

Оценка напряженно-деформированного состояния опорной конструкции бассейна сгустителя

© А. Х. Мелконян, В. П. Ященко

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Аннотация. В работе современных горно-обогатительных комплексов для очищения, обогащения породы, разделения твердой и жидкой фаз путем осаждения при добыче угля, в металлургическом, химическом производстве и т. д. широко используются промышленные бассейновые сгустители. Исследуемый экземпляр сгустителя был спроектирован и произведен в Китае в соответствии с китайскими нормами по его проектированию, установке и сборке. Цель работы заключается в создании конечно-элементной модели сгустителя, определении параметров напряженно-деформированного состояния его опорной конструкции, проведении экспертизы конструктивных элементов на соответствие их требованиям СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции». Для этого выполнено построение расчетной модели в программном комплексе SCAD Office (версия 21.1.9.7). Определены величины перемещений, усилий в стержневых элементах, напряжений в пластинах от сочетания статических нагрузок. Для проектировочного расчета конструкции назначены конструктивные элементы и расчетные сочетания усилий. Максимальное значение перемещений составило 20 мм, максимальное напряжение в пластинах 26 МПа, что говорит о надежности конструкции китайского сгустителя. Проведенное исследование показало, что при воздействии расчетными сочетаниями нагрузок экстремальные значения критических факторов во всех конструктивных элементах меньше единицы, т. е. оборудование, спроектированное и изготовленное в Китае, полностью соответствует требованиям СП 16.13330.2011 и может безопасно эксплуатироваться в нашей стране.

Ключевые слова: сгуститель, напряженно-деформированное состояние, экспертиза конструктивных элементов, SCAD Office

Assessment of the stress-strain state of the supporting structure of the thickener basin

© Arman K. Melkonyan, Vladimir P. Yashchenko

*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. In the work of modern mining and processing complexes for purification, enrichment of rock, separation of solid and liquid phases by sedimentation in coal mining, in metallurgical, chemical production, etc. industrial pool thickeners are widely used. The thickener under study was designed and manufactured in China in accordance with Chinese regulations for its design, installation and assembly. The purpose of the work is to create a finite element model of the thickener, determine the parameters of the stress-strain state of its supporting structure, conduct an examination of structural elements for compliance with their requirements of SP 16.13330.2011 "Steel structures". For this, a calculation model was built in the SCAD Office software package (version 21.1.9.7). The values of displacements, forces in the rod elements, stresses in the plates from a combination of static loads are determined. Structural elements and design combinations of forces are assigned for the design calculation of the structure. The maximum displacement value was 20 mm, the maximum stress in the plates was 26 MPa, which indicates the reliability of the design of the Chinese thickener. The study showed that when exposed to design combinations of loads, the extreme values of critical factors in all structural elements are less than one, i.e. equipment designed and manufactured in China fully complies with the requirements of SP 16.13330.2011 and can be safely operated in our country.

Keywords: thickener, stress-strain state, examination of structural elements, SCAD Office

Современный мир невозможно представить без работы горно-обогатительных комплексов (ГОК). На них добывают и перерабатывают практически все необходимые для производства элементы, которые при дальнейшей переработке становятся незаменимыми привычными вещами. В свою очередь

работа таких комплексов невозможна без промышленных сгустителей. Бассейновые сгустители используются для очищения, обогащения и сгущения разнообразных веществ. К примеру, сгустители применяются при отделении твердого вещества от жидкого при добыче угля, в металлургии, в шахтах, на хи-

мических производствах, при мероприятиях по защите окружающей среды и т. д. Такая широта применения обусловлена простотой и эффективностью конструкции. Сгуститель представляет собой стальной бассейн, внутри которого установлено специальное оборудование, и опорную конструкцию, воспринимающую нагрузку от веса породы и оборудования.

Исследуемый экземпляр бассейнового сгустителя был спроектирован и полностью произведен в Китае. Все нормы по его сборке и установке регламентировались соответствующими иностранными инструкциями. Поэтому задача создания расчетной модели опорной конструкции бассейна сгустителя, с целью проверки её на соответствие отечественным нормам проектирования, является актуальной [1, 2, 3, 4].

