

ISSN: 2686-7818

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2021, №3 (12) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Expert:
theory and practice*

12+

АНО «ИССТЭ»
Тольятти/Tolyatti



Учредитель
Автономная некоммерческая организация
"Институт судебной строительно-технической экспертизы"
(АНО "ИССТЭ")

Издаётся с 2019 г. Выходит 6 раз в год.

Префикс DOI: 10.51608/26867818

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации **ПИ № ФС 77-76688** от 02.09.2019 г.

С 27.01.2021 года включён в **перечень ВАК** Минобрнауки РФ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по научным специальностям:

- 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 05.23.05 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

Журнал включен в базы данных: **РИНЦ eLIBRARY.ru, КиберЛенинка, ЭБС Лань**

Редакционный совет:

Петров Владилен Васильевич – председатель редакционного совета, Заслуженный деятель науки РФ, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Бакулина Лилия Талгатовна – доктор юридических наук, доцент, декан юридического факультета, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Беккер Александр Тевьевич - Заслуженный работник высшего образования РФ, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, научный руководитель Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Бильчак Василий Степанович – Заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор, кафедра микроэкономики, Варминьско-Мазурский Университет, Польша, Ольштына

Гаджиев Мухлис Ахмед оглы - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Азербайджан, Баку

Ерофеев Владимир Трофимович - академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

Исакулов Байзак Разакович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн и строительства», «Баишев Университет», Казакстан, Актобе

Ляченков Николай Васильевич - лауреат Государственной премии Совета министров СССР, Почетный гражданин г.о. Тольятти, действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, эксперт, АНО ИССТЭ, Тольятти

Римшин Владимир Иванович - Заслуженный строитель РФ, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, руководитель Института развития города Университета Минстроя (НИИСФ РААСН), Москва

Селяев Владимир Павлович - Заслуженный деятель науки РФ, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

Сорочайкин Андрей Никонович – заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, АНО «ИССТЭ», Тольятти

Трещёв Александр Анатольевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций, Тульский государственный университет

Чернышов Евгений Михайлович - академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет

Юрасов Алексей Владимирович - доктор экономических наук, профессор, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, Литва

Адрес редакции: 445047 Самарская область, г. Тольятти,
Южное шоссе, дом 35А, офис 401, e-mail: expert763@mail.ru ; <http://expert763.ru>

Founder
Independent Noncommercial Organization
"Institution of Forensic Construction and Technological Expertise"
INO "IFCTE"

Published since 2019. Published 6 times a year.

Prefix DOI: 10.51608/26867818

The certificate of mass media registration **PI № FS 77-76688**
issued by Federal Service of Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Communications

Since 27.01.2021 it is listed on **Higher Attestation Commission** within the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as one of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, in which the main results of the Ph.D. thesis in these scientific specialties are to be published:

- 05.23.01 – Building structures, buildings and facilities (technical sciences);
- 05.23.05 – Building materials and articles (technical sciences).

The journal is included **Russian Science Citation Index (RSCI), CyberLeninka, ELS Lan**

Editorial Board:

Vladilen V. Petrov - Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin (Saratov, Russia)

Lilia T. Bakulina - Doctor of Law, Associate Professor, Dean of the Faculty of Law, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russia)

Alexander T. Bekker - Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Corresponding Member of the RAABS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Director of the School of Engineering, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russia)

Vasily S. Bilchak – Honored Worker of Science of the Russian Federation, Dr. of Economics, Prof., Department of Microeconomics, University of Warmia and Mazury (Olsztyn, Poland)

Mukhlis Ahmed oglu Hajiyev – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Building Structures", Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

Vladimir T. Erofeev - Academician of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Materials and Technologies, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

Bayzak R. Isakulov – Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Design and Construction, Baishev University (Aktobe, Kazakhstan)

Nikolai V. Lascencov - laureate Of the state prize of the Council of Ministers of the USSR, Honorary

citizen of Togliatti, full member of the Russian Academy of natural Sciences, corresponding member of the International engineering Academy, doctor of technical Sciences, Professor, expert, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Vladimir I. Rimshin - Honored Builder of the Russian Federation, Corresponding Member of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Institute of City Development of the University of Minstroy (Moscow, Russia)

Vladimir P. Selyaev - Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

Alexander A. Treschev - Corresponding Member of the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Tula State University (Tula, Russia)

Evgeniy M. Chernyshov - Academician of RAABS, Dr. of Technical, Prof., Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)

Aleksei V. Iurasov - Prof., PhD, Verslo technologijų ir verslininkystės katedra,

Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Vilnius, Lithuania)

Andrey N. Sorochaikin - Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder; INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Editorial office: 445047, office 401, the house 35A, Southern Highway,
Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru; <http://expert763.ru>

Редакционная коллегия:

Мурашкин Василий Геннадьевич – главный редактор, кандидат технических наук, доцент, АНО "ИССТЭ", Тольятти

Анпилов Сергей Михайлович - заместитель главного редактора, Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, советник РААСН, эксперт АНО "ИССТЭ", Тольятти

Сорочайкин Андрей Никонovich - заместитель главного редактора, кандидат экономических наук, доктор философских наук, директор АНО "ИССТЭ", Тольятти

Гарибов Рафаил Баширович - доктор технических наук, профессор, советник РААСН, АНО "ИССТЭ", Тольятти
Глаголев Вадим Вадимович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

Гогин Александр Александрович - доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры "Гражданское право и процесс", Тольяттинский государственный университет

Гордон Владимир Александрович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Ерышев Валерий Алексеевич - доктор технических наук, советник РААСН, профессор кафедры "Промышленное и гражданское строительство", Тольяттинский государственный университет

Ефимцева Татьяна Владимировна – доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой предпринимательского и природоресурсного права, Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина, Оренбургский филиал, Оренбург

Жаданов Виктор Иванович – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Оренбургский государственный университет

Иваненко Лариса Викторовна – кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор, кафедра управления человеческими ресурсами, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва

Измайлов Айрат Маратович - кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладного менеджмента, Самарский государственный экономический университет

Кванина Валентина Вячеславовна - доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой «Предпринимательское, конкурентное и экологическое право», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

Коробко Андрей Викторович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Теоретической механики", Орловский государственный университет им. Тургенева

Коробко Виктор Иванович - доктор технических наук, профессор, кафедра "Строительные конструкции", Орловский государственный университет им. Тургенева

Котлов Виталий Геннадьевич – кандидат технических наук, профессор, советник РААСН, директор института строительства и архитектуры, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

Куприянов Валерий Николаевич - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Курлов Алексей Борисович - доктор социологических наук, профессор, кафедра социологии и социальных технологий, Уфимский государственный авиационный технический университет

Маркин Алексей Александрович - доктор физико-математических наук, профессор, кафедра "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет
Медведев Валентин Григорьевич - доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры Теории и истории государства и права, Тольяттинский государственный университет

Милушева Татьяна Владимировна - доктор юридических наук, доцент, заведующий кафедрой гражданского права и процесса, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Поволжский институт управления им. П.А. Столыпина (Саратов, Россия)

Михайлов Андрей Валерьевич - кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой Предпринимательского и энергетического права, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Моисеев Александр Михайлович - доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой Криминалистики, Донбасская юридическая академия (ДНР, Донецк)

Низина Татьяна Анатольевна - доктор технических наук, профессор, советник РААСН, профессор кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

Панаедова Галина Ивановна - доктор экономических наук, профессор, кафедра налоговой политики и таможенного дела, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

Салиева Роза Наильевна – доктор юридических наук, профессор, заведующий лабораторией правовых проблем недропользования, экологии и топливно-энергетического комплекса, Академия наук Республики Татарстан

Салимова Татьяна Анатольевна - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, декан экономического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саратов

Серова Ольга Александровна – доктор юридических наук, профессор, проректор по учебной работе, Псковский государственный университет

Соколов Борис Сергеевич - член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ, лауреат госпремии РТ, научный консультант АО "Казанский Гипронефтеавиапром"

Стрельцова Елена Дмитриевна - доктор экономических наук, профессор кафедры, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

Сушкова Юлия Николаевна – доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой международного и европейского права, декан юридического факультета, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саратов

Тюкавкин Николай Михайлович - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики инноваций, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва

Хозин Вадим Григорьевич – Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология строительных материалов, изделий и конструкций", Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Христин Дмитрий Викторович - доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры "Вычислительная механика и математика", Тульский государственный университет

Шестаков Александр Алексеевич - доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой "Философия и социально-гуманитарные науки", Самарский государственный технический университет

Editorial Staff:

Vasily G. Murashkin - Editor-in-Chief, Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Sergey M. Anpilov - Deputy Editor-in-Chief, Expert of INO "IFCTE", Honored Inventor of the Russian Federation, Dr. of Technical, Advisor to RAACS (Tolyatti, Russia)

Andrey N. Sorochaikin - Deputy Editor-in-Chief, Director INO "IFCTE", Candidate of Economic, Dr. of Philosophy, Honorary Builder (Tolyatti, Russia)

Rafail B. Garibov – Dr. of Technical, Prof., Advisor to RAACS, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Vadim V. Glagolev - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

Alexander A. Gogin - Doctor of Law, Associate Professor, Professor of the Department of Civil Law and Procedure, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

Vladimir A. Gordon - Advisor to the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Valery A. Eryshev - Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Togliatti State University (Tolyatti, Russia)

Tatyana V. Efimtseva - Doctor of Law, Associate Professor, Head of the Department of Entrepreneurial and Natural Resources Law, Moscow State Law University. O.E. Kutafina, Orenburg branch (Orenburg, Russia)

Victor I. Zhadanov - Honored Builder of the Russian Federation, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department of Building Structures, Orenburg state University (Orenburg, Russia)

Larisa V. Ivanenko - Candidate of Technical, Dr. of Economics, Prof., Department of Human Resources Management, Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (Samara, Russia)

Ayrat M. Izmailov - Candidate of Economic, Associate Prof. of Applied Management Department, Samara State University of Economics (Samara, Russia)

Valentina V. Kvanina - Doctor of Law, Professor, Head of the Department of Business, Competition and Environmental Law, South Ural State University (Chelyabinsk, Russia)

Andrey V. Korobko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical Mechanics, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Viktor I. Korobko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Building Structures, Oryol State University named after Turgenev (Oryol, Russia)

Vitaly G. Kotlov - Candidate of Technical, Prof., Director of the Institute of Construction and Architecture, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Valery N. Kupriyanov - Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof., Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

Alexey B. Kurlov - Dr. of Sociology, Prof., Department of Sociology and Social Technologies, Ufa State Aviation Technical University, (Ufa, Russia)

Aleksey A. Markin - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Computational Mechanics and Mathematics, Tula State University (Tula, Russia)

Valentin Gr. Medvedev - Doctor of Law, Associate Professor, Professor of the Department of Theory and History of State and Law, Togliatti State University (Togliatti, Russia)

Tatyana V. Milusheva - Doctor of Law, Associate Professor, Head of the Department of Civil Law and Procedure, The Russian Presidential Academy Of National Economy And Public Administration (Saratov, Russia)

Andrey V. Mikhailov - PhD in Law, Associate Professor, Head of the Department of Entrepreneurial and Energy Law, Kazan Federal University (Kazan, Russia)

Alexander M. Moiseev - Doctor of Law, Professor, Head of the Department of Criminalistics, Donbass Law Academy (Donetsk)

Tatyana A. Nizina - Dr. of Technical, Advisor to RAACS, Prof., Professor of the Department of Building Structures, Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Saransk, Russia)

Galina I. Panaedova – Dr. of Economics, Prof., Department of Tax Policy and Customs, North Caucasus Federal University (Stavropol, Russia)

Roza N. Salieva - Doctor of Law, Professor, Head of the Laboratory of Legal Problems of Subsoil Use, Ecology and Fuel and Energy Complex, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (Kazan, Russia)

Tatyana A. Salimova - Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Quality Management, Dean of the Faculty of Economics, Mordovia State University named after N.P. Ogareva (Saratov, Russia)

Olga A. Serova - Doctor of Law, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Pskov State University (Pskov, Russia)

Boris S. Sokolov - Corresponding Member of RAACS, Dr. of Technical, Prof. (Kazan, Russia)

Elena D. Streltsova – Dr. of Economics, Professor of the Department, M.I. South Russian State Polytechnic University named after Platova (Novocherkassk, Russia)

Yulia N. Sushkova - Doctor of Historical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of International and European Law, Dean of the Faculty of Law, Mordovia State University named after N.P. Ogareva (Saratov, Russia)

Nikolay M. Tyukavkin - Dr. of Economics, Prof., Head of the Department of Innovation Economics, Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (Samara, Russia)

Vadim G. Khozin - Honored Worker of Science of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan, Dr. of Technical, Prof., Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures", Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russia)

Dmitry V. Khristich - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computational Mechanics and Mathematics, State University (Tula, Russia)

Alexander A. Shestakov - Dr. of Philosophy, Prof., Head of the Department of Philosophy and Social Sciences and Humanities, Samara State Technical University (Samara, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО: СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Ерофеев В.Т., Пиксайкина А.А., Булгаков А.Г., Ермолаев В.В. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли	9
Муртазин М.Р., Муртазина Г.Р. Критические осадки высотного объекта при потере устойчивости против опрокидывания	15
Муртазина Г.Р. Устойчивость высотных объектов против опрокидывания с учетом геометрической и конструктивной нелинейности	20
Руднев И.В., Никулина О.В., Жаданов В.И., Украинченко Д.А., Аркаев М.А. Методы оценки несущей способности эксплуатируемого стального каркаса здания после аварийных воздействий	26
Чеканаускас П.Ю. Усиление каркаса промышленной теплицы при реконструкции	31

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО: СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Тошин Д.С., Хутова Е.Э., Астаева Ю.В. Комплексная оценка экспериментального бетона завода ЖБИ на кубах, призмах и железобетонных балках	36
---	----

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Богачева В.Э., Глаголев В.В., Инченко О.В. Вариант сдвигового деформирования адгезионного слоя с учетом его упругопластических свойств. Постановка задачи	41
Боницкая О.В., Дудина Ю.В. Модель плоского установившегося течения материала, описываемого деформационной теорией с Яуманновской производной, в сходящемся канале	47
Трещев А.А. О дилатации и разносопротивляемости изотропных материалов	53

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Герасименко П.В. Оценивание алгоритмов модифицированных индексов Хирша на однозначность	60
Ефанов Д.В., Сапожников В.В. Итерационный подход к формированию настраиваемых наукометрических показателей на основе учета полного множества цитирований работ ученого	68

РЕЦЕНЗИИ

Соколова Ю.А. Рецензия на монографию «Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате» (авторы – Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р.)	80
Старцев В.О. Рецензия на монографию Низиной Т.А., Селяева В.П., Низина Д.Р. «Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате»	83

CONTENT

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION: CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND FACILITIES

Erofeev V.T., Piksaykina A.A., Bulgakov A.G., Ermolaev V.V. Digitalization in construction as an effective tool for modern development of the industry	9
Murtazin M.R., Murtazina G.R. Critical drainage of a high-altitude object at loss of resistance to tipping	15
Murtazina G.R. Resistance of high-rise objects to overturning considering the geometric and constructive nonlinearity	20
Rudnev I.V., Nikulina O.V., Zhadanov V.I., Ukrainchenko D.A., Arkaev M.A. Methods for evaluating the bearing capacity of an exploited building steel framework after accidental exposures	26
Chekanauskas P.Yu. Framework reinforcement of an industrial greenhouse during reconstruction	31

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION: BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Toshin D.S., Khutova E.E., Astaeva Yu.V. Complex evaluation of experimental concrete of concrete goods plant on cubes, prisms and reinforced concrete beams	36
---	----

MECHANICS OF DEFORMABLE SOLID BODY

Bogacheva V.E., Glagolev V.V., Inchenko O.V. Version of shear deformation of adhesive layer taking into account its elastoplastic properties. Setting the task	41
Bonitskaya O.V., Dudina Yu.V. Model of a flat steady-flow process of a material described by the deformation theory with the Yauman derivative in a convergent channel.....	47
Treschev A.A. On dilatation and different resistance of isotropic materials	53

EXPERT EVALUATIONS

Gerasimenko P.V. Evaluation of modified Hirsch index algorithms for unambiguity	60
Efanov D.V., Sapozhnikov V.V. Iterative approach to the formation of adjustable scientific metrics based on the consideration of the complete set of the scientist's work citations	68

REVIEWS

Sokolova Yu.A. Review of the monography «Climatic persistence of epoxy polymers in a temperate continental climate» (authors: T.A.Nizina,V.P. Selyaev, D.R. Nizin)	80
Startsev V.O. Review of the monography «Climatic persistence of epoxy polymers in a temperate continental climate» by T.A. Nizina, V.P. Selyaev, D.R. Nizin	83

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО: СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624 : 004.92

DOI 10.51608/26867818_2021_3_9

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

© 2021 В.Т. Ерофеев, А.А. Пиксайкина,
А.Г. Булгаков, В.В. Ермолаев *

Приведен обзор различных типов цифровизации современного строительства. Выполнен детальный анализ существующих информационных технологий по эффективному управлению на предприятиях строительной отрасли.

Ключевые слова: цифровые технологии, инновации, проектирование, моделирование.

На сегодняшний день цифровые технологии стали настоящим прорывом для строительной отрасли. Если до 2019 года, говоря о BIM-технологиях (Building Information Modelling), обсуждались вопросы их внедрения в строительство, то сейчас цифровизация является неотъемлемой частью любого проекта, и ни один из них не обходится без современных технологий. Сколько лет инженеры в проектных институтах уже не сидят за огромными столами с набором карандашей разной жесткости и линейками в руках, проекты создаются в специализированных программах. В основе современных систем автоматизированного проектирования (САПР) лежит создание компьютерной модели объекта и теперь человек создаёт не просто чертёж, а электронную копию самого объекта [1].

BIM-моделирование стало обязательным при реализации государственных заказов, а с 2022 года данное требование затронет все контракты компаний с государственным участием. Министерство строительства не исключает, что обяжет частных застрой-

щиков создавать цифровые копии объектов в ближайшее время. Использование технологии моделирования при реализации проектов, в первую очередь, помогает самим застройщикам повысить продуктивность, качество проекта и сэкономить на сроках проектирования, временных затратах на согласование и разработку документации.

Цифровая копия объекта с успехом может использоваться и при реализации сопутствующих социальных и инфраструктурных проектов, а также помочь интегрировать такие инновационные системы, как «Умный город». Проект «Умный город» реализует Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, для которого создана рабочая группа представителей заинтересованных федеральных и региональных властей, отраслей ЖКХ, важных разработчиков технологий, профессиональных сообществ, университетов и центров компетенций, а также ведущих международных экспертов. При поддержке Ростеха, Росатома и Ростелекома создан национальный центр компе-

* Ерофеев Владимир Трофимович - академик РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», Пиксайкина Анна Александровна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии», Булгаков Алексей Григорьевич - доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», Ермолаев Владислав Валерьевич - студент 6 курса, специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений», все - архитектурно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н. П. Огарева» (Саранск, РФ).



тенций по проекту «Умный город», который будет заниматься разработкой, внедрением и популяризацией технологий, оборудования и программ. Направление программ – повышение уровня цифровизации городской экономики, а также подготовка и оказание помощи проектам международного сотрудничества в области жилищной политики, градостроительства и управления природными ресурсами, в первую очередь связанных с созданием и функционированием «умных» городов. Кроме того, Национальный центр компетенций совместно с комитетом по корпоративной социальной ответственности разработал концепцию «Умных городов» в России, целью которой является повышение качества управления городами и уровня жизни в них за счет внедрения передовых цифровых и инженерных решений. В задачи проекта, как известно, входят:

- ❖ нормативное регулирование и разработка стандартов работы с данными;
- ❖ поддержка и мониторинг региональных проектов;
- ❖ подбор и подготовка к тиражированию лучших решений;
- ❖ синхронизация с международным опытом.

Следует привести пять ключевых принципов «Умного города» (Smart city): комфортная и безопасная городская среда; технологичность городской инфраструктуры; ориентация на человека; акцент на экономической эффективности, в т. ч. сервисной составляющей городской среды; повышение качества управления городскими ресурсами [2].

Основной инструмент реализации принципов – широкое внедрение цифровых и инженерных решений в городской инфраструктуре. Текущий статус проекта состоит в следующем:

- ❖ создан проект с командой, сроками, планами и сметой;
- ❖ создан банк решений умного города (www.russiasmartcity.ru), на настоящий мо-

мент в этом ресурсе имеются 537 городов, 364 проекта, 20 экспертов;

- ❖ пилотные города тестируют решения с крупнейшими компаниями.

Происходит «каскадирование» в регионы:

- ❖ созданы региональные программы и команды;
- ❖ работает единая коммуникационная платформа: сайт, чат, документы в общем доступе, совещания, селекторы;
- ❖ для экспертной поддержки сформирована рабочая группа, разбитая на комитеты.

Создан стандарт требований к «Умному городу» с разделами и мероприятиями, ожидаемыми эффектами и сроками по следующим направлениям:

- ❖ городское управление (цифровая платформа вовлечения граждан в управление городом «Активный гражданин», цифровой двойник города, интеллектуальный центр городского управления);
- ❖ умное ЖКХ: цифровая трансформация систем энергетической и коммунальной инфраструктуры, внедрение интеллектуальных систем управления инфраструктурой, жилым фондом и социальными объектами (6 мероприятий);
- ❖ инновации для городской среды (4 мероприятия);
- ❖ умный городской транспорт (6 мероприятий);
- ❖ интеллектуальные системы общественной безопасности (3 мероприятия);
- ❖ интеллектуальные системы экологической безопасности (3 мероприятия);
- ❖ инфраструктура сетей связи (1 мероприятие);
- ❖ туризм и сервис (2 мероприятия).

Одним из основных шагов по оптимизации строительных процессов и повышению эффективности станет внедрение технологий IoT – интернета вещей. Концепция компьютерной сети физических объектов, оснащенных встроенными технологиями взаимодействия друг с другом или с внешней



средой, что позволяет им собирать, анализировать и передавать данные друг другу с помощью программных и технических устройств [3].

Используется аналогичная технология в строительной отрасли – это устройства и датчики, объединенные на единой платформе, которые отслеживают и анализируют все строительные процессы в режиме реального времени. Такой подход позволяет снизить не только условия труда и интенсивность их работы, но и стоимость.

Несомненно, важным звеном в промышленном дизайне, широко используемым во многих отраслях, включая автомобилестроение, судостроение и аэрокосмическую промышленность, промышленный и архитектурный дизайн и т. д., является компьютерное проектирование (САПР), известный как сложный набор технических, программных и других инструментов для автоматизации проектной деятельности. Он также используется для создания компьютерной анимации спецэффектов в фильмах, рекламных и технических материалах, как цифровой контент [4].

Как известно, по целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования: CAD (computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения; CADD (computer-aided design and drafting) – проектирование и создание чертежей; CAGD (computer-aided geometric design) – геометрическое моделирование; CAE (computer-aided engineering) – средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и имитационного моделирования физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптими-

зацию изделий; CAA (computer-aided analysis) – подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа; CAM (computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства; CAPP (computer-aided process planning) – средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM. Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM.

Отдельное внимание уделяется контролю, ведь уже сейчас крупные компании используют дроны, GPS устройства и всевозможные сканеры с целью соблюдения планов, скорости возведения домов и соответствующего качества. Сквозная аналитика будет влиять также на физическую работу персонала на стройплощадке [5].

Дроны, лазеры, сканеры, устройства GPS и другое специальное оборудование активно внедряются крупными застройщиками, что позволяет им полностью оцифровать процесс строительства, а данные поступают в единую систему, тем самым помогая повысить эффективность контроля: следить за соблюдением изначального плана, его сроков, скорости и качества работ [6-20]. Девелопер получает сквозную аналитику о работах на всех стадиях и может оптимизировать все процессы, в том числе это касается и работы персонала на строительной площадке.

Дополнительно развивается направление стоимостного инжиниринга, которое позволяет получить ресурсную смету проекта, при загрузке имеющейся BIM-модели в специальную программу. «Загрузив BIM-

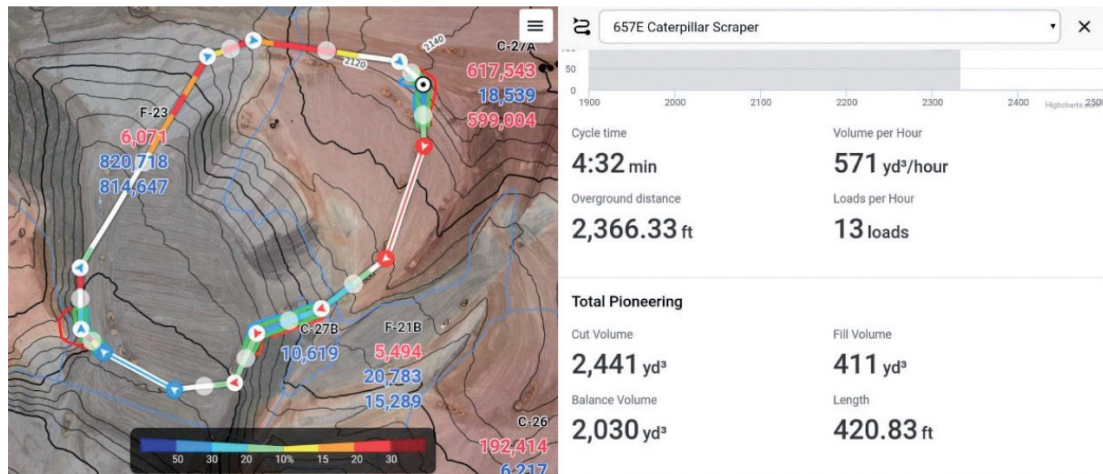


Рис. Цифровая модель траектории движения скрепера

модель, пользователь автоматически получает на выходе ресурсную смету», – говорит президент ГК «Основа» Александр Ручьев.

Вне всякого сомнения, технологии автоматизации управления нашли широкое применение в строительной отрасли, и одним из активно развивающихся направлений является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дроны). Эффективность их использования ранее была низкой из-за необходимости установки тяжелого дорогостоящего оборудования – лидаров, что увеличивало требования к грузоподъемности и, как следствие, значительно сокращало время полета, делая невозможным съемку большого количества точек [21].

Многие задачи связаны с использованием высокоточного лазерного сканирования импульсного тахеометра, который позволяет фотографировать БПЛА с помощью высокоточных бортовых спутниковых систем геолокации. По мере уменьшения сложности процесса съемки можно минимизировать количество геодезических контрольных точек, а иногда и вовсе отказаться от них. В настоящее время доступны модели, которые одновременно используют различные глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS) GPS L1 L2, ГЛОНАСС L1 L2, Galileo E1 E5a и BeiDou B1 B2 на базе стандартных недорогих БПЛА. Геолокационные станции и специальное программное обеспечение решают проблему не

только построения реальной пространственной модели строительной площадки, но и расчета оптимальных маршрутов движения бульдозеров и скреперов с учетом модели техники, ее технических свойств и фактического рельефа местности [22]. В этом приложении система способна предложить оптимальную модель устройства, оптимальную траекторию движения, что обеспечивает значительное снижение затрат на топливо и обслуживание устройства (см. рисунок).

Анализируя вышеизложенный материал, можно утверждать, что с каждым годом в сферу строительства внедряется всё больше и больше современных технологий. В XXI веке проекты не чертятся и не рассчитываются вручную. Благодаря современным программам BIM-моделирования значительно ускорились сроки выполнения проекта. Применение программ в системе автоматизированного проектирования является частью общей мировой тенденции развития современных компьютерных цифровых технологий, внедряемых в проектирование, строительство и эксплуатацию объектов, а за самими объектами ведётся особый контроль, осуществляемый через БПЛА и дроны.

Библиографический список

1. Применение цифровых технологий в строительстве: учебное пособие / А.Х. Байбу-



- рин, Н.В. Кочарин. – Челябинск: Библиотека А. Миллера, 2020. – 167 с.
2. Цифровые технологии в строительстве / В.И. Травуш // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 3. С. 107-117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117
 3. Новые технологии в строительстве, которые изменят отрасль уже совсем скоро [Электронный ресурс]. — URL: <https://pr-flat.ru/blog/novye-tekhnologii-v-stroitelstve-kotorye-izmenyat-otrasl-uzhe-sovsem-skoro/>
 4. Новые технологии, которые станут обязательными на рынке жилья 2020-х [Электронный ресурс]. — URL: <https://realty.rbc.ru/news/5dfa257b9a79471754678a03>
 5. Цифровизация строительной отрасли: место России в мировых тенденциях на примере контроля строительства [Электронный ресурс]. — URL: <https://sapr.ru/article/25580>
 6. Сайфеддин Д., Булгаков А.Г., Круглова Т.Н. Нейросетевая система отслеживания местоположения динамического агента на базе квадрокоптера // *Инженерный вестник Дона*. – 2014. № 1(28). С. 72.
 7. Emelianov S., Bulgakov A., Sayfeddine D. Aerial Laser Inspection of Buildings Facades using Quadrotor. // *Creative Construction Conference 2014 June 21–24, 2014 Prague, Czech Republic*. – Budapest, Szent István University, Proceedings CC2014, pp. 24-29.
 8. Bulgakov A., Emelianov S., Bock T., Sayfeddine D. Control of hovering altitude of a quadrotor with shifted centre of gravity for inspection of high-rise structures. // *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, 9-11 July 2014, Australia*. – Sydney, University of Technology, 2014, pp. 762-767.
 9. Bertram T., Bock T., Bulgakov A., Evgenov A. Generation the 3D Model Building by Using the Quadcopter // *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, 9-11 July 2014, Australia*. – Sydney, University of Technology, 2014, pp. 778-783.
 10. Bulgakov, A., Sayfeddine, D. Performing indoor radiation leakage test using quadrotor. // *58st IWK Ilmenau Scientific Colloquium „Shaping the Future by Engineering“*, 2014, p. 42.
 11. Bulgakov, A., Evgenov, A. Automatization the 3D Reconstruction of the Building Model using 2D Images. // *58st IWK Ilmenau Scientific Colloquium „Shaping the Future by Engineering“*, 2014, p. 34.
 12. Bulgakov, A., Emelianov, S., Bock, T., Sayfeddine, D., Erofeev, V. Inspection offlyover bridges Using quadrotor // *Connected to the Future: proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining. Oulu, Finland, 15. - 18. 6. 2015*. – Oulu: University of Oulu, 2015, pp. 448-453.
 13. Bulgakov, A., Evgenov, A., Weller, C. Automating high-rise structures inspection using quadrotor // *Procedia Engineering*, 123 (2015), pp. 101-109.
 14. Sayfeddine, D., Bulgakov, A., Kruglova, T. Intelligent passively stabilized quadrotor // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 87 (2017) 032036. DOI:10.1088/1755-1315/87/3/032036
 15. Krause, M., Otto, J., Bulgakov, A. and Sayfeddine, D. Strategic optimization of 3D-concrete-printing using the method of CONPrint3D® // *Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018)*. – Berlin: 2018, pp. 1-7.
 16. Bulgakov, A., Kruglova, T., Bock, T. Formulation of the Optimization Problem of the Cyber-Physical Diagnosis System Configuration Level for Construction Mobile Robots // *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019)*. – Alberta: 2019, pp. 704-708. DOI: <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0094>
 17. Bulgakov, A., Sayfeddine, D., Otto, J., Emelianov, S. Dispersed cyber-physical coordination and path planning using unmanned aerial vehicle // *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019)*. – Alberta: 2019, pp. 730-734. DOI: 10.22260/ISARC2019/0098
 18. Bulgakov, A., Pakhomova, E. Coordination of construction manipulation robotic system using UAV / *International Conference CIBv2019 Civil Engineering and Building. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 789 (2020) 012007 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/789/1/012007 1
 19. Bulgakov, A., Sayfeddine, D., Bock, T. and Awany Fares. Generation of Orthomosaic Model for Construction Site using Unmanned Aerial Vehicle. *2020 Proceedings of the 37th ISARC, Kitakyshu, Japan*, pp. 900-904. DOI: 10.22260/ISARC2020/0124



20. Wen Der Yu, Hsien Kuan Chang and Alexey Bulgakov. An Image Recognition-based Distance Measurement Technique for Real-time Locating of Construction Workers. 2nd IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics 2020.

