

Для цитирования: Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):8-15. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

For citation: Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. REGULATION OF PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE SPATIAL FRAME OF THE BUILDING. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):8-15. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕХАНИКА PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE. MECHANICS

УДК 624.048

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

Агаханов Э.К.¹, Кравченко Г.М.², Труфанова Е.В.³

¹Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, e-mail: elifhan@bk.ru.

²³Донской государственный технический университет»,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1,²e-mail: Galina.907@mail.ru
³e-mail: El.Trufanova@mail.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ

Аннотация. Цель. В статье рассматривается проблема влияния геометрических характеристик элементов железобетонного каркаса здания на параметры форм собственных колебаний системы. **Методы.** Разработана конечно-элементная модель объекта в программном комплексе Ing+ по пространственной плитно-стержневой схеме методом конечных элементов. Плитный ростверк, плиты перекрытия и покрытия, стены и диафрагмы жесткости моделировались треугольными оболочечными элементами с 18-ю степенями свободы и четырехугольными оболочечными элементами с 24-ю степенями свободы. Колонны моделировались пространственными стержнями с 12-ю степенями свободы. Пространственная жесткость каркаса обеспечена совместной работой колонн, диафрагм жесткости и плит перекрытий. Расчетная схема разработана с учетом жесткой заделки колонн, диафрагм жесткости и стен в монолитный плитный ростверк. **Результаты.** Исследовано семь вариантов различных проектных решений каркаса многоэтажного здания. В проектных решениях варьировались параметры поперечного сечения стен шахты лифта, диафрагм жесткости и плит перекрытий. В результате динамического расчета в программном комплексе Ing+ МКЭ получены максимальные перемещения верхней точки плиты перекрытия, частоты и периоды собственных колебаний. **Вывод.** Выполнен анализ результатов исследований по регулированию форм и частот собственных колебаний каркаса здания с учетом изменения жесткостей элементов каркаса. Результаты динамического расчета сведены в табличную, графическую и иллюстративную формы. Даны рекомендации по выбору варианта проектных решений каркаса здания с оптимальными параметрами собственных колебаний.

Ключевые слова: каркас здания, геометрические характеристики элементов каркаса, динамический расчет, формы собственных колебаний, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, параметры собственных колебаний

Elifhan K.¹ Agachanov, Galina M.² Kravchenko, Elena V.³ Trufanova

¹ Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: elifhan@bk.ru,

²³ Donskoy State Technical University,
1 Gagarina square, Rostov-on-Don, 344000,
²e-mail: Galina.907@mail.ru,
³e-mail: El.Trufanova@mail.ru

REGULATION OF PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE SPATIAL FRAME OF THE BUILDING

Abstract. Aim. In article the problem of influence of geometrical characteristics of elements of a steel concrete frame of the building on parameters of forms of natural oscillations of system is considered. **Methods.** The finite and element model of an object in a program complex of ING + according to the spatial slabby and rod diagram is developed by the finite-element method. A slabby grillage, plates of overlapping and a covering, a wall and a diaphragm of rigidity were modelled by triangular cover elements with 18 levels of freedom and quadrangular cover elements with the 24th freedom levels. Columns were modelled by spatial rods with 12 levels of freedom. Spatial rigidity of a frame is provided with collaboration of columns, diaphragms of rigidity and plates of overlappings. The estimated diagram is developed taking into account rigid seal of columns, diaphragms of rigidity and walls in a monolithic slabby grillage. **Results.** Seven versions of different project solutions of a frame of the multi-storey building are probed. In project decisions parameters of a transverse section of walls of the elevator shaft, diaphragms of rigidity and plates of overlappings varied. As a result of dynamic calculation in a program complex of ING + MKE are received the maximum relocation of the upper point of a plate of overlapping, frequency and the periods of natural oscillations. **Conclusion.** The analysis of results of researches on regulation of forms and frequencies of natural oscillations of a frame of the building taking into account change of rigidities of elements of a frame is made. Results of dynamic calculation are reduced in plate, graphic and illustrative forms. Recommendations about a choice of version of project solutions of a frame of the building with optimum parameters of natural oscillations are made.

