

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №5, Том 14 / 2022, No 5, Vol 14 <https://esj.today/issue-5-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/37SAVN522.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Валиев, А. Д. Расчет кирпичной дымовой трубы на сейсмические воздействия. Сравнительный анализ методов расчета / А. Д. Валиев, З. К. Абаев, М. Ю. Кодзаев // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/37SAVN522.pdf>

**For citation:**

Valiev A.D., Abaev Z.K., Kodzaev M.Yu. Seismic calculations of masonry chimney. Comparison of the calculation methods. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(5): 37SAVN522. Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN522.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Валиев Азамат Джониевич**

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)», Владикавказ, Россия  
E-mail: [azamat99valiev@gmail.com](mailto:azamat99valiev@gmail.com)

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1124556](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1124556)

**Абаев Заурбек Камболатович**

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)», Владикавказ, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [abaich@yandex.ru](mailto:abaich@yandex.ru)

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=756761](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=756761)

**Кодзаев Марат Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)», Владикавказ, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [m\\_kodzaev@mail.ru](mailto:m_kodzaev@mail.ru)

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=345915](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=345915)

## Расчет кирпичной дымовой трубы на сейсмические воздействия. Сравнительный анализ методов расчета

**Аннотация.** Появление и развитие компьютерных программных комплексов упрощает моделирование и расчет строительных конструкций на воздействие таких сложных природных явлений, как землетрясения. Использование программных комплексов для расчета сокращает количество рутинной работы, которая является частью ручного расчета, без ущерба для качества. С помощью компьютерного моделирования разные части одной и той же сложной системы можно создавать отдельно и комбинировать на последнем этапе. Эти отдельные части сохранены и доступны для повторного использования позже. Также может автоматически создавать подробные чертежи и ведомости материалов для производителя. В связи с этим владение существующими приближенными методами традиционного — ручного расчета не выглядят столь необходимо. Однако для корректной задачи исходных данных, понимания работы конструкций и отдельных стыковых узлов, необходимо знание последовательности традиционного — ручного расчета. Целью настоящего исследования является сравнительный анализ методов расчета кирпичной дымовой трубы на сейсмическое воздействие. В качестве объекта принята кирпичная дымовая труба высотой 45 м. Методы. Расчет производился тремя различными способами: традиционным — ручным способом; компьютерным моделированием

с расчетной схемой в виде стержня переменной жесткости; компьютерным моделированием с расчетной схемой из 4-узловых пластинчатых элементов. Результаты. Проведенные расчеты и их сравнение позволяет сделать вывод, что компьютерное моделирование облегчает и ускоряет процесс расчета. Наиболее быстрым из способов моделирования является модель с использованием стержневых элементов. Погрешность относительно ручного расчета в среднем составляет 5,7 %.

**Ключевые слова:** кирпичная дымовая труба; сейсмическое воздействие; сейсмическая нагрузка; линейно спектральная теория; конечные элементы; модальный анализ; матрица

## Введение

Землетрясение крайне сложное для расчета явление. Существуют приблизительные способы моделирования сейсмического воздействия на здания и сооружения. Последовательность этого расчета показана в современных строительных правилах. Однако существуют программные комплексы, позволяющие облегчить весь трудоемкий процесс и свести его к построению расчетной модели и заданию исходных данных для расчета, таких как геометрические и жесткостные характеристики элемента и характеристики для расчета на динамическое воздействие.

Одним из таких программных комплексов является Лира-САПР. Отечественный программный комплекс, в котором реализован метод расчета — метод конечных элементов. Расчеты в программных комплексах намного ускоряют проектирование конструкций, но вместе с этим появляется вопрос, насколько точны данные методы.

**Целью настоящего исследования** является сравнительный анализ методов расчета кирпичной дымовой трубы на сейсмические воздействия.

**Объектом исследования** настоящей работы является кирпичная дымовая труба высотой 45 м (рис. 1) [1].

## Методы

Ручной расчет будет производиться в соответствии с линейно-спектральной теорией, используемой в отечественных нормах и широко освещенной в научно-технической литературе [2–5]. Данный метод расчета основан на разложении системы дифференциальных уравнений движений по собственным формам и включает в себя следующие этапы:

- составление динамической расчетной схемы;
- модальный анализ выбранной расчетной схемы;
- определение модальных (т. е. соответствующих каждой из собственных форм) инерционных сейсмических нагрузок;
- приложение модальных инерционных нагрузок к расчетной схеме статически и определение модальных откликов конструкции (определение перемещений, внутренних усилий);
- вычисление суммарного (расчетного) сейсмического отклика, суммируя соответствующие модальные отклики по специальным формулам;
- оценка сейсмостойкости конструкции по суммарному отклику [3].