21. Цифровые технологии в строительстве [Электронный ресурс]. — URL: <https://asninfo.ru/techmats/127-tsifrovyye-tekhnologii-v-stroitelstve>

22. Устойчивое строительство и городской дизайн: учеб. пособие / науч. ред. и сост. А.Л. Гельфонд, В.Т. Ерофеев, А.А. Ямашкин. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. — 348с.

Поступила в редакцию 30.04.2021 г.

DIGITALIZATION IN CONSTRUCTION AS AN EFFECTIVE TOOL FOR MODERN DEVELOPMENT OF THE INDUSTRY

© 2021 V.T. Erofeev, A.A. Pksaykina,
A.G. Bulgakov, V.V. Ermolaev*

An overview of various types of digitalization of modern construction is given. A detailed analysis of the existing information technologies for effective management at the enterprises of the construction industry has been carried out.

Keywords: digital technologies, innovations, design, modeling.

Received for publication on April 30, 2021

* Erofeev Vladimir Trofimovich - Academician of RAACS, Dr. of Technical, Professor of the department of "Building Materials and Technologies", Pksaykina Anna Alexandrovna - Associate professor of the department of "Building Materials and Technologies", Candidate of economic sciences, Bulgakov Alexey Grigorievich - Professor of the department of "Building Materials and Technologies", Dr. of Technical, Ermolaev Vladislav Valerievich - 6th year student, speciality "Building of unique buildings and constructions", all - faculty of Architecture and civil engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research of Mordovia State University N.P. Ogarev" (Saransk, Russia).



КРИТИЧЕСКИЕ ОСАДКИ ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА ПРИ ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ ОПРОКИДЫВАНИЯ

© 2021 М.Р. Муртазин, Г.Р. Муртазина*

Рассмотрены критические осадки высотных зданий и сооружений при действии горизонтальной (ветровой) нагрузки. Учитывается нелинейный характер задачи. В том числе геометрическая и конструктивная нелинейность. Для решения задачи устойчивости от опрокидывания модель «высотный объект-основание» представлена в виде системы линеаризованных уравнений строительной механики.

Ключевые слова: критические осадки, ветровая нагрузка, высотные здания, геометрическая и конструктивная нелинейность, устойчивость, опрокидывание.

Введение (Introduction)

В настоящее время согласно требованиям экспертизы обязательным разделом проектной документации является раздел рассматривающий устойчивость высотного здания против опрокидывания. В связи с этим проблемы устойчивости высотных зданий и сооружений против опрокидывания приобретает актуальность [см. 1-12].

Данный раздел проектной документации называется «Расчет на устойчивость положения». В практике проектирования высотных зданий отсутствует научно обоснованное и устоявшее представление о методах оценки запаса устойчивости против опрокидывания. В нормативных документах, в частности в СП 63.13330.2018 Приложение В, рекомендуется: «В.13 Расчет конструктивных систем производят методами строительной механики. При этом в общем случае применяют метод конечных элементов, метод конечных разностей и другие численные методы».

Особенностью данных расчетов с позиций строительной механики является необходимость проследить процесс развития деформаций крена высотного объекта до

момента его опрокидывания. Этот процесс сопровождается отрывом подошвы фундамента от поверхности несущего слоя основания. Учет отрыва фундамента от основания привносит в решение задачи нелинейность, которая называется конструктивной нелинейностью.

Метод (Methods)

Расчетная схема и метод решения

Расчетная схема представлена на рис. 1, где P – собственный вес высотного объекта, Q – равнодействующая ветрового давления, Δ – эксцентриситет центра сил тяжести, R, S – равнодействующие трапециевидной эпюры отпора основания высотного объекта, δ_R, δ_S – осадки основания под фундаментном высотного объекта, H – высота центра сил тяжести, H_v – высота приложения равнодействующей ветрового давления.

При деформационном расчете устойчивости равновесия высотного объекта рассмотрим два этапа нагружения:

❖ 1-й этап нагружения вертикальной нагрузкой собственного веса высотного объекта P ;

* Муртазин Марат Расимович (murta@bk.ru) – кандидат технических наук, Муртазина Гульсем Расимовна (galamurta@mail.ru) – аспирант, оба - кафедра Теория сооружений и строительных конструкций, СГТУ имени Гагарина Ю.А. (Саратов, РФ).

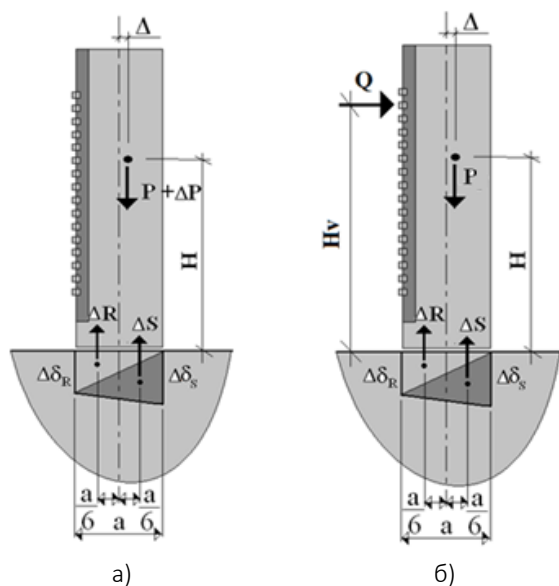


Рис. 1

❖ 2-й этап нагружения горизонтальной равнодействующей ветрового давления Q .

Метод решения основан на линеаризации нелинейной задачи устойчивости против опрокидывания высотных объектов и записи системы линеаризованных уравнений строительной механики для прослеживания его состояний равновесия на двух этапах нагружения. Данная расчетная схема (рис. 1) позволяет ввести в рассмотрение две равнодействующие давления отпора, записанные относительно приращений:

$$\Delta R = \Delta \delta_R \frac{abk}{2}; \quad \Delta S = \Delta \delta_S \frac{abk}{2} \quad (1)$$

где k – коэффициент жесткости основания, a , b – размеры фундаментной плиты.

Из условий равновесия, для приращений равнодействующих давления отпора на текущем шаге нагружения, запишем (рис. 1а):

$$\begin{aligned} \Delta R &= \frac{\Delta P}{2} \left(1 - \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) - \frac{P}{2} \frac{6 \Delta}{a} \\ \Delta S &= \frac{\Delta P}{2} \left(1 + \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) + \frac{P}{2} \frac{6 \Delta}{a} \end{aligned} \quad (2)$$

В (2) для текущего и последующих шагов нагружения суммарные значения P и $\sum \Delta$ берутся из предыдущего шага.

Тогда получим:

$$\begin{aligned} \Delta \delta_R &= \frac{\Delta P}{abk} \left(1 - \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) - \frac{6P}{a^2 bk} \Delta \\ \Delta \delta_S &= \frac{\Delta P}{abk} \left(1 + \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) + \frac{6P}{a^2 bk} \Delta \end{aligned} \quad (3)$$

Неоднородная система уравнений относительно приращений осадок основания имеет вид:

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{P}{2P_{kp}} \right) \Delta \delta_R + \frac{P}{2P_{kp}} \Delta \delta_S &= \frac{\Delta P}{abk} \left(1 - \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) \\ \frac{P}{2P_{kp}} \Delta \delta_R + \left(1 - \frac{P}{2P_{kp}} \right) \Delta \delta_S &= \frac{\Delta P}{abk} \left(1 + \frac{6 \sum \Delta}{a} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь: $P_{kp} = \frac{a^3 bk}{12H}$; $\sum \Delta$ - эксцентриситет

системы, накопленный на предыдущих шагах нагружения, P – суммарное значение параметра нагрузки с предыдущих шагов нагружения. Система уравнений (4) позволяет проследить процесс нагружения системы и находить на каждом шаге первого этапа нагружения приращения осадок сооружения.

$$\begin{aligned} \Delta \delta_R &= \frac{\Delta_R}{\Delta_{оп}} = \frac{\Delta P}{abk} \left(1 - \frac{6 \sum \Delta}{a} \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{kp}}} \right) \\ \Delta \delta_S &= \frac{\Delta_S}{\Delta_{оп}} = \frac{\Delta P}{abk} \left(1 + \frac{6 \sum \Delta}{a} \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{kp}}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Приращение осадок сооружения с начальным несовершенством в виде малого начального эксцентриситета в процессе нагружения складывается из вертикальной составляющей и составляющей, связанной с развивающимся креном сооружения. При этом приращения осадок стремятся к бесконечно большой величине при достижении нагрузкой критического значения.

Приведем результаты численного анализа приращения безразмерных парамет-



ров осадок в зависимости от безразмерного параметра эксцентриситета $\bar{\Delta} = \bar{\delta}_S - \bar{\delta}_R$ [7].

$$\Delta \bar{\delta}_R = \frac{a^2 k}{P_{kp}} \Delta \delta_R \quad \Delta \bar{\delta}_S = \frac{a^2 k}{P_{kp}} \Delta \delta_S \quad (6)$$

$$\Delta \bar{\delta}_R = \frac{a^2 k}{P_{kp}} \Delta \delta_R = \frac{\Delta P}{P_{kp}} \left(1 - \frac{(\bar{\delta}_S - \bar{\delta}_R)}{2 \left(1 - \frac{P}{P_{kp}} \right)} \right)$$

$$\Delta \bar{\delta}_S = \frac{a^2 k}{P_{kp}} \Delta \delta_S = \frac{\Delta P}{P_{kp}} \left(1 + \frac{(\bar{\delta}_S - \bar{\delta}_R)}{2 \left(1 - \frac{P}{P_{kp}} \right)} \right) \quad (7)$$

На втором этапе нагружения до начала развития конструктивной нелинейности равнодействующая ветровой нагрузки Q равна (рис. 1б):

$$Q = (kJ - HP)\varphi / H_v. \quad (8)$$

Здесь: $\Delta \delta_S = -\Delta \delta_R = \frac{6 \sum \Delta Q}{a^2 bk} H_v;$

$\varphi = (\delta_S - \delta_R) / a$; J - минимальный момент инерции относительно главной оси подошвы фундаментной плиты.

В условиях развития конструктивной нелинейности равнодействующая ветровой нагрузки:

$$Q = \frac{P}{H_v} \left(a/2 - 1/3 \sqrt{\frac{2P}{bk\varphi}} - H\varphi \right) \quad (9)$$

Результаты расчета критических осадок основания под фундаментной плитой высотного объекта

Результаты расчета получены для $H=100\text{м}$, $H_v = 100\text{м}$, $a=9\text{м}$, $b=66\text{м}$, $k=3000\text{кН/м}^3$, $J = 4009.5\text{м}^4$, $P_{kp} = 120285\text{кН}$.

На рис. 2 показаны в безразмерном виде графики $\Delta \delta_R$, $\Delta \delta_S$ - приращения осадок основания на этапе нагружения высотного объекта. Суммарные значения осадок определяются, как сумма приращений осадок за все предыдущие этапы нагружения. При приближении параметра вертикальной нагрузки P к критическому значению P_{kp}

приращения осадок стремятся к бесконечности.

На втором этапе нагружения равнодействующей ветрового давления, нагрузка собственного веса высотного объекта фиксируется $P_\phi = 80 \cdot 10^3 \text{кН}$. Осадки деформаций крена высотного объекта, вызванные ветровой нагрузкой, суммируются с осадками основания, достигнутыми на первом этапе нагружения (рис. 3).

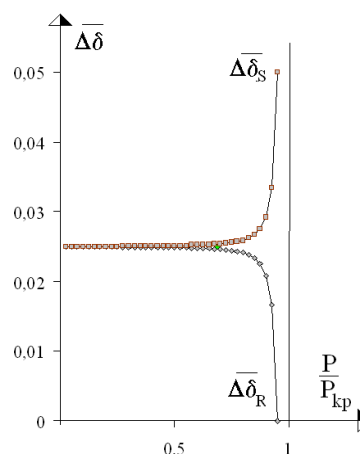


Рис. 2

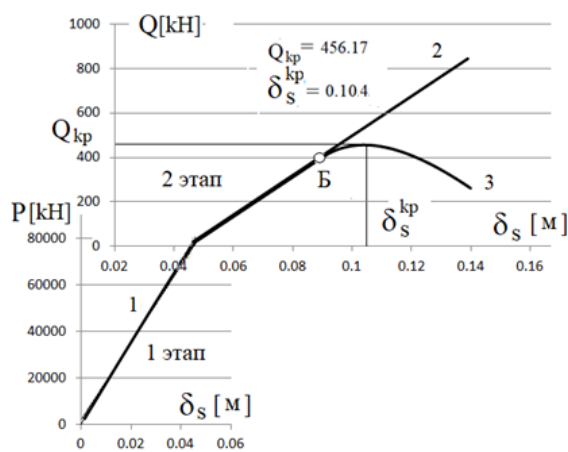


Рис. 3

На рис. 3 график 1 показывает развитие осадок основания под правым наиболее нагруженным краем фундаментной плиты на 1 этапе нагружения до уровня P_ϕ , график 2 показывает осадки до момента начала развития конструктивной нелинейности (точка Б на графике). Развитие конструктивной нелинейности (за точкой Б) показывает



график 3. Этот график имеет предельную точку, соответствующую критическому значению осадки правого края фундаментной плиты δ_s^{kp} . При превышении равнодействующей ветровой нагрузки значения $Q_{кр}$, отсутствуют какие либо состояния равновесия высотного объекта, что приводит к его опрокидыванию.

Заключение (Conclusions)

С позиций строительной механики устойчивость высотного здания против опрокидывания при воздействии ветрового давления можно рассматривать как устойчивость системы «высотный объект – основание» при воздействии вертикальной и горизонтальной нагрузок.

Линеаризованные уравнения прослеживания состояний равновесия системы «высотный объект – основание» могут быть записаны относительно неизвестных приращений осадок фундаментной плиты и, соответственно, опрокидывание высотного объекта под воздействием горизонтальной нагрузки происходит при достижении осадками предельного значения.

По сложившейся традиции [1-5] предельную ветровую нагрузку для задач устойчивости положения высотного здания принято называть критической нагрузкой устойчивости против опрокидывания $Q_{кр}$ и, соответственно, предельная осадка основания фундаментной плиты высотного здания также может рассматриваться как критическая осадка.

Библиографический список

1. Павлюк Н.П. К вопросу о проверке устойчивости стенки на опрокидывание // Проект и стандарт. 1934. №8.

2. Павлюк Н.П. Устойчивость жестких стен и колонн // Труды Ленинградского института инженеров коммунального строительства. 1935. Вып. II.

3. Львин Я.Б. Устойчивость жестких стен и колонн на упругом и упругопластическом основании // Инженерный сборник. 1950. Т.VII.

4. Львин Я.Б. Об устойчивости жестких стен и массивов на упругом основании при действии произвольно направленных, в том числе поворачивающихся сил // Труды Воронежского инженерно-строительного института. 1950. Вып. 2.

5. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова.- М.: Наука, 1979. - 3-е изд., перераб. - 384 с.

6. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. Том III. – 400 с.

7. Иноземцев В.К. Общая устойчивость высотных зданий и сооружений: учебное пособие / В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011 - 209 с.

8. Schulz M., Pellegrino S. Equilibrium paths of mechanical systems with unilateral constraints I. Theory // Proceeding of the Royal Society. Ser. A, vol.

9. Anjan Patel Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions, 1st edition. Woodhead Publishing, 2019, 209 p.

10. Alberto Lago, Dario Trabucco, Antony Wood Damping Technologies for Tall Buildings. Butterworth-Heinemann, 2018, 1124 p.

11. Ruwan Rajapakse Construction Engineering Design Calculations and Rules of Thumb, 1st edition. Butterworth-Heinemann, 2016, 474 p.

12. Chai Yoo, Sung Lee Stability of Structures, 1st edition. Butterworth-Heinemann, 2011, 536 p.

Поступила в редакцию 05.05.2021 г.



CRITICAL DRAINAGE OF A HIGH-ALTITUDE OBJECT
AT LOSS OF RESISTANCE TO TIPPING

© 2021 M.R. Murtazin, G.R. Murtazina*

Critical settlements of high-rise buildings and structures under the action of horizontal (wind) load are considered. The nonlinear nature of the problem is taken into account. Including geometric and constructive nonlinearity. To solve the problem of stability against overturning, the "high-rise object-foundation" model is presented in the form of a system of linearized equations of structural mechanics.

Keywords: critical precipitation, wind load, high-rise buildings, geometric and structural nonlinearity, stability, overturning.

Received for publication on May 05 2021

* M.R. Murtazin - Candidate of Technical Sciences, G.R. Murtazina – post-graduate both - Department of Theory of Structures and Building Structures, Gagarin State Technical University (Saratov, Russia).



УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОТИВ ОПРОКИДЫВАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И КОНСТРУКТИВНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

© 2021 Г.Р. Муртазина*

В статье рассматривается устойчивость высотных зданий и сооружений против опрокидывания при воздействии ветровой нагрузки. Модель системы «высотный объект-основание» для решения задачи устойчивости против опрокидывания представлена в виде системы нелинейных уравнений строительной механики. В том числе учитывается геометрическая нелинейность и нелинейность конструктивная, обусловленная частичным отрывом подошвы фундаментной плиты высотного объекта от несущего слоя его основания.

Ключевые слова: устойчивость, опрокидывание, высотные здания, ветровая нагрузка, геометрическая и конструктивная нелинейность.

Введение (Introduction)

Проблемы устойчивости высотных зданий и сооружений против опрокидывания приобрела актуальность в связи с увеличением в России строительства высотных зданий и требованием экспертизы наличия в проектной документации раздела рассматривающего устойчивость высотного здания против опрокидывания. В проектной документации этот раздел носит название «Расчет на устойчивость положения». В настоящее время в нормативных документах можно встретить различные рекомендации по методике выполнения расчета на устойчивость положения. Так «Нормы строительства и проектирования многоэтажных железобетонных конструкций» (JZ 102-79) рекомендуют при расчете на опрокидывание здания придерживаться отношения удерживающего момента M_R к опрокидывающему моменту M_{ov} не менее 1,5. «Правила строительства и проектирования многоэтажных железобетонных конструкций» (JGJ 3-91) тот же расчет ведут по условию для отношения удерживающего момента к опрокидывающему равному 1.0. Согласно

«Технической инструкции по проектированию конструкций высотных зданий» (JGJ 3-2002) для зданий с отношением высоты к ширине больше 4 в основании фундаментов не должно быть области нулевых напряжений.

Отметим здесь, что раздел проектной документации «Расчет на устойчивость положения» предполагает оценить величину коэффициента запаса устойчивости сооружения против опрокидывания. Например, при воздействии ветровой нагрузки, этот коэффициент предлагается определять как отношение критического значения равнодействующей ветровой нагрузки $Q_{кр}$ к фактически действующей равнодействующей ветровой нагрузки Q :

$$k = Q_{кр} / Q$$

Момент опрокидывания сооружения с точки зрения строительной механики рассматривается как потеря, каких либо равновесных состояний, в результате чего очевидно, что сооружение переходит в состояние движения. Для определения такого коэффициента запаса k необходимо выйти за рамки правил и инструкций, приведенных

* Муртазина Гульсем Расимовна (galamurta@mail.ru) – аспирант, кафедра Теория сооружений и строительных конструкций, СГТУ имени Гагарина Ю.А. (Саратов, РФ).



выше. Особенностью данного расчета с позиций строительной механики является необходимость проследить процесс развития деформаций крена высотного объекта под воздействием ветрового давления вплоть до момента его опрокидывания. Этот процесс сопровождается отрывом подошвы фундамента от поверхности несущего слоя основания.



Рис. 1. Опрокинувшееся здание

Учет отрыва фундамента от основания привносит в решение задачи нелинейность, которая называется конструктивной нелинейностью [см. 1-10].

Другой вопрос, возникающий при прослеживании равновесных состояний высотного объекта до момента его опрокидывания, связан с возможностью развития больших перемещений. В этом случае возникает необходимость учета геометрической нелинейности.

В статье будем придерживаться рекомендаций нормативного документа СП 63.13330.2018, Приложение В. При расчете устойчивости рекомендуется: «В.13 Расчет конструктивных систем производят методами строительной механики. При этом в общем случае применяют метод конечных элементов, метод конечных разностей и другие численные методы».

Таким образом, использование методов строительной механики приводит к необходимости решения дважды нелинейной задачи прослеживания равновесных состояний сооружения для поиска критиче-

ской ветровой нагрузки, при которой сооружение теряет устойчивость против опрокидывания.

Метод (Methods)

Общая устойчивость высотного объекта с учетом геометрической и конструктивной нелинейности

Расчет общей устойчивости высотного объекта с учетом геометрической и конструктивной нелинейности производится методами строительной механики.

Рассмотрим деформационный расчет устойчивости равновесия тяжелого высотного объекта с учетом геометрической и конструктивной нелинейности, порождаемой частичным отрывом подошвы фундаментной плиты при развитии деформаций крена высотного объекта.

В качестве примера примем: $H=210\text{м}$; $H_c=100\text{м}$; $a=9\text{м}$; $b=66\text{м}$; $k_0=3000\text{кН/м}^3$; $\varphi_0=5 \cdot 10^{-4}$ рад.

В условиях отсутствия явления отрыва подошвы фундаментной плиты, при трапецидальной форме эпюры реакции отпора реализуется конструктивно-линейное равновесное состояние (рис. 2а):

$$R_0 = \frac{1}{2} k_0 U_0 ab \cos(\phi);$$

$$R_a = \frac{1}{2} k_0 U_a ab \cos(\phi) \quad (1)$$

В условиях возникновения конструктивной нелинейности равновесное состояние осуществляется при треугольной форме эпюры реакции отпора (рис. 2 б). Соответствующая начальному равновесному состоянию величина нагрузки P_1 , угол поворота вертикальной оси φ_1 :

$$R_0 = 0; \quad R_a = P_1;$$

$$P_1 = \frac{k_0 a^2 b}{2} \cos(\phi_1) \sin(\phi_1). \quad (2)$$

Условия равновесия высотного объекта будут иметь вид:

$$\frac{aP_1}{6} \cos(\phi_1) = P_1 H_c (\sin(\phi_1) + \sin(\phi_0)) \quad (4)$$

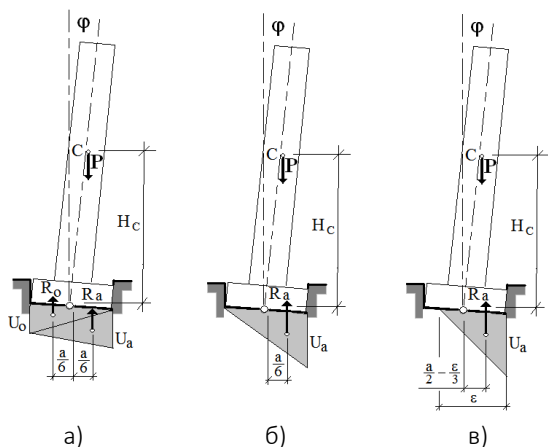


Рис. 2

$$\text{Cos}(\varphi_1)\text{Sin}(\varphi_1) = \frac{2P_1}{k_0 a^2 b} \quad (3)$$

Развитие конструктивно-нелинейного равновесного состояния связано с уменьшением: εb – площади контакта фундаментной плиты с несущим слоем основания (рис. 2в). В этом случае:

$$a \geq \varepsilon; \quad R_c = P; \quad P = \frac{k_0 \varepsilon^2 b}{2} \text{Cos}(\varphi) \text{Sin}(\varphi);$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2P}{k_0 b \text{Cos}(\varphi) \text{Sin}(\varphi)}}; \quad (5)$$

$$\frac{3a - 2\varepsilon}{6} \frac{k_0 \varepsilon^2 b}{2} \text{Cos}^2(\varphi) \text{Sin}(\varphi) = PH_c (\text{Sin}(\varphi) + \text{Sin}(\varphi_0)); \quad (6)$$

$$P = (3a - 2\varepsilon) \frac{k_0 \varepsilon^2 b}{12H_c} \times \text{Cos}^2(\varphi) \frac{\text{Sin}(\varphi)}{(\text{Sin}(\varphi) + \text{Sin}(\varphi_0))}; \quad (7)$$

Реакция основания строится на базе модели местных деформаций (модели Винклера) (рис. 3а, б).

При учете геометрической нелинейности равновесного состояния, характеризующегося соотношением $\varepsilon < a$, эпюра отпора основания двухзначная, что не соответствует принятой модели грунта. В принятой модели грунта предполагается, что на растяжение грунт не работает. В этом случае, при

увеличении нагрузки площадь контакта фундаментной плиты и основания становится переменной (рис. 3б). Проследить изменение равновесного состояния с конструктивной нелинейностью, можно начиная с уровня нагрузки, при которой вертикальное перемещение $U_0=0$. Перемещение U_a определяется выражением:

$$U_a = \frac{6H_c}{k\varepsilon(3a-2\varepsilon)b} \frac{P}{\text{Cos}^2(\varphi)} (\text{Sin}(\varphi) + \text{Sin}(\varphi_0)) + \frac{P}{k\varepsilon \text{Cos}(\varphi)} \quad (8)$$

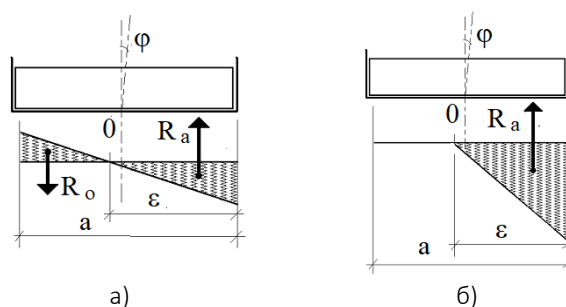


Рис. 3

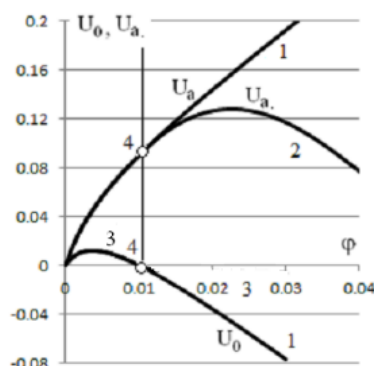


Рис. 4

На рис. 4 показаны графики вертикальных перемещений U_0 U_a . Графики 1 соответствуют геометрически-нелинейной задаче, график 2 – соответствует геометрически и конструктивно-нелинейной задаче, график 3 – зависимость U_0 от угла поворота оси высотного объекта. Обращение в ноль графика U_0 показывает начало отрыва подошвы фундамента от поверхности основания (точка 4). Развитие конструктивной нелинейности начинается при значении $U_0 \geq 0$. Учет конструктивной нелинейности (график 2) пока-

зывает снижение величины предельного перемещения U_a по сравнению с геометрически-нелинейной задачей.

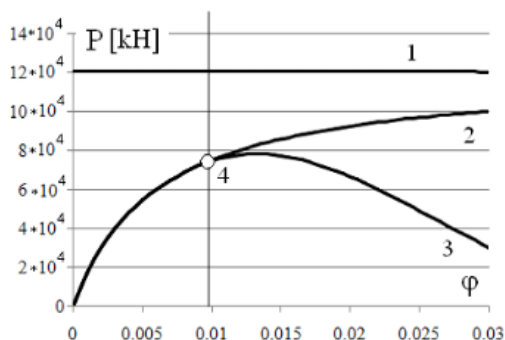


Рис. 5

На рис. 5 показаны графики зависимости нагрузки от угла поворота оси высотного объекта. График 1 – бифуркационная критическая при отсутствии начального эксцентриситета $\phi_0=0$, график 2 – геометрически нелинейная задача, график 3 – соответствует геометрически и конструктивно-нелинейной задаче. Графики 2 и 3 расходятся при развитии конструктивной нелинейности (точка 4). График 3 имеет предельную точку, соответствующую предельной нагрузке, при превышении которой теряется состояние равновесия высотного объекта.

Таким образом, общая устойчивость высотного объекта снижается с 12×10^4 до 8×10^4 [кН] при учете конструктивной нелинейности.