Key words: building frame, geometrical characteristics of elements of a frame, dynamic calculation, forms of natural oscillations, finite-element method, finite and element model, parameters of natural oscillations

Введение. Регулирование частот собственных колебаний является одной из основных задач динамики сооружений. Задача регулирования перемещений и усилий в элементах строительных конструкций на разных стадиях работы сооружения может быть решена варьированием соотношения жесткостей элементов каркаса здания [3,4]. Современные нормы проектирования требуют выполнения расчета каркаса здания с учетом динамических воздействий. В связи с этим встает вопрос оптимального соотношения жесткостей каркаса здания при динамическом расчете [8]. Наиболее опасной считаются формы с низкими частотами колебаний. При регулировании параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания необходимо стремиться к минимальным отклонениям здания от вертикали. Кроме того, конструктивную схему здания следует принимать такой, при которой эффект закручивания в первых двух формах колебаний минимальный [17].

Постановка задачи. Постановка задачи регулирования форм и частот собственных колебаний пространственного каркаса здания требует выбора таких варьируемых параметров, которые в результате будут удовлетворять условиям надежности конструкции [14]. Для решения поставленной задачи необходимо предварительно задать область возможных решений с изменением варьируемых параметров [1]. При этом не ставится задача минимизации расходуемого материала. С целью упрощения модели пространственного каркаса здания совместная работа с грунтом основания не учитывалась. Принятые допущения несущественно влияют на точность полученных результатов [5,6,7,11].

Методы исследования. Объект исследования – 11-ти этажный жилой дом в г. Ростов-на-Дону. Жесткость сооружения обеспечена совместной работой элементов железобетонного каркаса. Класс бетона фундаментной плитной ростверка В20, стен подвала и элементов каркаса – В25. Высота фундаментной плиты – 900 мм, сечение колонн подвала, первого и второго этажей 500х500 мм, третьего и последующих этажей – 400х400 мм. Толщина стен подвала – 300 мм.

Для решения поставленной задачи выполнено моделирование пространственного каркаса здания методом конечных элементов по плитно-стержневой схеме в программном комплексе

Ing+ [13]. Плитный ростверк, плиты перекрытия и покрытия, стены и диафрагмы жесткости моделировались треугольными оболочечными элементами с 18-ю степенями свободы и четырехугольными оболочечными элементами с 24-ю степенями свободы. Колонны моделировались пространственными стержнями с 12-ю степенями свободы [16, 19, 20]. Расчетная схема разработана с учетом жесткой заделки колонн, диафрагм жесткости и стен в монолитный плитный ростверк. Основной шаг конечно-элементной сетки расчетной схемы 600х600 мм. Количество элементов – 42189. Количество узлов – 41362 (рис.1).

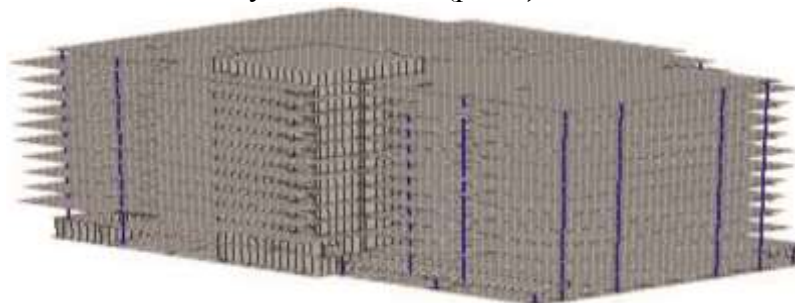


Рисунок 1 - Расчетная схема

В расчетной схеме учтены нагрузки, создающие инерционные силы: собственный вес несущих конструкций (учитывается программой автоматически), постоянные нагрузки, временные (полезные и снеговые) нагрузки. Для динамического расчета нагрузки и вес элементов конструкций переведены в массы (табл. 1) [2, 10,12].