Компьютерное моделирование будет производиться в программном комплексе Лира-САПР в двух различных вариантах:

- моделирование с помощью стержня с переменной жесткостью;
- моделирование с помощью пластинчатых элементов.

Задание исходных данных будет проводиться, ссылаясь на актуальные строительные нормы.

### 1. Ручной расчет

В результате сбора нагрузок были определены узловые массы. Расчетная схема представлена на рисунке 2. Для облегчения расчета принимается расчетная схема с тремя сосредоточенными массами в местах характерного изменения сечения трубы.

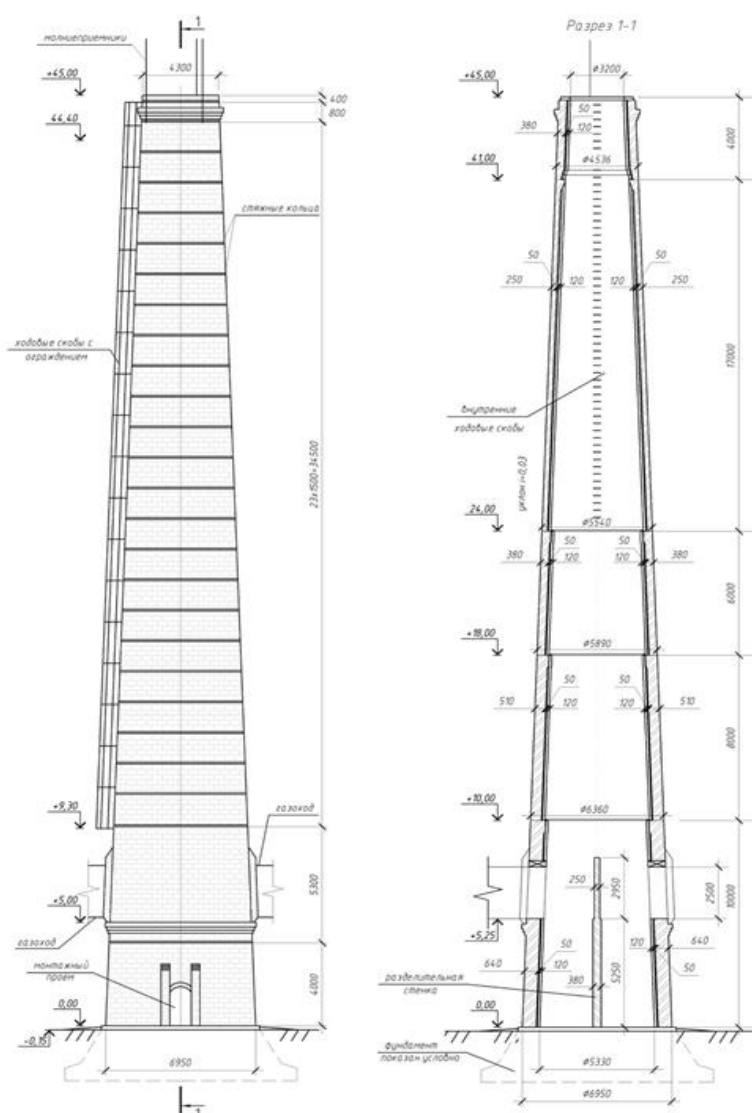


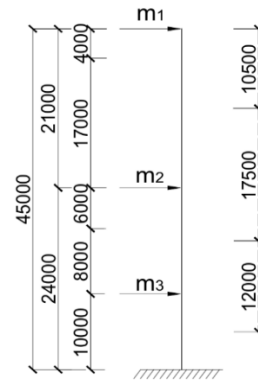
Рисунок 1. Объект исследования (труба дымовая кирпичная  $h = 45 \text{ м}$ )<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Абаев З.К. Оценка дефицита сейсмостойкости кирпичной дымовой трубы в соответствии с актуальными нормами проектирования / З.К. Абаев, М.Ю. Кодзаев, А.Д. Валиев // Строительство и техногенная безопасность. — 2020. — № 19(71). — С. 13–25. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-19-13-25.