Расчетная модель сгустителя создавалась с использованием программного комплекса SCAD, версия 21.1.9.7 [5–11]. Геометрические параметры объекта: радиус чаши бассейна $d = 9$ м, высота вертикальных стенок чаши бассейна $h = 3$ м, толщина стальных листов стенок бассейна $\delta_c = 8$ мм, толщина стальных листов наклонного дна $\delta_d = 10$ мм. Опорная конструкция чаши бассейна сгустителя представляет собой внешнюю, среднюю и внутреннюю обвязочные балки, образующие три кольца диаметрами $d_{внеш} = 9$ м, $d_{ср} = 6,5$ м и $d_{внутр} = 4$ м. Обвязочные балки соединены с радиальными балками трех размеров $l_1 = 1,27$ м, $l_2 = 2,54$ м и $l_3 = 3,81$ м. Поперечное сечение обвязочных балок – сварной двутавровый профиль высотой $h_{внеш} = h_{внутр} = 400$ мм и $h_{ср} = 280$ мм, ради-

альных балок – прокатный двутавровый профиль высотой $h_{рад} = 400$ мм. Данная пространственная конструкция опирается на 12 внешних и 6 внутренних колонн длиной $l_{внеш} = 2,11$ м и $l_{внутр} = 1,62$ м. Поперечное сечение колонн – прокатный двутавровый профиль высотой $h_k = 400$ мм. Поскольку указанных в спецификации к оборудованию прокатных и сварных профилей в каталоге SCAD не нашлось, при построении модели использовался каталог нормальных двутавров: для колонн, внешней и внутренней обвязочных балок – 40Б2, для средней обвязочной балки и радиальных балок – 30Б1. Для верхнего края чаши бассейна использовался усиливающий профиль из равнополочного уголка 140x12. Таблицы используемых жесткостей стержневых элементов и пластин, а также характеристики материала, указаны на рис. 1.

С использованием назначенных жесткостей по приведенным размерам построена стержневая модель опорной конструкции бассейна сгустителя. Для создания единой поверхности наклонного дна использовались жесткие вставки. Колонны соединены с основанием жесткими заделками. Вид стержневой модели с учетом назначенных поперечных сечений представлен на рис. 2.

После создания стержневой конструкции бассейна сгустителя необходимо создать модель дна и вертикальных стенок чаши бассейна сгустителя с усилением. Для создания гладкого дна без ребер используется функция смещения срединной плоскости пластин. Общий вид модели представлен на рис. 3.

