

УДК 699.841

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ЗДАНИЙ, ВОЗВЕДЕННЫХ ИЗ МАЛОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**С.Ж. Раззаков, З.Х. Холбоев, И.М. Косимов**

Наманганский инженерно-строительный институт, Республика Узбекистан  
e-mail: sobirjonrsj@gmail.com

*Приведены структура текстового файла программы «SEISM-STAB-BUILDING» с описанием конечно-элементной модели и блок – схема, а также пример использования разработанного программного комплекса.*

**Ключевые слова:** динамические характеристики, электронно-вычислительная программа, пространственный модель, частота, период колебаний, форма колебаний, сейсмическая нагрузка, перемещение, метод конечных элементов, прочность здания, землетрясение.

## DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A BUILDING MODEL ESTABLISHED FROM LOW-STRENGTH MATERIALS

**S. Razzakov, Z. Holboev, I. Kosimov**

Namangan Engineering-Construction Institute, Republic of Uzbekistan  
e-mail: sobirjonrsj@gmail.com

*The article is informed about the structure of textual file program “SEISM-STAB BUILDING” with describing final-element models and block-scheme, and also given an example for using developed softwarefacility.*

**Keywords:** dynamic characteristics, computer program, spatial model, frequency period oscillation, shape of oscillation, seismic charging, shifting (movement), method of final element, stability of building.

**Введение.** В период интенсивного развития современного строительства и активизации сейсмических процессов вопросы сейсмостойкости зданий и сооружений, обеспечение и оценка их конструкционной и сейсмической безопасности считаются наиболее актуальными. В развитых странах в этом направлении достигнуты определенные успехи, особое внимание при проектировании уделяется разработке конструктивных решений, антисейсмических мероприятий, а также совершенствованию методов расчёта, обеспечивающих прочность и сейсмостойкость зданий и сооружений.

Исходя из-за актуальности данного направления, авторами разработана программа расчета предназначенная для определения сейсмостойкости зданий из местных материалов на основе использования пространственной конечно-элементной модели здания. В результате выполнения программ определяются динамические характеристики - собственные частоты и соответствующие им пространственные фор-

мы колебаний здания. По характеру получаемых форм, участвующих в формировании сейсмической нагрузки, определяются перемещения и компоненты напряжений в стенах здания, а их анализ позволяет судить о прочности конструкции при различной интенсивности сейсмического воздействия. В программы заложен численный метод конечных элементов, позволяющий учитывать конструктивные особенности и различную степень конечно-элементной дискретизации.

**Основная часть.** Комплекс состоит из отдельных программ (модулей), которые необходимо запускать в определенной последовательности, начиная с создания расчетной модели. Язык программирования - Фортран; общий объем памяти - 9 файлов на электронном носителе 454,325 КБ.

Создание расчетной модели осуществляется с использованием текстового файла, содержащего описание конечно-элементной модели. Приведенный файл предназначен для формирования конечно-элементной дискретизации модели здания. В нем вводятся исходные данные (геометрия модели, характеристики материала конструкции), выбираются элементы дискретизации (в данном случае – прямоугольные) и производится разбиение модели на конечные элементы. При этом учитываются граничные условия.

После дискретизации модели по стандартной процедуре определяются матрицы жесткости и масс, необходимые для получения разрешающих уравнений, из которых определяются перемещения узлов. По полученным перемещениям узлов с помощью уравнений Коши находятся компоненты деформации. И далее – по закону Гука, - напряжения во всех элементах модели (здания). По полученным напряжениям делается вывод о прочности или, напротив, недостаточной прочности конструкции (стен, перекрытий) [1,2].