$$m_1 = Q_1 + 6,5/17 Q_2 = 1097 \text{ кН},$$

$$m_2 = 11,5/17 Q_2 + Q_3 + 1/8 Q_4 = 2205 \text{ кН},$$

$$m_3 = 7/8 Q_4 + 1/2 Q_5 = 2640 \text{ кН},$$



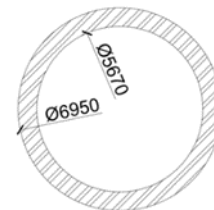
**Рисунок 2.** Расчетная схема (разработан авторами)

Также для облегчения ручного расчета трубы жесткость была принята одна по всей длине:

$$EI = 5,76 \cdot 10^6 \cdot 63,78 = 36,7 \cdot 10^7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2,$$

где  $I$  — момент инерции сечения (принимается по максимальному диаметру — рис. 3),

$$I = (\pi d^4)/64 = (3,14 (6,95^4 - 5,67^4))/64 = 63,78 \text{ м}^4$$



**Рисунок 3.** Сечение трубы (разработан авторами)

Модуль упругости  $E = 5760$  МПа, согласно СП 427.1325800.2018 Каменные и армокаменные конструкции.

*Модальный анализ выбранной расчетной схемы.*

Модальный анализ — осуществляется с целью определения собственных динамических характеристик расчетной схемы:

$$([D] \cdot [M] - \lambda[E]) = [0],$$

где  $[M]$  — матрица масс,

$$[M] = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1097 & 0 & 0 \\ 0 & 2205 & 0 \\ 0 & 0 & 2640 \end{pmatrix};$$

$[D]$  — матрица податливости:

$$[D] = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{pmatrix} = 10^{-6} \begin{pmatrix} 82,7 & 29 & 5,67 \\ 29 & 12,55 & 2,81 \\ 5,67 & 2,81 & 0,907 \end{pmatrix},$$

где  $\delta_{ij}$  — перемещение точки  $j$  от воздействия единичного усилия в точке  $i$  (рис. 4):

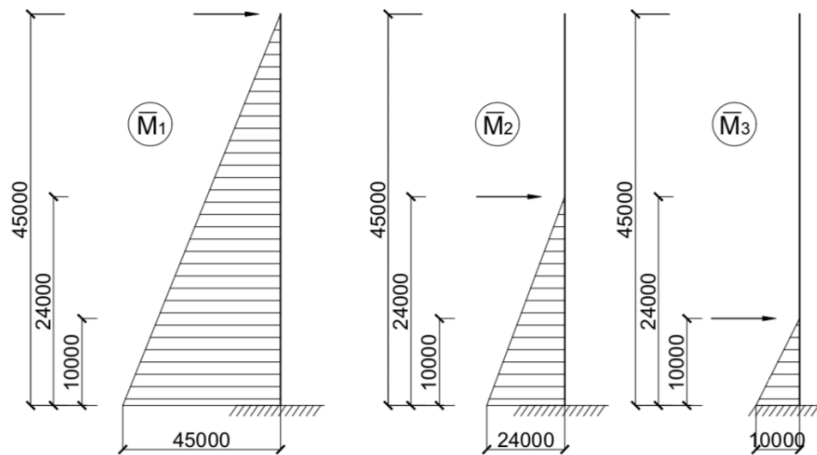


Рисунок 4. Единичные эпюры (разработан авторами)

$[E]$  — единичная матрица.

Периоды колебания сооружения:

$$T_0 = 2\pi / \omega_i,$$

где  $\omega_i$  — собственные частоты сооружения:

$$\omega_i = \sqrt{1/\lambda_i},$$

где  $\lambda_i$  — собственные значения матрицы:

Определяем собственные значения матрицы:

$$\lambda_1 = 0,0005; \lambda_2 = 0,005; \lambda_3 = 0,115.$$

Определяем собственные частоты и периоды колебаний.

