



ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЕТУ АВАРИЙНЫХ НАГРУЗОК В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В. В. СТРУЖАНОВ,

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и математического моделирования,

Уральский государственный аграрный университет

(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 375-35-94).

В. В. ПРИВАЛОВА,

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник,

Институт машиноведения УрО РАН

(620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34; тел.: 7 (343) 374-02-23).

Ключевые слова: предельные нагрузки, консервативная система, аварии, катастрофа, безопасность.

Решение основных проблем безопасности эксплуатации технических систем, в частности различной машинной техники, применяемой в том числе и в сельском хозяйстве, опирается на фундаментальные результаты, полученные в таких дисциплинах, как сопротивление материалов, теория упругости, теория пластичности, теория ползучести, механика разрушения и в других разделах механики деформируемого твёрдого тела. Используя разработанные там методики уже на стадии проектирования деталей машин, входящих в технические системы, определяется их прочность, надёжность, долговечность, вероятность разрушения и т. п. в зависимости от характера действующих эксплуатационных нагрузок и оценивается ресурс и последствия выхода их из строя. Однако проблема качественного и достоверного прогнозирования риска и аварий в полной мере всё ещё не решено и требует разработки и развития новых более эффективных методов, основанных на нетрадиционных для механики твёрдого тела областях математики. Одним из возможных подходов является применение для прогнозирования аварий и разрушения технических систем современного аппарата математической теории катастроф. Этот аппарат, как правило, применяется к анализу устойчивости и неустойчивости механических систем градиентного типа, когда на систему действует конечное число консервативных сил и имеется конечное число внутренних параметров, определяющих состояние системы. Разрушение или авария технической системы есть явление того же порядка, что и явление невозможности равновесия. Когда положение равновесия системы становится неустойчивым, реализуется скачкообразный переход в ближайшее устойчивое равновесное состояние (глобальная катастрофа). В данной работе рассматривается класс дискретных градиентных механических (технических) систем, поведение которых описывается некоторыми потенциальными функциями от параметров управления (нагрузки) и параметров состояния (перемещений). Разработаны основные теоретические положения и приводится обобщённый алгоритм расчёта величин, разрушающих техническую систему нагрузок.

AN APPROACH TO CALCULATION OF EMERGENCY LOADS IN TECHNICAL SYSTEMS

V. V. STRUZHANOV,

doctor of physical and mathematical sciences, professor, chief researcher,

Ural state agrarian university

(620075, Ekaterinburg, K. Leibknecht st., 42; 8 (343) 375-35-94);

V. V. PRIVALOVA,

candidate of physical and mathematical sciences, researcher,

Institute of engineering science, UB RAS

(620049, Ekaterinburg, Komsomolskaya st., 34; 7 (343) 374-02-23).

Keywords: limit loads, conservative system, accident, catastrophe, safety.

The basic problems determination of operational safety of technical systems, in particular the various machine techniques used including in agriculture, based on the fundamental results obtained in disciplines such as strength of materials, theory of elasticity, theory of plasticity, creep theory, fracture mechanics and other sections of solid mechanics. The durability, reliability, durability, the probability of failure, etc. for machine details in the technical system are determined on the using of the techniques developed there at the design stage. These characteristics are depended on the nature of existing operational loads and estimated resource implications and the release of their failure. The problem of high-quality and reliable prediction of the risk of accidents and fully still not been decided and requires the development of new and more effective methods based on non-traditional mechanics of a solid areas of mathematics. The possible approach is the using for predict accidents and destruction of the technical systems of the modern mathematical apparatus of the theory of catastrophes. This unit is usually applied to the analysis of stability and instability of the mechanical systems of gradient type, when the system operates a finite number of conservative forces and there are a finite number of internal parameters defining the state of the system. Disruption or failure of a technical system is a phenomenon of the same order as the phenomenon is impossible balance. When the equilibrium of the system becomes unstable, realized an abrupt transition in the near stable equilibrium state (global catastrophe). In this paper we consider a class of discrete gradient mechanical (technical) systems whose behavior is described by some potential functions of the control parameters (load) and the state parameters (displacement). Developed the basic theoretical principles and provides a generic algorithm for computing the values of destroying technical system loads.

Положительная рецензия представлена С. А. Тимашевым, доктором технических наук, профессором, директором Уральского отделения Российской академии наук.

