

4. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Інформаційні технології в навчанні стержневих систем на комп'ютері // Науковий вісник будівництва. – 2014. – Вип. 78. – С. 229-234 .
5. Програма «Liber» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.libermedia.ru/>.
6. Програма «CloudLibrary». – Режим доступу: <http://www.cloudlibrary.org/>.
7. Програма «DSpace» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dspace.com/>.
8. Програма «EPrints» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eprints.org/>.
9. Програма «KoHa» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.koha.org/>.
10. Грейди Буч Язык UML. Руководство пользователя / Грейди Буч, Джеймс Рамбо, Айвар Джекобсон. – СПб: Питер, 2004. – 432с.
11. Джозеф Джарратано, Гари Райли Процедурное программирование // «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. — М.: 2006. – 779 – 851 с.
12. Основы программирования в БД Access [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.lessons-tva.info/>.
13. Слепцова Л. Д. Программирование на VBA в Microsoft Office 2010. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2010. – 432 с.
14. Сізова Н.Д., Леуенко О.В. Програмування мовою Visual Basic for Application з курсу «Теорія алгоритмів» Навчально-методичний посібник – Х.: ХНУБА, 2016. – 144 с.

**Сізова Н.Д., Колодочка С.А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ БИБЛИОТЕКИ.** Представлены разработки информационного и программного обеспечения специализированной электронной библиотеки научного подразделения или кафедры учебного заведения, которая входит составной частью общей библиотеки организации. Созданный программный продукт АИС «Библиотека КНИИТ» представляет собой подсистему обработки данных и предназначен для хранения информации о научно-методической литературе и пользователях библиотеки.

**Ключевые слова:** информатизация, программные средства, электронный документооборот, электронная библиотека, база данных.

**Sizova N.D., Kolodochka S.O. AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF SPECIALIZED ELECTRONIC LIBRARY.** Development of informational structure and software for special electronic library for scientific department or cathedra of educational organization, which is part of overall library of organization, is presented. Created software AIS "Library KHNIT" is sub-system of data processing and needed as informational database, which store information about scientific and methodological literature and users of library.

**Keywords:** informatization, software, electronic documents circulation, electronic library, database.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-284-289  
УДК 539.3

**Сізова Н.Д.,**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,  
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: [sizova@ukr.net](mailto:sizova@ukr.net))*

**Гурьев Н.В., Кравченко Н.И.**

*Национальный научный центр «Институт метрологии»  
(ул. Мироносицкая, 42, Харьков, 61002, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

Приводятся результаты исследования сейсмостойкости информационно-управляющих систем. Предлагается применение метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ANSYS. **Ключевые слова:** колебания, напряжения, сейсмостойкость, прочность, конечные элементы, программные комплексы.

**Введение.** В настоящее время проводится разработка новых и модернизация существующих информационно – управляющих систем (ИУС) для энергетического оборудования, в тм числе и АЭС [1-3]. В связи с этим актуальной задачей является исследование сейсмостойкости и прочности к статическим механическим воздействиям. Это приводит к необходимости рассмотрения вопросов, связанных с определением статической прочности, стойкости к максимальному расчетному землетрясению (МРЗ) и невозможностью соударений, рассчитываемых ИСУ с соседними металлоконструкциями и креплениями.

При исследовании элементов приборостроения, машиностроения и др. одной из задач является определение различных физических характеристик, влияющих на работоспособность, надежность и устойчивость работы систем, элементов и приборов.

Экспериментальные исследования физических характеристик многих элементов и аппаратов неприемлемы в тех случаях, например, когда размеры компонентов достаточно малы, установка чувствительных приборов и датчиков в них представляется весьма трудной задачей. В силу этого актуальным является определение физических полей элементов и аппаратов аналитическими и численными методами.

Многие проблемы теоретического аспекта исследования физических полей в различных элементах связаны с необходимостью построения и исследования математических моделей, имеющих вид краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными [4-6].

Большое разнообразие математических моделей в задачах определения физических полей требует создания универсального математического и программного инструментария.