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \sqrt{1/0,0005} = 44,72 \text{ c}^{-1} & T_1 &= 2 \cdot 3,14 / 44,72 = 0,14 \text{ c} \\ \omega_2 &= \sqrt{1/0,005} = 14,14 \text{ c}^{-1} & T_2 &= 2 \cdot 3,14 / 14,14 = 0,44 \text{ c} \\ \omega_3 &= \sqrt{1/0,115} = 2,94 \text{ c}^{-1} & T_3 &= 2 \cdot 3,14 / 2,94 = 2,12 \text{ c} \end{aligned}$$

Собственные векторы матрицы б:

$$u_1 = \begin{bmatrix} -0,16493 \\ -0,466 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad u_2 = \begin{bmatrix} 0,43215 \\ -0,81849 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad u_3 = \begin{bmatrix} 0,07478 \\ 0,36875 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Вопросам моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния кирпичных дымовых труб посвящено множество работ [4–11]. В настоящей работе будут рассмотрены два варианта моделирования (i) приближенный, в виде стержня различной жесткости и (ii) точный, в виде объемной фигуры.

## 2. Компьютерное моделирование с расчетной схемой в виде стержня различной жесткости

Расчетная система представляет собой консольный стержень переменного сечения, жестко закрепленный у основания. Сечение стержня соответствует фактической схеме трубы.

По всей высоте стержень разделен на 5 участков. Каждый из которых имеет различное сечение. Форма которого выбрана — кольцо. Задание жесткости одного из сечений представлено на рисунке 5а. А задание характеристик для расчета на динамическое воздействие в соответствии с СП 14.133330.2018 показано на рисунке 5б. Направляющий косинус равнодействующей сейсмического воздействия в глобальной системе координат выбран по направлению X равный единице, что означает все воздействие приходится в направлении этой оси.

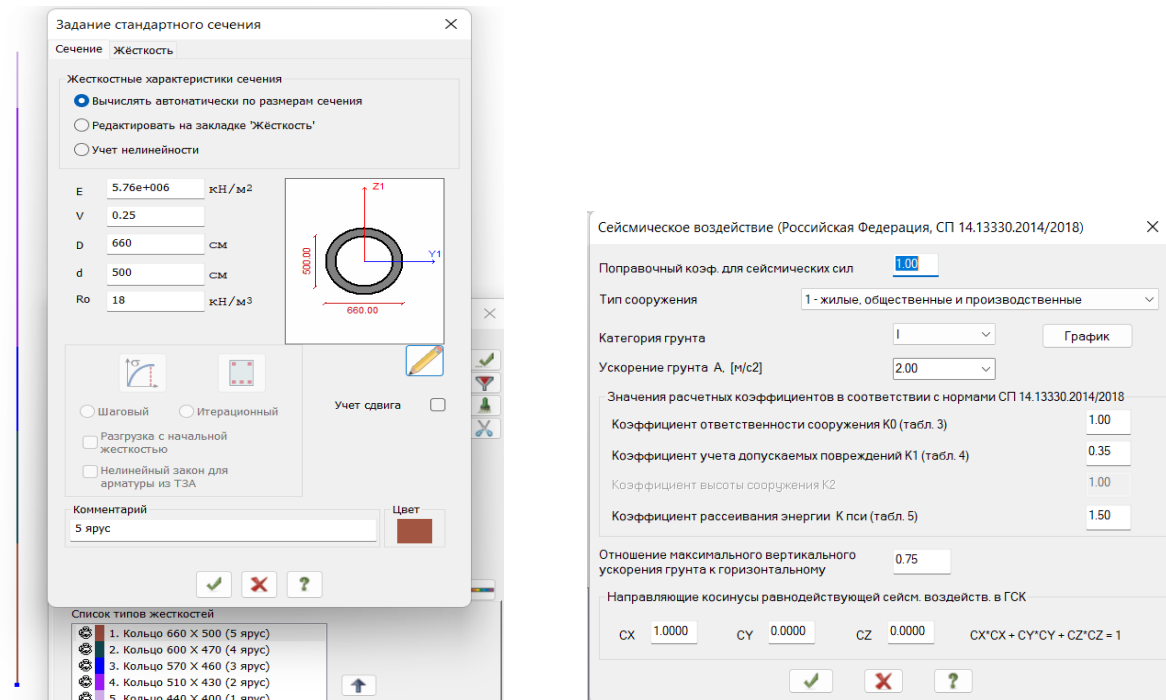
Заданы были два вида нагрузок:

- постоянная от собственного веса;
- сейсмическая нагрузка.

Коэффициент преобразования был взят равный 1.

К недостаткам этого способа моделирования трубы можно отнести невозможность задания сечения изменяемой ширины в участках постоянной толщины стенок трубы, что, в свою очередь, увеличивает жесткостные параметры всей системы в целом.

К плюсам можно отнести простоту подготовки расчетной модели и близкие результаты с традиционным — ручным способом.



