актуаторов), реализующих прямую и обратную связи с управляемой конструкцией. **В целом - это система автоматического управления напряжённо-деформированным состоянием (САУ НДС)** (рис.1).

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.

Обучение управляемым конструкциям 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.

Активный подход к обучению будущего специалиста – это та принципиальная основа, на которой должна строиться вся методика преподавания расчетно-конструкторских дисциплин. Обучение не ограничивается анализом изучаемой проблемы, а предусматривает последующую постановку и решение задачи регулирования,

оптимизации и управления (рис. 1.), используя численные и физические эксперименты на управляемых моделях строительных конструкций и сооружений. Базой для этого служат учебные пособия и задания нового типа (рис. 2), учебный класс управляемых моделей (рис. 3), обучение системному подходу, изобретательству и творчеству.

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 конструктора. Классические учебные пособия по строительной механике и конструкциям, к сожалению, не содержат проблем управления конструкциями. Такая ограниченность неизбежно ведет к отставанию в этом перспективном направлении.

Современной междисциплинарной базой для обучения управлению конструкциями является синтез таких наук, как строительная механика и конструкции, информатика, вычислительная математика, электроника, кибернетика, физический эксперимент, измерительная техника, теория и средства управления.

Управление конструкциями (см. рис. 1) **представляет собой новую методологию активного обучения** расчетно-конструкторским дисциплинам, основанную на **сочетании традиционного обучения с идеями активного управления напряженно-деформированным состоянием конструкций**, приближая конструкции к разновидности интеллектуальных систем. Обучение строится на взаимосвязи теоретических положений, численного эксперимента на базе компьютерной техники и физического эксперимента. Действующие учебники ограничены лишь применением компьютеров для расчетов и совершенно опускают необходимость физического эксперимента, а также активного управления, в том числе с применением компьютеров. Эксперимент необходим инженеру, как и компьютерное моделирование. При этом важными моментами является умение выбрать расчетную схему, активно поставить задачу управления НДС конструкций и оценить полученные результаты.

Для этого **разработаны:**

- **основы теории управляемых конструкций**, содержащие принципы их создания и функционирования, новые способы и устройства управления, функциональные схемы, включая современные нейросетевые программы и устройства (рис.1) [1];

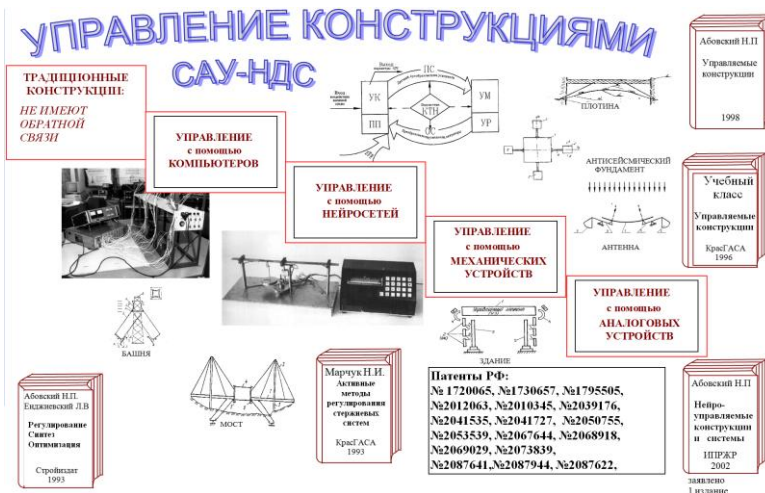


Рис. 1. Управление конструкциями

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ НДС В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ

АНАЛИЗ
 $M_{max} = M_{min} = M_1 = M_2$

Задача синтеза
НАЙТИ положение опоры и шарниров D и E, при которых $M_{1max} = M_{2max} = |M_1| = |M_2|$

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

АНАЛИЗ
 $M_{пр} \neq |M_{оп}|$

Задача синтеза
СМЕЩЕНИЕм Δ средней опоры добиться равенства $M_{пр} = |M_{оп}|$

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

АНАЛИЗ
 $S_{max}^p = M_{max}^p \cdot h$

Задача синтеза
ОПРЕДЕЛИТЬ величину нагрузки P при которой S_{max} изменится на 20%