Одним из таких инструментариев является МКЭ и созданные на его основе программные комплексы и продукты [7, 8], что дает возможность выполнять вычислительный процесс для определения и прогнозирования необходимых характеристик кон-

струкций и систем, не прибегая к дорогостоящим экспериментальным исследованиям.

Для объектов произвольной формы для исследования физико-механических полей используются системы и программные комплексы (OPSYN, KAUS, ANSYS и т.д.), разработанные на базе метода конечных элементов (МКЭ).

В данной работе использовался универсальный метод конечно-элементного анализа и программный комплекс (ПК) ANSYS [12-13]. ПК ANSYS – конечно-элементная система позволяющая рассматривать явления различной физической природы: прочность, теплофизика, гидрогазодинамика и электромагнетизм с возможностью решения связанных задач, объединяющих все перечисленные виды; это интеграция и двухсторонний обмен данными со всеми CAD / CAE / CAM – системами; открытость (то есть модифицируемость и дополняемость) среди множества конечно-элементных программных комплексов.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является определение сейсмостойкости и прочности с применением численного метода конечных элементов информационно – управляющих систем, имеющих сложную геометрическую форму и находящихся под внешними воздействиями.

**Постановка задачи.** Исследование колебательных процессов для элементов оборудования выполняется с привлечением методов теории упругости [4-6]

Математически колебательный процесс элемента с его реальной геометрической формой описывают векторным уравнением

$$\mu \nabla^2 \vec{U} + (\lambda + \mu) \text{grad div} \vec{U} = \rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2} - \vec{F}(x),$$

$$x \in (x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

где  $\lambda, \mu, \rho$  – характеристики упругой среды;  $\vec{U}$  – вектор упругих перемещений с компонентами  $u_1, u_2, u_3$ ;  $\vec{F}(x)$  – внешняя вынуждающая сила, действующая на тело  $\Omega$ . К системе уравнений присоединяют начальные и граничные условия на границе  $\Gamma$  тела  $\Omega$ , характеризующие закрепления тела и

его нагрузки. По найденным значениям вектора перемещений напряжения определяются из следующих соотношений

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \lambda e + 2\mu \varepsilon_{ij}, i = j, \\ \sigma_{ij} &= 2\mu \varepsilon_{ij}, i \neq j, \end{aligned} \quad (2)$$

$$e = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_{ii}.$$

где

Решения теории упругости в аналитической форме известными классическими методами приводятся, как правило, для областей классической геометрической формы [9-11].

**Метод решения.** Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину (перемещение, давление и др.) можно аппроксимировать моделью, состоящую из отдельных элементов. На каждом из этих элементов исследуемая непрерывная величина аппроксимируется кусочно-непрерывной функцией, которая строится на значениях исследуемой непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемого элемента.

В общем случае непрерывная величина заранее неизвестна и нужно определить значение этой величины во внутренних точках области, т.е. создать дискретную модель. Дискретная модель может быть легко построена, если сначала предположить, что известны числовые значения этой величины в некоторых внутренних точках области, называемых узлами.

Чаще всего при построении дискретной модели непрерывной величины поступают следующим образом:

1 Область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами. Эти элементы имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют форму области.

2 В рассматриваемой области фиксируется конечное число точек – узловых точек или узлов.

3 Значение непрерывной величины в каждой узловой точке считается известным,

однако на них необходимо наложить ограничения в зависимости от физической постановки задачи.

4 Используя значения исследуемой непрерывной величины в узловых точках и ту или иную аппроксимирующую функцию, определяют значение исследуемой функции внутри области.

Таким образом, метод конечных элементов заключается в разбиении тела на подобласти, называемые конечными элементами. Эти элементы определяются узлами и интерполяционными функциями. Определяющие уравнения решаются для каждого элемента, и эти элементы компонуются в глобальную матрицу. Задаются нагрузки и граничные условия, затем находится решение.