а. Жесткость сечения

б. Расчетные характеристики

Рисунок 5. Задание характеристик (разработан авторами)

### 3. Компьютерное моделирование с расчетной схемой в виде объемной фигуры, выполненной из пластин

Расчетная схема создана с помощью инструмента Генерация пластинчатой поверхности конуса. По периметру схема разделяется на 10 пластин, а по высоте разделена на пластины с шагом равным одному метру по всей высоте. Ширина пластинчатых элементов соответствуют переменному сечению фактической трубы с соответствующим объемным весом.

Расчетная схема и задание жесткостных характеристик представлены на рисунке 6. В модели также имеется 5 характерных сечений различной ширины. Способ является более трудоемким. Однако ввиду постоянного изменения ширины поперечного сечения по всей высоте сооружения и расчета как объемный элемент, результаты дадут реальную картину работы кирпичной трубы. Что позволит рассматривать результаты при данном способе моделирования как референтные.

### Результаты

Расчетная сейсмическая нагрузка в расчетной схема в выбранном направлении при традиционном — ручном расчете равна:

$$\begin{bmatrix} S_{11}^{расч} \\ S_{21}^{расч} \\ S_{31}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_1 \cdot \begin{bmatrix} 14,7 \\ 145,7 \\ 473,2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} S_{12}^{расч} \\ S_{22}^{расч} \\ S_{32}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_2 \cdot \begin{bmatrix} 74,6 \\ -66,2 \\ -30 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} S_{13}^{расч} \\ S_{23}^{расч} \\ S_{33}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_3 \cdot \begin{bmatrix} 41,1 \\ 189,1 \\ -186,3 \end{bmatrix}$$

Для первой категории грунта и определенными периодами колебаний коэффициенты  $\beta_i$  соответственно равны 1,08; 2,5 и 2,5.

При компьютерном моделировании расчетная сейсмическая нагрузка в выбранном направлении определяется автоматически в 6 характерных узлах изменения жесткости. Получившиеся значения представлены в таблице 1.

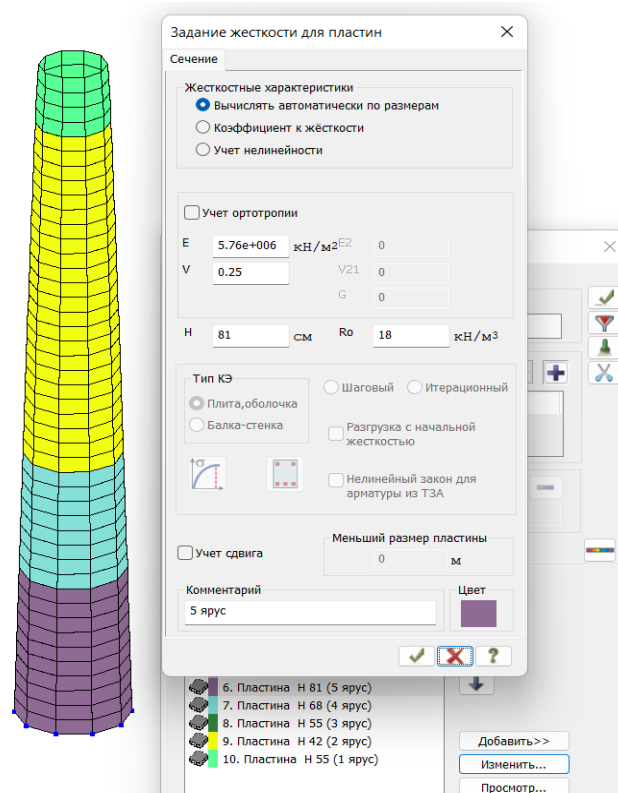


Рисунок 6. Жесткость сечения (разработан авторами)

Как видим из таблицы и результатов ручного расчета, направление сил в заданных ярусах направлено в одном направлении.

Также для оценки точности результатов можно сравнить результаты продольной силы у основания трубы. У модели, выполненной из стержневых элементов, продольная сила равна 7,16 МН, а в объемной модели 0,467 МПа. Для перевода давление в силу, необходимо умножить значение давления на площадь основания.