Метод исследования устойчивости высотного объекта против опрокидывания с учетом геометрической и конструктивной нелинейности при воздействии горизонтальной нагрузки

Рассмотрим деформационный расчет устойчивости равновесия тяжелого высотного объекта при воздействии горизонтальной равнодействующей ветрового давления. В этом случае нагружение системы «высотный объект – основание» будет происходить в два этапа. Первый этап, нагружение вертикальной нагрузкой собственного веса высотного объекта P . Второй этап,

нагружение горизонтальной равнодействующей ветрового давления Q (рис. 6).

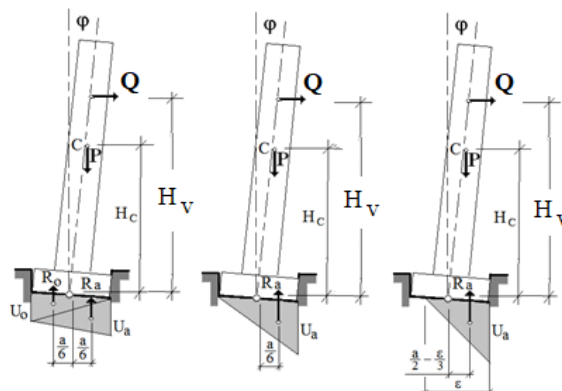


Рис. 6

Рассмотрим результаты расчета устойчивости против опрокидывания идеализированного (без начальных несовершенств $\phi_0=0$) тяжелого высотного объекта с учетом геометрической и конструктивной нелинейности. Зависимость между равнодействующей ветровой нагрузки Q и углом поворота высотного объекта ϕ для трапециевидной эпюры отпора будет:

$$Q = \left(\frac{k_0 a^3 b}{H_v} \frac{\cos^2 \phi \sin \phi}{(\sin \phi + \sin \phi_0)} - P \frac{H_c}{H_v} \right) \times \frac{(\sin \phi + \sin \phi_0)}{\cos \phi} \quad (10)$$

В условиях развития конструктивной нелинейности зависимость между равнодействующей ветровой нагрузки Q и углом поворота высотного объекта ϕ будет учитывать частичный отрыв подошвы фундаментной плиты от несущего слоя основания:

$$Q = \frac{P}{H_v} \left[\left(\frac{a}{2} - \frac{1}{3} \sqrt{2P / (k_0 b \cos \phi \sin \phi)} \right) - H_c \frac{(\sin \phi + \sin \phi_0)}{\cos \phi} \right] \quad (11)$$

Деформации крена высотного объекта на этапе нагружения собственным весом равны нулю (рис. 7). Сравним результаты расчета идеализированной расчетной схемы с результатами расчета на устойчи-

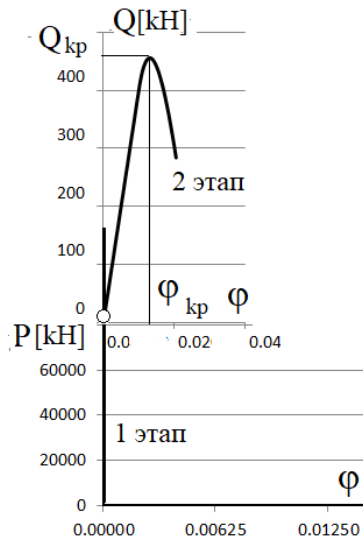


Рис. 7

вость против опрокидывания высотного объекта с начальным несовершенством в виде эксцентриситета центра сил тяжести, вызванного начальным углом поворота вертикальной оси высотного объекта $\varphi_0 = 0.001$ (рис. 8). Учет начальных несовершенств уже на первом этапе нагружения системы приводит к развитию деформаций крена высотного объекта. В дальнейшем, при воздействии ветрового давления, крен увеличивается и в момент опрокидывания высотного объекта он достигает критической величины $\varphi_{кр}$.

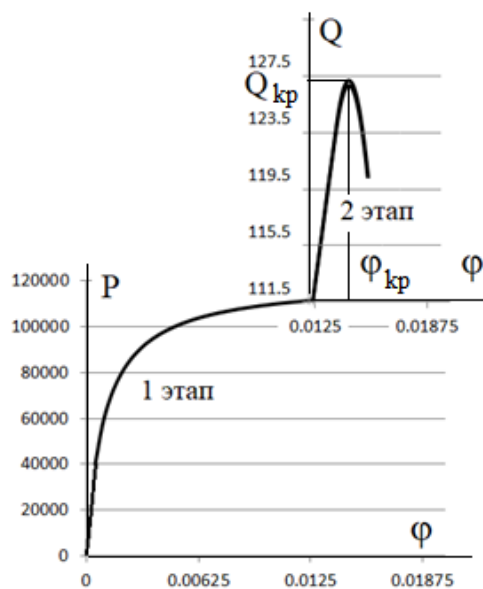


Рис. 8

Заключение

Как отмечается в работе [11], в которой построены области устойчивости высотного сооружения против опрокидывания в геометрически линейной постановке задачи, учет конструктивной нелинейности дает значение $Q_{кр}$ всегда меньше величины «предельной» опрокидывающей силы, вычисляемой из условия равенства опрокидывающего и удерживающего моментов для недеформируемого состояния основания сооружения. Таким образом, рекомендации придерживаться при расчете сооружения на опрокидывание отношения удерживающего момента к опрокидывающему моменту идут не в запас надежности. Различие между этими подходами к оценке устойчивости против опрокидывания высотного сооружения возрастает по мере приближения веса сооружения к его критическому значению, определяемому на основе бифуркационного критерия устойчивости [11-12], а также при существенной «податливости» основания. И в том, и в другом случае вертикальные перемещения фундаментной плиты и, соответственно, деформации крена высотного сооружения, становятся значительными уже на первом этапе нагружения. В связи с этим не учет геометрической нелинейности также может привести к недооценке суммарного угла поворота вертикальной оси сооружения, вычисляемого как сумма углов, накопленная на первом и втором этапах нагружения сооружения.

Библиографический список

1. Павлюк Н.П. К вопросу о проверке устойчивости стенки на опрокидывание // Проект и стандарт. 1934. № 8.
2. Павлюк Н.П. Устойчивость жестких стен и колонн // Труды Ленинградского института инженеров коммунального строительства. 1935. Вып. II.
3. Львин Я.Б. Устойчивость жестких стен и колонн на упругом и упругопластическом основании // Инженерный сборник. 1950. Т. VII.
4. Львин Я.Б. Об устойчивости жестких стен и массивов на упругом основании при действии



произвольно направленных, в том числе поворачивающихся сил» // Труды Воронежского инженерно-строительного института. 1950. Вып. 2.

5. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы. / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова. - М.: Наука, 1979. - 3-е изд., перераб. - 384 с.

6. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с.

7. Критерии устойчивости против опрокидывания в практике проектирования высотных зданий / О.В. Иноземцева, В.К. Иноземцев, Г.Р. Муртазина // Эксперт: теория и практика. – 2021. №2(11). С. 9-23.

8. Schulz M., Pellegrino S. Equilibrium paths of mechanical systems with unilateral constraints

I. Theory // Proceeding of the Royal Society. Ser. A, vol. 456, No 8, 2000. - P. 2223-2242.

9. Martin Saad Elasticity: Theory, Application and Numerics, 4th edition. Academic Press, 2020, 624 p.

10. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. Учебное пособие. - М.: Изд-во АСВ, 2005. – 488 с.

11. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011 – Т. II. - 400 с.

12. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем.- М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1955. - 476 с.

Поступила в редакцию 05.05.2021 г.

RESISTANCE OF HIGH-RISE OBJECTS TO OVERTURNING CONSIDERING THE GEOMETRIC AND CONSTRUCTIVE NONLINEARITY

© 2021 G.R. Murtazina*

The article discusses the stability of high-rise buildings and structures against overturning when exposed to wind load. The model of the system "high-rise object-foundation" for solving the problem of stability against overturning is presented in the form of a system of nonlinear equations of structural mechanics including geometric nonlinearity and constructive nonlinearity, caused by partial separation of the foundation slab of a high-rise object from the bearing layer of its base.

Keywords: stability, overturning, high-rise buildings, wind load, geometric and structural nonlinearity.

Received for publication on May 05 2021

* G.R. Murtazina - Postgraduate of the department Theory of structures and building structures, SSTU named after Y. Gagarin (Saratov, Russia).



МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО СТАЛЬНОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ ПОСЛЕ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© 2021 И.В. Руднев, О.В. Никулина, В.И. Жаданов,
Д.А. Украинченко, М.А. Аркаев*

В последние десятилетия проектированием стальных конструкций зачастую занимаются проектные организации, выигравшие конкурсный отбор за счет снижения стоимости проекта, специалисты которых не обладают опытом проектирования. В статье представлены материалы экспертизы стального каркаса здания с оценкой его несущей способности в условиях череды аварийных ситуаций на объекте. Методика проведения экспертизы позволила вывить и исправить ошибки проектирования без остановки эксплуатации здания.

Ключевые слова: строительно-техническая экспертиза; стальной каркас; аварийное повреждение, напряженно-деформированное состояние.

В связи с ростом промышленного производства в различных отраслях на территории Российской Федерации, у организаций и частных предпринимателей возникает необходимость в быстровозводимых каркасных зданиях из легких металлоконструкций, имеющих значительную полезную площадь. Как правило, процесс проектирования таких зданий достаточно жестко регламентируется Заказчиком с точки зрения сокращения сроков проектирования и стоимости проектных работ, что зачастую приводит к выбору недостаточно квалифицированного проектировщика и, как следствие к ошибкам в проектах. Затем, на ошибки проектирования, как правило, накладываются дефекты, допущенные при производстве работ и эксплуатации здания, что приводит к созданию аварийной ситуации. Для определения степени виновности в сложив-

шейся ситуации между участниками строительного процесса достаточно часто возникают судебные тяжбы. В подавляющем большинстве случаев их разрешение невозможно без проведения строительно-технической экспертизы, объектами которой являются проектная документация и фактическое исполнение здания. Для определения истинных причин аварийности экспертам строителям необходимо выполнить комплекс действий, направленных на установление механизма происшедшего, связанных с исследованием напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, методика которого формируется индивидуально для каждого случая [1].

Основной причиной экспертного исследования явилось аварийное состояние отдельных конструкций каркаса трехпролетного здания склада готовой продукции с

* Руднев Игорь Владимирович (ru403@mail.ru) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Никулина Ольга Владимировна (nov25@bk.ru) – кандидат технических наук, доцент, Жаданов Виктор Иванович (organ-2003@bk.ru) – Заслуженный строитель РФ, советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Украинченко Дмитрий Александрович (279372@mail.ru) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Аркаев Максим Александрович (arkaevrus@mail.ru) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, все - Оренбургский государственный университет (Оренбург, Россия).



а)



б)

Рис. 1. Дефекты стропильных ферм, создавшие аварийную ситуацию:

а) узел 30-метровой фермы после потери несущей способности фасонки;

б) потеря устойчивости верхнего пояса 12-метровой фермы

пролетами 30м, 18м и 12м: потеря устойчивости узловых фасонки с закручиванием укрупнительного узла верхнего пояса отправочных марок шести стропильных ферм пролетом 30 метров и потеря устойчивости при опорной панели верхнего пояса четырех стропильных ферм пролетом 12 метров из 41 поперечных рам каркаса (рис. 1а, б).

На первом этапе исследования выявлялись причины оговоренных локальных аварийных повреждений, произошедших в первый год эксплуатации здания.

Аварийное повреждение стропильных ферм пролетом 30 м произошло в зимний период при действии на покрытие снеговой нагрузки. Под поврежденные фермы по специально разработанному проекту были подведены страховочные стойки, что позволило не прекращать эксплуатацию здания. Причиной указанного повреждения явилось конструктивное решение укрупнительного узла верхнего пояса отправочных марок стропильной фермы пролетом 30 метров. Предотвратить аварийную ситуацию можно было еще на стадии проектирования, приняв стандартное решение фланцевого монтажного стыка по серии 2.440-2.2-11КМ [2].

Другой вариант обеспечения несущей способности оговоренного узла – выполнение проверки устойчивости фасонки, под-

верженной внецентренному сжатию, как условного стержня с расчетной длиной, равной расстоянию от фланца до уголка пояса фермы (по проектному решению, указанное расстояние равняется 95 мм). Фактическая расчетная ширина фасонки в пределах уплотнительной пластины составляет 300 мм, толщина фасонки – 10 мм. Расчетное, принятое в проекте продольное усилие сжатия в примыкающей к узлу панели верхнего пояса: $N = 513$ кН. Эксцентриситет приложения продольной силы к фасонке: $e = 11,5$ см. Проверка на устойчивость фасонки из ее плоскости при фактических условиях закрепления может быть выполнена по формуле:

$$\frac{N}{c\varphi_y A R_y} \leq 1, \quad (1)$$

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x^*}; m_x^* = 0,5 m_x; m_x = e \cdot \frac{A}{W_x}^*.$$

Для оговоренных исходных данных, соответствующих проектному решению узла и заложенным в проекте усилиям в элементах фермы, несущая способность фасонки не обеспечена с перегрузкой в 1,3 раза.

Потеря устойчивости приопорных панелей верхних поясов стропильных ферм пролетом 12 метров произошла в летнее

* Обозначения в формулах (1) приняты в соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*».



время. В качестве причин рассматривались осадки опор, температурные воздействия, возможные эксплуатационные повреждения в связи с расположением ферм в зоне линий железной дороги.

На следующем этапе было проведено инструментальное обследование здания, в результате которого, в том числе, выявлено несоответствие отдельных конструктивных решений каркаса требованиям нормативных документов по обеспечению его пространственной жесткости, в частности, отсутствие горизонтальных и вертикальных связей, раскрепляющих сжатые приопорные элементы нижних поясов стропильных ферм.

С другой стороны, жесткое примыкание стропильных ферм разновеликих пролетов к надколонникам и подстропильным фермам приводит к загрузению конструкций непроектными крутящими и изгибающими моментами и вызывает повышенную чувствительность всего каркаса здания к неравномерным осадкам фундаментов, которые могут возникнуть при строительстве на структурно неустойчивом основании, например, при недостаточном уплотнении насыпного грунта под подошвой фундаментов. В процессе определения геометрического положения конструкций в рамках обследования выявлено, что колонны каркаса здания имеют вертикальные перемещения, достигающие 80-150 мм, в том числе в колоннах крайнего ряда 12 метрового пролета.

В связи с большим количеством причин и воздействий, влияющих на несущую способность стального каркаса, экспертной группой было принято решение о его расчете в двух программных комплексах АРМ СЕ (Россия) и ЛИРА САПР, верифицированной в РААСН, в соответствии с рекомендациями [3]. Для оценки напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций здания, в программных комплексах создана пространственная пластинчато-стержневая модель реализованного

каркаса с жесткими узлами сопряжения ригелей с колоннами и подстропильными фермами и с фактической системой связей.

Каркас здания смоделирован стержневыми конечными элементами, имеющими шесть степеней свободы. В узлах конструкции на стержневые элементы наложены связи зависимости от их местоположения. В соответствии с фактическим закреплением стержневых элементов узлы стропильных и подстропильных ферм приняты жесткими в плоскости конструкций, узлы крепления связей, распорок, тяжей приняты шарнирными.

Узлы соединения надколонников с колоннами приняты шарнирными в плоскостях стропильных и подстропильных ферм. Опоры колонн – жестко защемлены на фундаментах. Ограждающие конструкции смоделированы прямоугольными четырех-узловыми пластинчатыми конечными элементами без жесткости.

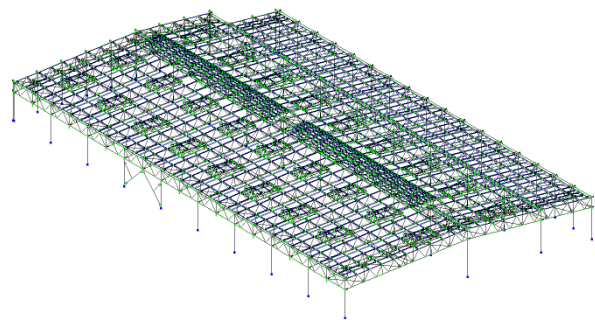


Рис. 2. Пространственная модель каркаса здания в программном комплексе ЛИРА САПР

Статический и конструктивный расчет модели выполнен на действие постоянных и временных нагрузок, определенных по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*», и на неравномерные осадки опор, зафиксированные в процессе обследования здания.

По результатам выполненных расчетов выявлено, что вследствие недостаточного количества связей, раскрепляющих сжатые элементы нижних поясов стропильных ферм, конструктивных ошибок, допущен-



Рис. 3. Усиление каркаса и ферм:
а) стабилизация положения аварийных ферм пролетом 30 метров;
б) монтаж дополнительных связей и распорок

ных при разработке проектной документации, и неравномерных осадок фундаментов несущая способность отдельных элементов стропильных конструкций не обеспечена с перегрузкой от 1,5 до 2,6 раза. Кроме этого, оказалась необеспеченной несущая способность опорных фланцевых соединений верхних поясов стропильных и подстропильных ферм с колоннами. Для исправления ошибок, допущенных в расчетах каркаса при его проектировании, потребовалось выполнить следующие мероприятия: внести изменения в существующую связевую систему каркаса здания путем установки дополнительных распорок и связей; выполнить усиление элементов ферм и кре-

стообразных связей по колоннам путем увеличения площади их сечений; установить дополнительные болты в опорные фланцевые соединения ферм с колоннами (рис. 4).

На первом этапе непосредственно усиления каркаса была выполнена стабилизация положения аварийных ферм пролетом 30 метров и обеспечение жесткости каркаса в целом (рис. 3), а также усиление потерявших устойчивость стержней верхнего пояса 12-метровых ферм.

Усиление элементов каркаса и узлов (рис. 4) выполнено по результатам итерационного расчета конструкций пространственной модели каркаса здания, после внесения необходимых изменений в конструкции

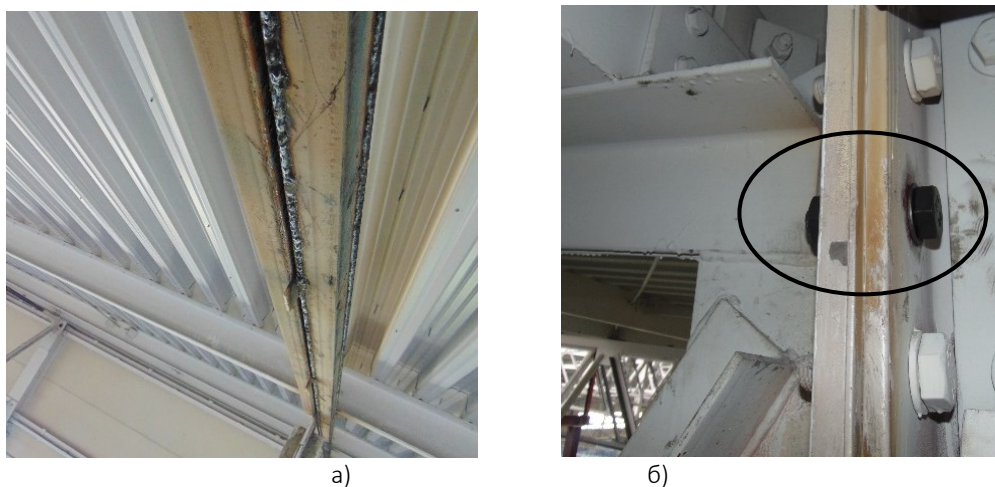


Рис. 4. Усиление каркаса и ферм:
а) усиление поясов; б) установка дополнительных болтов во фланцевые соединения ферм с колоннами



связевой системы и сечений стержней. Несущая способность элементов каркаса после усиления обеспечена с запасом от пяти до двенадцати процентов.

По результатам проведенного двухлетнего мониторинга элементов каркаса здания в различные времена года каких-либо деформаций и перемещений, превышающих допустимые значения, не выявлены.

Изложенная и внедренная методика многоступенчатой оценки несущей способности стального каркаса здания позволила собственнику не останавливать производственный процесс при сложившейся аварийной ситуации, быть уверенным в эксплуатационной надежности здания в последующий период и обоснованно отстаивать свои интересы в судебных инстанциях.

Библиографический список

1. Теория и практика судебной строительно-технической экспертизы / А.Ю. Бутырин. – М.: Издательский дом "Городец", 2006. – 544 с.
2. Серия 2.440-2.2 Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий. Выпуск 2 – Узлы покрытий. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293853/4293853020.htm>
3. «Рекомендации по составу и оформлению отчетной документации по результатам расчетов строительных конструкций и оснований зданий и сооружений, представляемых на государственную экспертизу проектной документации». URL: <https://gge.ru/upload/iblock/168/Рекомендации.pdf>

Поступила в редакцию 19.04.2021 г.

METHODS FOR EVALUATING THE BEARING CAPACITY OF AN EXPLOITED BUILDING STEEL FRAMEWORK AFTER ACCIDENTAL EXPOSURES

© 2021 I.V. Rudnev, O.V. Nikulina, V.I. Zhadanov,
D.A. Ukrainchenko, M.A. Arkaev*

In recent decades, the design of steel structures is often carried out by design organizations that have won a competitive selection due to a significant reduction in the cost of the project, whose specialists do not have sufficient knowledge and experience in design. The article presents the materials of the examination of the steel frame of the finished product warehouse with an assessment of its load-bearing capacity in the conditions of a series of emergencies at the facility. The methodology of the examination allowed us to identify and correct design errors without stopping the operation of the building.

Keywords: construction and technical expertise, steel frame, emergency damage, stress-strain state.

Received for publication on April 19, 2021

* Rudnev Igor Vladimirovich (ru403@mail.ru) - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Nikulina Olga Vladimirovna (nov25@bk.ru) - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Zhadanov Viktor Ivanovich (organ-2003@bk.ru) - Honored Builder of the Russian Federation, Advisor to the RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Structures, Dmitry Aleksandrovich Ukrainchenko (279372@mail.ru) - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Arkaev Maksim Aleksandrovich (arkaevrus@mail.ru) - Candidate Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, all - Orenburg State University (Orenburg, Russia).



УСИЛЕНИЕ КАРКАСА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛИЦЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

© 2021 П.Ю. Чеканаускас*

Стальные конструкции теплиц, как правило, возводятся строительными компаниями с использованием быстрых эмпирических структурных расчетов. Стандартные теплицы также часто импортируются из других стран, в основном из Нидерландов, Израиля. Очевидно, что эти страны различаются местными ветровыми и снежными условиями. Следовательно, существует потребность в улучшении конструкций теплиц, которые проектировались для других регионов или стран. В настоящее время используются многие тепличные конструкции со слабой конструкцией или несоответствующими предварительно спроектированными решениями. В то же время снос и реконструкция представляют собой очень дорогое решение, учитывая потерю урожая, а также затраты на снос и строительство, таким образом, усиление - это разумная альтернатива. В этой статье представлены методы усиления стальной теплицы проекта «Антрацит».

Ключевые слова: теплица, структурная оценка, усиление, СП, СНИП, ГОСТ, «Антрацит», укрепляющий.

Введение

Теплицы специально спроектированы для обеспечения подходящих условий, способствующих круглогодичному росту и размножению растений. Это достигается за счет их уникальных структурных характеристик, которые позволяют им выполнять свои заданные функции. Для того, чтобы теплица считалась хорошо спроектированной, она должна соответствовать ключевым целям, таким как низкая стоимость строительства и эксплуатации, эффективные механические свойства, эффективные системы вентиляции, низкое потребление тепла и высокий коэффициент светопропускания.

Проектирование теплиц должно соответствовать российским СП, СНИПам и ГОСТам [1-9]. Некоторые теплицы привозятся нашими фермерами из разных стран и других регионов страны, где климатические и конструктивные требования могут отличаться от региона, в котором будет возводиться теплица. Таким образом, местные

инженеры должны вносить изменения в структурную систему, чтобы адаптироваться к конкретной местной природно-климатической среде.

В нашем случае при увеличении высоты «антрацитовской» теплицы был выявлен ряд недостатков. Проанализировав различные ветровые нагрузки, которые прогнозируются на основе различных проектных норм по всем регионам России, а также различные, неопределенности и их влияние на безопасность теплиц со скатными крышами, было принято решение по усилению каркаса теплицы.

В этой работе учитываются ветровые (*подробнее о ветровых нагрузках в статье «Ветровое давление на тепличные конструкции, как одна из основных нагрузок» [10]*) и снеговые нагрузки в соответствии с положениями СП 107.13330.2012 [1], что дает определяющую комбинацию нагрузок для конечного расчета по предельному состоянию стальных конструкций, который

* Чеканаускас Повилас Юлюсович (povilas.chk@mail.ru) - магистрант, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» (Тольятти, РФ).



может привести к обрушению. Традиционно многие тепличные конструкции подвергаются стихийным бедствиям и разного рода обрушениям, которые обычно не влекут за собой человеческие жертвы, но ведут к значительным потерям имущества и денежных средств.

Таким образом, чтобы защитить их от обрушения, необходимы соответствующие методы ремонта и модернизации.

1. Сбор данных и цели проектирования

Первым шагом оценочного исследования является осмотр существующей теплицы и сбор ключевых признаков, таких как повреждение каркаса, наличие коррозии, модификации конструкции, выполненной в течение срока службы теплицы, уровня прогибов, признаков оседания фундамента, повреждений облицовки, а также дополнительной нагрузки или оснастки.

2. Нагрузки на конструкции теплиц

Нагрузки на строительные конструкции теплиц и парников следует принимать в соответствии с указаниями СНиП 2.01.07-85, учитывая следующие требования [2, 6]:

- ❖ толщину стальных гнутых профилей для ограждающих конструкций теплиц необходимо принимать по расчету, но не менее 1 мм, деталей крепления стекла и пленки - не менее 0,4 мм;

- ❖ гибкость стальных сжатых элементов каркаса теплиц не должна превышать 180, растянутых элементов и связей - величин, указанных в СНиП II-23-81;

- ❖ прогибы стальных конструкций теплиц следует определять в соответствии с указаниями СНиП II-23-81 (при этом вертикальные относительные прогибы элементов остекленных теплиц не должны превышать для шпросов - 1/150, прогонов - 1/200, лотков - 1/300, ригелей - 1/250, ферм, несущих технологическое оборудование, - 1/400, ферм, не несущих технологического оборудования, - 1/250 их пролета).

3. Структурные расчеты

Конструктивное поведение теплицы отражается в расчетах с помощью сделанных допущений и общей расчетной модели. Это делается с максимальной точностью, которая отражает ожидаемые характеристики конструкций, соединений, элементов и поперечного сечения. Если эффекты деформированной геометрии усиливают эффекты воздействий или оказывают существенное влияние, они учитываются в расчетах. В частности, требования, которые должны быть выполнены для каждого метода анализа, представлены в расчетах сечений.

Расчет 1. Проверка заданных и подобранных сечений

Суммарные узловые нагрузки на основную схему:

Загрузка 1 $PX=-4.09286e-018$ $PY=0$
 $PZ=2.78977$ $PUX=0$ $PUY=5.3074e-006$ $PUZ=0$

Загрузка 2 $PX=-1.51246e-017$ $PY=0$
 $PZ=2.01382$ $PUX=0$ $PUY=2.03529e-005$ $PUZ=0$

Загрузка 3 $PX=-2.48065e-016$ $PY=0$
 $PZ=26.0247$ $PUX=0$ $PUY=0.000263022$ $PUZ=0$

Загрузка 4 $PX=-5.27356e-016$ $PY=0$
 $PZ=24.8685$ $PUX=0$ $PUY=0.000370106$ $PUZ=0$

Загрузка 5 $PX=0$ $PY=0$ $PZ=8.1664$
 $PUX=0$ $PUY=-3.33067e-015$ $PUZ=0$

Загрузка 6 $PX=0$ $PY=0$ $PZ=5.373$ $PUX=0$
 $PUY=0$ $PUZ=0$

Загрузка 7 $PX=0$ $PY=0$ $PZ=2.52$ $PUX=0$
 $PUY=0$ $PUZ=0$

Загрузка 8 $PX=-1.57752$ $PY=0$ $PZ=-11.1201$
 $PUX=0$ $PUY=-0.00469881$ $PUZ=0$

Загрузка 9 $PX=1.58189$ $PY=0$ $PZ=-11.616$
 $PUX=0$ $PUY=0.00463011$ $PUZ=0$

Загрузка 10 $PX=0$ $PY=0$ $PZ=1.54$ $PUX=0$
 $PUY=0$ $PUZ=0$ Расчет успешно завершен

Затраченное время = 0 мин

4. Проверка устойчивости

Расчет эксплуатационной пригодности и предельных состояний выполняется в соответствии с применимыми разделами СНиП и их местными документами по применению, в зависимости от используемых материалов и систем. Для стальных конструкций



следует использовать СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [3].

5. Структурный анализ

Программное обеспечение ЛИРА-САПР было использовано для создания трехмерной (3D) модели всей конструкции теплицы. Элементы балки использовались для обозначения связей, прогонов, стержней фермы, арок и колонн. Характеристики поперечного сечения и материал, из которого изготовлена сталь, представляют реальную структуру. Все основные конструкции считались монолитно связанными. Для повышения точности созданной модели граничные условия на концах элементов конструкции, такие как раскосы и диагонали, были взяты в качестве шарнирных элементов. Стеклопакеты в теплицах следует рассматривать как структурные элементы, размещаемые в конструкции теплицы для закрытия здания, и они не способствуют устойчивости основной конструкции.

6. Усиление каркаса теплицы

Колонны теплицы имеют недостаточные расчетные сопротивления из-за сочета-

ния сжатия и изгиба, а их наращивание является нецелесообразным. Был проведен расчет общей устойчивости тепличного комплекса на программном комплексе ЛИРА-САПР, который показал, что замена колонн из П-образного профиля проекта «Антрацит» на профильную трубу 80 x 80 высотой 5м с устройством подпорных стоек не только вдоль центральных дорожек, но и по углам и периметру комплекса (см. рис. 1) соответствует всем требованиям по устойчивости зданий и сооружений.

Так же были применены и рассчитаны дополнительные распорки крыши для уменьшения горизонтального смещения (рис. 2).