В течение срока службы техническая система подвергается различным опасностям. Для того чтобы их сформулировать, воспользуемся тем, что каждая система описывается совокупностью параметров управления Q_i ($i = 1, \dots, N$) и параметров состояния q_i ($i = 1, \dots, M$). Параметры управления – обобщённые силы, а параметры состояния – обобщённые перемещения. При заданных параметрах управления параметры состояния должны принимать такие значения, при которых система находится в положении равновесия. Теперь опасности можно описывать набором несовместных сценариев A_k ($k = 1, \dots, K$) неблагоприятных событий, которые произойдут, если отдельные параметры управления достигнут критического (предельного, экстремального) значения и объекту будет нанесён ущерб (произойдёт авария). Например, сценарий $A_n \{Q_1, \dots, Q_n^*, \dots, Q_N\}$ означает, что при нормативных значениях параметров $Q_1, \dots, Q_{n-1}, Q_{n+1}, \dots, Q_N$ параметр Q_n достигает критического значения Q_n^* . После определения неблагоприятных сценариев их необходимо проиграть и найти для каждого сценария предельные параметры управления. Теперь, если известна вероятность реализации неблагоприятных сценариев, то с такой же вероятностью можно прогнозировать ту или иную аварию технической системы.

Разрушение или авария технической системы есть явление того же порядка, что и явление невозможности равновесия. Когда положение равновесия становится неустойчивым, то реализуется или скачкообразный переход в ближайшее устойчивое равновесное состояние или глобальная катастрофа. Поэтому под предельным значением параметра управления будем понимать такую его величину, при которой нарушается устойчивость системы. Следовательно, для прогнозирования аварий (или нахождения предельных значений параметров управления) необходимо «проиграть» каждый сценарий, зафиксировав часть управляющих параметров на уровне их нормативных значений, а другую часть (несколько управляющих параметров или один из них) увеличивать до тех пор, пока не произойдёт катастрофа. В тех случаях, когда на техническую систему действуют консервативные силы для определения их предельных параметров можно воспользоваться следующей методикой. Поведение консервативной системы характеризуется её потенциальной функцией $\Pi(q_i, Q_i)$, связывающей параметры состояния и управления. Эта функция есть сумма потенциальных функций Π_l элементов системы ($l = 1, \dots, L$). Функции Π_l могут быть выпуклыми, вогнутыми, а также содержать участки выпуклости и вогнутости. Выпуклые вниз участки характеризуют устойчивые состояния элемента системы, вогнутые (выпуклые вверх) – неустойчивые. Если техническая система

находится в состоянии равновесия (устойчивом или неустойчивом), то связь параметров управления и состояния в этом равновесии определяют уравнения [2].

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = 0, \quad j = 1, \dots, M \quad (1)$$

Система уравнений (1) может иметь одно или более одного решения. Все решения этой системы для всевозможных параметров управления образуют совокупность критических точек потенциальной функции Π . Известно [2], что смена типа равновесия (устойчивое или неустойчивое) происходит в вырожденных критических точках, которые определяются из совместного решения уравнений (1) и уравнения, получающегося приравнением к нулю детерминанта матрицы устойчивости, или матрицы Гессе потенциальной функции. Компонентами матрицы Гессе являются функции $\Pi_{,mn} = \partial^2 \Pi / \partial q_m \partial q_n$, ($m, n = 1, \dots, M$). Очевидно, что уравнение $\det H(\Pi) = 0$ выделяет из множества критических точек вырожденные критические точки, отвечающие моменту потери устойчивости функционирования системы. Здесь $H(\Pi)$ матрица Гессе функции $\Pi(q_i, Q_i)$.

Рассмотрим евклидово пространство $R^M \times R^N$, элементами которого являются числа (q_i, Q_i) . Задавая физически обоснованные пределы изменения параметров состояния и управления, получаем $M + N$ – мерный куб в пространстве $R^M \times R^N$ и разбиваем его на множество «кубиков» с заданным шагом. Затем в каждом узле сетки разбиения вычисляем значения компонент матрицы Гессе (величины функций $\Pi_{,mn}$) и величину её определителя. Таким образом, каждому узлу ставится в соответствие значение гессиана. После этого выделяем те узлы, в которых гессиан близок к нулю с достаточной степенью точности. Полученное множество B точек пространства $R^M \times R^N$ содержит все вырожденные критические точки потенциальной функции Π системы при монотонном возрастании исследуемого параметра управления. Отметим, что в частном случае множество B может совпадать с множеством критических точек функции Π . Для выделения из множества B критических точек функции Π следует подставить элементы множества B в уравнение равновесия (1). Те из них, которые удовлетворяют этим уравнениям с заданной степенью точности, и будут вырожденными критическими точками функции Π . Первая вырожденная точка и определит экстремальное (предельное) значение исследуемого параметра управления. Таким образом, представленная методика определения предельных нагрузок позволяет исключить решение сложных задач решения системы нелинейных уравнений равновесия (1) и ограничиться только простыми численными вычислениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-08-00186).

Литература

1. Седов Л. И. Механика сплошных сред. Т. I. М.: Наука, 1970. 492 с.
2. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1984. 350 с.

References

1. Sedov L. I. Mechanics of a continuous medium. P. I. M.: Nauka, 1976. 492 p.
2. Gilmore R. Catastrophe Theory for Scientists and Engineers. In 2 k. K. 1. M.: Mir, 1984. 350 p.