Таблица 1 - Комбинация расчетных масс

Комбинации	Собственные колебания		Дополнительные колебания
К-1	НГ-1	НГ-2	НГ-3
	0,1	0,1	0,09

Для решения вопроса о влиянии геометрических характеристик элементов железобетонного каркаса здания на параметры форм собственных колебаний системы исследовано 7 различных конечно-элементных моделей каркаса многоэтажного здания с использованием программного комплекса Ing+ [18]. Варьировались параметры поперечного сечения стен шахты лифта, диафрагм жесткости и плит перекрытий.

Геометрические характеристики поперечных сечений элементов пространственной плитно-стержневой модели по 7 вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики поперечных сечений элементов пространственной плитно-стержневой модели

№ варианта	Толщина стен шахты лифта, мм.	Толщина диафрагм жесткости, мм.	Высота плит, мм.
1	200	200	220
2	300	300	220
3	250	250	220
4	180	180	220
5	200	300	220
6	200	300	200
7	200	300	230

В результате динамических расчетов семи вариантов расчетных схем получены формы и частоты собственных колебаний перемещения в узлах конструкции.

Общий вид форм колебаний для всех моделей представлен на рисунке 2.

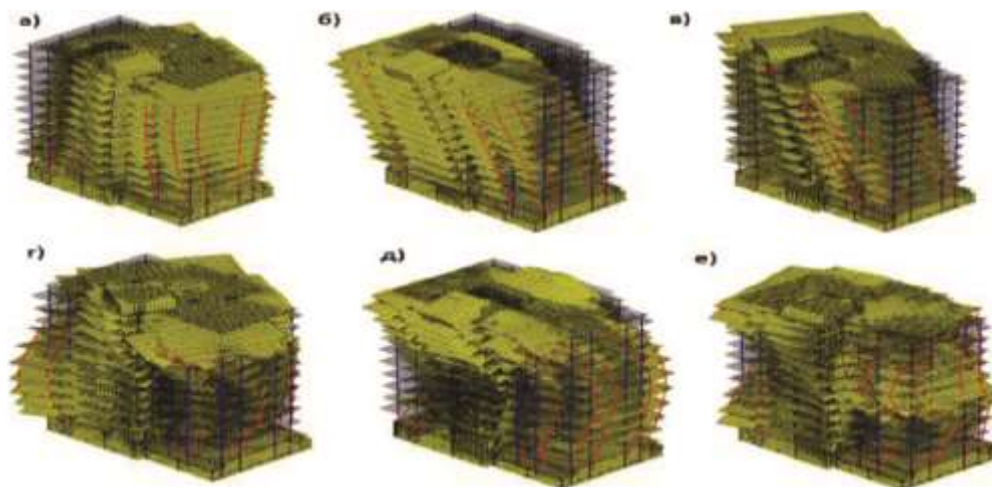


Рисунок 2 - Результаты расчета на собственные колебания:

а) форма 1; б) форма 2; в) форма 3; г) форма 4; д) форма 5; е) форма 6.

Обсуждение результатов. Конструктивно-планировочное решение рассматриваемого жилого здания является сложным. Первая форма собственных колебаний является крутильной относительно вертикальной оси [9, 15].

Результаты динамического расчета показали, что частоты колебаний четвертой, пятой и шестой форм превышают 1,2 Гц и могут не учитываться в соответствии с п.11 табл. 11.5 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Угловая скорость, частота колебаний и период колебания для первых трех форм колебаний по всем исследуемым моделям каркаса здания показаны на графиках (рис.3).

