

УДК 658.51: 624.04

Волков А.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: volkov@mgsu.ru

Московский государственный строительный университет

Вагапов Р.Ф. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: niistroy@mail.ru

ГУП институт «БашНИИстрой», Уфа

КОНСТРУКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ: ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АННОТАЦИЯ

В обычной практике проектирования интеллектуальных зданий превалирует автоматизация инженерных систем объекта. В настоящей статье рассмотрена возможность сохранения конструктивной безопасности зданий и сооружений посредством управляемых строительных конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конструктивная безопасность, системы автоматизированного проектирования, управляемые конструкции.

Volkov A.A. – doctor of technical sciences, professor

Moscow State Construction University

Vagapov R.F. – candidate of technical sciences, associate professor

Scientific-Research Institute «BashNIISTroy», Ufa

CONSTRUCTIVE SAFETY OF STRUCTURES: ELEMENTS OF CONTROLLED CONSTRUCTIONS

ABSTRACT

In general practice of the intellectual buildings design the automation of the project engineering systems is prevailed. The given paper presents the possibility of buildings and structures constructive safety maintaining with the controlled constructions.

KEYWORDS: constructive safety, automated design systems, controlled constructions.

Рассмотрим некоторые аспекты нового для прикладной области инженерной практики «интеллектуальных» зданий в целом направления автоматизации в современном строительстве – т.н. «управляемых конструкций». Отдавая себе отчет в том, что многие из изложенных идей далеки от практического воплощения, мы считаем необходимым и полезным обратить теперь внимание специалистов и на эту, совсем еще новую грань «интеллекта» зданий, имеющую хорошие перспективы для практического внедрения в недалеком будущем.

Управление конструктивной безопасностью сооружений – одно из самых важных и актуальных направлений в рамках концепции гомеостата строительных объектов [3-8] – фундаментальной основы проектирования и создания «интеллектуальных» зданий, сооружений и комплексов. До последнего времени задачи в подобной формулировке представлялись сложными не только в части поиска приемлемых решений, но и в части адекватной постановки задачи. В этом смысле решение классических задач строительной механики приобретает качественно новое развитие, связанное, прежде всего, с возможностью проектирования и реализации систем, динамически изменяющих характеристики конструкций, в зависимости от условий внешних сред. Профессор Н.П. Абовский, автор идеи, которую нам хотелось бы донести теперь до читателя, отмечает, что «...системы интеллектуального управления конструкциями – это современные проблемы. Передовая современная научная и инженерная мысль ведет к синтезу механики и кибернетики, к созданию автоматически управляемых конструкций. Уже нельзя ограничиться классическими задачами строительной механики конструкций...» [1]. К схожим выводам приходят сегодня ученые и специалисты, так или иначе причастные к решению задач как управления, так и строительной

механики. Например, профессор Г.В. Васильков отмечает, что «...анализ исторического развития физики и механики показывает, что все обратимые физические явления можно описать вариационными принципами, т.е. уравнения движения таких систем вытекают из утверждения о том, что для действительных процессов некоторые функционалы принимают стационарные значения. Таким образом, наряду с законами сохранения и эвристическими принципами энергетического смещения системы, большую роль количественного описания природных явлений играют вариационные принципы... Самоорганизующиеся, саморегулирующиеся системы с изменяемой структурой требуют иных подходов при выявлении рациональных параметров системы...» [2].

В этом смысле, наиболее перспективными представляются задачи управления напряженно-деформируемым состоянием [1]:

- задачи управления прочностью;
- задачи управления жесткостью;
- задачи управления устойчивостью;
- задачи управления колебаниями;
- технологические задачи управления;
- задачи обеспечения геометрической стабильности формы конструкций;
- задачи управления с целью исключения аварийных ситуаций.

В традиционных конструкциях, используемых во многих областях техники, сегодня учитывается и нормируется лишь их деформируемость, т.е. инженерная практика направлена на преодоление ее негативных последствий. Управление процессом деформирования конструкций на разных стадиях эксплуатации отсутствует. Переход к управлению деформированием конструкций открывает новые возможности для инженерного конструирования.

Управляемые конструкции – это конструкции нового класса, представляющие собой деформируемые системы с переменными управляемыми параметрами. Управление деформированием и перестройкой конструкции осуществляется с применением управляющего модуля в цифровом, аналоговом или механическом варианте, измерительной аппаратуры и исполнительных устройств (актуаторов), реализующих прямую и обратную связи с управляемой конструкцией. В целом – это система автоматического управления напряженно-деформированным состоянием (САУ НДС) [1].

Управляемые конструкции создаются на стыке механики деформируемого твердого тела с общей теорией управления, кибернетикой, робототехникой, электротехникой, вычислительной математикой, численными методами решения задач математической физики 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 [1].