Площадь основания заданной окружности у основания равна:

$$A = 3,14 \cdot (6,95^2 - 5,33^2) / 4 = 15,16 \text{ м}^2,$$

Определяем суммарную продольную силу у основания для объемной модели:

$$N = 15,16 \cdot 0,467 = 7,292 \text{ кН},$$

Погрешность между результатами двух компьютерных моделей равна:

$$\Delta = 1,8 \text{ \%}.$$

**Таблица 1**

**Значения сейсмической нагрузки в расчетной схеме из пластинчатых элементах**

| №  | Загружение | Узел | $S_i$ , кН |
|----|------------|------|------------|
| 1  | 2 — 1      | 1    | 0          |
| 2  | 2 — 1      | 2    | -38,682    |
| 3  | 2 — 1      | 3    | -74,582    |
| 4  | 2 — 1      | 4    | -143,57    |
| 5  | 2 — 1      | 5    | -292,26    |
| 6  | 2 — 1      | 6    | -32,57     |
| 7  | 2 — 3      | 1    | 0          |
| 8  | 2 — 3      | 2    | -165,16    |
| 9  | 2 — 3      | 3    | -228,85    |
| 10 | 2 — 3      | 4    | -298,73    |
| 11 | 2 — 3      | 5    | 133,17     |
| 12 | 2 — 3      | 6    | 24,86      |

### Обсуждение результатов

Для определения точности результатов моделирования, предварительно была проверено максимальная продольная сила элементов.

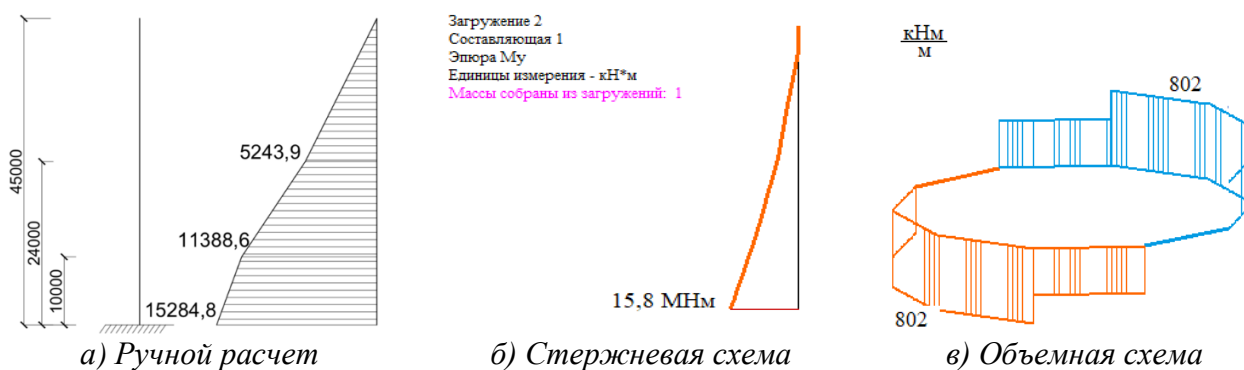
При динамическом расчете систем с несколькими степенями свободы требуется определить значение изгибающих моментов в каждой из учитываемых форм колебаний. Далее для получения итоговой эпюры изгибающих моментов нужно просуммировать по формуле соответствующие значения усилий. Формула, по которой высчитывается наиболее вероятный при сейсмическом воздействии суммарный отклик конструкции называется правилом “ККСК”, что означает квадратный корень из суммы квадратов.

$$M_i^{сум} = \sqrt{(M_{i1})^2 + (M_{i2})^2 + (M_{i3})^2}.$$

Сравнение результатов суммарных эпюр изгибающих моментов представлены на рисунке 7.

Традиционный расчет позволяет понять сущность расчета, одна ввиду больших трудозатрат не рекомендуется к использованию. И при учете большого количества промежуточных действий, велика вероятность допустить ошибку. В связи с этим наиболее привлекательно выглядят способ компьютерного моделирования.





**Рисунок 7.** Сравнение суммарных эпюр изгибающих моментов (разработан авторами)

На рисунках представлены моменты в основании кирпичной трубы. Для пластинчатой расчетной схемы приведены результаты погонного изгибающего момента. Умножив его на длину окружности, задействованной в восприятии момента окружности получим момент равный 14,6 МН·м.

Погрешность традиционного — ручного способа относительно компьютерного моделирования объемной моделью составляет 4,5 %; погрешность расчета со стержневой расчетной схемой по сравнению с объемной составляет 7,6 %. Однако при существенно меньших трудозатрах, такая схема рекомендуется для предварительного расчета.