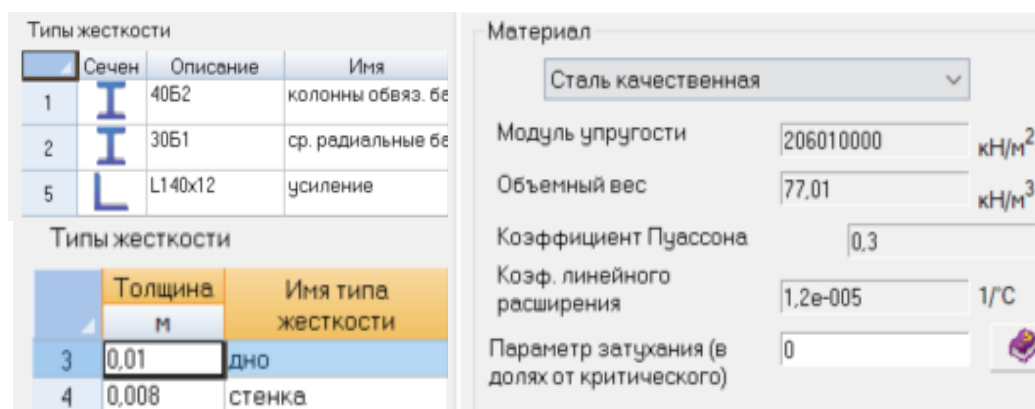


Рис. 1. Типы жесткостей и характеристики материала

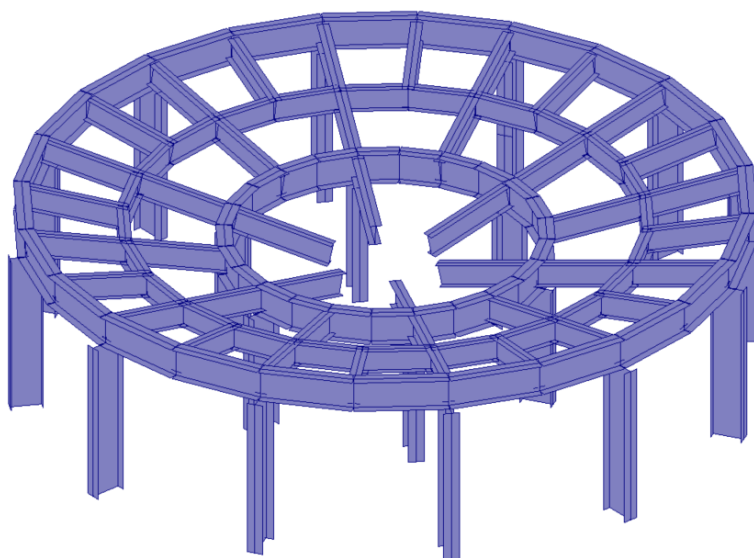


Рис. 2. Вид модели опорной конструкции сгустителя

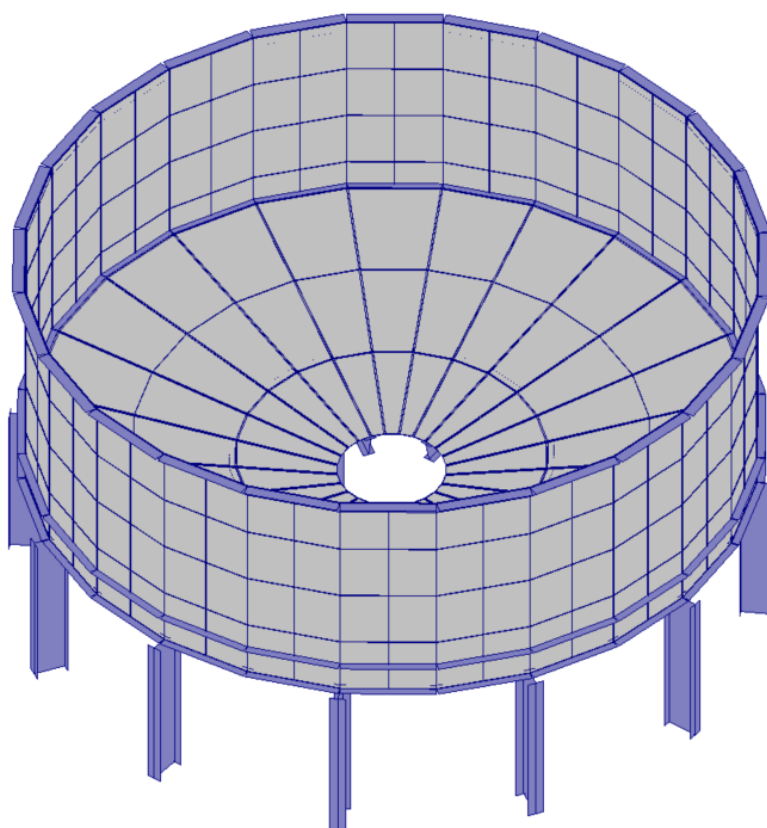


Рис. 3. Вид модели чаши бассейна сгустителя

Основными нагрузками на конструкцию сгустителя являются собственный вес, вес породы, смешанной с водой, и вес оборудования. При задании нагрузок использовались данные, представленные в инструкции к оборудованию. Загружение от собственного веса задавалось автоматически в SCAD. Загруже-

ние от веса оборудования в 9,6 кН моделировалось узловой нагрузкой, приложенной по краю отверстия в днище бассейна. Загружение от веса породы, согласно инструкции к оборудованию, задавалось на днище в виде распределенной нагрузки интенсивностью 60 кН/м², на стенки – в виде трапециевидной

нагрузки, меняющейся по высоте стенки от нуля до 60 кН/м² [12, 13, 14, 15]. Схема загрузки пластин весом породы представлена на рис. 4.