Вывод

Хорошо спроектированная конструкция теплицы должна удовлетворять некоторым ключевым целям, таким как: низкие затраты на строительство и эксплуатацию, эффективные механические свойства, эффективные системы вентиляции, низкое потребление тепла и допуск высокого светопропускания. Эти цели приводят к проекти-

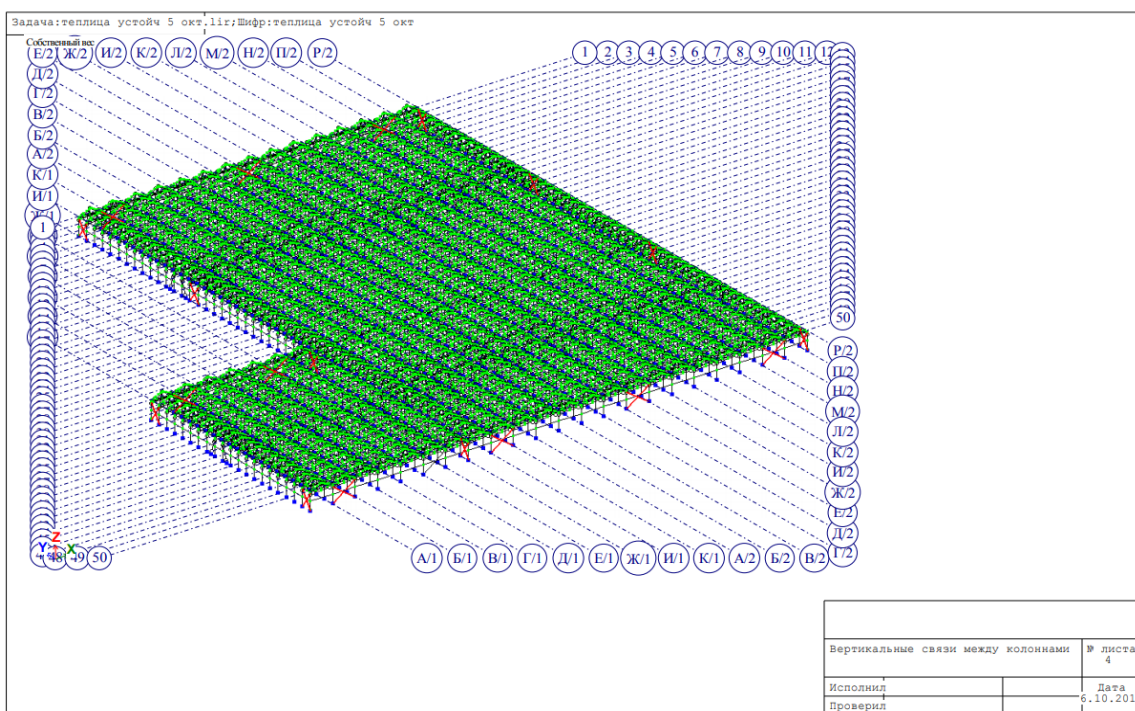


Рис. 1. Расчетная схема общей устойчивости теплицы

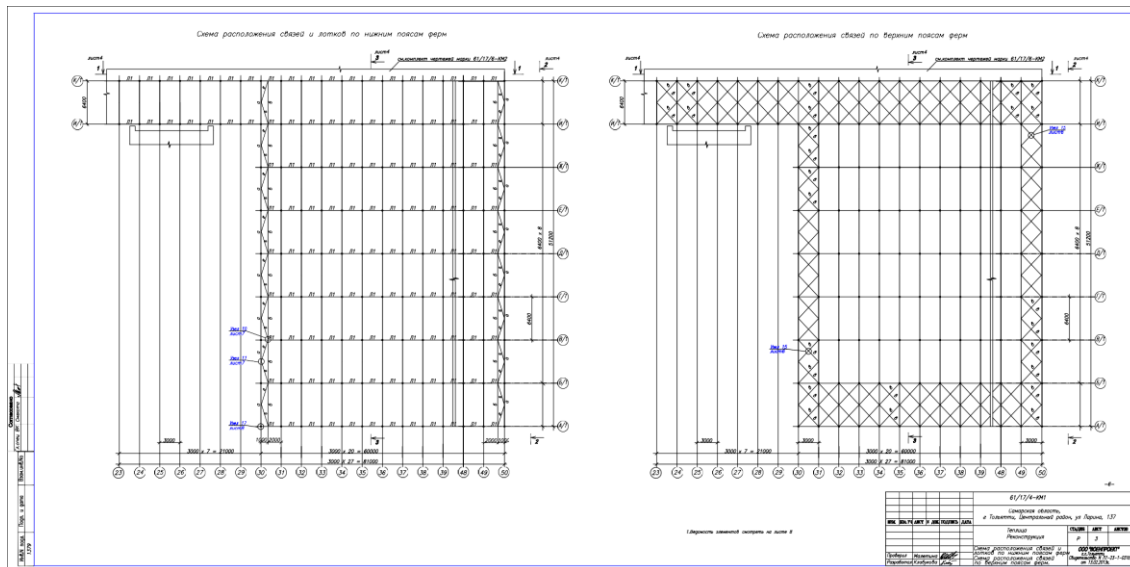


Рис. 2. Схема расположения связей по нижним и верхним поясам ферм

рованию конструкций с малым поперечным сечением и устранению связей.

Очевидно, что эти цели ведут к существующим структурам с дефицитом кода и часто возникает необходимость в структурных вмешательствах. В данной работе обозначены наиболее распространенные методы усиления, которые могут применяться к тепличным конструкциям.

Главный вывод этого исследования состоит в том, что существующие тепличные конструкции, которые коммерчески импортируются из других стран или спроектированы на основе эмпирических расчетов, часто требуют структурной модернизации, чтобы противостоять расчетным силам в соответствии с требованием ГОСТа. Другой подход может заключаться в оценке ветровых нагрузок с помощью усовершенствованных моделей вычислительной гидродинамики, что может привести к менее консервативным значениям ветрового давления, чем требования стандарта и таким образом, и даст более тщательный расчет проекта и методов дооснащения.

Библиографический список

1. СП 107.13330.2012 Теплицы и парники. Актуализированная редакция. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095539>
2. СНиП 2.10.04-85 Теплицы и парники и СНиП II-25-80, СНиП II-23-81* и СНиП 2.03.06-

85. URL: <https://36.mchs.gov.ru/dokumenty/territorialnoe-zakonodatelstvo/3754>

3. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция. URL: <https://www.srogen.ru/upload/files/doc/SP20.pdf>

4. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. URL: <https://beta.docs.cntd.ru/document/1200115736>

5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>

6. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия (с изменениями № 1, № 2). URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200280>

7. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554402860>

8. СНиП 23-01-99* Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004395>

9. СТО 02494680-0049-2005 Конструкции стальные строительные. Основные принципы расчета на прочность, устойчивость, усталостную долговечность и сопротивление хрупкому разрушению. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044355>

10. Ветровое давление на тепличные конструкции, как одна из основных нагрузок / П.Ю. Чеканаскас // Эксперт: теория и практика. 2021. №2(11). С.31-35. DOI 10.51608/26867818_2021_2_31

Поступила в редакцию 21.03.2021 г.



FRAMEWORK REINFORCEMENT OF AN INDUSTRIAL GREENHOUSE DURING RECONSTRUCTION

© 2021 P.Yu. Chekanauskas*

The greenhouses' steel structures are generally constructed by building companies using quick empirical structural calculations. Standard greenhouses are also often imported from other countries, mainly from the Netherlands, Israel. Clearly, wind and snow conditions are different in these countries. Hence, there is a need to improve the design of greenhouses that have been made for other regions or countries. Many greenhouses with weak design or inappropriate pre-production solutions are currently in use. At the same time, demolition or reconstruction is a very expensive solution, given the loss of crops and the costs of demolition and reconstruction. Reinforcement is a reasonable alternative. This article presents methods of reinforcement of project «anthracite» steel greenhouses.

Keywords: greenhouse, structural assessment, reinforcement, Building Code, Building Codes and Regulations, “anthracite”, strengthening.

Received for publication on March 21, 2021

* Chekanauskas Povilas Yuliusovich (povilas.chk@mail.ru) - Master's student, Togliatti State University (Togliatti, RF).

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БЕТОНА ЗАВОДА ЖБИ
НА КУБАХ, ПРИЗМАХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ**

*© 2021 Д.С. Тошин, Е.Э. Хутова, Ю.В. Астаева**

В статье представлены результаты комплексного многофакторного лабораторного исследования прочностных и деформативных параметров экспериментального бетона завода ЖБИ. В сравнение параметров экспериментального и классического бетонов включены кубиковая прочность, призмочная прочность, модуль упругости, а также несущая способность, прогибы, средние деформации продольной растянутой арматуры и бетона сжатой зоны в изгибаемых железобетонных элементах. Установлено снижение модуля упругости экспериментальных бетонов завода ЖБИ и увеличение деформативности железобетонных балок.

Ключевые слова: бетон, экспериментальный состав бетона, классический состав бетона, прочность, жесткость, деформативность, модуль упругости, изгибаемый элемент.

Подбор составов бетона производится заводами ЖБИ, как правило, самостоятельно исходя из доступных исходных материалов, их видов и марок. Получаемые бетоны должны при этом обеспечивать соответствующие технические показатели, предусмотренные нормативными документами и проектной документацией [1-7]. Одновременно производители бетона заинтересованы в периодическом пересмотре норм расхода материалов и сокращении использования цемента, как наиболее дорогостоящего компонента бетонной смеси, без потерь прочности бетона и при обеспечении несущей способности, жесткости и трещиностойкости изделий и конструкций. В связи с этим проведение исследовательских задач по подбору оптимальных составов бетонов и выполнение сопутствующих лабораторных испытаний образцов для контроля прочностных и деформативных показателей материалов и изделий является актуальной для большинства заводов ЖБИ.

В рамках данного исследования была проведена сравнительная оценка прочностных и деформативных показателей экспериментального бетона (далее состав Э) одного из заводов ЖБИ Самарской области с показателями бетона классического состава (далее состав К). В составах Э и К в качестве крупного заполнителя применялся известняковый щебень М600 фракции 5-20 мм, в качестве вяжущего – портландцемент М500. Экспериментальный состав бетонной смеси отличался применением поликарбоксилатного суперпластификатора с относительно высоким расходом (до 1,5%), а также использованием разнофракционного песка, что обеспечивает более плотную компоновку инертных заполнителей в структуре затвердевшего бетона и, как следствие, пониженную пористость, существенную водонепроницаемость и морозостойкость. Оптимизация зернового состава и одновременное повышение расхода поликарбоксилатного суперпластификатора позволило заводу ЖБИ получить бетоны,

* Тошин Дмитрий Сергеевич (D.Toshin@tltsu.ru) - кандидат технических наук, доцент, доцент Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства, Хутова Екатерина Эдуардовна (sivoronova93@mail.ru) - магистрант, Астаева Юлия Викторовна (astaeva.j@gmail.com) – магистрант, все - ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» (Тольятти, РФ).

менее требовательные к количеству цемента и с пониженным расходом воды на 1 м^3 бетонной смеси. Бетон классического состава изготавливался на мелком волжском песке с модулем крупности около 1,2. Расход суперпластификатора при этом назначался не более 0,5%. При планировании экспериментальных исследований предполагалось получение образцов близкой прочности, а бетонная смесь двух составов подбиралась из соображений равной подвижности, при осадке конуса 16-18 см.

Заводу ЖБИ при оптимизации составов бетонной смеси удалось получить бетоны с пониженным расходом цемента, а испытания образцов-кубов подтвердили заданные показатели прочности бетона на сжатие. Однако, как показывает практика, достижение заданной прочности бетона на сжатие не является гарантией обеспечения требуемой жесткости и трещиностойкости железобетонных изделий и конструкций. Поэтому при планировании комплексного эксперимента в программу были включены следующие виды образцов:

- ❖ образцы-кубы с размерами $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ – для определения кубиковой прочности, предусмотрено по 2 образца каждого состава бетона;

- ❖ образцы-призмы с размерами $600 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ – для определения модуля упругости и призмочной прочности, предусмотрено по 2 образца каждого состава бетона;

- ❖ железобетонные балки номинальных размеров сечения $b \times h = 120 \times 140 \text{ мм}$ и полной длиной $l = 1560 \text{ мм}$, армированных в зоне растяжения двумя продольными стержнями диаметром 8 мм, (процент армирования $\mu = 0,73\%$), предусмотрено по 1 образцу с составом Э и К – Б8э и Б8к соответственно (рис. 1);

- ❖ железобетонные балки номинальных размеров сечения $b \times h = 120 \times 140 \text{ мм}$ и полной длиной $l = 1560 \text{ мм}$, армированных в зоне растяжения двумя продольными стержнями диаметром 10 мм (процент армирования $\mu = 1,14\%$), предусмотрено по 1

образцу с составом Э и К – Б10э и Б10к соответственно.

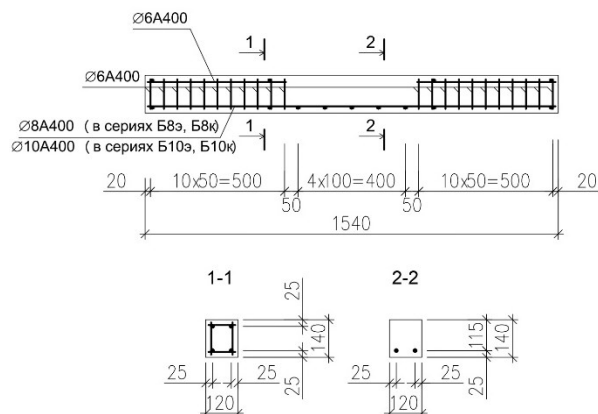


Рис. 1. Армирование опытных железобетонных образцов

Геометрические размеры изготовленных образцов-кубов и образцов-призм соответствовали заданным величинам. Фактические размеры железобетонных образцов имели отклонения от запланированных параметров – до 5% по ширине и высоте сечения на исследуемом участке, до 7% по рабочей высоте сечения. Железобетонные образцы Б8э, Б8к, Б10э, Б10к были запроектированы в предположении пластического характера разрушения ($\xi < \xi_R$), что в последующем было подтверждено при испытании.

Образцы-кубы и образцы-призмы испытывались нагружением на гидравлическом прессе при ступенчатом приложении нагрузки до полного разрушения бетона с фиксированием максимального усилия. Нагружение железобетонных образцов-балок предусматривалось по однопролетной схеме двумя сосредоточенными силами с созданием зоны чистого изгиба в средней трети пролета на длине балки 500 мм, что позволило исключить влияние поперечной силы в исследуемой зоне. Расчетный пролет опытных железобетонных балок от шарнирно неподвижной опоры до шарнирно подвижной опоры составлял 1500 мм. Шаг нагружения назначался до 5% от разрушающего усилия при приложении нагрузки до трещинообразования и не более 10% при последующем нагружении.



Определение деформаций предусматривало установку прогибомеров 6-ПАО, тензометров Гугенбергера и мессур на основе индикаторов часового типа. Прогибомерами 6-ПАО измерялись вертикальные перемещения балок в середине пролета и на опорах с последующим вычислением прогибов, исключая осадку опор. Тензометры Гугенбергера устанавливали на базе 100 мм по верхней (сжатой) грани. Мессуры на базе индикаторов часового типа фиксировались на балках через резьбовые втулки, жестко закрепленные к стальной арматуре на сварке. Индикаторы часового типа и удлинители мессур устанавливались на боковых гранях на уровне центра тяжести продольных стержней. Измерение деформаций бетона в сжатой зоне ϵ_b и средних деформаций арматуры ϵ_s по двум приборам позволило повысить достоверность результатов. При последующей обработке результатов учитывались усредненные значения ϵ_b и ϵ_s .

Нагружение изгибаемых железобетонных образцов осуществлялось с помощью гидравлического домкрата, контроль нагрузки осуществлялся динамометром ДОС-5. Приложение на балку двух сосредоточенных сил равной величины при одном домкрате обеспечивалось применением распределительной траверсы.

За разрушающее усилие испытуемых балок принималось такое значение изгибающего момента, при котором усредненное значение относительных деформаций продольной растянутой арматуры составляло $\epsilon_s=0,002$, что соответствует физическому пределу текучести арматуры класса А400. При последующем приложении нагрузки отмечался интенсивный рост деформаций бетона в сжатой зоне и арматуры в растянутой зоне, а также прогибов балок и ширины раскрытия трещин.

В результате лабораторного испытания бетонных кубов и призм получены следующие сравнительные характеристики:

- ❖ кубиковая прочность бетона серии Э составила 63,9 МПа, что превысило прочность бетона серии К 54,4 МПа;

- ❖ призмная прочность бетона составов Э и К – 50,8 МПа и 48,7 МПа соответственно;

- ❖ вычисленный по результатам испытания бетонных призм модуль упругости составил 33700 МПа и 35550 МПа для бетонов состава Э и состава К соответственно.

Таким образом, при большей прочности бетона состава Э материал получен с меньшим модулем упругости. Снижение характеризуется незначительной величиной в 5%, что в целом не является существенным для такого материала как бетон.

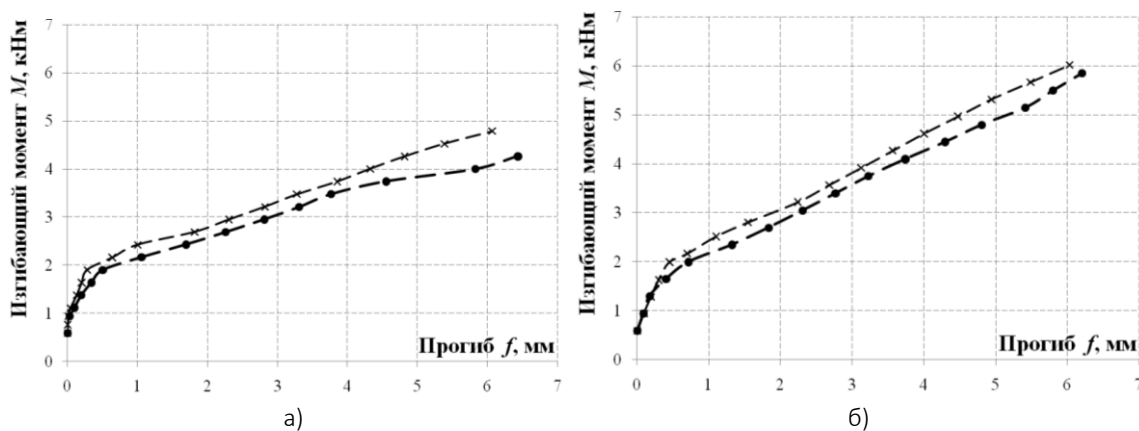


Рис. 2. Экспериментальная зависимость «изгибающий момент M – прогиб f » для балок Б8э, Б8к (а) и Б10э, Б10к (б):

- – опытные данные для балок из бетона экспериментального состава Э;
- × – опытные данные для балок из бетона классического состава К



Экспериментальные данные о деформациях опытных балок

Шифр образца-балки	Изгибающий момент M		Прогиб f		Деформации бетона в сжатой зоне $\epsilon_b \cdot 10^5$		Средние деформации арматуры в растянутой зоне $\epsilon_s \cdot 10^5$	
	кН·м	%	мм	%	без размерности	%	без размерности	%
При $M=M_{ult}$ ($\epsilon_s=0,002$)								
Б8к	4,82	100	6,16	100	86,6	100	200,0	100
Б8э	4,22	88	6,33	103	85,9	99	200,0	100
Б10к	6,07	100	6,13	100	107,0	100	200,0	100
Б10э	5,88	97	6,26	102	103,8	97	200,0	100
При $M=0,6 \cdot M_{ult,к}$								
Б8к	2,89	0,6	2,19	100	79,3	100	41,1	100
Б8э	2,89	0,68	2,67	122	83,8	106	53,5	130
Б10к	3,64	0,6	2,79	100	98,0	100	54,1	100
Б10э	3,64	0,62	3,09	111	106,7	109	58,0	107
При $M=0,8 \cdot M_{ult,к}$								
Б8к	3,86	0,8	4,07	100	-62,7	100	122,7	100
Б8э	3,86	0,91	5,15	127	-77,4	123	172,6	141
Б10к	4,86	0,8	4,33	100	-75,3	100	141,7	100
Б10э	4,86	0,83	4,91	113	-81,3	108	157,9	111

При испытании балок, вне зависимости от варианта армирования, получены данные, свидетельствующие о снижении прочности и повышении деформативности изгибаемых железобетонных элементов при использовании бетона экспериментального состава в сравнении с образцами из классического состава (рис. 2). Предельное значение изгибающего момента в балках Б8э и Б10э оказалось меньше, чем в балках Б8к и Б10к на 12% и 3% соответственно. При этом прогибы балок Б8э и Б8к, Б10э и Б10к, а также деформации бетона сжатой зоны в «балках-близнецах» при $\epsilon_s=0,002$ отличаются несущественно (до 3%).

Сравнительный анализ деформативности железобетонных балок рационально производить при равном изгибающем моменте меньше разрушающего. В данном исследовании сопоставление произведено при уровнях нагружения $0,6 \cdot M_{ult,к}$ и $0,8 \cdot M_{ult,к}$ (см. таблицу), здесь $M_{ult,к}$ – экспериментальное значение изгибающего момента в балках из классического бетона (Б10к и Б8к) при $\epsilon_s=0,002$.

Так при уровне нагружения $0,6 \cdot M_{ult,к}$ в балке Б8э прогиб составил 122% по сравнению с балкой Б8к, деформации бетона и арматуры – 106% и 130% соответственно; в балке Б10э прогиб превысил на 11 % значение в балке Б10к, деформации бетона и арматуры оказались больше на 9 и 7%. При уровне нагружения $0,8 \cdot M_{ult,к}$ в балке Б8э прогиб достиг 127% по сравнению с прогибом балки Б8к, деформации бетона 123%, деформации арматуры 141%; прогиб балки Б10э превысил на 13 % значение в балке Б10к, деформации бетона и арматуры установлены больше на 8 и 11% соответственно. Как видно, использование экспериментального состава бетона более существенно сказалось на снижении жесткости изгибаемого железобетонного элемента при меньшем проценте армирования на более высоком уровне нагружения.

Таким образом, результаты многофакторного исследования прочностных и деформативных параметров на кубах, призмах и железобетонных элементах доказали оправданность проведения комплексного



подхода при внедрении экспериментальных составов завода ЖБИ в производство.

Библиографический список

1. Калашников В.И., Тараканов О.В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 62-67.

2. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 4 (688). С. 30-37.

3. Белякова, Е.А. Зависимость свойств затвердевших композиционных вяжущих от соотношения цемента и золы / Е.А. Белякова [и др.] // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 2 (39). С. 20-26.

4. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбалин А.В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных доба-

вок и поликарбонатных пластификаторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Ч. 2. Вып. 31(50). С. 156-163.

5. Пименов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона // Строительные материалы. 2017. № 8. С. 64-67.

6. Ерышев, В.А. Комплексная оценка прочностных свойств бетона монолитного безбалочного каркаса / В.А. Ерышев [и др.] // Эксперт: теория и практика. 2020. №5(8). С.24-29. DOI 10.24411/2686-7818-2020-10043

7. Тошин Д.С., Хутова Е.Э., Астаева Ю.В. Прочность и жесткость железобетонных балок, изготовленных на экспериментальном бетоне завода ЖБИ // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11. № 1 (42). С. 34-38.

Поступила в редакцию 16.04.2021 г.

COMPLEX EVALUATION OF EXPERIMENTAL CONCRETE OF CONCRETE GOODS PLANT ON CUBES, PRISMS AND REINFORCED CONCRETE BEAMS

© 2021 D.S. Toshin, E.E. Khutova, Yu.V. Astaeva*

The article presents the results of a complex multifactorial laboratory study of the strength and deformation parameters of the experimental concrete of the concrete goods plant. Comparison of the parameters of experimental and classical concretes includes cubic strength, prismatic strength, elastic modulus, as well as bearing capacity, deflections, average deformations of longitudinal tensile reinforcement, and concrete in the compressed zone in bent reinforced concrete beams. A decrease in the modulus of elasticity of experimental concretes of a concrete goods plant and an increase in the deformability of reinforced concrete beams were established.

Keywords: concrete, experimental concrete composition, classical concrete composition, strength, stiffness, deformability, elastic modulus, bending element.

Received for publication on April 16, 2021

* Toshin Dmitrii Sergeevich (D.Toshin@tltsu.ru) - PhD in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Center for Architectural, Structural Solutions and Construction Management, Khutova Ekaterina Eduardovna (sivoronova93@mail.ru) - master student, Astaeva Yuliia Viktorovna (astaeva.j@gmail.com) - master student, all - Togliatti State University (Togliatti, RF).

ВАРИАНТ СДВИГОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ С УЧЕТОМ ЕГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ*

© 2021 В.Э. Богачева, В.В. Глаголев, О.В. Инченко**

В работе рассмотрена постановка задачи напряженно-деформированного состояния тонкого адгезионного слоя в слоистом композите при сдвиговом характере нагружения с учетом возможного упругопластического деформирования.

Ключевые слова: композит, адгезионный слой, упругопластическое деформирование.

При моделировании прочности адгезионных соединений основным подходом является представление адгезионного слоя слоем нулевой толщины, а также использование критериальной базы механики квазихрупкого разрушения [1-2]. В этом случае пренебрегают толщиной адгезива, при этом его механические свойства сводятся к адгезионным силам взаимодействия [3] сопряженных слоев материалов, которые могут иметь разные механические [4] или прочностные свойства [5]. При таких условиях аналитические решения получаются, как правило, в рамках тех или иных упрощающих гипотез [6-10].

В данной работе предлагается постановка задачи нагружения адгезионного соединения с упругопластическими свойствами близкая к регламентной схеме испытания на адгезионную прочность ГОСТ 14759-69.

Рассмотрим композитную пластину, состоящую из двух консолей 1 и 2 с одинаковыми механическими свойствами, каждая из которых имеет длину l и толщину h . Консоли сопряжены адгезионным слоем тол-

щиной δ_0 по отрезку ℓ (рис.1). Горизонтальная распределенная нагрузка постоянной интенсивности P действует на левом торце консоли 1. Правый торец пластины жестко закреплен от перемещений. Остальная поверхность пластины свободна от напряжений. Будем считать материал АС идеально упругопластическим, а материал пластин – линейно упругим. Также будем полагать, что пластические деформации в слое происходят по длине $x_1 \in [0; l_p \cup l - l_p; l]$, когда значение интенсивности внешней нагрузки соответствует началу пластического течения в вершине слоя. Необходимо определить НДС для данного композита.

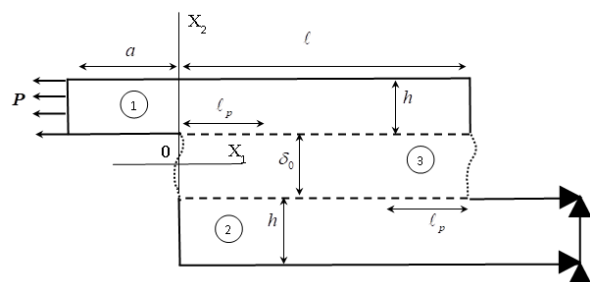


Рис. 1. Схема нагружения композитной пластины

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства Тульской области в рамках научного проекта № 19-41-710001 p_a.

** Богачева Виктория Эдуардовна (v.boga4eva2014@yandex.ru) - магистрант; Глаголев Вадим Вадимович (vadim@tsu.tula.ru) – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной механики и математики; Инченко Оксана Владимировна (inchenko_ov@mail.ru) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной механики и математики; все - Тульский государственный университет (Тула, РФ).

Для описания взаимодействия слоя 3 с консолями 1 и 2 будем использовать концепцию «слоя взаимодействия», получившую развитие в работах [11-13]. В этом случае, равновесие тел 1 и 2, запишем в вариационной форме для консоли 1:

$$\int_{S_1} \boldsymbol{\sigma} \cdot \delta \boldsymbol{\varepsilon} ds + \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{22} \delta u_2^+ dx_1 + \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12} \delta u_1^+ dx_1 + 0.5 \delta_0 \left(\int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{11} \frac{\partial \delta u_1^+}{\partial x_1} dx_1 + \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12} \frac{\partial \delta u_2^+}{\partial x_1} dx_1 \right) = \int_{L_1} \mathbf{P} \cdot \delta \mathbf{u} dl$$

и для консоли 2:

$$\int_{S_2} \boldsymbol{\sigma} \cdot \delta \boldsymbol{\varepsilon} ds - \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{22} \delta u_2^- dx_1 - \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12} \delta u_1^- dx_1 + 0.5 \delta_0 \left(\int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{11} \frac{\partial \delta u_1^-}{\partial x_1} dx_1 + \int_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12} \frac{\partial \delta u_2^-}{\partial x_1} dx_1 \right) = - \int_{L_2} \mathbf{P} \cdot \delta \mathbf{u} dl,$$

где S_1, S_2 – площади тел 1 и 2; L_1, L_2 – контуры левых торцов тел 1 и 2; $\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\varepsilon}$ – тензоры напряжений и деформаций в телах 1 и 2; $\bar{\boldsymbol{\sigma}}_{11}, \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{22}, \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12}, \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{11}, \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{22}, \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{12}$ – компоненты тензоров средних напряжений и деформаций слоя 3 с соответствующими компонентами:

$$\bar{\boldsymbol{\sigma}}_{21}(x_1) = \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{12}(x_1) = \frac{1}{\delta_0} \int_{-0.5\delta_0}^{0.5\delta_0} \boldsymbol{\sigma}_{21}(x_1, x_2) dx_2, \\ \boldsymbol{\sigma}_{22}(x_1) = \frac{1}{\delta_0} \int_{-0.5\delta_0}^{0.5\delta_0} \boldsymbol{\sigma}_{22}(x_1, x_2) dx_2, \\ \bar{\boldsymbol{\sigma}}_{11}(x_1) = \frac{1}{\delta_0} \int_{-0.5\delta_0}^{0.5\delta_0} \boldsymbol{\sigma}_{11}(x_1, x_2) dx_2,$$

$$\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{22}(x_1) = \left(\frac{u_2^+(x_1) - u_2^-(x_1)}{\delta_0} \right) \\ \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{21}(x_1) = \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{12}(x_1) = 0.5 \left(\frac{u_1^+(x_1) - u_1^-(x_1)}{\delta_0} + \left(\frac{\partial u_2^+(x_1)}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2^-(x_1)}{\partial x_1} \right) \right)$$

где u_k^+, u_k^- – соответственно компоненты векторов перемещений верхней и нижней границ слоя; $k=1,2$ здесь и далее. Предполагается жесткое сцепление между границами АС и консолями 1 и 2, а также равенство модулей и противоположность направлений векторов напряжений по границам адгезионного слоя.