РЕЗУЛЬТАТ: при $P = 0,025 \frac{E \cdot S_{max}}{h}$
 $S_{max} = 0,8 S_{max}^p$

АНАЛИЗ
 $M_{пр} \neq |M_{оп}|$

Задача синтеза
ПУТЬем изменения тригонометрического элемента на величину Δ добиться равенства $M_{пр} = |M_{оп}|$

РЕЗУЛЬТАТ: при $\Delta = -11,152q \cdot EJ$
 $M_{пр} = |M_{оп}|$

— Исходный вариант (расчет и анализ)
— Результат

Рис. 2. Примеры заданий нового типа

Учебный класс управляемых моделей конструкций

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА ПЛИТЫ

Классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в поперечном сечении плиты при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в поперечном сечении плиты при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в поперечном сечении плиты при изменении нагрузки.



классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ РАМЫ

$P(\omega) = \frac{P_0}{\sqrt{1 - \omega^2}}$

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется амплитуда колебаний рамы при изменении частоты нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется амплитуда колебаний рамы при изменении частоты нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется амплитуда колебаний рамы при изменении частоты нагрузки.

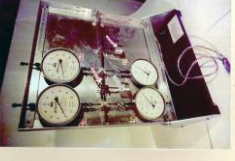


РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОПРЕЛЕТНОЙ БАЛКИ

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется напряженное состояние многопролетной балки при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется напряженное состояние многопролетной балки при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется напряженное состояние многопролетной балки при изменении нагрузки.



классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в неразрезной балке при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в неразрезной балке при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется распределение моментов в неразрезной балке при изменении нагрузки.



классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

$P_{кр} = 20.17 \frac{EJ}{L^2}$

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется устойчивость центрально-сжатого стержня при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется устойчивость центрально-сжатого стержня при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяется устойчивость центрально-сжатого стержня при изменении нагрузки.



классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В ШПРЕНГЕЛЬНОЙ БАЛКЕ

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяются усилия в шпренгелльной балке при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяются усилия в шпренгелльной балке при изменении нагрузки.

ЦЕЛЬ: исследовать, как изменяются усилия в шпренгелльной балке при изменении нагрузки.



классический вариант
— классический вариант
— классический вариант

Рис. 3. Учебный класс управляемых моделей конструкций

- **новый тип учебных заданий, состоящий из двух частей: анализа (часть 1) и синтеза (часть 2)** (см. рис.2). Такая постановка позволяет активно обучать не только типовым решениям, но и развивать индивидуальные творческие способности студентов [1];

- **оригинальный учебный класс действующих управляемых моделей конструкций** (рис. 3), **не имеющий аналогов, и новый уникальный лабораторный практикум для нетрадиционного курса «Управляемые конструкции», с визуализацией деформирования конструкций с помощью механических** (например, портативного конструктора ферм, созданного по Российской программе Росучприбора «Учебная техника»), новизна которых подтверждена 11 патентами авторов. Учебный класс предназначен для проведения комплекса лабораторных работ на созданных моделях различного типа конструкций, в том числе автоматически управляемых. Для автоматического управления используются управляющие модули: ПЭВМ, созданный контрольно-управляющий прибор, контроллер с нейросетевой программой и др.

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 и широко используемое универсальных расчетных программного комплекса (SCAD и др. Используя лабораторную базу, студенты вместе с преподавателями разрабатывают конструкции нового класса – управляемые конструкции-роботы.

На базе данного лабораторного комплекса в 1985 г. приказом Министерства образования Российской Федерации создана лаборатория «Управляемые конструкции», преобразованная в 1994 г. в межвузовскую (КГТУ-КрасГАСА) лабораторию, пока единственную в России, занимающуюся разработкой данной проблемы. В ней проводится лабораторный практикум, органично синтезирующий физический и теоретический (численный) эксперименты по управлению конструкциями.

