

Июнь, № 4

Технические науки

2015

УДК 51-74

ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ КОЛЕСНИКОВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*kgn@petrsu.ru*

МАРИНА ИВАНОВНА РАКОВСКАЯ

кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*mirrows@ya.ru*

## К ОБОСНОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ПЕРЕХОДА ОДНОСТОРОННИХ СВЯЗЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ ВОЗМОЖНОГО СОСТОЯНИЯ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ\*

Для обоснования энергетического критерия очередности перехода односторонних связей механических систем из возможного состояния в действительное состояние рассмотрено применение известной теоремы о том, что полная потенциальная энергия механической системы при выключении одной связи уменьшается или, по крайней мере, не увеличивается.

Ключевые слова: односторонние связи, моделирование

В данной работе рассматривается механическая система с односторонними связями. Структура такой системы может изменяться в зависимости от состояния односторонних связей. Для определения состояния односторонней связи предлагается использовать известную теорему: полная потенциальная энергия механической системы при наложении одной связи увеличивается или, по крайней мере, не уменьшается [1; 38]. Соответственно, полная потенциальная энергия механической системы при выключении одной связи уменьшается или, по крайней мере, не увеличивается. Выключение связей имеет место, например, при разрушении строительных конструкций. В моделях реальных конструкций количество связей на порядки больше единицы. Можно предположить, что в исходном состоянии механической системы все связи находятся в состоянии «включено». Тогда при достаточно большой нагрузке эволюция системы на стадии разрушения будет сопровождаться переходом связей из состояния «включено» в состояние «выключено».

В контексте данной работы связь – любое устройство, препятствующее перемещениям одного тела относительно другого. Двусторонняя связь всегда находится в состоянии «включено». Например, на уровне модели твердое тело можно рассматривать как механическую систему, в которой две любые части данного тела соединены двусторонними связями. Однако, принимая во внимание, что бесконечно прочных материалов не существует, нельзя исключать возможности разрушения (то есть выключения) этих связей

при некотором достаточно интенсивном воздействии. В механических системах возможны переходы связей из состояния «включено» («выключено») в состояние «выключено» («включено»).

Двустороннюю связь можно рассматривать как частный случай односторонней связи, находящейся в состоянии «включено». В ряде случаев отсутствующую связь можно рассматривать как одностороннюю связь, находящуюся в состоянии «выключено».

Для односторонней связи возможно одно из двух состояний: «включено» или «выключено»; при данном воздействии на конструкцию реализуется только одно из этих состояний. Например, до начала разрушения конструкции действительное состояние всех связей «включено». Для любой из этих связей возможным является также состояние «выключено». Увеличение нагрузки на конструкцию может привести к тому, что текущее состояние связи («включено») окажется нереализуемым и осуществляться переход в состояние «выключено».

Проблема заключается в определении тех связей, которые переходят из возможного состояния в действительное. Решить данную проблему можно, если предположить, что в течение некоторого времени односторонние связи переходят из возможного состояния в действительное в определенной очередности [2], [3]. Установить эту очередьность позволяет приведенная выше теорема, согласно которой полная потенциальная энергия механической системы при выключении одной связи уменьшается или, по крайней мере, не увеличивается. Предположим, что на достаточно

малом отрезке времени из возможного состояния в действительное состояние переходит только одна связь. Как идентифицировать эту связь? На основании принципа минимума потенциальной энергии в новое состояние перейдет та связь, переход которой приведет к минимуму полной потенциальной энергии механической системы. Переход данной связи в новое состояние повлечет изменение структуры механической системы, что моделируется одним шагом жордановых исключений с выбором диагонального разрешающего элемента в матрице жесткости по энергетическому критерию [2], [3]. Затем в преобразованной та-

ким образом модели механической системы с использованием того же энергетического критерия определяется очередная связь, переход которой минимизирует полную потенциальную энергию на очередном достаточно малом отрезке времени. Если таких связей нет, то вычисления завершаются. Иначе, выполняется один шаг указанных выше жордановых исключений.

Примеры вычислений приведены в статье [2]. Известны другие алгоритмы расчета конструкций с односторонними связями [4]. Однако применение энергетического критерия [3] оказывается в ряде случаев предпочтительным [2].

\* Работа выполнена в рамках реализации комплекса научных мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильков Г. В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма. Ростов-на-Дону, 2003. 180 с.
2. Колесников Г. Н. Алгоритм декомпозиции линейной задачи дополнительности и его применение для моделирования соударений балансов в корободирочном барабане // Resources and Technology. 2013. Т. 10. № 2. С. 111–138.
3. Колесников Г. Н., Раковская М. И. Энергетический критерий очередности перехода односторонних связей в действительное состояние // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2006. Т. 13. С. 652.
4. Schoeder S., Ulbrich H., Schindler T. Discussion of the Gear – Gupta – Leimkuhler method for impacting mechanical systems // Multibody System Dynamics. 2014. Vol. 31. № 4. P. 477–495.

---

Kolesnikov G. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
Rakovskaya M. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### ENERGY CRITERION OF PRIORITY TRANSITION OF UNILATERAL CONSTRAINTS FROM POSSIBLE TO REAL STATES IN MECHANICAL SYSTEMS

To substantiate the energy criterion of priority transition of unilateral constraints in mechanical systems from a possible state to a real state we used a theorem: the total potential energy of the mechanical system, under at least one disengaged connection, decreases or at least does not increase.

Key words: unilateral constraints, modeling

#### REFERENCES

1. Vasil'kov G. V. *Evolyutsionnye zadachi stroitel'noy mekhaniki. Sinergeticheskaya paradigma* [Evolutionary problems of structural mechanics. Synergetic Paradigm]. Rostov-on-Don, 2003. 180 p.
2. Kolesnikov G. N. Decomposition Algorithm of Linear Complementarity Problem and its Application for Simulation of Pulpwood Collisions in Debarking Drum [Algoritmd dekompozitsii lineynoy zadachi dopolnitel'nosti i ego primenenie dlya modelirovaniya soudareniy balansov v korobodirochnom barabane]. *Resources and Technology*. 2013. Vol. 10. № 2. P. 111–138.
3. Kolesnikov G. N., Rakovskaya M. I. The energy criterion of priority transition of unilateral constraints to the real state [Energeticheskiy kriteriy ocherednosti perekhoda odnostoronnikh svyazey v deystvitel'noe sostoyanie]. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki*. 2006. Vol. 13. P. 652.
4. Schoeder S., Ulbrich H., Schindler T. Discussion of the Gear – Gupta – Leimkuhler method for impacting mechanical systems. *Multibody System Dynamics*. 2014. Vol. 31. № 4. P. 477–495.

Поступила в редакцию 03.06.2015