УДК 502/504 : 626.01

Анализ методов моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений мелиоративного назначения с использованием вычислительных систем

Поступила 15.03.2018 г.

© Кулик Константин Николаевич, Семенов Сергей Яковлевич,
Марченко Сергей Сергеевич, Никитин Константин Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В статье приводятся данные анализа методов моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений с использованием вычислительных систем. Количественная оценка проводилась с использованием базы данных РИНЦ как по числу публикаций, так и по их цитируемости, качественный анализ по реферативной информации и полнотекстовым публикациям. В результате выявлены тренды к росту интереса научного сообщества по данной тематике, наиболее популярный метод исследований, о чем сделаны соответствующие выводы. Обозначены направления перспективных исследований в области научных разработок, связанных с моделированием напряженно-деформированного состояния сооружений мелиоративного назначения.

Ключевые слова. Гидротехнические сооружения, прочностные расчеты, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, плотины, РИНЦ.

Analysis of modeling methods of the stress-strain state of the hydraulic structures for reclamation purposes with applying computer systems

Received on March 15, 2018

© Kulik Konstantin Nikolaevich, Semenenko Sergei YAKovlevich,
Marchenko Sergei Sergeevich, Nikitin Konstantin Sergeevich
Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center of Agroecology, complex melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences», Volgograd, Russia

Abstract. The article presents the data of the analysis of the methods of modeling the stress-strain state of hydraulic structures using computational systems. The quantitative evaluation was carried out using the RSCI database both in terms of the number of publications and their citation, qualitative analysis of abstract information and full-text publications. As a result, trends in the growth of interest of the scientific community on this subject, the most popular method of research, as the relevant conclusions. Directions of perspective researches in the field of the scientific developments connected with modeling of the stress-strain state of constructions of meliorative appointment are designated.

Keywords. Hydraulic structures, strength calculations, stress-strain state, finite element method, dams, Russian Science Citation Index.

Введение. Мелиоративные системы и их элементы предназначены для регулирования показателей мелиоративного режима и состоят комплекса сложных инженерных сооружений и устройств, функционирующих в разнообразных природных условиях, часто экстремальных, при переменных погодных условиях. Очевидно, что ключевой параметр любого элемента мелиоративной системы, определяющий его безопасность — это надежность. Надежность обеспечивается соблюдением правил проектирования,

опирающихся на большой накопленный научный и практический опыт эксплуатации. Ключевым элементом проектирования являются различные расчеты, позволяющие определить все параметры будущего сооружения, которые будут удовлетворять условиям прочности, надежности и другим требованиям, определяющим необходимый функционал всех инженерных элементов мелиоративной системы. В инженерной практике используется целый ряд нормативных документов, в которых

приводятся требования к прочностным расчетам сооружений, но, следует отметить, что выбор способа расчета нормативными документами возлагается на проектировщика. Существует множество методических и программных инструментов, позволяющих произвести все необходимые расчеты для типовых сооружений, но, как правило, для конкретного проектного случая такой расчет является нетривиальной инженерной задачей, для решения которой необходимо учесть множество факторов и условий. Чаще всего такая задача решается при помощи методов математического, и основанных на них методов компьютерного моделирования при помощи сложных программных комплексов для вычислительных систем, как коммерческих, так и авторских, предназначенных для научных исследований. Поскольку спектр инструментов подобного рода общего назначения весьма широк, необходимо проанализировать, каким образом они используются для прочностных расчетов, основной задачей которых является моделирование напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений.

Таким образом, объектом исследования являются методы моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений в общем, и в частности – мелиоративных систем.

Материалы и методы исследования. В качестве основы исследования, как наиболее доступный и полный источник, выбран Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), ретроспективная глубина поиска определена значением 20 лет. Источники анализировались по следующим тематическим рубрикам внутренней классификации РИНЦ: 67.01.77 – Строительство. Общие вопросы строительства. Методы исследования и моделирования. Математические и кибернетические методы; 67.03.03 – Теоретические основы строительства; 67.03.05 – Строительная физика; 70.17.00 – Водохозяйственное строительство. Гидротехнические и гидромелиоративные сооружения; 68.31.25 – Мелиоративные сооружения в сельском хозяйстве. Анализ производился по полнотекстовым публикациям, а также по реферативной информации.