Прочность здания при землетрясениях оценивается по напряженно-деформированному состоянию его фрагментов при сейсмической нагрузке по формуле:

$$S_{ik} = K_0 K_n K_{эм} K_p \alpha Q_k W_i K_\delta \eta_{ik} \quad (1)$$

где

$K_0=1$ ;  $K_n=1,2$ ;  $K_{эм}=1$ ;  $K_p=1$  (значения коэффициентов устанавливаются по [3]);

$\alpha$  – сейсмический коэффициент (0,25 – 7 баллов, 0,5 - 8 баллов, 1,0 - 9 баллов);

$Q_k$  – вес, приходящийся на  $k$ -ый узел;

$W_i$  - спектральный коэффициент, определяемый по п.2.14 [3];

$K_\delta$  - коэффициент диссипации, определяемый по п.2.16 [3];

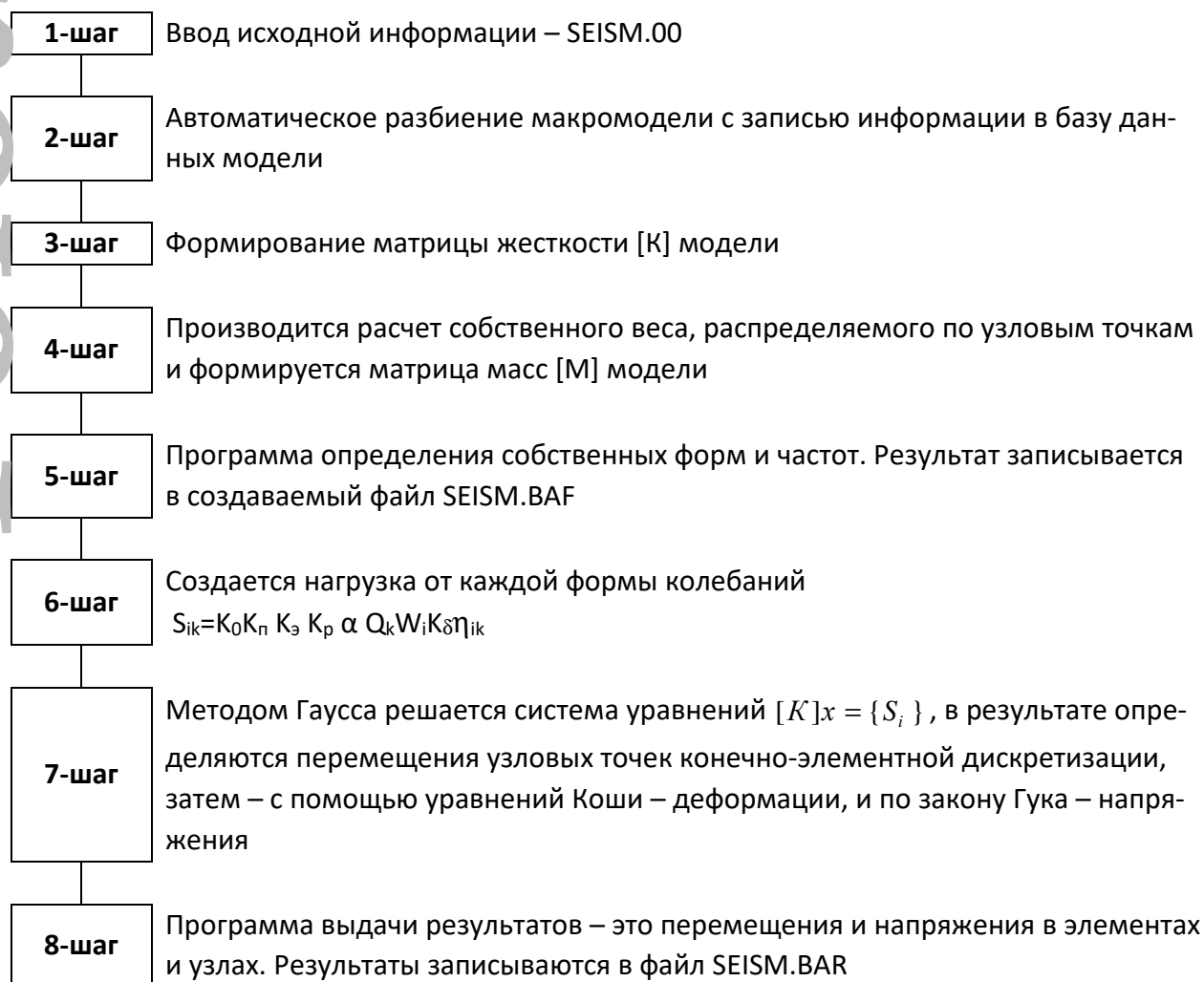
$\eta_{ik}$  - коэффициенты собственных форм, полученные при решении задачи на собственные значения.