Для проведения проектировочного расчета задаются расчетные сочетания усилий (рис. 5).

Проводится линейный расчет. Определяется величина перемещений (рис. 6).

Определяются усилия в стержнях и напряжения в пластинах (рис. 7, 8).

Назначаются конструктивные элементы (колонны, балки обвязочные, балки радиальные) и проводится экспертиза поперечных сечений. Окно задания параметров конструктивных элементов и результаты экспертизы представлены на рис. 9.

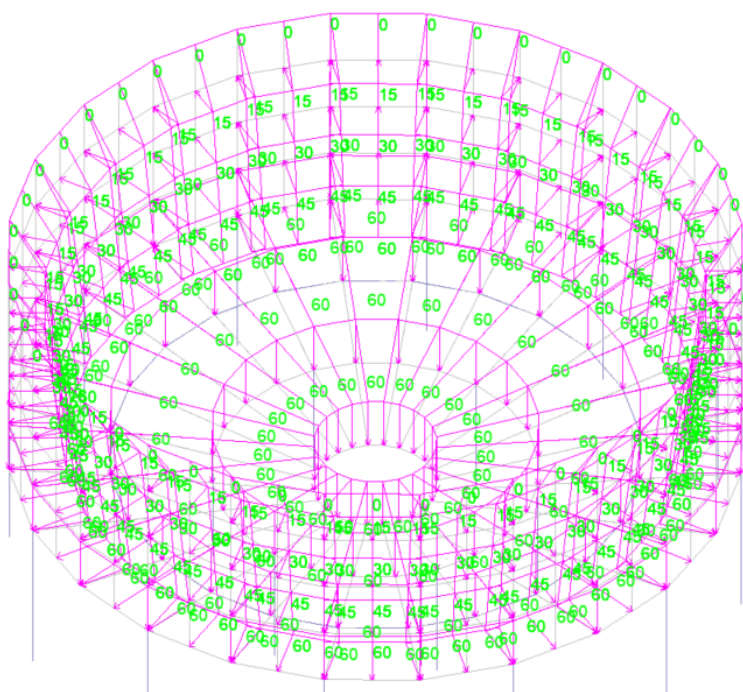


Рис. 4. Схема загрузки пластин весом породы

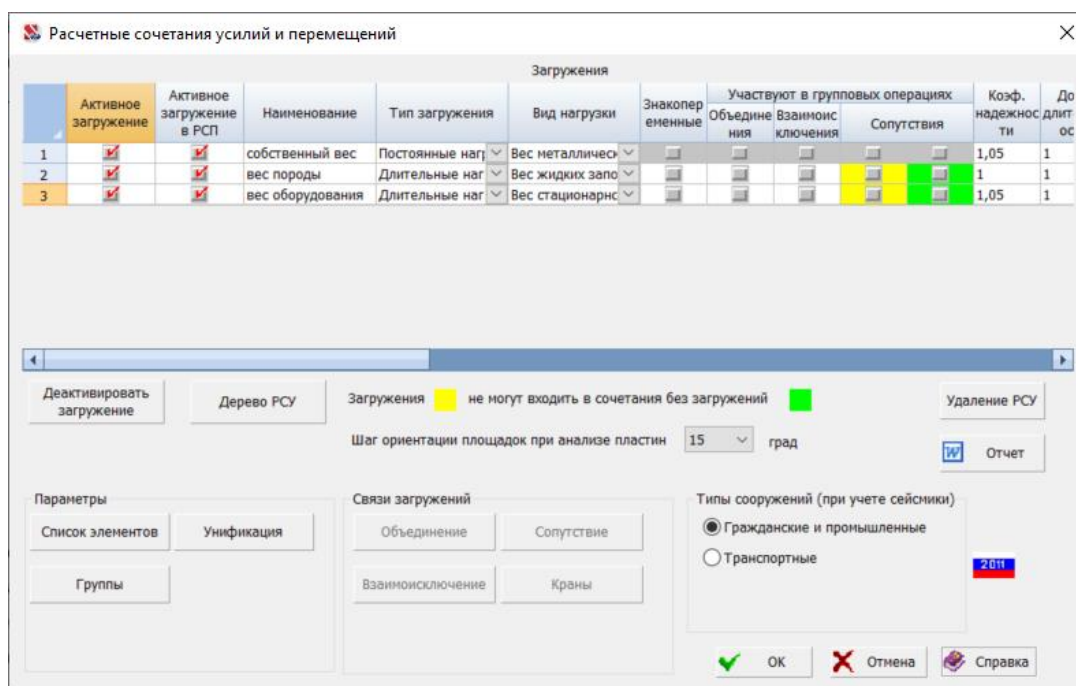


Рис. 5. Расчетные сочетания усилий

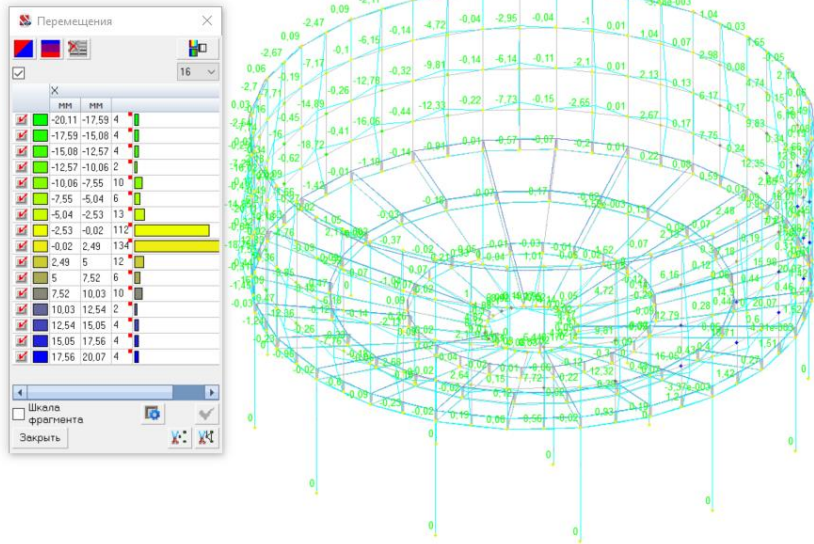


Рис. 6. Деформированная схема и величина перемещений

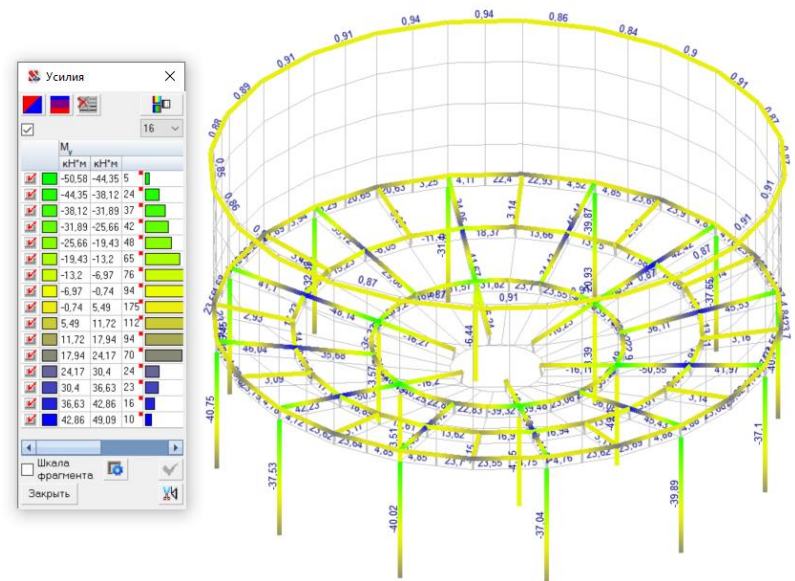


Рис. 7. Величины усилий в стержнях

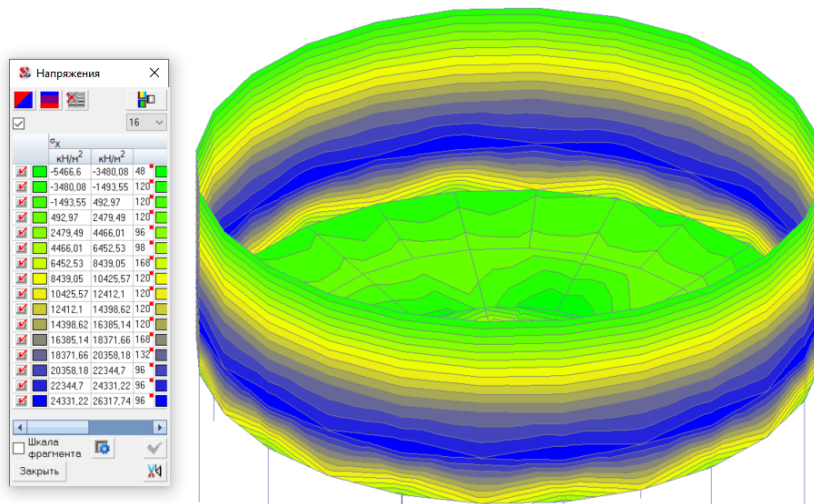


Рис. 8. Поля напряжений в пластинах

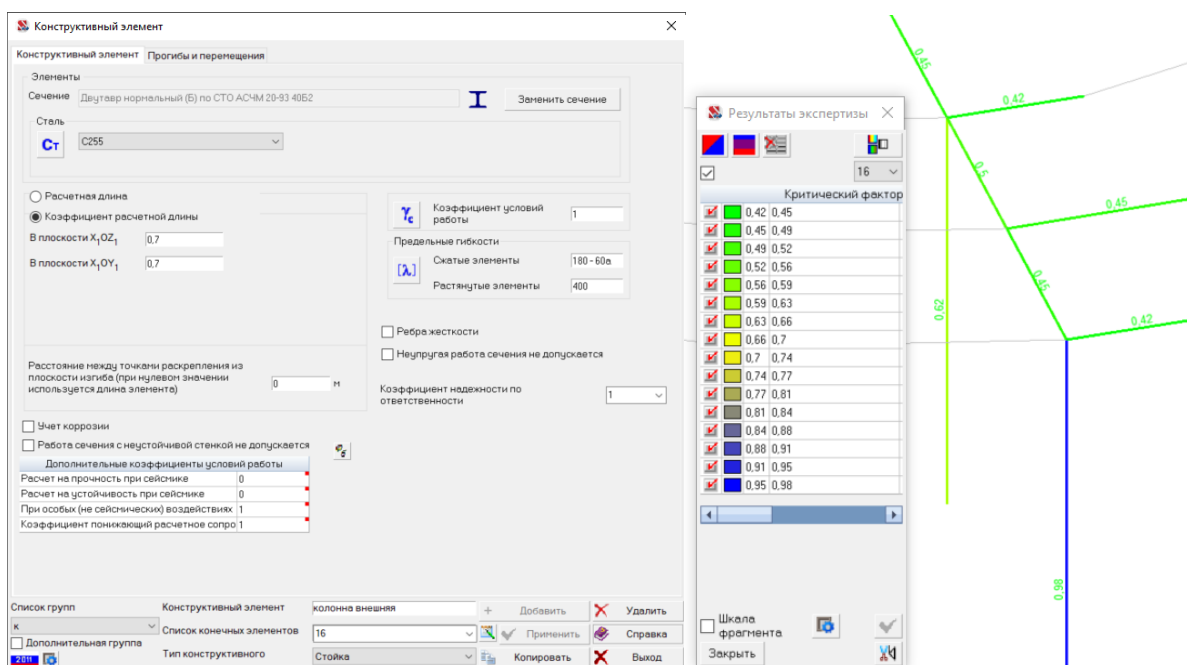


Рис. 9. Результаты экспертизы

Полученные результаты показывают, что наиболее нагруженными элементами являются внешние колонны. Экстремальное значение критического фактора для них $K_m = 0,98$ – это предельная гибкость стенки из условия местной устойчивости. Для остальных конструктивных элементов значения кри-