С использованием метода конечных элементов можно записать конечно-элементную модель исследования колебаний в виде матричного уравнения следующего вида:

$$M \{\vec{U}\} + C \{\dot{\vec{U}}\} + K \{\vec{U}\} = \{\vec{F}\}, \quad (3)$$

где  $\{\vec{U}\}$  – вектор перемещений для всего тела,  $\{\dot{\vec{U}}\}$ ,  $\{\ddot{\vec{U}}\}$  – векторы ускорений и скоростей точек тела,  $[K]$ ,  $[C]$ ,  $[M]$  – «глобальные» матрицы жесткости, демпфирования и масс для всего тела,  $\{\vec{F}\}$  – вектор вынуждающих сил для всего тела.

Используя уравнение движения (3), можно получить уравнения для различных видов колебательных процессов, решения которых позволяют определить прочностные характеристики конструкции.

**Результаты исследования.** Для исследования прочностных характеристик рассматривалась информационно-управляющая система (ИУС) (рис.1), которая представляет собой сложную пространственную систему, состоящую из металлоконструкций и паропровода.

Конечно-элементная модель элементов ИУС представлена на рис. 2. Для ее построения использовались конечные элементы Solid, реализованные в ПК ANSYS.

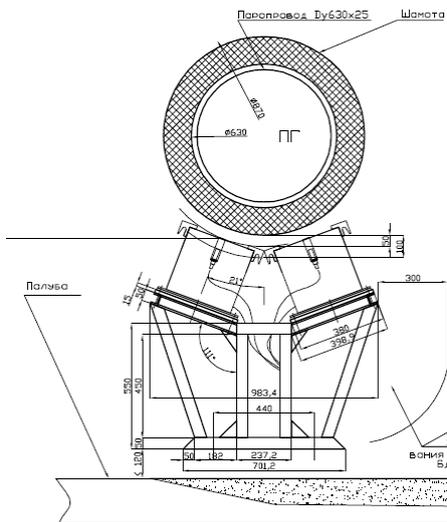


Рис. 1. Схематическое изображение информационно-управляющей системы

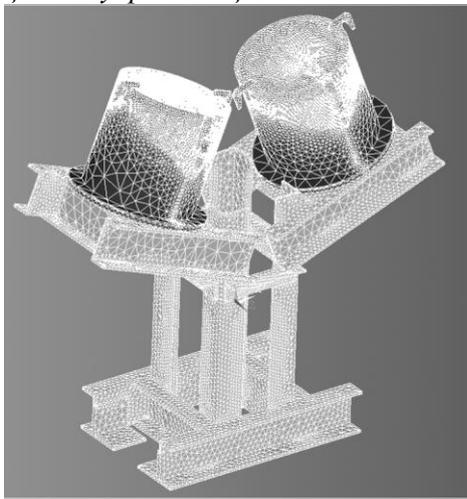


Рис. 2. Конечно-элементная модель металлоконструкции крепления

При построении конечно-элементной модели существенным являлось моделирование элементами в местах крепления конструкции (рис. 3), как наиболее опасных мест при колебательных процессах в конструкции.

Полный анализ решения задачи сейсмостойкости в ПК ANSYS выполнялся последовательно и включал в себя:

- проведение статического расчета напряженно-деформированного состояния конструкции;
- определение частот и форм собственных колебаний ИУС;
- исследование сейсмостойкости рассматриваемой конструкции.

Статические напряжения исследовались от действия собственного веса.

Статическое напряженно – деформированное состояние позволило определить

максимальные напряжения для конкретных геометрических и физических параметров конструкции.

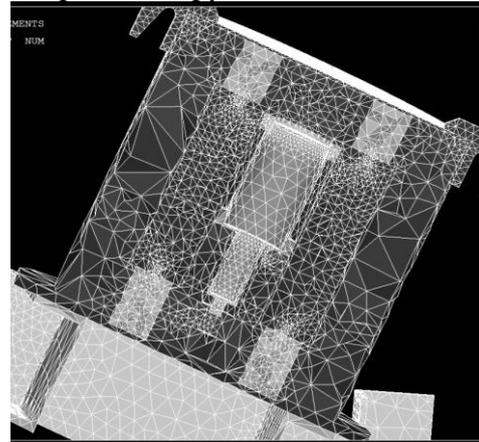


Рис. 3. Конечно-элементная модель металлоконструкции крепления

Исследования показали, что максимальные приведенные локальные напряжения в опорах составили  $R_{max} = 18,6$  МПа, при этом выполнялись условие прочности  $R_{max} \leq 18,6$  МПа <  $[R] = 213$  МПа (номинально допустимое мембранное напряжение) и превышения допустимых напряжений не проявлялось.