Периоды колебаний при компьютерном моделировании равны для 1–3 формы собственных колебаний соответственно 0,17; 0,67 и 2,02 секунды. Что в среднем отличается от периодов колебаний при традиционном расчете на 18,51 %.

### Заключение

Подводя итоги, можно сделать несколько ключевых выводов, позволяющих оценить трудоемкость и точность каждого из способов расчета консольной системы на сейсмическое воздействие:

1. Ручной расчет наиболее трудозатратный, и при учете большого количества промежуточных расчетов, необходимых для определения исходных данных для расчета, присутствует большая вероятность допустить ошибку. Имеет смысл для получения понимания о последовательности и смысле расчета элемента в компьютерных программных комплексах.
2. Стержневой расчет наименее трудозатратный способ. Погрешность результатов этого способа, относительно референтного способа моделированием пластинчатыми 4-узловыми конечными элементами, составляет 7,6 %.
3. Моделированием пластинчатыми элементами позволяет детально понять работу конструкции и получить наиболее точные результаты по напряжениям в теле элемента.
4. Средняя погрешность расчета с помощью программных комплексов относительно традиционно-ручного способа составляет 5,7 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абаев З.К. Оценка дефицита сейсмостойкости кирпичной дымовой трубы в соответствии с актуальными нормами проектирования / З.К. Абаев, М.Ю. Кодзаев, А.Д. Валиев // Строительство и техногенная безопасность. — 2020. — № 19(71). — С. 13–25. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-19-13-25.
2. Абаев З.К. Анализ сейсмостойкости конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий / З.К. Абаев, М.Ю. Кодзаев, А.А. Бигулаев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2020. — Т. 16, № 1. — С. 76–82. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82.
3. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость — СПб.: Наука, 1998. — 254 с.
4. Долгов Г.В., Колосов С.М., Дургел-Оглы Ю.В., Друзякин С.Л., Петров О.Ю. Изменения требований к кирпичным дымовым трубам в актуальной редакции СНИП 2.09.03-85\* // Научные труды КубГТУ. 2016. № 3. С. 199–204.
5. Акатьев В.А., Волкова Л.В., Тюрин М.П., Бородин Е.С. Учет начальных признаков критической деградации дымовой трубы в анализе риска ее разрушения // Безопасность в техносфере. 2018. № 4. С. 11–16. DOI: 10.12737/article\_5cf6646e9e17c2.03590798.
6. Guedes J.M., Lopes V., Quelhas B., Costa A., Ilharco T., Coelho F. Brick masonry industrial chimneys: assessment, evaluation and intervention // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2019. Vol. 377(2155). 20190012. DOI:10.1098/rsta.2019.0012.
7. Pallarés F.J., Agüero A., & Ivorra S. A comparison of different failure criteria in a numerical seismic assessment of an industrial brickwork chimney // Materials and Structures. 2009. No. 42. Vol. 2. Pp. 213–226. DOI: 10.1617/s11527-008-9379-5.
8. López-Patiño G., Adam J., Gimeno P., Milani G. Causes of damage to industrial brick masonry chimneys // Engineering Failure Analysis. Vol. 74. Pp. 188–201. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2017.01.014.
9. Longarini N., Zucca M. A chimney's seismic assessment by a tuned mass damper // Engineering Structures. vol. 79. Pp. 290–296. DOI: 10.1016/j.engstruct.2014.05.020.
10. Minghini, F., Milani, G., & Tralli, A. Seismic risk assessment of a 50m high masonry chimney using advanced analysis techniques // Engineering Structures. 2014. Vol. 69. Pp. 255–270. doi: 10.1016/j.engstruct.2014.03.028.
11. Minghini F., Bertolesi E., Del Grosso A., Milani G., Tralli A. Modal pushover and response history analyses of a masonry chimney before and after shortening // Engineering Structures. Vol. 110. Pp. 307–324. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.11.016.