Ниже представлена блок-схема программного комплекса. Первые два шага в блок-схеме содержат описанный выше файл с вводом исходной геометрии и конечно-элементной дискретизации модели здания. На третьем и 4-ом шаге формируются матрицы масс и жесткости модели. На 5-ом – определяются частоты, периоды и формы собственных колебаний. По сформированной сейсмической нагрузке (1) (шаг 6) фор-

мируется правая часть линейной системы уравнений, которая решается методом Гаусса (7 шаг) и выдаются результаты перемещений и компонент напряжений в элементах конструкции.

Последовательность работы и описание исполняемых функций описаны в ниже приводимой блок-схеме:

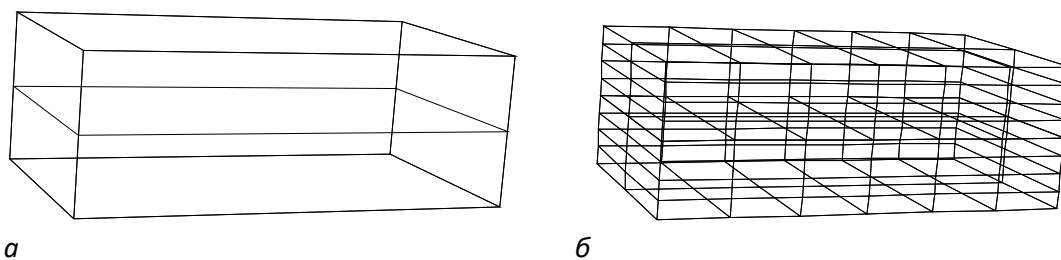
*Блок-схема работы комплекса SEISM-STAB-BUILDING*



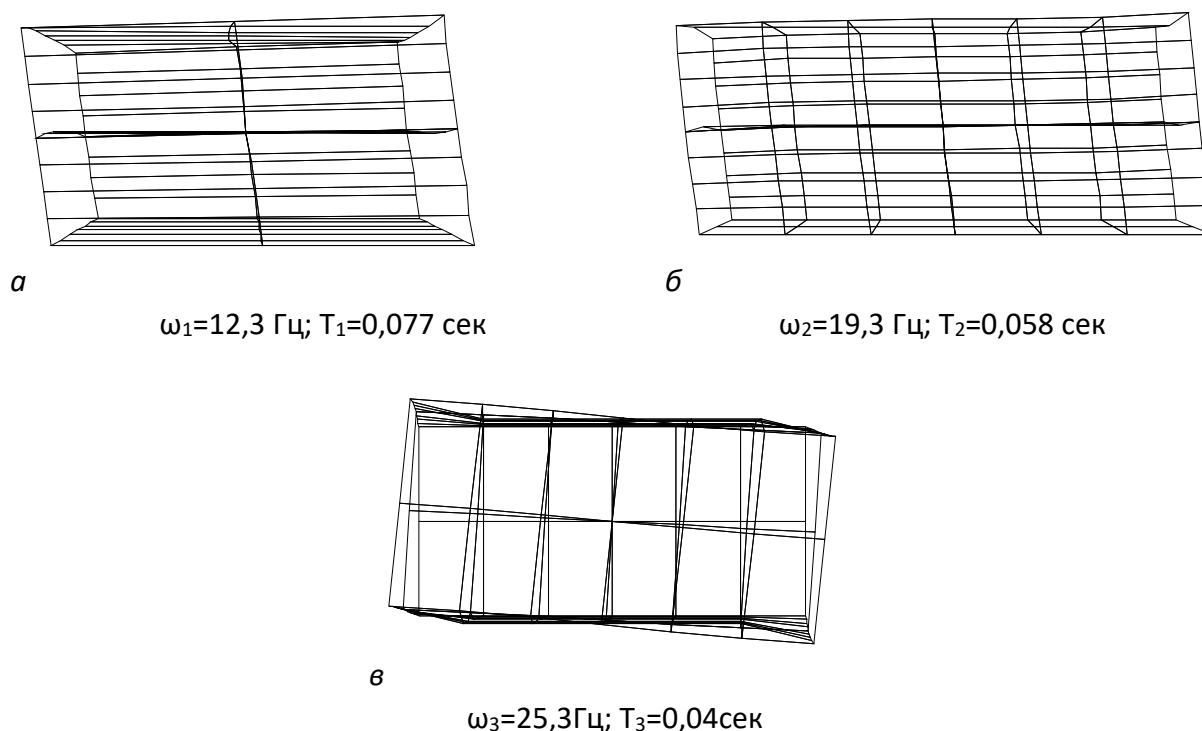
Ниже приведены результаты расчета прямоугольной двухэтажной модели здания, полученные с использованием комплекса SEISM-STAB-BUILDING.