Замкнем уравнения (1) и (2) физическими соотношениями в виде закона Гука:

$$\boldsymbol{\sigma}_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left(\boldsymbol{\varepsilon}_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu} \boldsymbol{\varepsilon} \delta_{ij} \right), \quad (3)$$

где ν, E – коэффициент Пуассона и модуль упругости тел 1 и 2; δ_{ij} – символ Кронекера; $i, j=1,2,3$, $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_{11} + \boldsymbol{\varepsilon}_{22} + \boldsymbol{\varepsilon}_{33}$ объемное расширение.

Определяющие соотношения для материала слоя считаем справедливыми для средних компонент тензоров напряжений и деформаций. Определяющие соотношения в области упругого деформирования примут вид:

$$\bar{\boldsymbol{\sigma}}_{ij} = \frac{E_3}{1+\nu_3} \left(\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{ij} + \frac{\nu_3}{1-2\nu_3} \bar{\boldsymbol{\varepsilon}} \delta_{ij} \right), \quad (4)$$

где ν_3, E_3 – коэффициент Пуассона и модуль упругости АС.

Определяющие соотношения для средних по толщине слоя напряжений в области упругопластического деформирования АС принимаем в виде критерия Треска – Сен-Венана [14]:

$$\bar{\boldsymbol{\sigma}}_{ij}^{\max} = \tau_0, \quad (5)$$



где τ_0 - предел текучести, $\bar{\sigma}_{12}^{\max}$ - максимальное касательное напряжение.

Таким образом, решение системы (1) – (5) сводится к определению поля перемещений $u(x_1, x_2)$ в консолях 1 и 2 (рис. 2) при заданных граничных условиях.

Для упрощения задачи полагаем, что поле перемещений задается в соответствии с концепцией «дифференциального сдвига» [15] в теле 1:

$$u_1(x_1, x_2) = u_1^+(x_1) \quad u_2(x_1, x_2) = 0, \quad (6)$$

и теле 2:

$$u_1(x_1, x_2) = u_1^-(x_1) \quad u_2(x_1, x_2) = 0. \quad (7)$$

При рассматриваемой схеме нагружения для средних напряжений в слое для плоской деформации реализуется напряженное состояние следующего вида:

$$\bar{\sigma}_{11} \neq 0; \bar{\sigma}_{22} \neq 0; \bar{\sigma}_{12} \neq 0; \bar{\sigma}_{33} \neq 0. \quad (8)$$

Будем полагать, что в области пластического деформирования имеет место упругая сжимаемость $\bar{\sigma} = 3K\bar{\varepsilon}$, где $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_{11} + \bar{\sigma}_{22} + \bar{\sigma}_{33}$. Для материала слоя в состоянии плоской деформации, как, например, в работе [16], принимаем равенство нулю пластических $\varepsilon_{33}^p = 0$ и упругих компонент деформаций $\varepsilon_{33}^e = 0$ в направлении базисного вектора e_3 . Учитывая положения (6) и (7), считаем равными нулю пластические $\varepsilon_{22}^p = 0$ и упругие компоненты деформаций $\varepsilon_{22}^e = 0$ в направлении базисного вектора e_2 . Полагаем деформации малыми и для стадии упругопластического деформирования считаем справедливым представление: $\varepsilon_{ii} = \varepsilon_{ii}^e + \varepsilon_{ii}^p$, $i = 1, 2, 3$. Тогда, в области пластического деформирования получаем: $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{11} = \varepsilon_{11}^e$. Таким образом, диагональные напряжения в слое и на стадии упругопластического деформирования задаются в виде (6). Следовательно,

$$\bar{\sigma}_{22} = \bar{\sigma}_{33} = \frac{\nu_3}{(1-\nu_3)} \bar{\sigma}_{11}. \text{ При этом, в силу (7),}$$

касательные напряжения слоя связаны с пределом текучести следующим соотношением:

$$\bar{\sigma}_{12} = -\frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2}, \quad (9)$$

$$\text{где } \beta = \left(\frac{1 - 4\nu_3 + 4\nu_3^2}{(1-\nu_3)^2} \right).$$

Учитывая (6)-(9), преобразуем систему (1)–(2) к дифференциальным уравнениям для тела 1:

$$\frac{d\sigma_{11}^{(1)}}{dx_1} = 0 \text{ на участке } x_1 \in [-a; 0); \quad (10)$$

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(1)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = -\frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (0; l_p); \quad (11)$$

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(1)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = \bar{\sigma}_{21}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (l_p; l - l_p); \quad (12)$$

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(1)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = -\frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (l - l_p; l) \quad (13)$$

и тела 2:

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(2)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = \frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (0; l_p); \quad (14)$$

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(2)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = -\bar{\sigma}_{21}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (l_p; l - l_p); \quad (15)$$

$$h \frac{d\sigma_{11}^{(2)}}{dx_1} + 0.5\delta_0 \frac{d\bar{\sigma}_{11}}{dx_1} = \frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2}$$

$$\text{на участке } x_1 \in (l - l_p; l); \quad (16)$$

$$\frac{d\sigma_{11}^{(2)}}{dx_1} = 0 \text{ на участке } x_1 \in (\ell; a]. \quad (17)$$

Решения уравнений сопрягаются в точках $x_1 = 0$:

$$h\sigma_{11}^{(1)} \Big|_{x_1=0} = \left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=+0}, \quad (18)$$

$$u_1^+ \Big|_{x_1=0} = u_1^+ \Big|_{x_1=+0}, \quad (19)$$

$x_1 = \ell_p$:

$$\begin{aligned} & \left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell_p-0} = \\ & = \left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell_p+0}, \end{aligned} \quad (20)$$

$$u_1^+ \Big|_{x_1=\ell_p-0} = u_1^+ \Big|_{x_1=\ell_p+0}, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell_p-0} = \\ & = \left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell_p+0}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$u_1^- \Big|_{x_1=\ell_p-0} = u_1^- \Big|_{x_1=\ell_p+0}, \quad (23)$$

$x_1 = \ell - \ell_p$:

$$\begin{aligned} & \left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell-\ell_p-0} = \\ & = \left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell-\ell_p+0}, \end{aligned} \quad (24)$$

$$u_1^+ \Big|_{x_1=\ell-\ell_p-0} = u_1^+ \Big|_{x_1=\ell-\ell_p+0}, \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & \left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell-\ell_p-0} = \\ & = \left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell-\ell_p+0}, \end{aligned} \quad (26)$$

$$u_1^- \Big|_{x_1=\ell-\ell_p-0} = u_1^- \Big|_{x_1=\ell-\ell_p+0}, \quad (27)$$

$x_1 = \ell$:

$$\left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell-0} = h\sigma_{11}^{(2)} \Big|_{x_1=\ell+0}, \quad (28)$$

$$u_1^- \Big|_{x_1=\ell-0} = u_1^- \Big|_{x_1=\ell+0} \quad (29)$$

с граничными условиями:

$$\sigma_{11}^{(1)} \Big|_{x_1=-a} = P, \quad (30)$$

$$\left(h\sigma_{11}^{(2)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=0} = 0, \quad (31)$$

$$\left(h\sigma_{11}^{(1)} + 0.5\delta_0 \bar{\sigma}_{11} \right) \Big|_{x_1=\ell} = 0, \quad (32)$$

$$u_1^- \Big|_{x_1=\ell+a} = 0. \quad (33)$$

Определяющие соотношения (5), (6) для состояния плоской деформации принимают вид:

для консолей:

$$\sigma_{11}^{(1)} = D \frac{du_1^+}{dx_1}; \sigma_{11}^{(2)} = D \frac{du_1^-}{dx_1}; \quad (34)$$

для слоя на участке $x_1 \in [\ell_p, \ell - \ell_p]$:

$$\bar{\sigma}_{12} = L \frac{(u_1^+ - u_1^-)}{\delta_0};$$

$$\bar{\sigma}_{11} = D_1 \left(\frac{du_1^+}{dx_1} + \frac{du_1^-}{dx_1} \right), \quad (35)$$

где $D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$; $L = \frac{E_3}{2(1+\nu_3)}$;

$$D_1 = \frac{E_3(1-\nu_3)}{2(1+\nu_3)(1-2\nu_3)}.$$

На участках $x_1 \in [0; \ell_p] \cup [\ell - \ell_p; \ell]$ получаем связь компонент средних напряжений и производных граничных перемещений:

$$\bar{\sigma}_{12} = -\frac{\sqrt{4\tau_0^2 - \beta\bar{\sigma}_{11}^2}}{2};$$

$$\bar{\sigma}_{11} = D_1 \left(\frac{du_1^+}{dx_1} + \frac{du_1^-}{dx_1} \right). \quad (36)$$

Таким образом, система (10)-(36) является замкнутой.

Библиографический список

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.



2. Ghugal Y.M., Shmipi R.P. A review of refined shear deformation theories for isotropic and anisotropic laminated beams. // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2001, V. 20, no. 3, P. 255–272.
3. Витковский, И.В. Теоретическое определение адгезионных свойств материалов для жидкометаллического blankets термоядерного реактора. / И.В. Витковский, А.Н. Конев, В.С. Шоркин // *Журнал технической физики*. 2009. – Том 79. – Вып. 2. – С. 11–16.
4. Kornev V.M., Kurguzov V.D., Astapov N.S. Fracture Model of Bimaterial under Delamination of Elasto-Plastic Structured Media. // *Applied Composite Materials*. 2012. 20(2). P. 29–143.
5. Baldan A. Adhesively-bonded joints in metallic alloys, polymers and composite materials: Mechanical and environmental durability performance // *Journal of Materials Science*. 2004. V. 39. No 15. P. 4729–4797.
6. Огибалов, П.М. Оболочки и пластины: учебное пособие для вузов. / П.М. Огибалов, М.А. Колтунов. – М.: Изд-во МГУ. 1969. – 695 с.
7. Черных К.Ф. Линейная теория оболочек, ч. 1. – Л.: Изд. Ленинградского университета, 1962. – 274 с.
8. Mattei O., Bardella L. A structural model for plane sandwich beams including transverse core deformability and arbitrary boundary conditions // *Eur. J. Mech. A-Solid*. 2016. V. 58. P. 172–186.
9. Turusov R.A., Andreev V.I., Tsybin N.Y. The contact layer stiffness influence assessment on the stress-strain state of a multilayer beam // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 913(3), 032053.
10. Tsybin N., Turusov R., Andreev V., Kolesnikov A. Stress-strain state of a three-layer rod. Comparison of the results of analytical and numerical calculations with the experiment // *MATEC Web of Conferences*, 2018, 196, 01057.
11. Богачева, В.Э. Об одном подходе к оценке прочности адгезионного слоя в слоистом композите. / В.Э. Богачева [и др.] // *Вестник Томского государственного университета. Механика и математика*. 2020. – №64. – С. 63–76.
12. Абдурахманов, А.А. К оценке предельного состояния адгезионного слоя в слоистом композите. / А.А. Абдурахманов, В.Э. Богачева, В.В. Глаголев // *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2020. – Т. 26. – № 2. – с. 247–258.
13. Glagolev V.V., Markin A.A. Fracture models for solid bodies, based on a linear scale parameter // *International Journal of Solids and Structures*. 2019. V. 158. P. 141–149.
14. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности. – М.: Наука, 1996. – 232 с.
15. Volkersen O. Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten. *Luftfahrtforschung*. 1938. V. 15. P. 41–47.
16. Глаголев, В.В. Об одной постановке задачи упругопластического разделения / В.В. Глаголев, А.А. Маркин // *Прикладная механика и техническая физика*. 2009. – №4(50) – С. 187–195.

Поступила в редакцию 27.04.2021 г.

**VERSION OF SHEAR DEFORMATION OF ADHESIVE LAYER TAKING INTO ACCOUNT
ITS ELASTOPLASTIC PROPERTIES. SETTING THE TASK**

*© 2021 V.E. Bogacheva, V.V. Glagolev, O.V. Inchenko**

The work considers the stress-strain state task of the thin adhesive layer in laminated composite at shear nature of loading with possible elastoplastic deformation.

Keywords: composite, adhesive layer, elastoplastic deformation.

Received for publication on April 27, 2021

* Viktoriya E. Bogacheva (v.boga4eva2014@yandex.ru) – Master's student, Vadim V. Glagolev (vadim@tsu.tula.ru) – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Computational Mechanics and Mathematics, Oksana V. Inchenko (inchenko_ov@mail.ru) – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assoc. Professor; all - Tula State University (Tula, Russian Federation).



**МОДЕЛЬ ПЛОСКОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА,
ОПИСЫВАЕМОГО ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕОРИЕЙ С ЯУМАННОВСКОЙ ПРОИЗВОДНОЙ,
В СХОДЯЩЕМСЯ КАНАЛЕ**

© 2021 О.В. Боницкая, Ю.В. Дудина*

Рассматривается общая постановка задачи плоского установившегося течения, описываемого деформационной теорией с Яуманновской производной, в сходящемся канале. Поле скоростей выражается через скалярный потенциал, зависящий только от координаты, лежащей в меридианной плоскости и ортогональной линиям тока. Исходя из равновесного характера течения, получена инвариантная форма условий совместности компонент девиатора напряжений. Дифференциальное уравнение совместности записывается относительно функций, зависящих только от одной переменной. Получено аналитическое решение поставленной задачи.

Основные положения:

1. Задача исследования гладкого стационарного течения сведена к определению потенциала скоростей на линиях тока.
2. Определяющие соотношения записаны с использованием Яуманновской производной.
3. Полная система уравнений для нахождения напряженного состояния материала выражена через кинематический потенциал.
4. Получено решение задачи о симметричном вихревом течении в рамках деформационной модели с Яуманновской производной.

Ключевые слова: плоское установившееся течение, сходящийся канал, напряжение, линии тока, деформационная теория, Яуманновская производная.

В последнее время активно развивается направление в пластичности не опирающееся на концепцию предельных поверхностей. Обобщение деформационной теории А.А. Ильюшина [1], поставило вопрос о выборе наилучшей коротационной производной в определяющих соотношениях, который рассматривается во многих работах [2-3]. Это обусловлено потребностью исключить влияние жесткого вращения частицы при распространении определяющих соотношений для малых деформаций на большие. Определяющие соотношения, в которых используют производную Яуманна, рассмотрены в трудах [4-6].

В статье [7] предложено применять производную Коттера и Ривлина. Показано, что использование вихревой производной Яуманна в определяющих соотношениях приводит к осцилляции напряжений при простом сдвиге [8]. Но в статье [9] показано, что применение полярной производной Яуманна устраняет этот недостаток.

Рассмотрим установившееся течение несжимаемого материала. Полагаем, что выполняется условие плоского деформирования, при котором должно выполняться условие независимости характеристик движения от координаты в направлении нормали к плоскости движения, кроме того,

* Боницкая Ольга Владимировна (olga_bonitskay@mail.ru) – кандидат физико-математических наук, доцент; Дудина Юлия Валерьевна (yulia81p@mail.ru) – кандидат технических наук, доцент; обе – Тульский государственный университет (Тула, РФ).

движение материальных точек в этом направлении отсутствует.

Поле скоростей через потенциал $\vec{\mu}$ определяется условием:

$$\vec{V} = \vec{\nabla} \times \vec{\mu}, \quad (1)$$

где $\vec{\nabla}$ - оператор Гамильтона.

Задачу исследования гладкого стационарного течения сведем к определению потенциала скоростей на линиях тока. Для этого воспользуемся условием постоянства потенциала μ вдоль линии тока. Введем систему криволинейных ортогональных координат α_1, α_2 . Координатные линии $\alpha_2 = const$ совпадают с линиями тока. Тогда функция скоростей будет зависеть только от переменной α_2 . Оператор Гамильтона принимает вид:

$$\vec{\nabla} = \frac{\vec{i}_1}{H_1} \frac{\partial}{\partial \alpha_1} + \frac{\vec{i}_2}{H_2} \frac{\partial}{\partial \alpha_2},$$

где H_i - параметры Ламе.

Введение потенциала скоростей позволяет выразить законы любых кинематических характеристик вдоль координатных линий, ортогональных линиям тока, через данный потенциал.

Компоненты вектора скорости через потенциал $\mu(\alpha_2)$ будет записан следующим образом:

$$V_1 = \frac{1}{H_2(\alpha_1, \alpha_2)} \cdot \frac{d\mu}{d\alpha_2} = \frac{1}{H_2} \mu_{,2};$$

$$V_2 = -\frac{1}{H_1} \mu_{,1} = 0. \quad (2)$$

Антисимметричная и симметричная составляющие градиента скорости представляются через градиенты скорости в виде:

$$\tilde{\omega} = \frac{1}{2}(\vec{V}\vec{\nabla} - \vec{\nabla}\vec{V});$$

$$\tilde{W} = \frac{1}{2}(\vec{\nabla}\vec{V} + \vec{V}\vec{\nabla}). \quad (3)$$

Здесь $\tilde{\omega}$ - тензор вихря, \tilde{W} - тензор деформации скорости.

Компоненты тензора деформации скорости, согласно (2) и (3) будут представлены:

$$W_{11} = \frac{1}{H_1} H_{2,1}^{-1} \mu_{,2};$$

$$2W_{12} = \frac{1}{H_2} (H_2^{-1} \mu_{,2})_{,2} - \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} \mu_{,2}. \quad (4)$$

Тогда интенсивность скорости деформации равна:

$$W = \sqrt{2(W_{11}^2 + W_{12}^2)} =$$

$$= \mu_{,2} \sqrt{2 \frac{(H_2^{-1})_{,1}^2}{H_1^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{H_2^2} \chi - \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} + \frac{(H_2^{-1})_{,2}}{H_2} \right)^2}. \quad (5)$$

Здесь введена потенциальная функция:

$$\chi = \frac{\mu_{,2,2}}{\mu_{,2}}. \quad (6)$$

Функцию $\chi(\alpha)$ назовем кинематическим потенциалом. Из ее определения следует, что

$$\mu_{,2} = C \exp\left(\int \chi d\alpha\right), \quad (7)$$

где C - константа интегрирования.

Компоненты тензора вихря определяются из (2) и (3) в виде:

$$2\omega_{12} = \frac{1}{H_2} (H_2^{-1} \mu_{,2})_{,2} + \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} \mu_{,2}. \quad (8)$$

Отметим, что $\omega_{12} = -\omega_{21}$.

Теория процессов А.А. Ильюшина [10] при малых деформациях предполагает разделение процесса нагружения на гидростатическое и сдвиговое, а процесса деформирования на объемное изменение и формоизменение. Сохраним подобные рассуждения при конечных деформациях [11]. Представим поле тензора истинных напряжений - $\tilde{\sigma}$ суммой девиаторной \tilde{S} и шаровой составляющих:

$$\tilde{\sigma} = \tilde{S} + P\tilde{E}, \quad (9)$$

где $-P = \frac{1}{3} \tilde{\sigma} \cdot \tilde{E}$, \tilde{E} - единичный тензор.

Условия равновесия запишем в виде:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{\sigma} = 0. \quad (10)$$

В результате условие совместности девиаторных составляющих тензора истинных напряжений будет представлено в виде:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \cdot \vec{S}) = 0. \quad (11)$$

Тензор \vec{S} индифферентен относительно вращения. Как показано в [12], следует использовать полярную Яуманновскую производную от тензора напряжений по времени. Так как при изотропных и близких к ним процессах полярная и вихревая производные совпадают, а полярная трудна в применении, то заменяют ее вихревой Яуманновской производной.

Определяющие соотношения будут записаны в виде:

$$\vec{S}^\nabla = 0, \text{ если } \vec{S} \cdot \vec{S} < (\tau^s)^2,$$

$$\vec{S}^\nabla = 2G\vec{W}, \text{ если } \vec{S} \cdot \vec{S} \geq (\tau^s)^2, \quad (12)$$

где \vec{S}^∇ - Яуманновская производная по времени, связанная с абсолютной производной $\dot{\vec{S}}$ соотношением:

$$\vec{S}^\nabla = \dot{\vec{S}} + \vec{S} \cdot \vec{\omega} - \vec{\omega} \cdot \vec{S}, \quad (13)$$

где $\vec{\omega}$ - тензор вихря.

В случае малых деформаций и поворотов различие между производными игнорируется, и они считаются совпадающими с абсолютной производной тензора напряжений.

Определяющие соотношения (12), с учетом (13), принимает следующий вид:

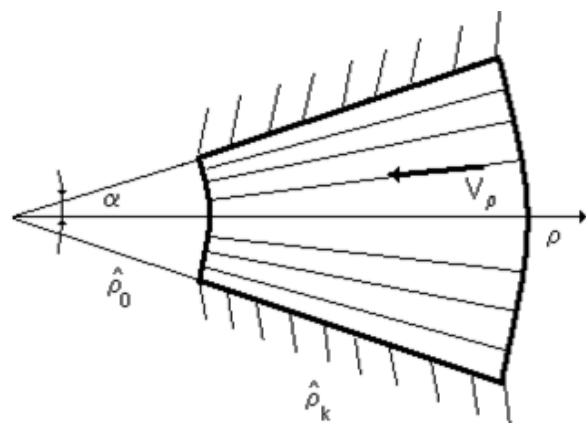
$$\vec{S}^\nabla = \vec{\nabla} \vec{S} \cdot \vec{V} + \vec{S} \cdot \vec{\omega} - \vec{\omega} \cdot \vec{S} = 2G\vec{W}. \quad (14)$$

Из условия плоской деформации следует, что $W_{i3} \equiv 0$, следовательно $S_{i3} = 0$. Учитывая, что $S_{11} = -S_{22}$, $S_{12} = S_{21}$, $\omega_{12} = -\omega_{21}$, выразим компоненты девиатора тензора напряжения через кинематический потенциал $\chi(\alpha_2)$. В этом случае связь между компонентами девиатора напряжений и потенциалом скоростей

определяется из следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} 2G \frac{(H_2^{-1})_{,1}}{H_1} = \frac{1}{H_1 H_2} S_{11,1} - \\ - \left(\frac{(H_2^{-1})_{,2}}{H_2} + \frac{1}{H_2^2} \chi - \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} \right) S_{12} \\ G \left(\frac{(H_2^{-1})_{,2}}{H_2} + \frac{1}{H_2^2} \chi - \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} \right) = \\ = \left(\frac{(H_2^{-1})_{,2}}{H_2} + \frac{1}{H_2^2} \chi - \frac{H_{1,2}}{H_1 H_2^2} \right) S_{11} + \\ + \frac{1}{H_1 H_2} S_{12,1}. \end{cases} \quad (15)$$

Рассмотрим задачу течения материала в сходящемся канале с прямолинейными стенками. Предполагаем, что линии тока известны, и они повторяют форму стенок. Представим течение в полярных координатах, где $\alpha_1 \rightarrow \rho$, $\alpha_2 \rightarrow \alpha$, в области $\rho_0 \leq \rho \leq \rho_k$, $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_k$. Координата ρ вводится в безразмерном виде (см. рисунок), отнесенная к длине $\hat{\rho}_k$, тогда $\rho_k = 1$; $\rho_0 = \frac{\hat{\rho}_0}{\hat{\rho}_k} < 1$. Коэффициенты Ламе равны:



$$H_1 = 1; \quad H_2 = \rho \quad (16)$$

Используя формулу (2) и (7), находим представление поля скоростей через кинематический потенциал:

$$V_\rho = \frac{C}{\rho} \exp\left(\int \chi d\alpha\right). \quad (17)$$

Так как скорость направлена в противоположную сторону относительно координаты ρ (рис. 1), тогда константа $C < 0$.

Полная система уравнений для нахождения напряженного состояния материала, выраженная через кинематический потенциал $\chi(\alpha_2)$, будет записана в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial S_{\rho\alpha}}{\partial \rho} - G\chi(\alpha) = -S_{\rho\rho}\chi(\alpha) \\ \rho \frac{\partial S_{\rho\rho}}{\partial \rho} + 2G = S_{\rho\alpha}\chi(\alpha) \\ 2 \frac{\partial^2 S_{\rho\rho}}{\partial \rho \partial \alpha} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 S_{\rho\alpha}}{\partial \alpha^2} + \frac{2}{\rho} \frac{\partial S_{\rho\rho}}{\partial \alpha} - \\ - \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial S_{\rho\alpha}}{\partial \rho} \right) - 2 \frac{\partial S_{\rho\alpha}}{\partial \rho} = 0 \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{\rho\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\partial S_{\rho\rho}}{\partial \rho} + \frac{2}{\rho} S_{\rho\rho} = - \frac{\partial P}{\partial \rho} \\ - \frac{\partial S_{\rho\rho}}{\partial \alpha} + \rho \frac{\partial S_{\rho\alpha}}{\partial \rho} + 2S_{\rho\alpha} = - \frac{\partial P}{\partial \alpha} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} a) \\ b) \\ c) \end{array} \quad (18)$$

Для нахождения явных представлений компонент девиатора напряжения через кинематический потенциал проинтегрируем первые два уравнения системы (18.a), тогда:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\rho\rho} = C_1(\alpha) \sin(\chi \ln \rho) + \\ + C_2(\alpha) \cos(\chi \ln \rho) + G \\ S_{\rho\alpha} = C_1(\alpha) \cos(\chi \ln \rho) - \\ - C_2(\alpha) \sin(\chi \ln \rho) + \frac{2G}{\chi} \end{array} \right., \quad (19)$$

где $C_1(\alpha)$, $C_2(\alpha)$ - неопределенные функции от угла α .

Решение (19) справедливо лишь для течений, в которых $\chi \neq 0$.

Найдем распределение скоростей и напряжений симметричных относительно прямой $\alpha=0$. Так же накладываем условие равенства нулю главного вектора напряжений на выходе из канала $\rho = \rho_0$.

Подставим уравнения (19) в уравнение совместности (18.b), и получим дифференциальное уравнение для определения функций C_1, C_2, χ :

$$\begin{aligned} & C_1'' \cos(\chi \ln \rho) - C_2'' \sin(\chi \ln \rho) + \\ & + 2C_1' \left(\chi \cos(\chi \ln \rho) + \sin(\chi \ln \rho) - \right) + \\ & - \sin(\chi \ln \rho) \chi' \ln \rho \\ & + 2C_2' \left(-\chi \sin(\chi \ln \rho) + \cos(\chi \ln \rho) - \right) + \\ & - \cos(\chi \ln \rho) \chi' \ln \rho \\ & + (C_1 \cos(\chi \ln \rho) - C_2 \sin(\chi \ln \rho)) \times \\ & \times \left(2\chi' - (\chi' \ln \rho)^2 + 2\chi' \ln \rho - \chi^2 \right) \\ & + (C_2 \cos(\chi \ln \rho) + C_1 \sin(\chi \ln \rho)) \times \\ & \times \left(-2\chi - 2\chi\chi' \ln \rho - \chi'' \ln \rho \right) - \\ & - \frac{2G \left(\chi'' \chi^2 - 2\chi(\chi')^2 \right)}{\chi^4} = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Функции C_1, C_2, χ зависят только от α , следовательно, необходимо положить слагаемое, содержащее $(\ln \rho)^2$, равным нулю, тогда

$$\left(\begin{array}{l} C_1 \cos(\chi \ln \rho) - \\ - C_2 \sin(\chi \ln \rho) \end{array} \right) (\chi' \ln \rho)^2 = 0. \quad (21)$$

Из уравнения (21) следует, что либо $\chi' = 0$, либо $C_1 = C_2 = 0$. Можно убедиться, что решение уравнения совместности девиаторных составляющих напряжения для определяющих соотношений (20) при $\chi = const \neq 0$ не существует. Тогда рассмотрим решение при $C_1 = C_2 = 0$. Определяющие соотношения будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\rho\rho} = G \\ S_{\rho\alpha} = \frac{2G}{\chi} \end{array} \right. \quad (22)$$

Из условия совместности (18.b) и выражений компонент девиатора напряжений (22) получим уравнение для функции $\chi(\alpha)$:

$$\chi(\alpha) = \frac{2G}{A_1\alpha + A_2}, \quad (23)$$



где A_1, A_2 - константы интегрирования.

Тогда выражения (22) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} S_{\rho\rho} = G \\ S_{\rho\alpha} = A_1\alpha + A_2 \end{cases} \quad (24)$$

Константы A_1, A_2 из условий на границах. На оси симметрии $\alpha_0 = 0$ касательная компонента дивергента напряжений $S_{\rho\alpha} = 0$, следовательно, $A_2 = 0$. Константа A_1 определяется из граничных условий на стенках $\pm \alpha_k$. Найдем гидростатическую составляющую из уравнения равновесия (18.с):

$$P = -A_1(\ln \rho + \alpha^2) - 2G \ln \rho + B, \quad (25)$$

где B – константа интегрирования.

Компоненты тензора истинных напряжений будут равны:

$$\begin{cases} \sigma_{\rho\rho} = G - 2G \ln \rho - A_1(\ln \rho + \alpha^2) + B \\ \sigma_{\alpha\alpha} = -G - 2G \ln \rho - A_1(\ln \rho + \alpha^2) + B \\ \sigma_{\rho\alpha} = A_1\alpha \end{cases} \quad (26)$$

Функцию B можно найти из условия того, что главный вектор $\sigma_{\rho\rho}$ при $\rho = \rho_0$ будет интегрально равняться нулю, что физически соответствует воздействию выталкивающей силы на сторону $\rho = \rho_k$.

Подставляя найденный кинематический потенциал в (17), найдем поле скоростей:

$$V_\rho = -\frac{V_k |\alpha|^m}{\rho}, \quad (27)$$

где $m = \frac{2G\alpha_k}{A_1}$, V_k – произвольная

постоянная.