тических факторов существенно меньше единицы, а это значит, что иностранное оборудование, спроектированное и изготовленное в Китае, полностью соответствует требованиям СП 16.13330.2011 и может безопасно эксплуатироваться в нашей стране.

Список источников

1. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2000. 152 с.
2. Корнев Б. Г., Рабинович И. М. Динамический расчет зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 303 с.
3. Доннелл Л. Г. Балки, пластины и оболочки. М.: Наука, 1982. 568 с.
4. Евзеров И. Д. Оценки погрешности несовместных конечных элементов плиты. Киев: Наук. думка, 1979. 9 с.
5. Клованич С. Ф., Мироненко И. Н. Метод конечных элементов в механике железобетона. Одесса: ОНМУ, 2007. 110 с.
6. Зенкевич О. К., Айронс Б. М., Скотт Ф. К., Кемпбелл Дж. С. Анализ трехмерного напряженного состояния // Расчет упругих конструкций с использованием ЭВМ. Том 1. Л.: Судостроение, 1974. С. 293–305.
7. Карпиловский В. С. Методы конструирования конечных элементов. Киев: Наук. думка, 1980. 20 с.
8. Постнов В. А., Дмитриев С. А., Емышев Б. К., Родионов А. А. Метод суперэлементов в расчете инженерных сооружений. Л.: Судостроение, 1989. 288 с.
9. Смирнов А. Ф. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ. М.: Стройиздат, 1976. 248 с.
10. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. О реализации сложных кинематических условий при расчете дискретных систем методом перемещений // Метод конечных элементов и строительная механика: Труды ЛПИ N 369. 1979. С. 26–39.
11. Пискунов В. Г., Карпиловский В. С. и др. Расчет крановых конструкций методом конечных элементов. М.: Машиностроение, 1991. 240 с.
12. Пискунов В. Г., Федоренко Ю. М. Динамический метод контроля состояния слоистых плит на упругом основании // Архитектура и строительство Белоруси. 1994. № 5–6. С.19–22.
13. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З. и др. SCAD Office: Версия 21: Вычислительный комплекс SCAD ++. Часть I. М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2020. 558 с.
14. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З. и др. SCAD Office: Версия 21: Вычислительный комплекс SCAD ++. Часть II. М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2020. 476 с.
15. Смирнов А. Ф., Александров А. В., и др. Строительная механика. Стержневые системы. М.: Стройиздат, 1981. 512 с.

Информация об авторах / Information about the Authors

Арман Хачатурович Мелконян,
магистрант группы ТИМм-20-1,
Институт архитектуры, строительства и дизайна,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
melqonyan9889@yandex.ru

Arman K. Melkonyan,
Postgraduate Student,
Institute of Architecture, Construction and Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
melqonyan9889@yandex.ru

Владимир Петрович Яценко,
кандидат технических наук,
доцент кафедры механики
и сопротивления материалов,
Институт архитектуры, строительства и дизайна,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
vp_yashenko@mail.ru

Vladimir P. Yashchenko,
Cand. Sci. (Technics),
Associate Professor of Mechanics
and Strength of Materials Department,
Institute of Architecture, Construction and Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
vp_yashenko@mail.ru