Пример использования разработанного комплекса. На рисунке 1, а представлена исходная модель двухэтажного здания. Его реальная геометрия задается выполнением первого шага, указанного на блок-схеме. На рисунке 1, б – результат выполнения второго шага, представляющего автоматическое разбиение исходной модели на прямоугольные конечные элементы.

После формирования матриц масс и жесткости (3 и 4 шаги) и решения однородной системы (5-шаг) получены три формы и соответствующие собственные частоты, показанные на рис. 2 (а-в) в разных ракурсах.



**Рисунок 1. – Исходная модель здания (а) и ее конечно-элементная дискретизация прямоугольными элементами (б)**



первая (поперечный сдвиг - а); вторая (продольный сдвиг - б); третья (кручение - в)

**Рисунок 2. – Собственные частоты и соответствующие формы колебаний**

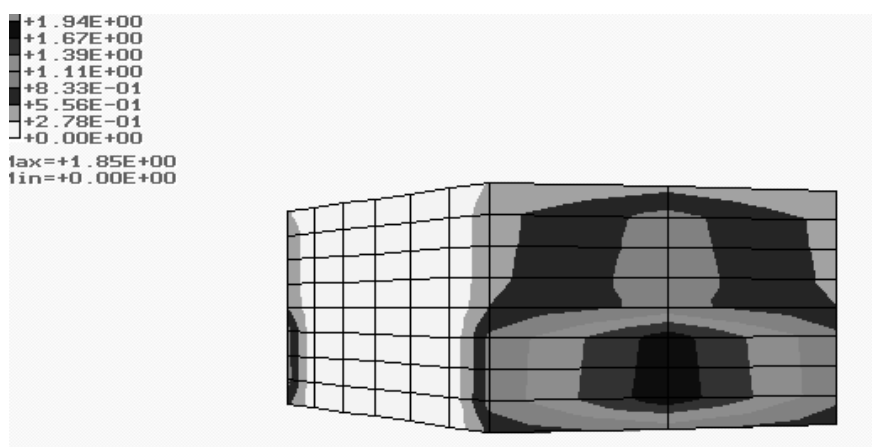
В результате выполнения 6-го шага создается нагрузка от каждой формы колебаний, номер которой совпадает с номером формы.

По приложенной нагрузке определяются перемещения в узлах (7-шаг), по формулам Коши – деформации и по ним – напряжения в элементах по закону Гука.