В отличие от широко используемых в различных областях техники традиционно неуправляемых конструкций, автоматическое управление позволяет достичь качественно новых характеристик [1]:

- снизить материалоемкость за счет рационального изменения напряженного и деформированного состояния при переменных во времени внешних воздействиях и параметрах конструкции;
- обеспечить стабильность эксплуатационных характеристик и повысить надежность конструкций за счет расширения их адаптивных свойств;
- улучшить характеристики управляемости механизмов путем обеспечения управления деформативностью их элементов;
- повысить качество и точность изготовления продукции на основе учета и управления деформативностью изделия и технологического оборудования;
- эффективнее и полнее использовать ресурсы конструкции, 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.

Перспективными вопросами создания и развития управляемых конструкций являются [1]:

- дальнейшая разработка теории и методов управления деформированием и перестройкой механических систем;
- систематизация постановок задач по управлению конструкциями и определение методов их решения на основе функционально-структурного подхода;
- разработка структурно-модульных схем цифровых, аналоговых и нейроподобных систем автоматического управления, реализация их на моделях конструкций;
- формулировка алгоритмов процессов управления конструкциями в различных режимах, в том числе в оптимальном, на основе решения вариационной задачи поиска экстремума целевой функции с учетом принятых ограничений; создание комплекса специальных программ расчета сложных тонкостенных конструкций для цифровых систем управления;
- выявление новых рациональных областей применения управляемых деформируемых конструкций в задачах управления, в том числе в обеспечении геометрической стабильности и исключении аварийных ситуаций;
- приложение к третьим областям техники (например, для управления оболочкой антенны, вантовым мостом, конструкцией летательного аппарата и др.).

Очевидно, что при решении подобных задач исключительную важность приобретает проектирование механизмов, реализующих принципы обратной связи в системе управления. При этом системы автоматического управления с обратной связью могут быть построены на основе двух основных принципов действий, известных из классической кибернетики:

- управление по отклонениям;
- управление по возмущениям.

В первом случае управляющие воздействия формируются на основе совокупности сигналов воздействий внешних сред на объект управления.

Во втором случае управление инициируется по сигналам о состоянии системы.

В целом, системы автоматического управления по отклонениям могут обеспечить наиболее эффективное управление напряженно-деформируемым состоянием конструкций [1].

При этом общие принципы управления в пространстве ситуаций будут математически формализованы основаниями, изложенными в [6].

В силу определений [6], множество $f(I) \cap q_i$ представляет всю совокупность сигналов, составляющих входную информацию для элемента $i \in I$ в данный момент времени. Следует отметить, что каждый индивид из I способен на самостоятельную интерпретацию воспринимаемой информации. В этой связи предполагается, что «на вход» элемента i в данный момент поступает объект $\{i\} \times (f(I) \cap q_i)$, называемый (*мгновенной*) *входной буквой*. При этом, множество входных сигналов не искажается, но снабжается дополнительной меткой, определяющей адресность входной буквы.

Пусть для некоторых $f \in F$ и $q \in Q$ $s = f \circ f^{-1} \circ q$; тогда $(\{i\} \times (f(I) \cap q_i)) = s \circ \Delta_{\{i\}}$, множество $A_s = \{a \mid (\exists i)(i \in I, a = s \circ \Delta_{\{i\}})\}$ – разбиение ситуации $s \in S$; совокупность всех входных букв, появление которых принципиально возможно на входах элементов гиперсети I , определяется равенством $A = \{a \mid (\exists s)(\exists i)(s \in S, i \in I, a = s \circ \Delta_{\{i\}})\}$; семейство множеств вида $A_i = \{a \mid (\exists s)(s \in S, a = s \circ \Delta_{\{i\}})\}$ для каждого $i \in I$, называемых *локальными входными алфавитами*, является разбиением множества A ; семейство $(A_s)_{s \in S}$ – покрытием множества A .

Одношаговая процедура перехода гиперсети I из заданной ситуации $s \in S$ в «следующую» на основании функций локальных переходов (функций активации) может быть представлена формально. Пусть $G = \bigcup_{i \in I} (A_i \times \{i\})$, а «на входы» индивидов из I поступило входное множество A_s .

Как видно, $G \circ \Delta_{A_s} : A_s \rightarrow I$ – взаимно однозначное отображение, т.е. выполнены равенства

$\Delta_{A_s} \circ G^{-1} \circ G \circ \Delta_{A_s} = \Delta_{A_s}$ и $G \circ \Delta_{A_s} \circ G^{-1} = \Delta_I$. Пусть в данный момент для каждого индивида $i \in I$ определена некоторая, всюду определенная на A_i , функция (локального перехода) $g_i : A_i \rightarrow X_i$. Так как при i, j из I в случае $i \neq j$ всегда $(A_i \times X_i) \cap (A_j \times X_j) = \emptyset$, то $g = \bigcup_{i \in I} g_i$ является некоторым отображением вида $A \rightarrow V$, а композиция $j = g \circ \Delta_{A_s} \circ G^{-1}$, на основании определений, есть та конфигурация из F , которая возникает в гиперсистеме в «следующий» момент времени в результате локально принятых решений вида $g_i(s \circ \Delta_{\{i\}})$ как реакций на входные буквы $(s \circ \Delta_{\{i\}})_{i \in I}$. Если в этот же момент гиперсистема оказалась под воздействием нового глобального возмущения $q \in Q$, то новой ситуацией из S будет ситуация $j \circ j^{-1} \circ q$; затем процесс повторится.