Лаборатория выполнила ряд приоритетных научно-учебных разработок, ее работы получили международное признание. Ряд работ выполнялся в рамках программы Министерства науки "Новые технологии для управления и развития региона"; программ Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации "Вузовская наука регионам" и "Архитектура и строительство", научно-технической программы Министерства

образования РФ «Конкурсная поддержка ведущих педагогических коллективов», межотраслевой программы сотрудничества Министерства образования РФ и Федеральной службы специального строительства РФ (разд.1., подразд. 1.2. 2002 г.); выполнен научно-методический проект «Развитие и применение в СФУ творческой инновационной составляющей в образовании и научно-инновационной деятельности»; грант СФУ на разработку инновационно-образовательной программы «Подготовка магистров на основе развития междисциплинарного научно-образовательного инновационного комплекса «Управляемые конструкции и системы». (руководитель Абовский Н.П.)

Новизна, приоритет и важность выполненных работ авторов признаны более чем в 60 патентах и изобретениях и охватывают не только учебные модели, но и конструкции в строительстве, гидротехнике и радиотехнике и других областях.

Нетрадиционный междисциплинарный курс «Управляемые конструкции» [1] базируется на вышеперечисленных научно-практических разработках и новых принципах создания управляемых конструкций. При поддержке Красноярского краевого фонда науки нетрадиционный учебный курс был введен авторами в учебный план подготовки инженеров-строителей в СФУ.

Данный курс позволил преодолеть психологический сложившийся стереотип пассивного отношения к строительным конструкциям как к неуправляемым в процессе эксплуатации системам. Раскрытие возможности влиять на НДС конструкции способствует выработке у студентов активного инженерного мышления.

Результаты обучения проявляются не только в учебных, но и в инженерных разработках действующих моделей управляемых конструкций для создания реальных управляемых конструкций, а также в изобретениях и научно-практическом творчестве.

Более 2500 студентов прошли обучение в Инженерно-строительном институте СФУ, изучая нетрадиционный курс «Управляемые конструкции», выполняя физические и компьютерные эксперименты и обучаясь по заданиям нового типа.

Вопросы управления и оптимизации напряженно-деформированного состояния конструкций, изучаемые в рамках нетрадиционного курса "Управляемые конструкции", а затем спецкурсов, содержат богатый материал для исследовательской

деятельности студентов и формирования творческой личности инженеров.

Академик РАН И.Ф. Образцов, возглавлявший в РАН отделение механики и процессов управления, указал: *“Коллективу авторов этих работ принадлежит несомненный приоритет в области создания управляемых строительных конструкций и гражданских сооружений. Разработанные коллективом принципы, методики и устройства для управления конструкциями являются оригинальными, выполнены на высоком уровне и отражены в большом количестве научных статей, монографий, учебно-методических пособий, лабораторных работ и изобретений”* (1999).

Созданный учебно-образовательный и лабораторный комплекс получил применение в ряде вузов строительного и машиностроительного профилей России и стран СНГ (Новосибирск, Ереван и др.).

РААСН наградила в 2002 г., 2004 г. авторов дипломами за достигнутые успехи, а в 2008 г. медалью РААСН за победу в конкурсе на лучшие научные и творческие работы в области архитектуры, градостроительства и строительных наук.

Идеи активного управления конструкциями, творческие подходы к созданию и обучению являются основой для инженерной педагогики текущего столетия.

Список литературы

1. Абовский, Н.П. Управляемые конструкции: учебн. пособие. /Н.П. Абовский. Красноярск: КрасГАСА.- 1998.- 433 с.
2. Современные аспекты активного обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управление строительными конструкциями: учебное пособие с грифом УМО вузов РФ по образованию в области строительства; 3-у изд. перераб. и дополн. под ред. Н.П. Абовского. / Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков, А.П. Деруга, Н.И. Марчук, Г.А. Стерехова, В.И. Палагушкин, Н.П. Андреев, П.А. Светашков, О.М. Максимова.- Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2008. - 407 с.