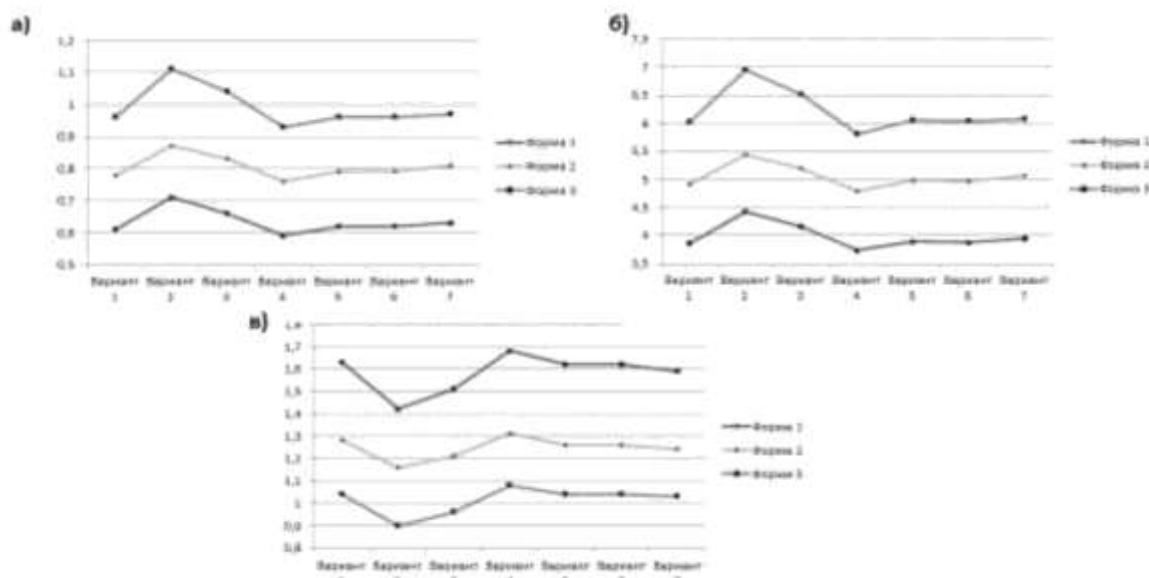


Рисунок 3 - Результаты динамического расчета:

а) угловая скорость; б) частота колебаний; в) период колебаний.

Характер изменения параметров свободных колебаний показал фактическое совпадение динамических характеристик в пределах исследования каждой формы для первого, пятого и

шестого вариантов расчетной схемы. Наиболее оптимальным является вариант №4, для которого получены минимальные частоты, угловые скорости и максимальный период колебаний.

В расчетной модели №2 получены максимальные скорости колебаний. Изменение спектра частот, угловых скоростей и периодов колебания внутри каждой формы не превышает 16,3%.

Максимальные перемещения угловой точки покрытия для каждой из форм собственных колебаний отражены на диаграммах (рисунки 4-6) [3].

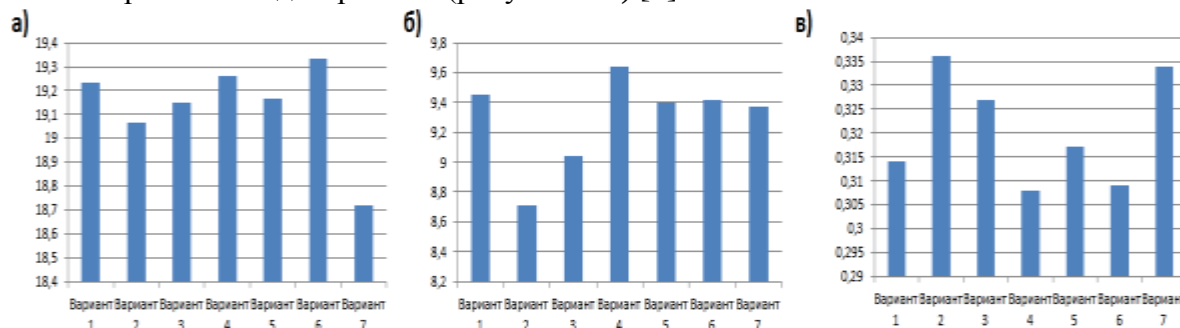


Рисунок 4 - Перемещения угловой точки покрытия при первой форме колебания:
а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

Максимальные перемещения угловой точки покрытия при первой форме колебания по оси X наблюдаются в шестом варианте, по оси Y – в четвертом, по оси Z – во втором. Наибольшее отклонение угловой точки покрытия от проектного положения достигается по оси X и равно 19,336 мм.