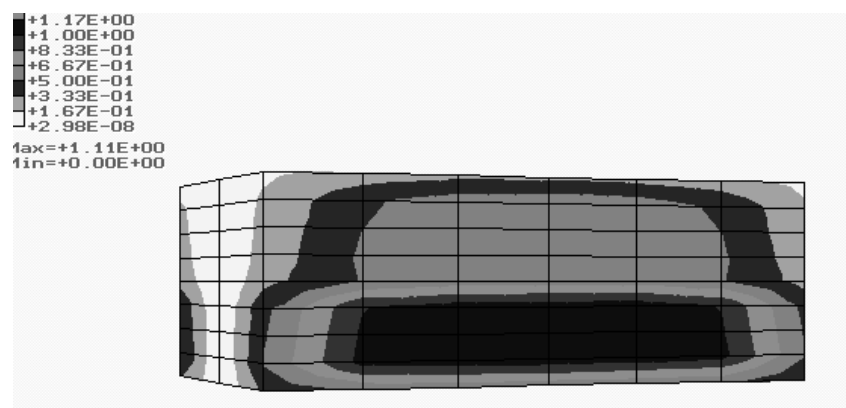
Результаты выдаются (8-шаг) в файле SEISM.BAR, где указан номер узла, его линейные перемещения (три значения по осям) и углы поворота (три значения); затем номер узла; нормальные напряжения (три значения – по осям X,Y,Z) касательные (три - в плоскостях XY, YZ и ZX), главные (три) и эквивалентные напряжения.

На рис.3 показаны касательные напряжения в стенках при первой форме колебаний здания - при поперечном изгибе (рис.3а) и второй форме – продольных колебаниях

(рис.3б). В левом верхнем углу каждого рисунка указаны значения напряжений в зависимости от окраски участка, а также максимальные и минимальные значения напряжений. Результаты показывают максимальные значения напряжений (1,85 МПа) на торцах здания при первой форме колебаний (рис.3а) и 1,11 МПа на продольных стенах – при второй (рис.3б). Далее полученные значения сравниваются с расчетными сопротивлениями кладки срез, на основе чего делается вывод о прочности стен и перекрытий.



а



б

**Рисунок 3. – Поля распределений касательных напряжений в стенах здания при первой (а) и второй (б) формам колебаний, полученные с применением комплекса программ SEISM-STAB-BUILDING**

**Заключение.** Расчеты показали, что максимальные значения сдвиговых напряжений в стенах здания составляют 1,85 МПа (для первой формы) и 1,11 МПа (для второй). Учет поправочных коэффициентов и интенсивности сейсмического воздействия, например, 7 баллов, в формуле сейсмической нагрузки (1) позволяет скорректировать полученные напряжения. Для первой формы это будет 0,78 МПа, для второй – 0,625 МПа.

Максимальные расчетные сопротивления на срез для стен кирпичной кладки составляют 0,8 МПа и 0,65 МПа. Для кладки камней и растворов более низких марок рас-

четные сопротивления не превышают 0,5 МПа, а значит в стенах нижнего этажа возможно появление трещин при 7-балльном землетрясении, а тем более при более интенсивных воздействиях. Это необходимо учитывать при строительстве.

Проведенный расчет выполнен на основе использования разработанного комплекса программ.

Таким образом, изложены методика, алгоритм и программа статического расчета напряженно-деформированного состояния и расчета на сейсмические воздействия, предусматривающие определение собственных частот и форм колебаний пространственных моделей индивидуальных зданий с элементами усиления - каркасом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Razzakov, S.J. Experimental and theoretical approach to the determination of physical and mechanical characteristics of the material of the walls of the low-strength materials [Text] / S.J. Razzakov // European Science Review-Austria, 2016. – №7–8. – P. 215–216.
2. Раззаков, С.Ж. Исследование напряженно-деформированного состояния одноэтажной постройки с внутренней перегородкой при статической оттягивающей нагрузке по верхнему поясу строения [Текст] / С.Ж. Раззаков // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2016. – № 6. – С. 14–19.
3. Строительство в сейсмических районах: КМК 2.01.03-96. – Т.: Госкомархитектстрой, 1996. – 65 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020



2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>