Выводы:

1. Установлено, что законы изменения дивергентных составляющих напряжений вдоль линий тока, определяемые в рамках деформационной теории с Яуманновской производной, содержат осциллирующие

слагаемые, что не позволяет точно удовлетворить условию постоянства кинематического потенциала.

2. Получено решение задачи о симметричном вихревом течении в рамках деформационной модели с Яуманновской производной. Скорости распределяются по степенному закону относительно угловой координаты.

Библиографический список

1. Зубчанинов В.Г. О некоторых фундаментальных идеях А.А. Ильюшина в теории устойчивости упругопластических систем // Проблемы механики деформированного твердого тела: Межвуз. сб. научн. тр. – Калинин: Изд-во КГУ, 1986.- С. 9-16.
2. Бровка Г.Л. Материальные и пространственные представления определяющих соотношений деформированных сред.// ПММ. 1990. Т. 54. Вып.5. С. 814-824.
3. Коротационные производные и определяющие соотношения в теории больших деформаций. / П.В. Трусов, В.В. Мулюков, В.Д. Онискив – Пермь, 1985. – 25 с. – Рус. – Деп. В ВИНИТИ, 14.12.85 № 8020 – 25 Деп.
4. Cheng J. Il., Kikuchi N. An Analysis of metal forming processes using large deformation elastic-plastic formulations. // Comput. Meths. Appl. Mech. Eng. 1985. V. 49. No. 7. P. 71-108.
5. Lange K., Herrmann M., Keck P., Wilhelm M. Application of an elasto-plastic finite element code to the simulation of metal forming processes // J. Mater. Proc. Technol. 1991. V. 27. No. 1-3. P. 239-261.
6. Красавин Руслан Владимирович. Задачи осесимметричного течения для различных моделей жестко-пластических материалов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04: Тула, 2003. 116 с. РГБ ОД, 61:04-1/561
7. Коновалов А.В. Определяющие соотношения для упругопластической среды при больших пластических деформациях. // Изв. РАН. МТТ. 1997. №5. С. 139-147.
8. Поздеев А.А., Трусов П.В., Няншин Ю.И. Большие упругопластические деформации. - М.: Наука, 1986. 232 с.
9. Быченков В.А., Свиденский В.А. Некорректность модели упругопластического течения в методе Уилкенса // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26. №1. С.118-122.

10. Ильюшин А.А. Пластичность: Основы общей математической теории. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 272 с.

11. Маркин А.А. Построение образа процесса конечного формоизменения. Тезисы доклада // Вестник МГУ. Серия 1. Математика, механика. – 1984. - №5. – С. 98.

12. Маркин А.А. Определяющие соотношения конечного упругопластического деформирования. - Тула: ТулПИ, 1985. – 17 с. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 08.04.85, № 2358 – 85 Деп.

*Поступила в редакцию 27.04.2021 г.,
с доработками 30.04.2021 г.*

MODEL OF A FLAT STEADY-FLOW PROCESS OF A MATERIAL DESCRIBED BY THE DEFORMATION THEORY WITH THE YAUMAN DERIVATIVE IN A CONVERGENT CHANNEL

*© 2021 O.V. Bonitskaya, Yu.V. Dudina**

The paper considers the general formulation of the problem of a flat steady-flow process that is described by the deformation theory with the Yauman model in a converging channel. The velocity field is expressed in terms of the scalar potential, which depends only on the coordinate lying in the meridian plane and orthogonal to the streamlines. Based on the equilibrium flow character, an invariant form of the conditions for the compatibility of the components of the stress deviator is obtained. The differential equation of a given locality is written with respect to functions that depend on only one variable. The analytical solution to the problem is obtained.

Basic provisions:

1. The problem of studying a smooth stationary flow is reduced to determining the velocity potential on streamlines.
2. The defining relations are written using the Yauman derivative.
3. The complete system of equations for finding the stress state of a material is expressed in terms of the kinematic potential.
4. The solution of the problem of symmetric vortex flow in the framework of the deformation model with the Yauman derivative is obtained.

Keywords: flat steady-flow process, convergent channel, stress, streamlines, deformation theory, Yauman derivative.

*Received for publication on April 27, 2021,
with revisions on April 30, 2021*

* Olga V. Bonitskaya (olga_bonitskay@mail.ru) - Candidate of physical and mathematical Sciences; Yulia V. Dudina (yulia81p@mail.ru.) - Candidate of Technical Sciences; both - Tula State University (Russia, Tula).



О ДИЛАТАЦИИ И РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2021 А.А. Трещев*

На основании учета того, что многие композитные, так и традиционные конструкционные материалы не подчиняются гипотезам «единой кривой деформирования», а законы изменения объема и формы даже в случае начальной изотропии структуры оказываются взаимосвязанными. Показана ограниченность классического Гуковского обобщенного закона. Отмечено, что наиболее целесообразными являются аппроксимации экспериментальных диаграмм, полученных при осевых растяжении и сжатии квазилинейными зависимостями. То есть рекомендовано применение нелинейных моделей деформирования дилатирующих материалов и материалов, деформационно-прочностные свойства которых определяются видом напряженного состояния. Кратко анализируются широко известные уравнения состояния, определяющие пропорциональные деформирования начально изотропных тел с учетом зависимости их жесткостей от качественной картины реализуемого напряженного состояния. Рассмотрены квазилинейные модельные приближения. Анализируются физические уравнения, имеющие четыре, пять и шесть констант в записи энергетических форм деформирования слабо нелинейных начально изотропных материалов. Рассмотрены рекомендованные методики вычисления констант материалов из простейших опытов для материалов разного класса. Этими параметрами определены константы уравнений состояния. При этом продемонстрирована наибольшая универсальность потенциальных соотношений, сформулированных в пространствах нормированных напряжений. Кроме того подтверждена физическая правомерность общих деформационных законов композитных материалов и показано, что явления дилатации и разносопротивляемости являются двумя формами проявления их особой структуры. Преимущества принятых форм потенциала объясняются удачным выбором гармонических функций напряжений, которые ограничены интервалом от -1 до $+1$. Показана достаточная универсальность потенциала деформаций, сформулированного в пространствах нормированных напряжений.

Ключевые слова: дилатация, разносопротивляемость, квазилинейность, нормированные напряжения, вид напряженного состояния, потенциал деформаций, изменение объема, формоизменение, фазовая характеристика.

Двухвековое использование обобщенного закона Гука подтвердило его физическую законность. Однако экспериментальные сведения по деформированию материалов со сложной структурой типа чугунов [1, 2], графитов [3, 4], керамики [5], бетонов [6, 7] и широкого круга композиционных мате-

риалов [8-10], демонстрируют то, что линейные аппроксимации связей напряжений и деформаций через модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν уже при малом диапазоне развития деформаций дает весьма ошибочные результаты. Очевидно, правильным может быть представление

* Трещев Александр Анатольевич (taa58@yandex.ru) – член-корреспондент РААСН, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный строитель России, член Национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике, лауреат премии им. С.И. Мосина, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции»; Тульский государственный университет (РФ, Тула).

экспериментальных сведений по одноосному растяжению и одноосному сжатию разными линейными аппроксимациями при установлении секущего модуля E^+ на одноосное растяжение модуля E^- на одноосное сжатие. Дополнительно определяются коэффициенты деформации в поперечном направлении ν^+ и ν^- . Этим самым представляем свойства изотропного материала, деформационные параметры которых меняются при изменении вида напряженного состояния, что в 60-е годы двадцатого века стали называть теорией разномодульной упругости, оперирующей уравнениями состояния в квазилинейной форме.

Большой вклад в обобщение закона упругости Гука для материалов с зависимостью от вида НДС внесли российские исследователи и ученые из государств СНГ. В 60-х годах 20-го столетия исследования деформирования подобных материалов проводились эпизодически и формально. Позже широкое промышленное использование композитных материалов вызвало появление математических моделей определяющих соотношений для сред с зависимостями деформационных параметров от вида реализуемого напряженного состояния, когда нарушается «гипотеза единой кривой» [1-15]. С другой стороны для многих материалов было установлено взаимозависимости законов изменения объема и формы. Такое проявление механических свойств было названо дилатацией или дилатансией [1-17]. Данный факт инициировал развитие механики дилатирующих сред. Указанные две формы нарушения общепринятых физических законов деформирования изотропных материалов изначально рассматривались как независимые направления механики деформируемых тел. В частности, при постулировании уравнений состояния разномодульных материалов изначально во внимание не принимались дилатационные проявления [13-15], а построении математических моделей дилатирующих материалов их разносопротивляемость не предпо-

лагалась [16, 17]. Однако, как показали дальнейшие исследования [1-20], установленные две, на первый взгляд, независимые причины отклонения от классических законов деформирования для большинства начально изотропных материалов взаимосвязаны. Подробный анализ работ, в которых приводятся определяющие соотношения, учитывающие разносопротивляемость и дилатацию изотропных материалов, приведен в работах [11, 12]. Там же с использованием параметров двух пространств нормированных напряжений сформулированы достаточно общие квазилинейные потенциалы деформаций и показано, что из них вытекают известные модели уравнений состояния других авторов, являющиеся частными случаями [11, 12].

Применительно к первому пространству потенциал имеет вид:

$$W = 0,5 \left[(A + B\alpha_1)\sigma_1^2 + (A + B\alpha_2)\sigma_2^2 + (A + B\alpha_3)\sigma_3^2 \right] + \\ + [C + E\alpha_3 + D(\alpha_1 + \alpha_2)]\sigma_1\sigma_2 + \\ + [C + E\alpha_1 + D(\alpha_2 + \alpha_3)]\sigma_2\sigma_3 + \\ + [C + E\alpha_2 + D(\alpha_1 + \alpha_3)]\sigma_1\sigma_3, \quad (1)$$

а во втором пространстве приобретает форму:

$$W = (\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3\xi)\sigma^2 + \\ + (\tilde{b}_2 + \tilde{b}_4\xi + \tilde{b}_5\eta \cos 3\phi)\tau^2, \quad (2)$$

где $\alpha_k = \sigma_k / S$ – нормированные главные напряжения; $S = \sqrt{\sigma_k \sigma_k}$ – норма первого векторного пространства главных напряжений; $\cos \psi = \xi = \sigma / S_0$,

$\sin \psi = \eta = \tau / S_0$ – напряжения второго нормированного пространства;

$\cos 3\phi = \sqrt{2} \det(S_{ij}) / \tau^3$ – фазовый инвариант; $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – норма пространства, связанного с девиаторной площадкой;

$\sigma = \delta_{ij} \sigma_{ij} / 3$ – гидростатическое напряжение



ние; $\tau = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}/3$ – октаэдрическое касательное напряжение; $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma$ – компоненты тензора девиатора напряжений δ_{ij} – единичный тензор Кронекера; $\tilde{b}_1 = 1,5(A + 2C)$, $\tilde{b}_2 = 1,5(A - C)$, $\tilde{b}_3 = 1,5(B + 4D + 2E)/\sqrt{3}$, $\tilde{b}_4 = 4,5(B - E)/\sqrt{3}$, $\tilde{b}_5 = 0,75(B - 2D + 2E)\sqrt{2}/\sqrt{3}$ – константы потенциала, определяемые механическими свойствами материала.

Два нормированных пространства взаимосвязаны:

$$S_0 = S/\sqrt{3}; I_\alpha = \sqrt{3}\xi;$$

$$III_\alpha = (3\xi^3 + 9\xi\eta^2 + 1,5\sqrt{2}\eta^3 \cos 3\varphi)/\sqrt{3}, \quad (3)$$

где $I_\alpha = \alpha_k = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$;

$$II_\alpha = \alpha_k \alpha_k = 1; III_\alpha = \alpha_k \alpha_k \alpha_k.$$

Следствием принятого потенциала являются общие законы упругости:

а) закон объемного изменения

$$e = \sigma/3K_0 + \tau/3D_0; \quad (4)$$

б) закон формоизменения

$$\Theta = \sqrt{1 + tg^2 \omega (\tau/2G_0 + \sigma/3D_0)}; \quad (5)$$

в) связи фаз напряженного и деформированного состояний

$$tg \omega = 3\tilde{b}_5 \eta \sin 3\varphi / (3\eta/2G_0 + \xi/D_0), \quad (6)$$

где K_0 – обобщенная «мера» (модуль) изменения объема; G_0 – обобщенная «мера» (модуль) сдвига; D_0 – обобщенная «мера» (модуль) дилатации; $\omega = \varphi - \beta$ – фазовая разность напряженного и деформированного состояний;

$$K_0 = 1/[2\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3 \xi (2 + \eta^2) - \tilde{b}_5 \eta^3 \cos 3\varphi];$$

$$D_0 = 1/\tilde{b}_4 \eta^3; \quad 2G_0 = 3/[2\tilde{b}_2 +$$

$$+ \xi^3 (2\tilde{b}_4 - \tilde{b}_3) + \tilde{b}_5 \eta^3 (2 + \xi^2) \cos 3\varphi];$$

$3e = \theta = \delta_{ij} e_{ij}$ – изменение объема;

$\Theta = \gamma/2$; $\gamma = \sqrt{4/3 \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}}$ – сдвиг на октаэдри-

ческой площадке; $\varepsilon_{ij} = e_{ij} - \delta_{ij} \theta/3$ – компоненты тензора девиатора деформаций.

Авторами [11, 12] установлено, что полученные уравнения наряду с разнотензивностью учитывают дилатацию, то есть оба фактора отклонения деформационных зависимостей от классических. Этим подтверждается экспериментально установленный факт о взаимосвязи чувствительности механических свойств изотропных материалов с их дилатационным характером деформирования [1-12].

Четыре константы двух записей потенциала (1) и (2) вычисляются по данным опытов на одноосные растяжение и сжатие, а пятая константа – из сопоставления формы закона изменения объема для квазилинейного разнотензивного материала при гидростатическом сжатии и растяжении с формой, вытекающей из обобщенного закона Гука:

$$A = 0,5(1/E^+ + 1/E^-);$$

$$B = 0,5(1/E^+ - 1/E^-);$$

$$C = -0,5(v^+/E^+ + v^-/E^-);$$

$$D = -0,5(v^+/E^+ - v^-/E^-); \quad (7)$$

$$E = 0,25\sqrt{3}[(1 - 2v^+)/E^+ - (1 - 2v^-)/E^-] - 0,25[(1 - 4v^+)/E^+ - (1 - 4v^-)/E^-].$$

Упрощенные варианты потенциальных соотношений (1), (2) представлены следующим образом [11, 12]:

$$W = 0,5[(A + B\alpha_1)\sigma_1^2 + (A + B\alpha_2)\sigma_2^2 + (A + B\alpha_3)\sigma_3^2] + [C + D(\alpha_1 + \alpha_2)]\sigma_1\sigma_2 + [C + D(\alpha_2 + \alpha_3)]\sigma_2\sigma_3 + [C + D(\alpha_1 + \alpha_3)]\sigma_1\sigma_3; \quad (1^*)$$

$$W = (\tilde{b}_1 + \tilde{b}_3 \xi)\sigma^2 + (\tilde{b}_2 + \tilde{b}_4 \xi)\tau^2. \quad (2^*)$$

Н.М. Матченко и И.Н. Матченко в работе [18] предприняли попытку сформулировать наиболее универсальные квазилинейные уравнения состояния нежели (1),

(2), (1*) и (2*) и представили их в виде потенциалов деформаций, включающих четыре константы. Фактически эта попытка свелась к записи форм потенциалов [18], полностью совпадающих с упрощенным вариантом (1*) и (2*), но представленных через другие обозначения. Ясно, что все квазилинейные деформационные модели изотропных материалов основаны на использовании различных качественных и количественных параметров их напряженно-деформированного состояния. Авторами [18] рассмотрены три группы подобных характеристик:

а) количественные характеристики первой группы –

$$H_I = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma = \delta_{ij}\sigma_{ij};$$

$$H_{II} = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 = S^2 = \sigma_k\sigma_k; \quad (8)$$

б) количественные характеристики второй группы –

$$I_I = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma = \delta_{ij}\sigma_{ij};$$

$$I_{II} = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 9\tau^2; \quad (9)$$

в) количественные характеристики третьей группы –

$$J_I = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma = \delta_{ij}\sigma_{ij};$$

$$J_{II} = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1 = 3(S_0^2 - 1,5\tau^2). \quad (10)$$

Качественным параметром напряженного состояния для данных групп авторы [18] используют одну характеристику:

$$\chi = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = 3\sigma / S = 3\sigma / (\sqrt{3}S_0). \quad (11)$$

Использование параметров (8) – (11) привело к получению трех форм потенциала [18]:

$$W = (A_h + a_h\chi)H_I^2 + (B_h + b_h\chi)H_{II}; \quad (12)$$

$$W = (A_i + a_i\chi)I_I^2 + (B_i + b_i\chi)I_{II}; \quad (13)$$

$$W = (A_j + a_j\chi)J_I^2 + (B_j + b_j\chi)J_{II}. \quad (14)$$

Очевидно, что эти формы потенциалов (12)–(14) через использование зависимостей (8) – (11) при символьном преобразовании полностью сводятся к упрощенному пред-

ставлению (2*). В связи с этим формально представленные формы (12) – (14) не являются новыми определяющими соотношениями, а полностью эквивалентны потенциалу (2*), но в других обозначениях. При этом в работах [11, 12] была показана более высокая точность пятиконстантного потенциала (1), (2) при сравнении экспериментальных диаграмм деформирования с теоретическими практически для всех разносопротивляющихся материалов в процессе реализации сложных напряженных состояний.

Другая работа Н.М. Матченко в соавторстве с О.Н. Матченко [19] представила потенциал с шестью константами как более универсальную модель деформирования. Исследования [19] также свелись к формальной замене используемых инвариантов [11, 12] с повторным квазиквадратичным разложением относительно этих инвариантов. Результатом оказалась переобозначение функций (1) и (2) при отсутствии фазового инварианта. Было показано [11, 12], что формы потенциала (1) и (2) были ограничены нормированными напряжениями в степени не выше третьей, разложение по которым можно продолжать до более высоких степеней, а в работе [12] дополнительно представлена форма без фазового инварианта и пятая константа определена из эксперимента на сдвиг через модуль G_q .

При этом потенциал с шестью константами [19] с обнулением шестого коэффициента приводится к указанному варианту [12]. Идентификация шестиконстантного потенциала [19] производится с использованием экспериментов на одноосные растяжение, сжатие и сдвиг. Из этих экспериментов получают пять параметров E^+ , ν^+ , E^- , ν^- и G_q . Авторы [19] экспериментируя со сдвигом, выделяют шестую константу в форме коэффициента податливости Δ_τ вдоль промежуточной оси главной деформации e_2 , вычисляемого следующим образом: $\Delta_\tau = \sqrt{2}e_2 / \tau_q$, где $\tau_q = \sigma_1 = -\sigma_3$ при $\sigma_2 = 0$.



В настоящее время научно-техническая литература не обнаруживает надежных сведений по экспериментальному определению необходимых параметров, связанных с коэффициентом податливости при сдвиге Δ_τ , а авторы [19] никоим образом не обосновывают методику измерений деформаций e_2 при сдвиге. Поэтому принятые формы [19] не могут претендовать на большую общность и универсальность по сравнению с соотношениями (1) и (2) и, в основном, приводятся к ним, вызывая новую проблему вычисления шестой константы.

В работе [20] А.В. Березин утверждает, что получил квазилинейный потенциал в более общей форме, чем (1) и (2) и этот потенциал представлен следующей формой:

$$\Phi = \Phi_1[\sigma_i \phi_1(u, \zeta)] + \Phi_2[\sigma_0 \phi_2(u, \zeta)] + \Phi_3[S_3^{1/3} \phi_3(u, \zeta)], \quad (15)$$

где σ_i — интенсивность напряжений; σ_0 — гидростатическое напряжение; $u = \sigma_0 / \sigma_i$ — параметр, определяющий вид напряженного состояния (серьезные недостатки этого параметра обсуждены в работе [12]); $\phi_1(u, \zeta)$, $\phi_2(u, \zeta)$, $\phi_3(u, \zeta)$ — экспериментально определяемые функции; S_3 — третий инвариант девиатора напряжений.

При этом автор сам не определил функции $\phi_1(u, \zeta)$, $\phi_2(u, \zeta)$, $\phi_3(u, \zeta)$, утверждая, что «... наибольшую трудность представляет определение функций $\phi_i(u, \zeta)$ ($i = 1, 2, 3$). Тем не менее, это было сделано в [11] при некоторых предположениях». Эти предположения всего лишь касаются способа определения пятой константы (см. (7)).

Выводы

Очевидно, что хотя известен широкий набор моделей уравнений состояния для изотропных разносопротивляющихся дила-

тирующих материалов, все же наиболее общими и точными квазилинейными соотношениями пригодными для практического применения в деформационно-прочностных расчетах могут служить две формы потенциала (1) и (2), представленные в нормированных пространствах.

Библиографический список

1. Леонов М.Я. Зависимости между деформациями и напряжениями для полухрупких тел / М.Я. Леонов, В.А. Паняев, К.Н. Русинко // Инженерный журнал. Механика твердого тела. — 1967. — № 6. — С. 26 — 32.
2. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. — Киев: Наукова думка, 1976. — 416 с.
3. Березин А.В. Влияние повреждений на деформационные и прочностные характеристики твердых тел. — М.: Наука, 1990. — 135 с.
4. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M. Jones // AIAA Journal. — 1980. — Vol. 18. — №8. — P. 995–1001.
5. Романов В.В. Исследование зависимости модуля упругости шлакокамнелитого материала от вида нагружения // Физ.-хим. исслед. по технологии стекла и ситалов. — М.: Наука, 1984. — С. 78–81.
6. Bazant Z.P. Endochronic Theory of Inelasticity and Failure of Concrete / Z.P. Bazant, P.D. Bhat // Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE. — 1976. — Vol. 102. — № EM4. — P. 701–722.
7. Tasuji M.E. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading / M.E. Tasuji, F.O. Slate, A.H. Nilson // ACI Journal. — 1979. — №7. — P. 806–812.
8. Елсуфьев С.А. Изучение деформирования фторопласта в условиях плоского напряженного состояния / С.А. Елсуфьев, В.М. Чебанов // Исслед. по упругости и пластичности. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1971. — Вып. 8. — С. 209–213.
9. Калинка Ю.А. Исследование физико-механических свойств хаотически наполненных стеклопластиков / Ю.А. Калинка, С.М. Боровикова // Механика полимеров. — 1971. — №3. — С. 411–415.
10. Пахомов Б.М. Применение теории собственных напряжений к описанию нелинейного

деформирования разносопротивляющихся материалов // Вестник МВТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Машиностроение. – 2015. – №2. – С. 91–106.

11. Матченко Н.М. Определяющие соотношения изотропных разносопротивляющихся сред. Ч. 1. Квазилинейные соотношения / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников, А.А. Трещев // Изв. РАН. МТТ. – 1995. – №1. – С. 73–78.

12. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов. - Тула: ТулГУ, 2020. – 359 с.

13. Матченко Н.М. О связи между напряжениями и деформациями в разномодульных изотропных средах / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников // Инженерный журнал. Механика твердого тела. – 1968. – №6. – С. 108–110.

14. Цвелодуб И.Ю. К разномодульной теории упругости изотропных материалов // Динамика сплошной среды. – Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО АН СССР, 1977. – Вып. 32. – С. 123–131.

15. Шапиро Г.С. О деформациях тел, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию // Инженерный журнал. Механика твердого тела. – 1966. – №2. – С. 123–125.

16. Быков Д.Л. О некоторых соотношениях между инвариантами напряжений и деформаций в физически нелинейных средах // Упругость и неупругость. – М.: МГУ, 1971. – Вып. 2. – С. 114 – 128.

17. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.

18. Матченко Н.М. К построению четырехконстантных определяющих соотношений квазилинейной изотропной упругой среды / Н.М. Матченко, И.Н. Матченко // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Сер. Механика предельного состояния. – 2016. – № 4. – С. 73–80.

19. Матченко Н.М., Матченко О.Н. К построению шестиконстантного потенциала изотропных упругих сред, чувствительных к виду напряженного состояния // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. научно-техн. конф. - Воронеж: Изд-во Научно-исследовательские публикации. – 2017. – С. 1154 – 1160.

20. Березин А.В. О законах деформирования разномодульных дилатирующих сред / А.В. Березин // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2007. – №2. – С. 70–72.

Поступила в редакцию 30.04.2021 г.



ON DILATATION AND DIFFERENT RESISTANCE OF ISOTROPIC MATERIALS

© 2021 A.A. Treschev*

Based on the fact that many composite and traditional structural materials do not obey the hypotheses of a «single deformation curve», and the laws of change in volume and shape, even in the case of the initial isotropy of the structure, are interrelated. The boundedness of the classical Hooke general-ized law is shown. It is noted that approximations of experimental diagrams obtained under axial tension and compression with quasi-linear dependences are the most appropriate. That is, the use of nonlinear models of deformation of dilating materials and materials whose deformation and strength properties are determined by the type of stress state is recommended. We briefly analyze the well-known equations of state that determine the proportional deformations of initially isotropic bodies, taking into account the dependence of their stiffness on the qualitative picture of the realized stress state. Quasi-linear model approximations are considered. Physical equations with four, five, and six constants in the energy forms of deformation of weakly nonlinear initially isotropic materials were analyzed. The recommended methods for calculating the constants of materials from the simplest experiments for materials of different classes are considered. These parameters define the constants of the equations of state. At the same time, the greatest universality of the potential relations formulated in the spaces of normalized stresses is demonstrated. In addition, the physical validity of the general deformation laws of composite materials is confirmed and it is shown that the phenomena of dilatancy and diversity of resistance are two forms of manifestation of their special structure. The advantages of the accepted forms of potential are explained by the successful choice of harmonic stress functions, which are limited to the interval from -1 to +1. The sufficient universality of the strain potential formulated in the normalized stress spaces is shown.

Keywords: dilatation, different resistance, quasilinearity, normalized stresses, type of stress state, strain potential, volume change, shape change, phase characteristics.

Received for publication on April 30, 2021

* Alexander A. Treschev – Corresponding Member of the RAACS, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Builder of Russia, Member of the National Committee of the Russian Academy of Sciences for Theoretical and Applied Mechanics, laureate of the S. I. Mosin Prize, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Construction, Building Materials and Structures»; Tula State University (Russia, Tula).

ОЦЕНИВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИНДЕКСОВ ХИРША НА ОДНОЗНАЧНОСТЬ

© 2021 П.В. Герасименко*

Проблема поиска более совершенного алгоритма оценки творческой деятельности ученых, чем алгоритм индекса Хирша, активно обсуждается в российской и зарубежной научной литературе с момента его разработки. К настоящему времени предложено большое количество модификаций, позволяющих нивелировать тот или иной недостаток индекса Хирша. Вместе с тем значимость алгоритма индекса Хирша сохраняется, поскольку позволяет однозначно сводить выделяемую часть информации (часть чисел, характеризующих количества публикаций автора и их цитирований) к одному числу. Другими словами, ценность алгоритма Хирша в его однозначности, т.е. совпадению индексов у двух авторов только при совпадении массива публикаций и такого же массива цитирований. Цель работы показать наличие среди алгоритмов модифицированных индексов неоднозначных и обосновать необходимость использования их в ограниченных пределах, из-за возникновения возможных рисков некачественных оценок при проведении ранжирования ученых по результатам их творческой деятельности.

Ключевые слова: индекс, цитирование, научные труды, ученый, творческая деятельность, векторные компоненты, евклидова норма, квадрат, рейтинг.

Введение

В настоящее время решение задач оценки научной продуктивности ученых в разных странах мира осуществляется с помощью различных систем количественных наукометрических показателей. Несмотря на огромное число работ, посвященных проблеме оценки творческой деятельности ученых, сегодня она продолжает оставаться не до конца решенной. На ее решение направлены огромные усилия, которые осуществляются по отдельным направлениям. Одно из таких направлений ведется за счет оценки публикационной деятельности ученых. Способствует развитию направления широкое внедрение информационных и компьютерных технологий, что дает возможность включать все публикации в существующие наукометрические базы данных. К числу наиболее востребованных в России баз данных относится РИНЦ, где в электрон-

ном виде содержатся огромные массивы, как научных работ, так и массивы их цитирований. Наличие данных по публикациям каждого ученого позволило разработать алгоритмы и методики определения показателей оценки творческой деятельности ученого на основании массива его публикаций и их цитирований. Из их числа особо следует выделить работу Хирша [1], в которой предложен алгоритм формирования показателя, широко используемого на практике. Показатель назван «индексом Хирша» или «h-индексом». Геометрически величина показателя h соответствует стороне квадрата, названного квадратом Хирша [2]. Следует отметить, что на основе индекса Хирша разработаны, исследованы и предложены ряд модификаций оценки творческой деятельности ученого и организации в целом. Достаточно подробный обзор модификаций алгоритмов Хирша и их сравнительный ана-

* Герасименко Петр Васильевич (pv39@mail.ru) - доктор технических наук, профессор, кафедры «Математика и моделирование», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (СПб, Россия), ORCID 0000-0002-7546-661X.



лиз выполнен и приведен в статье автора [2].

К числу показателей, имеющих одну алгоритмическую основу с индексом Хирша, следует отнести индекс Лео Эгга [3] и индекс Михайлова [4]. Существующие модификации индекса Хирша, в частности индекс Лео Эгга и индекс Михайлова, были созданы с целью более полного учета числа публикаций и цитирований.

Разработанные в последние годы алгоритмы [5-10] также связаны с увеличением массивов публикаций и цитирований. Разнообразие алгоритмови разный уровень их несовершенства требуют выявления в них такого важного свойства, как однозначность, а именно однозначности зависимости формируемой величины индекса от разных массивов информации.

Целью настоящей работы является проведение экспертной оценки наличия однозначности у алгоритмов [1-10], которые связывают величину индекса и объем информации, которые характеризуют научную деятельность ученого. Для оценки были выбраны только те алгоритмы, которые, как уже отмечалось, являются идейным продолжением индекса Хирша и направлены на более пол-

ный учет числа публикаций и цитирований. К ним отнесены следующих 7 индексов оценки научной продуктивности: 1) сам h -индекс (индекс Хирша) [1]; 2) g -индекс (индекс Лео Эгга) [3]; 3) j -индекс (индекс Михайлова) [4]; 4) gh -индекс [5]; 5) hr -индекс [5]; 6) ghr -индекс [6]; 7) w -индекс [8]; 8) индекс РПД [9]. Все модифицированные алгоритмы идейно сохраняют на начальном этапе последовательность действий, которые используются в алгоритме Хирша.