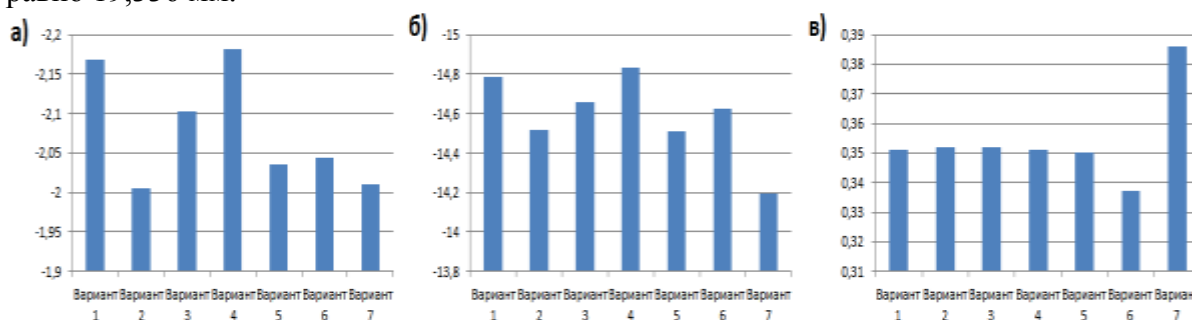


Рисунок 5 - Перемещения угловой точки покрытия при второй форме колебания:
а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

Анализ результатов исследования второй формы колебания на перемещения показал, что наибольшее отклонение угловой точки покрытия от проектного положения достигается по оси Y в четвертом варианте расчетной схемы и равняется 14,832 мм.

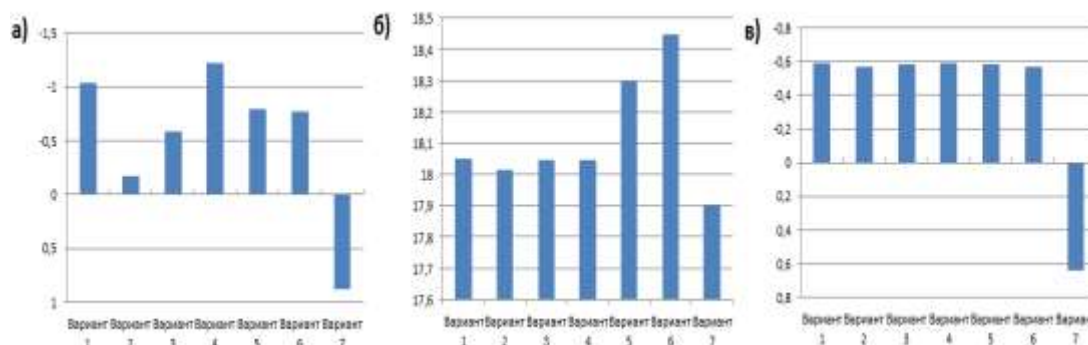


Рисунок 6 - Перемещения угловой точки покрытия при третьей форме колебания:
а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

В третьей форме колебания наблюдается смена направления перемещения по осям X и Z для седьмой модели расчетной схемы. Наибольшее перемещение, равное 18,448 мм, отмечено по оси Y в шестом варианте расчетной схемы.

Вывод. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания и определение динамических перемещений может быть достигнуто изменением жесткостей отдельных элементов каркаса здания. Метод конечных элементов позволяет выполнить исследование нескольких вариантов проектных решений, проанализировать полученный спектр частот и форм собственных колебаний. Для исследуемого объекта многоэтажного жилого здания в г. Ростов-на-Дону получена модель №4 с оптимальными формами, частотами и периодом собственных колебаний.