### Valiev Azamat Dzhonievich

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Techno-logical University), Vladikavkaz, Russia  
E-mail: [azamat99valiev@gmail.com](mailto:azamat99valiev@gmail.com)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1124556](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1124556)

### Abaev Zaurbek Kambolatovich

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Techno-logical University), Vladikavkaz, Russia  
E-mail: [abaich@yandex.ru](mailto:abaich@yandex.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=756761](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=756761)

### Kodzaev Marat Yurievich

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Techno-logical University), Vladikavkaz, Russia  
E-mail: [m\\_kodzaev@mail.ru](mailto:m_kodzaev@mail.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=345915](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=345915)

## Seismic calculations of masonry chimney. Comparison of the calculation methods

**Abstract.** The emergence and development of computer software systems simplifies the modeling and calculation of building structures for the impact of such complex natural phenomena as earth-quakes. Software systems for calculation reduces the amount of routine work that is part of manual calculation, without sacrificing quality. With the help of computer simulation, different parts of the same complex system can be created separately and combined at the last stage. These individual parts might be saved and available for reuse later. It can also automatically generate detailed drawings for the manufacturer. In this regard, the possession of existing approximate methods of traditional — manual calculation does not look so necessary. Possession of the existing approximate method of traditional — manual calculation does not seem so necessary. However, for the correct task of the initial data, it is necessary to know the calculation sequence. The purpose of this study is a comparative analysis of methods for calculating a brick chimney for seismic impact. A brick chimney 45 m high was taken as an object. Methods. The calculation was made in three different ways: traditional — by hand; computer simulation with a design scheme in the form of a rod of variable stiffness; computer simulation with a design scheme of 4-node plate final elements. Results. The performed calculations and their comparison allow to conclude that computer simulation facilitates the calculation process. The fastest of the modeling methods is a model using bar elements. The average discrepancy between the methods is 5.7 %.

**Keywords:** masonry chimney; seismic impact; seismic load; linear spectral theory; final element; modal analysis; matrix

### REFERENCES

1. Abaev Z.K., Kodzaev M.Yu. & Valiev A.D. Assessment of the seismic resistance deficit of brick masonry chimney according to relevant design codes. // Construction and Industrial Safety., 2020. 71(19), Pp. 13–25. <http://dx.doi.org/10.37279/2413-1873-2020-19-13-25>. (In Russ.)
2. Abaev Z.K., Kodzaev M.Yu. & Bigulaev A.A. Earthquake resistance analysis of structural systems of multi-story civil buildings. // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings., 2020. 16(1), 72–86. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82>. (In Russ.).

3. Birbrayer A.N. Calculation of designs on seismic stability, SPb.: Nauka, 1998. 254 p. (In Russ.).
4. Dolgov G.V., Kolosov S.M., Durgel-Ogly Y.V., Druzyakin S.L., Petrov O.Y. Changes requirement for brick flues in the current edition SNIP 2.09.03-85 // Scientific works of the Kuban State Technological University. 2016. Vol. 3. Pp. 199–204.
5. Akatev V., Volkova L.V., Tyurin M.P., Borodina E.S. Taking into Account the Initial Signs of Critical Degradation of a Chimney in the Analysis of the Risk of Its Destruction // Safety in Technosphere. 2018. Vol. 4. Pp. 11–16. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5cf6646e9e17c2.03590798](https://doi.org/10.12737/article_5cf6646e9e17c2.03590798).
6. Guedes J.M., Lopes V., Quelhas B., Costa A., Ilharco T., Coelho F. Brick masonry industrial chimneys: assessment, evaluation and intervention // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2019. Vol. 377(2155). 20190012. DOI:10.1098/rsta.2019.0012.
7. Pallarés F.J., Agüero A., & Ivorra S. A comparison of different failure criteria in a numerical seismic assessment of an industrial brickwork chimney // Materials and Structures. 2009. No. 42. Vol. 2. Pp. 213–226. DOI: 10.1617/s11527-008-9379-5.
8. López-Patiño G., Adam J., Gimeno P., Milani G. Causes of damage to industrial brick masonry chimneys // Engineering Failure Analysis. Vol. 74. Pp. 188–201. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2017.01.014.
9. Longarini N., Zucca M. A chimney's seismic assessment by a tuned mass damper // Engineering Structures. vol. 79. Pp. 290–296. DOI: 10.1016/j.engstruct.2014.05.020.
10. Minghini, F., Milani, G., & Tralli, A. Seismic risk assessment of a 50 m high masonry chimney using advanced analysis techniques // Engineering Structures. 2014. Vol. 69. Pp. 255–270. doi: 10.1016/j.engstruct.2014.03.028.
11. Minghini F., Bertolesi E., Del Grosso A., Milani G., Tralli A. Modal pushover and response history analyses of a masonry chimney before and after shortening // Engineering Structures. Vol. 110. Pp. 307–324. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.11.016.