В результате произведенного тематического поиска за период с 1997 по

2017 год выявлено 46 документов, отвечающих по ключевым параметрам условиям поиска. Для определения динамики научно-исследовательских работ в области компьютерного и математического моделирования, а также востребованности данной тематики построим график, наглядно отражающий распределение публикаций и цитирований по годам (рисунок).

Распределение количества публикаций и цитирований по годам

Результаты исследований и их обсуждение. В результате количественного анализа выявлено, что публикационная активность в рамках рассматриваемого вопроса носит периодический характер, но тем не менее прослеживается тенденция к ее увеличению. Так видно, что с 1997 года количество публикаций возросло с 0...2 в год до 5...6 в год, причем относительный всплеск приходится на прошедшее десятилетие. Аналогичным образом, количество цитирований свидетельствует о явном тренде к увеличению интереса научного сообщества к заявленной тематике исследований. Если в двухтысячных годах в год было 1...2 цитирования, то с 2010 года количество цитирований с небольшими провалами неуклонно растет.

Анализ применяемых методов при проведении научных исследований, связанных с определением напряженно-деформированного состояния, позволяет сделать вывод о том, что наиболее широко распространенным методом являет-

ся метод конечных элементов (около 90% всех научных работ).

В целом, проводя исследование публикации активной в области моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений и их элементов, можно сделать заключение, что научные разработки в данной области укладываются в три основных вида работ:

совершенствование теоретических основ, создание новых методов и математических моделей [1, 10], при этом наибольшая доля научных работ посвящена модернизации метода конечных элементов, минимизации его недостатков, разработке усовершенствованного математического описания физики сооружений и их элементов [9,11,13,14], а также разработке на этой научной базе программных комплексов для инженерных расчетов [12];

исследование сооружений и их элементов с помощью программных комплексов на базе авторских методов и моделей [2,4,6,8];

использование коммерческих программных комплексов для моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений [3,5,7].

Выводы

Разработки в области моделирования гидротехнических сооружений в общем случае, и мелиоративного назначения, в частности, актуальны, что подтверждается объемом информационного потока (почти 50 публикаций, более 100 цитирований).

Основными методами моделирования в данной области служат методы компьютерного геометрического моделирования в сочетании с конечно-элементным инженерным анализом.

Характер исследований свидетельствует о тенденции к усложнению моделей, обусловленной ростом вычислительной мощности современных ЭВМ.

Существующие программные САД и САЕ комплексы общего назначения из-за закрытого исходного кода, высокой стоимости и сложности в освоении используются в научных исследованиях напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений эпизодически.

Исходя из проведенного патентного поиска и анализа научно-технической

информации по теме исследования, перспективными являются следующие направления:

1. Совершенствование теоретических основ математического моделирования сооружений и элементов мелиоративных систем на базе метода конечных элементов.

2. Научные исследования в области мелиоративного строительства и инженерного обеспечения на основе существующих программных комплексов инженерного анализа, многовариантное моделирование с целью совершенствования конструкции и повышения безопасности, эффективности и срока службы гидротехнических сооружений.

Библиографический список

1. Абдикаримов, Р.А. Математическое моделирование и расчет гидротехнических сооружений типа плотины-пластины с учетом сейсмической нагрузки и гидродинамического давления воды / Р.А. Абдикаримов, Х. Эшматов, Ш.П. Бобаназаров, Д.А. Ходжаев, Б.Х. Эшматов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 3. – С. 59-70. (9)
2. Рассказов, Л.Н. О расчетах напряженно-деформированного состояния плотин с асфальтобетонным экраном в пространственной постановке / Л.Н. Рассказов, М.П. Саинов, М.Т. Хоанг // Вестник МГСУ. – 2006. – № 2. – С. 133-139. (1)
3. Прокопович, В.С. Напряженно-деформированное состояние земляной плотины с глиноцементобетонной диафрагмой (на примере земляной плотины Гочатлинской ГЭС) / В.С. Прокопович, А.С. Величко, Р.Н. Орищук // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2016. – Т. 282. – С. 87-98. (2)
4. Савич, А.И. Напряженное состояние массива пород в основании плотины Саяно-Шушенской ГЭС / А.И. Савич, А.М. Замахаев, К.О. Пудов // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 3. – С. 11-24. (3)
5. Саинов, М.П. Особенности расчетов напряженно-деформированного состояния каменных плотин с железобетонными экранами / М.П. Саинов // Вестник МГСУ. – 2006. – № 2. – С. 78-86. (9)
6. Толстикова, В.В. Моделирование работы швов и трещин в расчетах