Расчет собственных частот и форм колебаний конструкции выполнялся с привлечением модального анализа, при этом учитывались результаты статических исследование в качестве преднапряженного состояния конструкции с использование в ПК ANSYS.

Модальный анализ используется для определения собственных частот и форм колебаний механических систем. Является важной составной частью всякого динамического анализа, поскольку знание фундаментальных форм и частот колебаний конструкции помогает оценить ее динамическое поведение. Результаты анализа дают возможность установить число форм колебаний и шаг интегрирования по времени, что может обеспечить надежное решение задачи о динамическом поведении системы.

Модальный анализ является самостоятельным блоком и первым этапом при оценке прочностных, сейсмических и циклических характеристик при работе объекта.

В программе ANSYS модальный анализ – это решение задачи о свободных (невынужденных), затухающих или незатухающих, колебаниях дискретной системы, которая описывается уравнением (1) – (2). Это уравнение записывается в форме, соответствующей задаче о собственных значениях:

$$([K] - \omega^2 [M])\{u\} = 0,$$

где  $\omega^2$  (квадрат собственной частоты) – собственное значение,  $\{u\}$  (собственные формы, не являющиеся функциями времени) – собственные формы колебаний.

На рис. 4 показана характерная форма колебаний конструкции на ближайшей к сейсмическому диапазону частот собственной частоте конструкции 31 Гц в виде картины распределения суммарных перемещений в относительных величинах.

Расчет сейсмических напряжений был проведен на основании расчета частот

*Таблица 1 – Значения ускорения в горизонтальной плоскости*

<i>f, Гц</i>	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	30	35
<i>a, м/с<sup>2</sup></i>	3	4	6	9	16	16	16	4,5	5	5,5	7	7	4,5	3,8	2	2	2	2

*Таблица 2 – Значения ускорения по вертикали*

<i>f, Гц</i>	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	30	35
<i>a, м/с<sup>2</sup></i>	2	2,2	3	4	12,5	12,5	12,5	4	4,5	5	8,5	8,5	7	5,5	3	2,5	2	2

Проведены исследования сейсмических напряжений при горизонтальных воздействиях, одновременного воздействия сейсмических нагрузок по трём осям напряжения и перемещения в конструкции, которые составили соответственно  $R_{max} = 21,5$  МПа;  $S_{max} = 0,2$  мм.

Для условий прочности получены максимальные суммарные статические и сейсмические напряжения

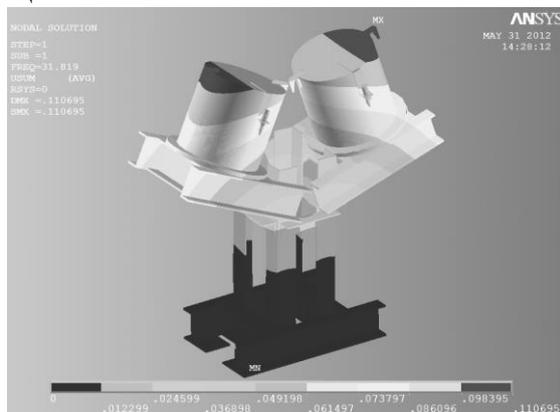
$$R_{max} \leq 18,6 + 21,5 = 40 \text{ МПа} < [R] = 213 \text{ МПа.}$$

Условие сейсмической прочности выполняется, превышения допустимых напряжений нет.