Библиографический список:

1. Абакаров А.Д., Зайнулабидова Х.Р. Вероятностные модели сейсмических воздействий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2009. – Т.15 – №4 – С. 92-97.
2. Абдуразаков Г.М., Абакаров А.Д. Построение расчетных моделей оценки живучести рамных систем при сейсмическом воздействии. Вопросы современных технических наук: Свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов конференции. М. : – 2015. – С. 58-61.
3. Абовский Н.П., Енджииевский Л.В., Саченков В.И. и др. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация). Учебное пособие для ВУЗов. – М.: – Стройиздат. – 1978. – С. 25-26.
4. Агаханов Г.Э. Решение задач механики деформируемого твердого тела с использованием фиктивных расчетных схем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.38 – №3 – 2015. – С. 8-15. DOI:10.21822/2073-6185-2015-38-3-8-15.
5. Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Панасюк Л.Н., Труфанова Е.В. Реализация метода кинематической декомпозиции для расчетов в нелинейной постановке. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.35 – № 4. – 2014. – С.14-19. DOI:10.21822/2073-6185-2014-35-4-14-19.
6. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.29 – №2. – 2013. – С. 39-45. DOI:10.21822/2073-6185-2013-29-2-39-45.
7. Агаханов Э.К. Развитие комплексных методов в механике деформируемого твердого тела. Материалы Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «ГГНТУ», г. Грозный. – 2015. – С.99-105.
8. Кравченко Г.М., Казанцев А.А., Шамитько Д.А. Определение оптимальных параметров стержневых и плитных систем. Theoretical Foundation of Civil Engineering, Варшава. – 2006. – С.78-82.
9. Кравченко Г.М., Коробкин А.П., Труфанова Е.В., Лукьянов В.И. Критерии оценки динамических моделей железобетонного каркаса здания. Science Time. – 2014. - С. 255-260.
10. Муртазалиев Г.М., Акаев А.И., Пайзулаев М.М. Основные соотношения начального этапа послекритического деформирования конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.28 – № 1. – 2013. - С. 90-93. DOI:10.21822/2073-6185-2013-28-1-90-94.
11. Муртазалиев Г.М., Дибиргаджиев А.М. Вариационные принципы механики конструкций//Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». – 2015. – С.118-119.

12. Труфанова Е.В., Панасюк Е.Л. Влияние упрощающих гипотез при моделировании объектов строительства на точность конструктивных результатов. Наука и бизнес: пути развития. - 2013. – Т.26 – №8 – С.11-18.
13. Batht K.-J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996, pp.95-97.
14. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1967, pp. 23-24.
15. Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Transverse. *ACI Joarnal*, 1979, no.10, pp.12-15.
16. Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. *ACI Joarnal*, 1968, vol.65, no.9, pp.6-70.
17. Raymond W. Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. New York: McGraw-Hill, 1993, pp.29-31.
18. Semenov V.A. Hybrid finite elements for analysis of shell structures. *Proceedings of international congress ICSS-98*, June 22-26, 1998, Moscow, Russia, 1998, vol.1, pp.47-49.
19. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. CD-ROM *Proceedings of the 8th International Conference*, Vilnius, May 19-21, 2004, pp.98-99.
20. Yakushev Vladimir Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. *ABSE-IASS-2011 Symposium*, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.

References:

1. Abakarov A.D., Zaynulabidova H.R. Probabilistic models of seismic effects. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Daghestan State Technical University. Technical science*], 2009. vol.15, no.4, pp.92-97. (In Russian)
2. Abdurazakov G.M., Abakarov A.D. Construction of settlement survivability assessment models frame systems under seismic impacts. Voprosy sovremennykh tekhnicheskikh nauk: Svezhii vzglyad i novye resheniya. Sbornik nauchnykh trudov konferentsii [Questions of modern engineering science: A fresh look and new solutions. *Collection of scientific papers Conference*]. 2015, pp. 58-61. (In Russian)
3. Abovsky N.P., Endzhiievsky L.V., Sachenkov V.I. et al. Selected problems in structural mechanics and theory of elasticity (regulation, synthesis, optimization). Uchebnoe posobie dlya VUZov [Textbook for High Schools]. Moskow: Stroyizdat, 1978, pp.25-26. (In Russian)
4. Agakhanov G.E. Agakhanov G.E. The solution of problems of mechanics of the deformable solid body with use of fictitious settlement schemes. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Dagestan State Technical University. Technical Science*], 2015, vol.38, no.3, pp.8-15. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2015-38-3-8-15.
5. Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Panasyuk L.N., Trufanova E.V. Implementation of the method of kinematic decomposition for calculations in nonlinear formulation. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*], 2014, vol.35, no.4, pp.14-19. (In Russian). DOI:10.21822/2073-6185-2014-35-4-14-19.
6. Agakhanov E.K. About development of complex decision methods of the problems of deformable solid body mechanics. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*], 2013, vol.29, no.2, pp.39-45. (In Russian). DOI:10.21822/2073-6185-2013-29-2-39-45.
7. Agakhanov E.K. Development of complex methods in solid mechanics. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Groznyy. [International scientific-practical conference], Grozny, 2015, pp.99-105. (In Russian)
8. Kravchenko G.M., Kazantsev A.A., Shamitko D.A. Determination of the optimal parameters of plate and rod systems. [*Theoretical Foundation of Civil Engineering*], Warsaw, 2006, pp.78-82. (In Russian)

- 9.Kravchenko G.M., Korobkin A.P., Trufanova E.V., Lukyanov V.I. Criteria for evaluation of dynamic models of reinforced concrete frame building. *Science Time*, 2014, pp.255-260. (In Russian)
- 10.Murtazaliyev G.M., Akaev A.I., Payzulaev M.M. Main ratios of the initial stage of poslekritichechky of deformation of designs. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2013, vol.28, no.1. pp.90-94. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2013-28-1-90-94.
- 11.Murtazaliyev G.M., Dibirgadzhiyev A.M. Variational principles of mechanics of structures. Abstracts of the XXXVI final scientific conference of teachers, staff and students Dagestan State Technical University. Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet [*Daghestan State Technical University*], 2015, pp.118-119. (In Russian)
- 12.Trufanova E.V., Panasyuk E.L. Influence of simplifying hypotheses in modeling of construction projects on the accuracy of design results. [*Science and business: ways of development*], Nauka i biznes: puti razvitiya, 2013, vol.26, no.8, pp.11-18. (In Russian)
- 13.Batht K.-J. Finite Element Procedures. *New Jersey: Prentice Hall*, 1996, pp.95-97.
- 14.Engel H. Structure Systems. *Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt*, 1967, pp.23-24.
- 15.Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Transverse. *ACI Joarnal*, 1979, no.10, pp.12-15.
- 16.Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. *ACI Joarnal*, 1968, vol. 65, no.9, pp.6-70.
- 17.Raymond W. Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. *New York: McGraw-Hill*, 1993, pp.29-31.
- 18.Semenov V.A. Hybrid finite elements for analysis of shell structures. *Proceedings of international congress ICSS-98*, June 22-26, 1998, Moscow, Russia, 1998, vol.1, pp.47-49.
- 19.Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. *CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference*, Vilnius, May 19-21, 2004, pp.98-99.
20. Yakushev Vladimir Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. *ABSE-IASS-2011 Symposium*, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.

Сведения об авторах

Агаханов Элифхан Керимханович—доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов.

Кравченко Галина Михайловна – кандидат технических наук, профессор кафедры технической механики, академия строительства и архитектуры.

Труфанова Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики, академия строительства и архитектуры.

Authors information.

Elifhan K.Agakhanov – doctor of technical science, Professor, head of roads, bases and foundations of the transport faculty.

Galina M.Kravchenko – PhD of technical science, Professor of the Department of technical mechanics, Academy of construction and architecture.

Elena V.Trufanova – PhD of technical science, associate Professor of the Department of technical mechanics, Academy of construction and architecture.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 05.06.2016.

Received 05.06.2016.

Принята в печать 22.07.2016.

Conflict of interest

Accepted for publication 22.07.2016.