напряженно-деформированного состояния бетонных плотин / В.В. Толстиков // Вестник МГСУ. – 2006. – № 2. – С. 123-132. (4)

7. Саинов, М.П. Вычислительная программа по расчету напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы / М.П. Саинов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 208-225. (11)

8. Беллендир, Е.Н. Моделирование грунтовой плотины Ирганайской ГЭС / Е.Н. Беллендир, В.Б. Глаговский, В.С. Прокопович, Т.А. Созинова // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2000. – Т. 238. – С. 73-84. (1)

9. Газиев, Э.Г. Анализ современного напряженно-деформированного состояния арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС / Э.Г. Газиев // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 9. – С. 48-57. (13)

10. Кантаржи, И.Г. Численное и физическое моделирование в МГСУ морских портовых гидротехнических сооружений / И.Г. Кантаржи, К.П. Мордвинцев // Наука и безопасность. – 2015. – № 2 (15). – С. 2-16. (1)

11. Орехов В.Г. Напряженно-деформированное состояние бетонной плотины Канкунского гидроузла / В.Г. Орехов, В.В. Толстиков // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 2. – С. 34-42. (1)

12. Белостоцкий, А.М. Сравнение методов динамического расчета гидротехнических сооружений по заданным акселерограммам (с использованием программного комплекса ANSYS) / А.М. Белостоцкий, Д.С. Дмитриев // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 43-46. (3)

13. Калашник, Н.А. Компьютерное моделирование насыпной земляной плотины как прототипа ограждающей дамбы хвостохранилища / Н.А. Калашник // Международный научно-исследовательский журнал. – 2012. – № 4 (4). – С. 54-55. (3)

14. Лалин, В.В. Расчет напряженно-деформированного состояния арочно-гравитационной плотины в программном комплексе SOFISTIK / В.В. Лалин, А.В. Савченко, А.В. Яваров, Е.В. Зданчук, Д.И. Беляев // Строительство уникаль-

ных зданий и сооружений. – 2013. – № 7 (12). – С. 30-37. (2)

References in roman script

1. Abdikarimov, R.A. Matematicheskoe modelirovanie i raschet gidrotekhnicheskikh sooruzhenij tipa plotiny-plastiny s uchetom sejsmicheskoy nagruzki i gidrodinamicheskogo davleniya vody / R.A. Abdikarimov, H. EHshmatov, SH.P. Bobanazarov, D.A. Hodzhaev, B.H. EHshmatov // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2011. – № 3. – С. 59-70. (9)

2. Rasskazov, L.N. O raschetah napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya plotin s asfal'tobetonnyim ehkranom v prostranstvennoj postanovke / L.N. Rasskazov, M.P. Sainov, M.T. Hoang // Vestnik MGSU. – 2006. – № 2. – С. 133-139. (1)

3. Prokopovich, V.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie zemlyanoj plotiny s glinocementobetonnoj diafragmoj (na primere zemlyanoj plotiny Gocatlinskoj GEHS) / V.S. Prokopovich, A.S. Velichko, R.N. Orishchuk // Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva. – 2016. – Т. 282. – С. 87-98. (2)

4. Savich, A.I. Napryazhennoe sostoyanie massiva porod v osnovanii plotiny Sayano-SHushenskoj GEHS / A.I. Savich, A.M. Zamahaev, K.O. Pudov // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2012. – № 3. – С. 11-24. (3)

5. Sainov, M.P. Osobennosti raschetov napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennykh plotin s zhelezobetonnyimi ehkranami / M.P. Sainov // Vestnik MGSU. – 2006. – № 2. – С. 78-86. (9)