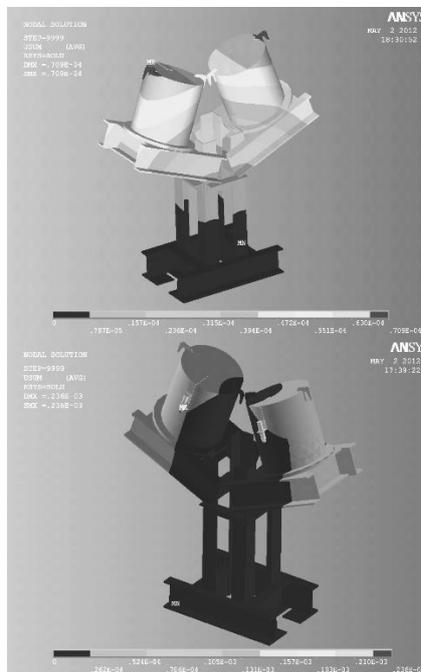
Для оценки возможности соударения внутри конструкции проведен расчет суммарных максимальных перемещений (рис. 5).

На рис. 5 представлены распределения суммарных перемещений при горизонтальных и вертикальных сейсмических воздействиях. Максимальные перемещения внутри конструкции составили всего лишь 0,2 мм, что не может привести к каким-либо соударениям внутри конструкции.

и форм собственных колебаний, определенных из модального анализа. В качестве сейсмических нагрузок использовались спектры ответа (табл. 1, 2) соответствующих МРЗ 7 баллов.



*Рис. 4. Результаты расчёта форм перемещений на собственной частоте 31 Гц*



*Рис. 5. Результаты расчета суммарных перемещений в конструкции при сейсмических воздействиях вдоль горизонтальной и вертикальной осей*

**Выводы.** Представленный подход определения сейсмостойкости ИУС является наиболее оптимальным, полным и учитывающим статические нагрузки на систему. Предложено для исследования сейсмостойкости проведение последовательного анализа: расчет статических напряжений; модальный анализ; сейсмический анализ с учетом результатов каждого из предыдущих результатов. Кроме этого, с помощью данного подхода возможно прогнозировать и предотвращать возникновение опасных напряжений в конструкциях путём моделирования резонансных частот в системе.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – Санкт-Петербург: Наука, 1998. – 255 с.
2. Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность АЭС при особых динамических воздействиях.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 340 с.
3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (Г-7-002-86 ПНАЭ). – М.: Энергоатомиздат, 1989.–512 с.
4. Поручиков В.Б. Методы динамической теории упругости. – М.: Наука, 1986. – 328 с.
5. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости - М.: Наука, 1981. – 688 с.
6. Ильин М.М., Колесников К.С., Саратов Ю.С. Теория колебаний. Под ред. К.С. Колесникова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 272с.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975. – 349 с.
8. Метод конечных элементов в механике твердых тел / Под ред. А.С.Сахарова и И.

Альтенбаха. - Киев: Вища школа; Лейпциг: Фаб Фахбухферлаг, 1982. – 420 с.

9. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Изд. МГУ; Изд. «Наука», 2004. - 798с.
10. Сизова Н.Д., Гречко Н.В., Донева И.В. Компьютерное моделирование динамических процессов в программном пакете ЛИРА// Науковий вісник будівництва. – 2011. – Вип. 66. – С. 432-435.
11. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Комп'ютерне моделювання стійкості стержневих конструкцій // Науковий вісник будівництва. – 2015. – Вип. 80.– С. 265-270.
12. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах – М: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.
13. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженера. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

**Сизова Н.Д., Гур'єв Н.В., Кравченко Н.І. ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ.** Приводяться результати дослідження сейсмостійкості інформаційно-управляючих систем. Пропонується застосування методу кінцевих елементів, який реалізовано в програмному комплексі ANSYS.

**Ключові слова:** коливання, статика, сейсмостійкість, міцність, кінцеві елементи, програмні комплекси.

**Sizova N.D., Guriev N.V., Kravchenko N.I. RESEARCH OF SEISMIC RESISTANCE OF INFORMATION-CONTROL SYSTEMS.** Results of investigation of earthquake resistance of informational-operating systems are presented. Usage of finite elements method, which realized in software complex ANSYS is offered.

**Keywords:** fluctuations, tensions, earthquake resistance, strength, finite elements, software complexes.