1. Структура исходных данных, необходимых для формирования алгоритмами h -индекса и модификаций индекса Хирша

В качестве исходных данных, необходимых для формирования обобщенного показателя (индекса), который должен характеризовать трудовую деятельность ученого, сегодня в литературе принято включать два массива числовой информации: научные опубликованные работы и цитирования каждой из них. В дальнейшем для описания структуры массива исходных данных будем через i обозначать порядковый номер N , расположенных в ряд публикаций автора в порядке невозрастания числа их цитирований.

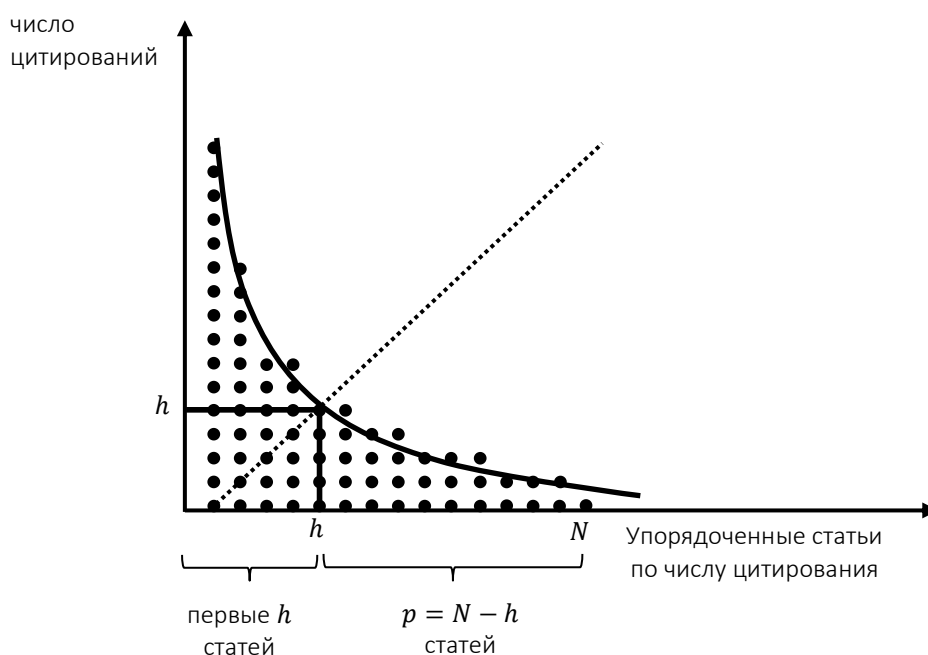


Рис. 1. График функции распределения цитирований от номера статьи

Если каждая опубликованная работа имеет s_i цитирований, то ученый будет иметь общее число цитирований $S = \sum_{i=1}^N s_i$. Изменение числа цитирований в зависимости от порядкового номера публикации следует рассматривать как дискретную функцию распределения цитирований. Принятое расположение публикаций и цитирований целесообразно называть также рядом распределения цитирований. График изменения функции цитирований от номера публикации представлен на рис. 1.

Таблицу, поясняющую функцию распределения, целесообразно представлять в виде гистограммы (табл. 1).

Таблица 1. Распределение цитирований по публикациям

Номер цитирования публикации	16													
	15													Цитирования массива h^2
	14													Цитирования массива g^2
	13													Цитирования массива p^2
	12	12												
	11	11												
	10	10												
	9	9												
	8	8												
	7	7	7	7										
	6	6	6	6										
	5	5	5	5	5	5								
	4	4	4	4	4	4	4	4						
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Номера публикаций i , расположенные по невозрастанию количества цитирований s_i													

В ней каждый столбец должен соответствовать порядковому номеру публикации и содержать порядковые номера цитирований. Все строки за исключением последней заполняются порядковыми номерами цитирований. Последняя строка соответствует номерам публикаций i , которые расположены по невозрастанию количества цитирований s_i .

Перед описанием алгоритмов модификаций индексов целесообразно структурировать суммарное количество цитирований S , представив его в виде трех слагаемых. Первое слагаемое соответствует количеству цитирований согласно h – индексу Хирша, т.е. тех цитирований, которые входят в «квадрат Хирша». Второе слагаемое включает те цитирования, которые располагаются над «квадратом Хирша» (см. рис. 1). Их число обозначим через g^2 . Условно по аналогии с h -индексом, который соответствует «квадрату Хирша», имеет смысл полагать, что число g^2 формирует квадрат значимости публикаций со сторонами $\sqrt{g^2}$, а, следовательно, ввести g – индекс значимости. Величину g следует рассматривать как приведенную длину стороны «квадрата значимых базовых работ» ученого.

Наконец, третье слагаемое включает те цитирования, которые не относятся к базовым публикациям, т.е. располагаются на схеме справа относительно «квадрата Хирша». Их число можно обозначить как p^2 и, соответственно, аналогично ввести p – индекс интенсивной работы ученого. Очевидно общее число цитирований $S = h^2 + g^2 + p^2$, где слагаемые суммы есть количества цитирований. Тогда геометрически h^2 равно числу цитирований, которые содержатся в квадрате Хирша, g^2 – число цитирований в квадрате цитирований значимых публикаций, p^2 – число цитирований в квадрате интенсивной работы ученого, а h, g, p – приведенные длины сторон соответствующих квадратов.

2. Результаты оценивания и обсуждение однозначных и условно однозначных алгоритмов формирования индексов

Под алгоритмом формирования индекса будем понимать формальное предписание, определяющее содержание и последовательность операций, приводящих к искомой величине индекса за счет части массива публикаций и части их цитирований,



содержащихся в законе распределения цитирований. Однозначные алгоритмы – это алгоритмы, которые не могут приводить к равным величинам индекса у ученых, имеющих разные законы распределения цитирований. Однозначные алгоритмы позволяют справедливо осуществлять ранжирование авторов по их публикациям и цитированиям, или по части публикаций и части цитирований. Если для алгоритма существует единственный вариант совпадения значений индекса у двух авторов, имеющих разные законы распределения цитирования, возможно с помощью дополнительного условия справедливо распределить места авторов при ранжировании, то следует его рассматривать как условно однозначный.

Неоднозначные алгоритмы – это алгоритмы, которые для многих вариантов могут приводить к равным величинам индекса у ученых, имеющие разные законы распределения цитирований. Для них характерно несправедливое распределение мест при ранжировании.

Рассматривая публикации и цитирования как двумерный массив чисел, Хирш (Hirsch, 2005) предложил свертку его к одному числу, названному «h-индекс», или «индекс Хирша» [1]. Индекс Хирша – это попытка дать одним числом комплексную оценку массиву публикаций ученого и их цитируемости.

С учетом распределения в структурированный ряд N цитирований, для его элементов будет справедливо неравенство $s_i \geq s_{i+1}$, а индекс Хирша тогда можно определить как $h = i$, если $s_i \geq h$, а $s_{i+1} \leq h$. Справедливо считают, что за счет однозначности индекс Хирша он относительно широко используется на практике. Однако, самым существенным его недостатком является то, что в формировании индексов участвует только часть массива информации, а именно только h из N публикаций и h^2 из S цитирований [2].

С целью устранения этого недостатка индекса Хирша на его основе были разработаны модификации g-индекс Leo Egghe (Egghe, 2006) и j-индекс Михайлова (Михайлов, 2014), позволяющие в частных случаях увеличить число цитирований базовых публикаций. По определению модифицированный g-индекс имеет ученый, если g из его N статей цитируются как минимум g^2 раз, в то время как оставшиеся $(N-g)$ статьи цитируются не более чем g^2 раз каждая. Геометрически g-индекс можно моделировать прямоугольником, у которого основание имеет длину равную g единиц, а высоту – g^2 единиц и соответственно включает g^3 единиц цитирований. Автор [3] предложил индекс, определяемый как наибольшее значение j , для которого j наиболее цитируемых работ конкретного автора в общей сложности цитируются, по крайней мере, $j^{3/2}$ раз, а все остальные – менее $j^{3/2}$ раз. Можно считать, что геометрически индексы Leo Egghe [3] и Михайлова [4] эквивалентны соответственно высотам g^2 и $j^{3/2}$ прямоугольников. Основания этих прямоугольников равны g и j . Эти индексы однозначно эквивалентны площадям с g^3 цитирований в первой работе и $j^{5/2}$ во второй, а следовательно, как и индекс Хирша, будут однозначными.

В последние годы в работах [2, 5, 6, 10] выполнено развитие индекса Хирша в виде предложенных модификаций индексов gh , hp и ghp . Модифицированные индексы gh и hp позволяют дифференцированно оценивать творческую деятельность ученых путем разделения массивов печатных работ и их цитирований на отдельные категории. Работы, значимые по числу цитирований, рекомендовано оценивать с помощью индекса gh , а публикации, не имеющие значимого числа цитирований, с помощью индекса hp [10].

Из определения gh -индекса следует, что у ученого учитываются все цитирования, которые будут формировать наибольший

квадрат, длины сторон которого равны корню квадратному от общего числа цитирований базовых (значимых) публикаций: gh – индекс численно, равен $(h^2 + g^2)^{1/2}$.

Аналогично можно сформулировать второе определение, касающееся не базовых работ: модифицированный hp -индекс, представляет собой евклидову норму вектора цитирования, компонентами которого являются индексы: h -индекс и p -индекс. Следовательно, справедливо следующее очевидное утверждение: hp – индекс численно, равен $(h^2 + p^2)^{1/2}$. Каждого ученого и коллектив ученых в отдельных случаях можно оценивать по комплексному индексу, представляющий собой свертку индексов в виде евклидовой нормы вектора цитирования, компонентами которого являются индексы: h -индекс, g -индекс и p -индекс. Тогда справедливо следующее очевидное утверждение: комплексный ghp – комплексный индекс численно равен $(g^2 + h^2 + p^2)^{1/2}$. Комплексный ghp -индекс, объединяющий два индекса, рекомендовано применять при составлении рейтингов, в случае равенства у двух авторов индексов gh или hp .

Алгоритмы индексов gh и hp однозначны, поскольку корни квадратные сумм, включающие две составляющих $(h^2 + g^2)^{1/2}$ и $(h^2 + p^2)^{1/2}$ однозначны. Единственный вариант неоднозначности возникает, когда в двух законах распределения цитирования следуют суммы, которые равны, но составляющие поменялись значениями. Тогда при проведении ранжирования с помощью алгоритма индекса gh следует принять условие, что в случае равенства его в двух законах распределения цитирования рекомендуется отдавать закону, где количество публикаций меньше, поскольку у автора с таким законом публикации будут более значимы. При оценке с помощью алгоритма индекса gh следует отдавать предпочтение автору, имеющего большее число значимых публикаций, так как

каждая не базовая публикация будет иметь меньшее число цитирований, чем базовая.

3. Результаты оценивания и обсуждение неоднозначных алгоритмов формирования индексов

В работах [7, 8] был предложен новый индекс w , по мнению авторов, позволяющий максимально полно учитывать количество цитирований всех работ ученого. В основе алгоритма лежит замена традиционного распределения на последовательное построение цепи «квадратов Хирша» и цитирований, расположенных над ними [7].

Формирование цепи «квадратов Хирша» и принцип вычисления w -индекса целесообразно рассмотреть на примере публикационной активности гипотетического автора. Пусть количество публикаций и их цитирований представлено на рис. 1. Тогда геометрическая интерпретация цепи звеньев для построения w -индекса будет выглядеть следующим образом.

Схема содержит цепь, которая содержит 5 звеньев, каждое из которых состоит один из «квадратов Хирша» со сторонами 5×5 , 3×3 , 3×3 , 2×2 , 1×1 и 1×1 . Над тремя из них располагается следующее количество цитирований: над первым звеном – 21; над вторым звеном – 4; над пятым звеном – 1. Над тремя другими цитирования отсутствуют.

Алгоритм вычисления w -индекса заключается в суммировании индексов каждого звена цепи, т. е.

$$w = \sum_{i=1}^n w_i; w_i = \frac{g_i^2 + h_i^2}{h_i},$$

где w – индекс индивидуальной оценки творческой деятельности ученого; w_i – индекс индивидуальной оценки творческой деятельности ученого, вычисленный для i -го звена цепи; i – количество звеньев цепи; h_i^2 – количество цитирований, включенных в «квадрат Хирша» i -го звена цепи; g_i^2 – количество цитирований, над «квадратом Хирша» i -го звена цепи; h_i – количество пуб-



ликаций, формирующих «квадрат Хирша» - го звена цепи.

Тогда суммарное количество публикаций N и суммарное количество их цитирований S вычисляются по следующим формулам:

$$N = \sum_{i=1}^n h_i; S = \sum_{i=1}^n h_i^2 + \sum_{i=1}^n g_i^2.$$

Для принятой схемы число цитирований $S = (25 + 21) + (9 + 4) + (9 + 0) + (4+0) + (1 + 1) + (1 + 0) = 75$, а величина индекса

$$w = \frac{25+21}{5} + \frac{9+4}{3} + \frac{9+0}{3} + \frac{4+0}{2} + \frac{1+1}{1} + \frac{1+0}{1} = 9,2 + 4,34 + 3,0 + 2 + 1 = 19,54.$$

Для выявления одного из главных недостатков рассматриваемого индекса ниже приводится расчет w -индекса для двух гипотетических авторов. В них каждый автор имеет одно количество публикаций, а именно 15, но каждая работа первого автора имеет количество цитирований, равное 3, а второго – 1. Цепи «квадратов Хирша» первого автора представлены на рис. 2, а второго – 3. На рис. 2 и 3 под G понимается порядковый номер цитирования публикации.

G	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество публикаций, расположенных по невозрастанию количества цитирований														

Рис. 2. Схема построения цепи «квадратов Хирша» первого автора

G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество публикаций, расположенных по возрастанию количества цитирований														

Рис. 3. Схема построения цепи «квадратов Хирша» второго автора

Тогда для первого автора

$$w = \frac{9+0}{3} + \frac{9+0}{3} + \frac{9+0}{3} + \frac{9+0}{3} + \frac{9+0}{3} = 15,$$

а для второго

$$w = \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \dots + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} + \frac{1+0}{1} = 15.$$

Из вычислений видно, что поскольку индекс представляет собой сумму, то его ве-

личина может достигаться с помощью разных слагаемых.

Следовательно, одно и то же значение индекса может быть получено для разных авторов за счет разных законов распределения цитирований, т.е. разного по значимости вклада в науку. Данный алгоритм неоднозначен, в отличие от других, приведенных в статье. С математической точки зрения сумма, состоящая из ряда слагаемых, может быть одной и то же при разных комбинациях значений слагаемых.

В работе [9] предложен для объективной оценки эффективности разных категорий научных сотрудников простой индекс РПД. На взгляд автора, наиболее объективным подходом в оценке эффективности работы исследователя можно считать тот, при котором учитывается как общее число зарегистрированных в базе РИНЦ публикаций, так и число цитирований, т.е. расчет среднего числа «привязанных» цитирований на одну введенную в базу РИНЦ публикацию. Предложенный алгоритм представляет среднее число цитирований (отношение числа «привязанных» цитирований сотрудника к числу его публикаций с ненулевым цитированием в базе РИНЦ), умноженное на значение индекса Хирша». Тогда РПД = $(\Pi_{пр}/\Pi_1)X_{пр}$, где Π_1 – число, введенных в базу РИНЦ, публикаций исследователя за период его публикационной деятельности; $\Pi_{пр}$ – число приведенных к этим публикациям цитирований, включая самоцитирования; $X_{пр}$ – индекс Хирша, рассчитанный по названным параметрам.

Однако, отмеченную эффективность опровергает сам автор, поскольку по его же утверждению, при расчете такого показателя может возникнуть проблема получить одинаковый рейтинг при разных результатах научной деятельности. В действительности произведение трех величин, одна из которых находится в знаменателе, может быть равным при разных комбинациях значений этих величин. Таким образом, алгоритм не является однозначным. В качестве примера

можно рассмотреть двух гипотетических авторов, имеющих по 8 публикаций. Каждая из публикаций имеет следующие числа цитирований: первая – 20, 18, 17, 17, 2, 2, 2, 2; вторая – 14, 14, 2, 2, 2, 2, 2, 2.

Тогда первая публикация будет включать: индекс Хирша 4, количество цитирований 80 и индекс РПД 0,4; вторая публикация - индекс Хирша 2, количество цитирований 40 и индекс РПД 0,4. Из приведенного примера следует равенство индексов РПД у двух авторов при разных законах распределения цитирований.

Заключение

В работе показано наличие неоднозначных алгоритмов и обоснована необходимость использования их в ограниченных пределах, поскольку существует риск пропустить ошибку в оценке результатов творческой деятельности ученых. Их применение может привести к несправедливому распределению поощрений при проведении ранжирования ученых по их результатам творческой деятельности. Приведенные в работе неоднозначные алгоритмы требуют доработки в плане установления областей однозначности.

Библиографический список

1. Hirsch J. An index to quantify an individuals scientific research output // Proc. Nat. Sci. 2005. Vol. 102, issue 46. P. 16569–16572. DOI 10.1073/pnas.0507655102
2. Герасименко П.В. Сравнительный анализ алгоритмов формирования индекса Хирша и его модификаций // Управление наукой и наукометрия. 2020. Т. 15, № 3. С. 307–331. DOI 10.33873/2686-6706.2020.15-3.307-331

3. Egghe L. Theory and practice of the g-index // Scientometrics. 2006. Vol. 69. P. 131–152. DOI 10.1007/s11192-006-0144-7

4. Михайлов О.В. Новая версия индекса Хирша – j-индекс // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 6. С. 532–535. DOI 10.7868/S0869587314060085

5. Герасименко П.В. Модификация h-индекса Хирша // Вестник Приднестровского государственного университета. Серия: Физико-математические науки. 2019. № 3. С. 52–54.

6. Герасименко П.В. Моделирование показателей результатов творческой деятельности ученого по его публикациям и их цитированиям // Автоматика на транспорте. 2019. Том 5, № 4. С. 493–504. DOI 10.20295/2412-9186-2019-5-4-493-504

7. Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В. Новый подход к расчёту показателей деятельности ученых // Автоматика на транспорте. 2019. Том 5, № 4. С. 505–514. DOI 10.20295/2412-9186-2019-5-4-505-514

8. Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В. «Настраиваемый» индекс оценки деятельности ученого // Социология науки и технологий. 2020. Т. 11. № 2. С. 194–210. DOI 10.24411/2079-0910-2020-12011

9. Петров А.Н. Новый показатель оценки научно-публикационной эффективности на основе наукометрических параметров базы РИНЦ // Социология науки и технологий. 2019. Т. 10, № 4. С. 176–192. DOI 10.24411/2079-0910-2019-14010

10. Герасименко П.В. Модификация индекса Хирша для дифференцированной оценки результатов творческой деятельности ученых // Управление наукой и наукометрия. 2020. Том 15, № 1. С. 55–71. DOI 10.33873/2686-6706.2020.15-1.55-71

Поступила в редакцию 30.04.2021 г.



EVALUATION OF MODIFIED HIRSCH INDEX ALGORITHMS FOR UNAMBIGUITY

© 2021 P.V. Gerasimenko*

The problem of finding a better algorithm for assessing the creative activity of scientists instead of the Hirsch index has been actively discussed in Russian and foreign scientific literature since its development. So far, a large number of modifications have been proposed to mitigate one or another deficiency in the Hirsch index. However, the importance of the Hirsch index algorithm is preserved as it makes it possible to univocally reduce the selected part of the information (set of numbers of author's publications and citations) to one number. In other words, the value of Hirsch's algorithm in its unambiguity, i.e. the coincidence of the two authors' indices only in case of coincidence of the publication array and the same citation array. The purpose of the work is to show the existence of variable modified index numbers among algorithms and to justify the need to use them to a limited extent due to possible risks of poor-quality assessments in ranking scientists according to their creative work.

Keywords: index, citation, research, scientist, creative activity, vector components, Euclidean norm, square, rating.

Received for publication on April 30, 2021

* Gerasimenko Petr Vasilievich (pv39@mail.ru) - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematics and Modeling, St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (St. Petersburg, Russia), ORCID 0000-0002-7546-661X.

**ИТЕРАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ
НАСТРАИВАЕМЫХ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ УЧЕТА ПОЛНОГО МНОЖЕСТВА ЦИТИРОВАНИЙ РАБОТ УЧЕНОГО**

© 2021 Д.В. Ефанов, В.В. Сапожников*

Описывается итерационный принцип формирования наукометрических показателей, позволяющий учесть полное множество цитирований всех работ ученого. Данный принцип позволяет получать индексы цитирования с простой и понятной геометрической интерпретацией, а сами индексы выражаются в виде единственного числа, что удобно с позиции сравнения показателей различных ученых и формирования рейтингов. Показано, что эффективным является использование итерационного принципа формирования индекса цитируемости, при котором осуществляется выделение некоторого количества первых работ в ранжированном в порядке невозрастания числа цитирований перечне работ ученого, усреднение числа цитирований, исключение из рассмотрения этих работ и повторение всех процедур с заданным способом выделения первых работ на каждом шаге итерации. Способ выделения первых работ связан с определением основания цепи промежуточных показателей, которые в дальнейшем суммируются. В качестве основания может выбираться любое число, большее или равное числу h , которое определяет значение индекса Хирша на каждом подмножестве работ ученого. Предложено семейство «настраиваемых» индексов, для которых основание выбирается в виде числа ah , где a – заранее установленное натуральное число. Итерационный способ формирования индекса цитирования позволяет осуществлять «настройку» индекса и, при необходимости, не учитывать малоцитируемые работы или учитывать только определенный процент цитирований от общего их количества. Это может быть актуальным для конкретных предметных областей науки и конкретных научных или образовательных организаций.

Ключевые слова: оценка деятельности ученых; наукометрические показатели; учет числа цитирований; индекс Хирша; цепь Хирша; основание Хирша; итерационный принцип подсчета индекса цитирования; «настройка» индекса.

Введение

В научных кругах весьма популярной в последние годы является оценка деятельности ученых по различным показателям, позволяющая определить значимость вклада того или иного автора в развитие соответствующей предметной области [1-3]. Этому способствует и тотальная компьюте-

ризация общества, позволяющая создавать и использовать различные базы данных, в которые индексируются труды ученых. Это могут быть репозитории отдельных университетов, базы данных отдельных регионов и стран (например, база данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)), базы данных с мировым охватом (напри-

* Ефанов Дмитрий Викторович (TrES-4b@yandex.ru) – доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ); Сапожников Валерий Владимирович (port.at.pgups@gmail.com) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.



мер, Web of Science (США) и Scopus (ЕС)), общие базы данных и базы данных отдельных направлений в науке и т.д.

Данные накапливаются, что позволяет оценивать деятельность ученых на текущий момент времени с использованием различных показателей. Естественным показателем является число опубликованных работ Q . Однако такой показатель удобно рассматривать в контексте популярности среди исследователей и читателей. Поэтому часто пользуются показателем числа цитирований каждой работы q_i , $i = \overline{1, Q}$ – показатель n_i , а также общим числом цитирований работ ученого – числом $N = \sum_{i=1}^Q n_i$. Так как работы могут быть опубликованы в различных по уровню и значимости изданиях, вводятся показатели, которые позволяют ранжировать публикации, учитывать вклад соавторов, уровень издания, конкретную тематику научных работ и т.д. [4-10].

Широко применяются показатели, которые позволяют среди всего множества работ ученого в каждой конкретной базе данных выделить наиболее популярные из них [11-12]. Такая оценка учитывает одновременно и число цитирований каждой из работ и их количество. При этом, однако, наименее популярные работы ученого «отсекаются». К таковым относятся, например, индексы Хирша, Эгге, Михайлова [13].

Индекс Хирша (h -индекс) предложен профессором физики Калифорнийского университета в Сан-Диего Хорхе Хиршем в 2005 году [14] и является наиболее популярным среди подобных индексов. Ученый имеет h -индекс, равный h , в том случае, если h его работ процитированы не менее чем h раз, а остальные $Q-h$ работ цитируются не более чем h раз. Индекс Хирша имеет и достоинства и недостатки, отмеченные как его автором в своей первой работе и в последующих, так и в публикациях других ученых, развивавших и развивающих идею Хирша [11-13, 15]. К примеру, индекс

Хирша учитывает число наиболее цитируемых публикаций ученого, но никак не учитывает те работы, которые оказываются за пределами первых h работ.

Индекс Эгге (g -индекс) введен в 2006 году Лео Эгге [16]. Формируется он похожим образом. Только выделяются первые g работ ученого, которые процитированы в совокупности не менее чем g^2 раз. Полученное число как раз и является g -индексом. Индекс Эгге нивелирует другой важный недостаток h -индекса, связанный с недостатком полным учетом наиболее популярных работ ученого. По аналогии с индексом Хирша может быть введен модифицированный индекс Эгге (g^* -индекс), определяемый следующим образом: g работ ученого, должны быть процитированы каждая не менее чем g^2 раз [13].

Индекс Эгге для ряда научных отраслей оказывается весьма низким даже для ведущих ученых. Кроме того, для большого числа ученых он может оказаться одинаковым при совершенно различном вкладе в одну и ту же предметную область (это, к слову, касается и h -индекса). О.В. Михайловым предложена модификация g -индекса – j -индекс (индекс Михайлова) [13]. Ученый имеет j -индекс, равный j , в том случае, если j работ ученого процитированы в совокупности не менее чем $j^{3/2}$ раз, а остальные $Q-j$ работ цитируются не более чем $j^{3/2}$ раз. Автор j -индекса предлагает определять целое снизу от получаемой величины. Введем в рассмотрение модифицированный индекс Михайлова (j^* -индекс), определяемый исходя из следующих соображений: ученый имеет j^* -индекс, равный j^* , если j^* работ ученого, должны быть процитированы каждая не менее чем $j^{*3/2}$ раз. Будем рассматривать целое сверху от вычисляемого значения, поскольку величина $j^{3/2}$ показывает только границу «отсечения» учитываемых цитирований.

К сожалению, с выделением наиболее популярных работ ученых возникает другая проблема. К примеру, считается, что успеш-

ным является ученый, имеющий значение h -индекса не менее значения $h=10$. h -индекс является и показателем, который учитывают в работе диссертационных советов в РФ. Однако за «границами» данного показателя зачастую остается подавляющее число цитирований работ ученого (это может быть и половина цитирований и даже больше [17]). Как будто, ученый и не писал всех своих работ. Часто можно услышать противоположное мнение о том, что в этом как раз и плюс h -индекса. Но этот индекс постоянно меняется и рассматривается в текущий момент времени. Что можно сказать тогда про только что опубликованную работу или относительно «свежую» прорывную для отрасли работу? Она никак не будет учитываться, если ученый уже имеет хороший бэкграунд.

В своих предыдущих работах [17, 18] мы предложили w -индекс, учитывающий полное множество цитирований всех работ ученого. По нашему мнению, такой подход более рационален в выборе способа оценки ученого. В особенности, он мог быть полезен внутри отдельных заведений, где производятся поощрения сотрудников в зависимости от проделанной годовой работы по отношению друг к другу.

В настоящей статье развивается предложенная нами ранее идея построения w -индекса и предлагается читателю ознакомиться со способами формирования семейств w -индексов с различными способами формирования и «настройки».

Итерационный способ формирования индекса цитирования

Рассматриваемый индекс является итерационным показателем и формируется по следующим правилам:

1. Работы ученого ранжируются в порядке невозрастания числа их цитирований.
2. Полагается $i=1$.
3. Определяется индекс Хирша ученого и число $h_i=h$.

4. Подсчитывается среднее число цитирований первых $h_i=h_1$ работ:

$$w^i = \frac{s_i}{h_i}, \quad (1)$$

где s_i – общее число цитирований h_i работ.

5. Запоминается число w^i , а первые h_i работ исключаются из рассмотрения и удаляются из множества работ и цитирований.

6. Рассматривается следующая итерация при $i:=i+1$.

7. Проверяется наличие работ в списке с цитированием больше 0. Если они есть, то повторяются пункты 3 – 6 алгоритма. Если нет, то переходят к пункту 8.

8. Подсчитывается сумма полученных показателей w^i :

$$w = \sum_{i=1}^{i=k} w^i, \quad (2)$$

где k – количество итераций подсчета суммы до того, как «очередной» квадрат Хирша не будет иметь нулевую сторону ($h_i \neq 0$).

Приведем пример подсчета w -индекса на исходных данных, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные к примеру

Номера работ в ранжированном списке															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Число цитирований каждой работы															
16	15	15	14	13	12	10	9	8	8	8	7	7	6	6	6
Номера работ в ранжированном списке															
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Число цитирований каждой работы															
5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	2	2	1	1	0

Применяя приведенный выше алгоритм и выполняя п. 8, получаем:

$$w^1 = \frac{s_1}{h_1} = \frac{16+15+15+14+13+12+10+9}{8} = \frac{104}{8} = 13.$$

После удаления первых $h_1=8$ научных работ получаем табл. 2.