6. Tolstikov, V.V. Modelirovanie raboty shvov i treshchin v raschetah napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya betonnykh plotin / V.V. Tolstikov // Vestnik MGSU. – 2006. – № 2. – С. 123-132. (4)

7. Sainov, M.P. Vychislitel'naya programma po raschetu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovykh plotin: opyt sozdaniya, metodiki i algoritmy / M.P. Sainov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 208-225. (11)

8. Bellendir, E.N. Modelirovanie gruntovoj plotiny Irganajskoj GEHS / E.N. Bellendir, V.B. Glagovskij, B.C. Prokopovich, T.A. Sozinova // Izvestiya

Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva. – 2000. – Т. 238. – С. 73-84. (1)

9. Gaziev, E.H.G. Analiz sovremennogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya arochno-gravitacionnoj plotiny Sayano-SHushenskoj GEHS / E.H.G. Gaziev // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2010. – № 9. – С. 48-57. (13)

10. Kantarzhi, I.G. CHislennoe i fizicheskoe modelirovanie v MGSU morskikh portovykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij / I.G. Kantarzhi, K.P. Mordvincev // Nauka i bezopasnost'. – 2015. – № 2 (15). – С. 2-16. (1)

11. Orekhov V.G. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betonnoj plotiny Kankunskogo gidrouzla / V.G. Orekhov, V.V. Tolstikov // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2012. – № 2. – С. 34-42. (1)

12. Belostockij, A.M. Sravnenie metodov dinamicheskogo rascheta gidrotekhnicheskikh sooruzhenij po zadannym akselerogrammam (s ispol'zovaniem programmno kompleksa ANSYS) / A.M. Belostockij, D.S. Dmitriev // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 5. – С. 43-46. (3)

13. Kalashnik, N.A. Komp'yuternoe modelirovanie nasypnoj zemlyanoj plotiny kak prototipa ograzhdayushchej damby hvostohranilishcha / N.A. Kalashnik // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2012. – № 4 (4). – С. 54-55. (3)

14. Lalin, V.V. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya arochno-gravitacionnoj plotiny v programmnom komplekse SOFISTIK / V.V. Lalin, A.V. Savchenko, A.V. Yavarov, E.V. Zdanchuk, D.I. Belyaev // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. – 2013. – № 7 (12). – С. 30-37. (2)

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Кулик Константин Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН; директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский 97.

Семененко Сергей Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; Российская Федерация, 400012, Волгоград, ул. Трехгорная, 21; e-mail: pniiemt@yandex.ru.

Марченко Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский 97.

Никитин Константин Сергеевич, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский 97.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Кулик К.Н., Семененко С.Я., Марченко С.С., Никитин К.С. Анализ методов моделирования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений мелиоративного назначения с использованием вычислительных систем // Экология и строительство. – 2018. – № 1. – С. 21–26.

Additional Information

Information about the authors:

Kulik Konstantin Nikolaevich, doctor of agricultural sciences, academician of the Russian Academy of Science; director of Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center of Agroecology, complex melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences»; 97 Universitetskij Volgograd, Russian Federation, 400062.

Semenenko Sergei YAKovlevich, doctor of agricultural sciences, доцент, branch Director of Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center of Agroecology, complex melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences»; 21 Trekhgornaya, Volgograd, Russian Federation, 400012; e-mail: pniiemt@yandex.ru.

Marchenko Sergei Sergeevich, candidate of technical sciences, senior researcher of Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center of Agroecology, complex melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences»; 97 Universitetskij Volgograd, Russian Federation, 400062.

Nikitin Konstantin Sergeevich, researcher of Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center of Agroecology, complex melioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences»; 97 Universitetskij Volgograd, Russian Federation, 400062.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Kulik K.N., Semenenko S.YA., Marchenko S.S., Nikitin K.S. Analysis of modeling methods of the stress-strain state of the hydraulic structures for reclamation purposes with applying computer systems // *Ekologiya i stroitelstvo*. – 2018. – № 1. – P. 21–26.