Легко видеть, что задача управления гиперсистемой по такой схеме достаточно сложна. Одна из причин такова: если из каких-то внemodelных соображений выделяется подмножество $S_0 \subset S$ желаемых (приемлемых, оптимальных) ситуаций (или конфигураций, ибо $F \subset S$), то оно может оказаться недостижимым при конкретном наборе функций локальных переходов $(g_i)_{i \in I}$. Не исключено также, что функции локальных переходов в некоторых задачах управления могут оказаться многозначными – произвольными подмножествами прямоугольников вида $A_i \times X_i$. В этой связи вводится понятие «[мгновенного] глобального управления гиперсистемой в целом». Так как $A_i \cap A_s = \{s \circ \Delta_{\{i\}}\}$, то при любом $f \in F$ отображение $f \circ G \circ \Delta_{A_s} : A_s \rightarrow V$ инъективно и выбирает по одному элементу из каждого множества семейства $(X_i)_{i \in I}$. Каждое такое отображение названо [мгновенным] глобальным управлением.

Множество всех глобальных управлений есть $U = \{u \mid (\exists f)(\exists s)(f \in F, s \in S, u = f \circ G \circ \Delta_{A_s})\}$. Если в данный момент в гиперсистеме I возникла ситуация $s \in S$, то глобальное управление $u \in U$ такое, что $u = u \circ \Delta_{A_s}$, преобразует входную информацию (совокупность A_s входных букв) так, что к следующему моменту времени выходные сигналы всех элементов системы образуют конфигурацию $f = u \circ G^{-1} \in F$; если при этом гиперсистема окажется под воздействием глобального возмущения $q \in Q$, то возникнет новая ситуация $f \circ f^{-1} \circ q$ и процесс повторится. Как видно, теперь множество S может быть переопределено: $S = \{s \mid (\exists u)(\exists q)(u \in U, q \in Q, s = u \circ u^{-1} \circ q)\}$, из чего следует, что пространство ситуаций представимо в терминах глобальных управлений и глобальных возмущений [6].

Семейство $(U_f)_{f \in F}$, где $U_f = \{u \mid (\exists s)(s \in S, u = f \circ G \circ \Delta_{A_s})\}$ для каждого фиксированного $f \in F$, и семейство $(U_s)_{s \in S}$, где для каждого фиксированного $s \in S$ $U_s = \{u \mid (\exists f)(f \in F, u = f \circ G \circ \Delta_{A_s})\}$ – суть разбиения множества U . При этом, U_f – совокупность глобальных управлений, переводящих каждую ситуацию из S в единственную конфигурацию $f \in F$; U_s – совокупность глобальных управлений, переводящих данную ситуацию $s \in S$ в любую конфигурацию из F .

В целом, принципами управляемых конструкций (по профессору Н.П. Абовскому) являются следующие [1]:

1. Энергетический принцип управления.

2. Принцип перестройки системы (изменение объекта управления).
3. Принцип мобилизации внутренних ресурсов системы.
4. Принцип трансформации (преобразования) внешнего воздействия на конструкцию.
5. Принцип дополнительного внешнего воздействия на конструкцию.
6. Принцип управляющей связи.
7. Принцип использования истории создания (сборки) системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абовский Н.П. Управляемые конструкции – САУ НДС: учебное пособие. – Красноярск: КИСИ, 1995. – 125 с.
2. Васильков Г.В. Теория адаптивной эволюции механических систем. – Ростов-на-Дону: Terra Принт, 2007. – 248 с.
3. Волков А.А. Гомеостатическое управление зданиями // Жилищное строительство, 2003, № 4. – С. 9-10.
4. Волков А.А. Гомеостат в строительстве: системный подход к методологии управления // Промышленное и гражданское строительство, 2003, № 6. – С. 68.
5. Волков А.А. Гомеостат зданий и сооружений: кибернетика объектов и процессов // В кн. «Информационные модели функциональных систем» / Под ред. К.В. Судакова, А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. – С. 133-160.
6. Волков А.А. Комплексная безопасность условно-абстрактных объектов (зданий и сооружений) в условиях чрезвычайных ситуаций // Вестник МГСУ, 2007, № 3. – С. 30-35.
7. Волков А.А., Вагапов Р.Ф., Отчерцов М.В. Управление конструктивной безопасностью сооружений // Вестник МГСУ, 2007, № 4. – С. 76-78.
8. Волков А.А., Вайнштейн М.С., Вагапов Р.Ф. Расчеты конструкций зданий на прогрессирующее обрушение в условиях чрезвычайных ситуаций. Общие основания и оптимизация проекта // Вестник МГСУ, 2008, № 1. – С. 388-392.