Индекс Хирша по данным табл. 2 равен $h_2=6$. Таким образом, имеем:



$$w^2 = \frac{s_2}{h_2} = \frac{8+8+8+7+7+6}{6} = \frac{44}{6} = 7,333.$$

Таблица 2. Ранжированные работы после удаления первых $h_1=8$ научных работ

Номера работ в ранжированном списке											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число цитирований каждой работы											
8	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5
Номера работ в ранжированном списке											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Число цитирований каждой работы											
4	4	3	3	3	3	3	2	2	1	1	0

Удаляем первые $h_2=6$ научных работ ученого, что дает новый список работ, для которого повторяются указанные действия, что дает такой ряд промежуточных значений:

$$w^3 = \frac{s_3}{h_3} = \frac{27}{5} = 5,4, \quad w^4 = \frac{s_4}{h_4} = \frac{13}{3} = 4,333,$$

$$w^5 = \frac{s_5}{h_5} = \frac{9}{3} = 3,$$

$$w^6 = \frac{s_6}{h_6} = \frac{6}{2} = 3, \quad w^7 = \frac{s_7}{h_7} = \frac{4}{2} = 2,$$

$$w^8 = \frac{s_8}{h_8} = \frac{1}{1} = 1, \quad w^9 = \frac{s_9}{h_9} = \frac{1}{1} = 1.$$

Суммируя полученные значения, получаем итоговое значение w -индекса:

$$w = w^1 + w^2 + \dots + w^8 + w^9 = 40,066.$$

На рис. 1 представлена геометрическая интерпретация w -индекса на данных описанного примера. Серым фоном выделены «квадраты Хирша», получаемые на каждом этапе итерации. Если бы мы определяли только h -индекс, то мы бы учли бы только 64 цитирования первых 8 работ ученого (из 209 цитирований) – примерно 20% от общего числа цитирований. w -индекс позволил учесть все 100% цитирований всех работ ученого.

w -индекс связан, фактически, с формированием *цепи квадратов Хирша (цепи Хирша)*. Число итераций алгоритма формирования w -индекса назовем *длиной цепи Хирша* и обозначим как k .

Введенный w -индекс более полно учитывает все множество работ ученого. Примеры, демонстрирующие его преимущества перед известными показателями, даны в [17, 18]. Отметим, что основным недостатком w -индекса является то, что при большом числе малоцитируемых работ вклад в значение w -индекса данных работ может оказаться весьма существенным. Поэтому ученый, имеющий большее значение общего числа цитирований, чем другой ученый, оказывается по критерию w -индекса в более проигрышной позиции.

В табл. 3, например, приводятся результаты экспериментов с выборкой данных из

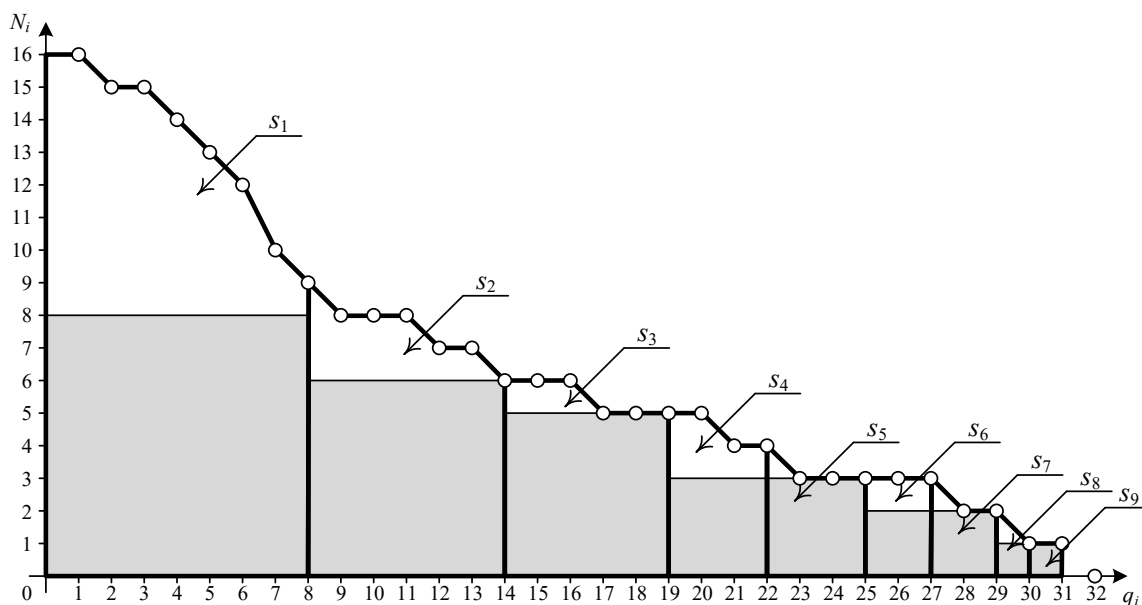


Рис. 1. Геометрическая интерпретация w -индекса

Таблица 3. *w*-индексы для рассмотренных ученых

Позиция при ранжировании по <i>h</i> -индексу	Ученый	<i>Q</i>	<i>Q</i> ⁺	<i>Q</i> ⁺ / <i>Q</i> × 100%	<i>N</i>	<i>h</i> -индекс	<i>w</i> -индекс
1	A	377	329	87,268	15246	58	509,996
2	B	396	240	60,606	6415	51	309,878
3	C	535	301	56,262	4785	45	352,828
4	D	491	387	78,819	8093	42	470,121
5	E	160	140	87,5	5567	41	222,192
6	F	295	194	65,763	2846	38	214,541
7	G	581	364	62,651	4332	37	400,588
8	H	676	488	72,189	4174	35	508,633
9	I	246	108	43,902	1817	35	126,148
10	J	336	198	58,929	2320	34	212,166
11	K	401	252	62,843	6025	33	380,547
12	L	386	268	69,43	3020	33	302,965
13	M	276	244	88,406	5284	32	340,489
14	N	366	306	83,607	4170	32	332,622
15	O	146	70	47,945	1527	32	88,414

РИНЦ. Выборка была сделана 25.09.2019 года по 15-ти ученым, работающим в области автоматике и вычислительной техники (50.00.00 – Автоматика. Вычислительная техника). Для каждого ученого были зафиксированы показатели цитируемости по каждой из представленных работ. Более «свежая» выборка не производилась, так как все расчеты выполнялись для различных индексов и было важно сохранить неизменными

исходные данные к расчетам. Например, в опубликованной ранее авторами работе [18] присутствуют экспериментальные результаты по данной выборке и можно провести корректное сравнение результатов.

В таблице 3 приведены рассчитанные данные для первых 15-ти ученых, ранжированных по *h*-индексу.

Более полный учет деятельности ученых позволил изменить их позиции в рей-

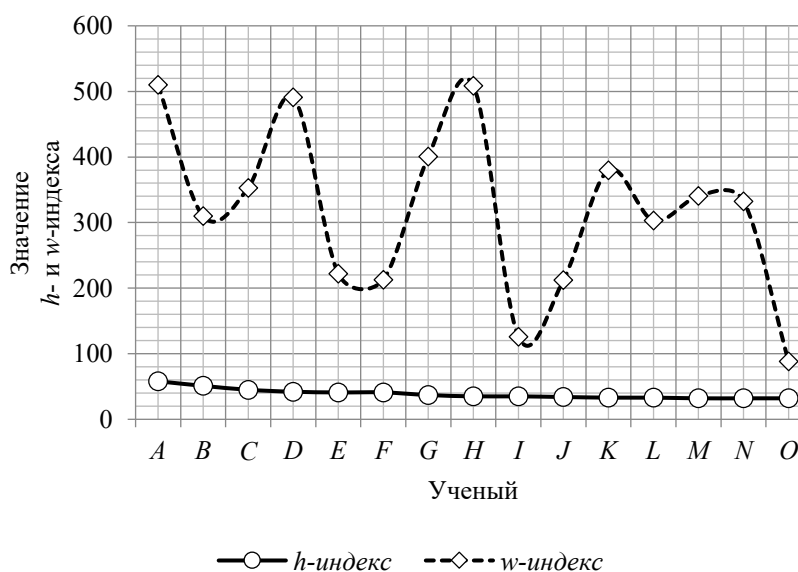


Рис. 2. Позиции ученых в рейтингах по *h*- и *w*-индексам

тинге и указать более обоснованные позиции. К пример, ученый H имеет 676 публикаций (Q), среди которых процитированы хотя бы раз 488 работ (Q^{1+}), его индекс Хирша равен $h=35$. Аналогичный индекс Хирша имеет ученый I с числом публикаций 246, среди которых процитированы хотя бы единожды 108 работ. В обновленном рейтинге значения w -индекса для данных ученых существенно разнятся: 508,633 и 126,148, что более справедливо. Индекс Хирша для большого числа ученых совпадает, тогда как w -индекс может совпасть только в очень редких случаях и всегда позволяет ранжировать ученых.

На рис. 2 представлены два рейтинга ученых по h -индексу и w -индексу. Позиции ученых изменились, однако при этом учтены все цитирования всех работ, а не только h^2 цитирований первых работ.

Изменение основания цепи при формировании индекса

Исследования показывают, что при вычислении w -индекса может использоваться тот же итерационный принцип, однако операции должны производиться не с величинами h , а с другими значениями.

Введем в рассмотрение $w(\beta)$ -индекс, где β – основание цепи. Например, при $\beta=h$

получаем w -индекс. В качестве числа β может использоваться любое число, большее или равное числу h . Если основание $\beta > h$, то на каждом цикле алгоритма формируется не квадрат, а прямоугольник, и в итоге, строится цепь прямоугольников. В [19] рассмотрены случаи, когда в качестве основания β выбраны сначала числа g^* и j^* . Что дало формирование двух новых индексов цитирования.

На рис. 3 приведен график изменения значений $w(\beta)$ -индексов с различными основаниями на каждом шаге итерации для примера из табл. 1. Следует отметить, что представленные закономерности в длинах цепей с каждым из оснований, а также в значениях $w(\beta)$ -индексов являются общими и присущи подавляющему большинству статистических рядов из цитирований работ реальных ученых, что проверено в эксперименте с большим числом выборок для ученых из различных предметных областей.

В табл. 4 приведены результаты подсчетов для экспериментальных данных из базы РИНЦ. Следует отметить тот факт, что при использовании различных оснований в процессе подсчета $w(\beta)$ -индекса характер изменения позиций в рейтинге сохраняется (рис. 4). По величине для одного ученого $w(h)$ -индекс будет иметь всегда меньшее

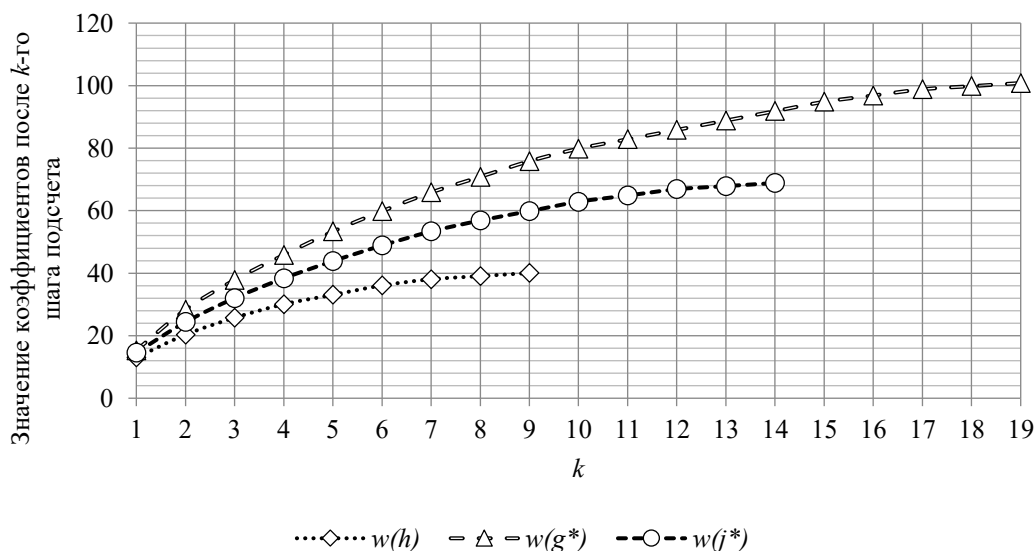


Рис. 3. Рост значений $w(\beta)$ -индексов на каждой итерации подсчета

Таблица 4. $w(\beta)$ -индексы для рассмотренных ученых

Позиция при ранжировании по h -индексу	Ученый	Q	N	h	j	g	$w(h)$	$w(j)$	$w(g)$
1	A	329	15246	58	28	16	509,996	1117,957	1841,744
2	B	240	6415	51	21	11	309,88	642,52	1074,976
3	C	301	4791	45	19	10	352,828	682,668	1030,401
4	D	387	8105	42	18	10	491,12	1027,014	1580,698
5	E	140	5579	41	17	10	222,192	524,398	859,386
6	F	194	2846	41	12	6	212,866	459,776	721,017
7	G	364	4332	37	14	7	400,589	790,199	1184,658
8	H	488	4228	35	12	7	508,634	999,461	1279,456
9	I	108	1817	35	12	7	126,147	270,167	412,124
10	J	198	2358	34	11	6	212,166	437,275	683,203
11	K	252	6024	33	17	11	379,921	718,701	1066,92
12	L	268	3020	33	13	7	302,965	591,535	873,281
13	M	244	5284	32	17	10	340,489	680,175	1068,975
14	N	306	4170	32	12	7	332,622	762,167	1190,751
15	O	70	1527	32	12	7	88,414	198,919	320,29

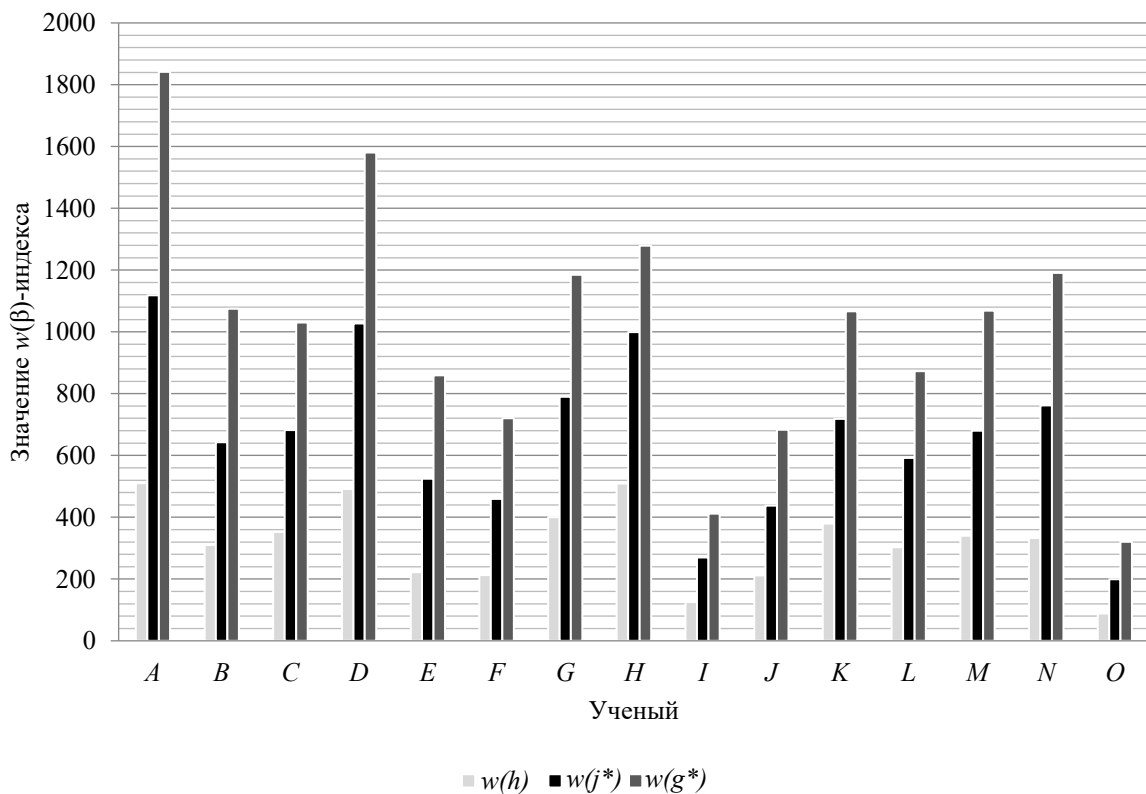


Рис. 4. Позиции ученых в рейтингах по $w(\beta)$ -индексам



значение, чем $w(j^*)$ -индекс и $w(g^*)$ -индекс; последний имеет самую большую величину среди трех показателей.

«Настраиваемый» индекс цитирования на основе итерационного способа формирования

Вернемся к основному недостатку $w(\beta)$ -индексов – большому влиянию малоцитируемых работ на значение итоговой суммы. Точнее этот фактор можно отметить, как более близкое значение усреднения к числу цитирований работ в итерации с малым значением основания. С целью уменьшения этого влияния могут быть использованы различные «настройки» $w(\beta)$ -индексов, связанные с ограничением числа итераций при подсчете суммарного значения w или же с выбором в качестве оснований чисел $\alpha = a\beta$, где a – произвольное целое число. Ограничение числа итераций дает возможность учитывать только первые k итерации или же, вообще, отбрасывать те работы, которые процитированы определенное число раз. Аналогично способ, связанный с выбором числа α , нацело делящимся на β , дает возможность «отбрасывания» малоцитируемых работ. К примеру, пусть $\beta = h$, а $\alpha = 2h$, тогда на каждой итерации будут выделяться

прямоугольники размером $h \times 2h$, и в случае $h=1$ нельзя будет выделить прямоугольники для цитируемых единожды работ.

Таким образом, «настройка» индекса цитирования осуществляется выбором числа a . В случае если $a=1$, мы учтем все цитирования всех работ; при $a=2$ – отбросим все работы с числом цитирований, меньшим двух; в случае $a=3$ – не будем рассматривать работы, цитируемые менее трех раз и т.д.

Пользуясь приведенным ранее алгоритмом, подсчитаем два новых индекса – $w(2h)$ -индекс и $w(3h)$ -индекс. Опуская цепочки подсчетов (они, к слову, легко автоматизируются), представим только геометрические интерпретации данных индексов (рис. 5 и рис. 6), а также финальные значения показателей: $w(2h)=69,25$ и $w(3h)=105,167$.

В табл. 5 приводятся данные анализа показателей цитируемости рассмотренных ранее ученых с «настраиваемыми» $w(\beta)$ -индексами. Следует отметить, что для многих ученых позиции в рейтингах практически не изменились. При этом, за счет уменьшения основания цепи $w(2h)$ -индекс и $w(3h)$ -индекс имеют большие значения длин цепей, чем $w(h)$ -индекс, что соответ-

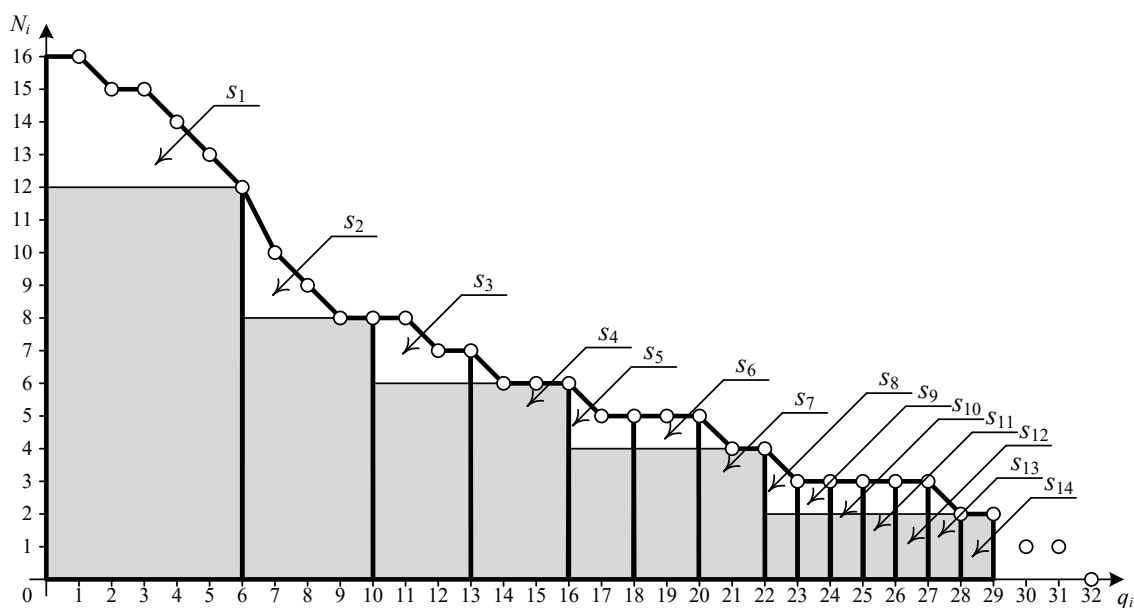


Рис. 5. Геометрическая интерпретация $w(2h)$ -индекса

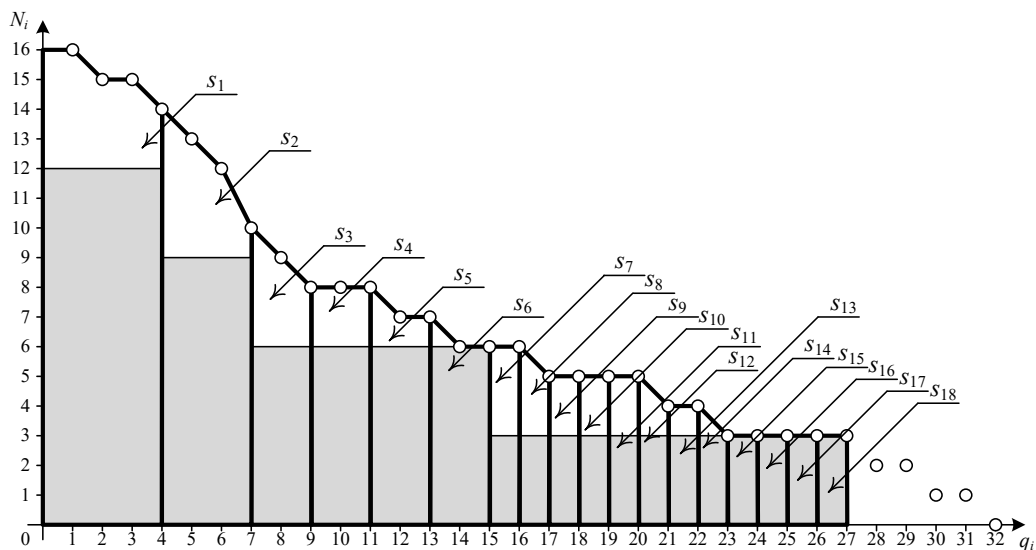


Рис. 6. Геометрическая интерпретация $w(3h)$ -индекса

Таблица 5. $w(\beta)$ -индексы для рассмотренных ученых при $\beta=h, 2h, 3h$

Ученый	Значения показателей			Позиции в рейтинге		
	$w(h)$	$w(2h)$	$w(3h)$	$w(h)$	$w(2h)$	$w(3h)$
A	509,996	790,394	1044,775	1	2	2
B	309,88	488,516	568,716	9	10	10
C	352,828	549,539	633,619	6	8	8
D	491,12	788,732	1020,577	3	3	3
E	222,192	365,689	477,148	11	12	12
F	212,866	371,204	491,399	12	11	11
G	400,589	581,967	754,454	4	5	6
H	508,634	884,422	1095,271	2	1	1
I	126,147	189,973	238,128	14	14	14
J	212,166	306,258	451,124	13	13	13
K	379,921	569,18	716,279	5	6	7
L	302,965	493,667	581,804	10	9	9
M	340,489	566,93	760,563	7	7	5
N	332,622	623,821	909,81	8	4	4
O	88,414	150,395	200,229	15	15	15

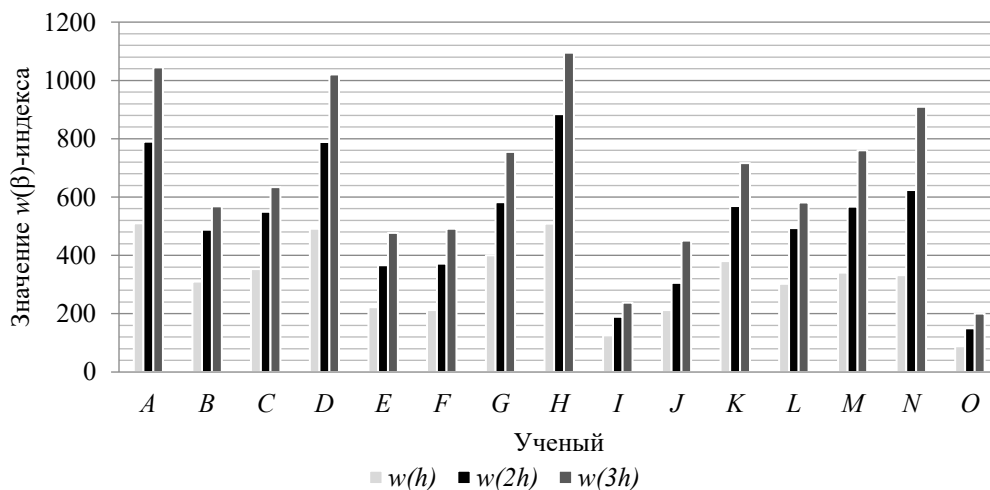


Рис. 7. Рейтинги ученых по «настраиваемым» $w(\beta)$ -индексам



ственно, дает и большее значение самого показателя (сравните рис. 1, 5 и 6). На рис. 7 приведена диаграмма, показывающая наглядно изменения в значениях рассмотренных показателей.

Сравнивая рассмотренные «настраиваемые» индексы, например, с аналогичными индексами из работы [18], отмечаем следующие весомые различия. Во-первых, «настраиваемые» индексы в настоящей работе получают за счет изменения основания цепи и дают меньшее усреднение на каждой итерации, чем для ранее опубликованного способа «настройки». Во-вторых, известные ранее «настраиваемые» индексы формировались за счет удаления «последних» квадратов Хирша, а в предложенном способе прямоугольнику $h \times ah$ просто не формируются. Такой способ позволяет осуществить «настройку» более точно.

Заключение

В наукометрии известно большое количество показателей, позволяющих оценивать вклад ученых в ту или иную предметную область науки. При этом наиболее «прижившимися» и широко применяемыми оказываются показатели, позволяющие характеризовать деятельность ученого одним числом. Например, к таким показателям относится известный индекс Хирша. Все эти показатели имеют свои достоинства и недостатки и позволяют давать оценку деятельности ученого на текущий момент времени, не учитывая вновь вышедшие работы автора.

Предложенный в статье подход к формированию $w(\beta)$ -индекса позволяет учитывать как полное множество цитирований всех работ ученого, так и производить «настройку», связанную с отсутствием учета малоцитируемых работ. «Настройка» осуществляется просто – выбором значения основания.

Использование $w(\beta)$ -индекса может быть оправдано не только простотой его формирования, но и тем, что существуют

различные отрасли науки, в некоторых из них число малоцитируемых работ весомо, в некоторых – нет. К примеру, сравните область автоматизации и вычислительной техники, где количество ученых существенно ниже, чем в таких областях, как биология и физика. В последних малоцитируемые работы могут, вообще, не рассматриваться, так как весомого вклада не дают. Однако то, как необходимо «настраивать» индекс в конкретной области наук является и предметом более детальных исследований и предметом дискуссий.

Следует отметить, что принципы формирования w -индекса и его различных модификаций могут быть использованы и совместно с иными способами оценки деятельности ученых, такими как учет соавторов, уровня периодического издания и пр.

Новый принцип формирования наукометрического показателя, основанного на учете цитируемости работ ученого, позволяет дополнить известные показатели и в некотором смысле даже заменить их.

Библиографический список

1. Ball P. Index Aims for Fair Ranking of Scientists // Nature. – 2005. – Vol. 436. – P. 900. doi.org/10.1038/436900a.
2. Михайлов О.В. Цитирование и цитируемость в науке. – М.: ЛЕНАНД, 2017, 208 с.
3. Орлов А.И. Число цитирований – ключевой показатель результативности в фундаментальной науке // В сборнике: Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук. - 2018. - С. 861-867.
4. Jones T., Huggett S., Kamalski J. Finding a Way through the Scientific Literature: Indexes and Measures // World Neurosurgery. – 2011. – Vol. 76. – Issue 1-2. – Pp. 36-38. doi.org/10.1016/j.wneu.2011.01.015.
5. Михайлов О.В. О возможной модификации индексов Хирша и Эгга с учетом соавторства // Социология науки и технологий. – 2014. – Том 5. – №3. – С. 48-56.
6. Марвин С.В. Альтернативная дробная модификация индекса Хирша, учитывающая количество авторов цитируемых статей // Управ-

- ление большими системами. – 2015. – №56. – С. 108-122.
7. Марвин С.В. Нормированная доленая цитируемость как универсальная характеристика научной публикации // Социология науки и технологий. – 2016. – №1. – С. 95-108.
8. Raheel M., Ayaz S., Afzal M.T. Evaluation of h-index, its variants and extensions based on publication age & citation intensity in civil engineering // Scientometrics. – 2018. – Vol. 114. – Issue 3. – Pp. 1107-1127. DOI: 10.1007/s11192-017-2633-2.
9. Leydesdorff L., Bornmann L., Opthof T. h_a: the Scientist as Chimpanzee or Bonobo // Scientometrics. – 2019. – Vol. 118. – Pp. 1163-1166. DOI: 10.1007/s11192-018-2994-1.
10. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output That Takes into Account the Effect of Multiple Coauthorship // Scientometrics. – 2010. – Vol. 85. – Issue 3. – Pp. 741-754. DOI: 10.1007/s11192-010-0193-9.
11. Цыганов А.В. Краткое описание наукометрических показателей, основанных на цитируемости // Управление большими системами. – 2013. – №44. – С. 248-261.
12. Штовба С.Д., Штовба Е.В. Обзор наукометрических показателей для оценки публикационной деятельности ученого // Управление большими системами. – 2013. – №44. – С. 262-278.
13. Михайлов О.В. Новая версия индекса Хирша – j-индекс // Вестник Российской Академии наук. – 2014. – Том 84. – № 6. – С. 532-535. DOI: 10.7868/S0869587314060085.
14. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output // Proceedings of National Academy of Sciences of the USA. – 2005. – Vol. 102. – Issue 46. – Pp. 16569-16572. DOI: 10.1073/pnas.0507655102.
15. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Leadership // Scientometrics. – 2019. – Vol. 118. – Issue 1. – Pp. 673-686. DOI: 10.1007/s11192-018-2994-1.
16. Egghe L. Theory and Practice of the g-Index // Scientometrics. – 2006. – Vol. 69. – Pp. 131-152.
17. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Новый подход к расчету показателей деятельности ученых // Автоматика на транспорте. – 2019. – Том 5. – №4. – С. 505-514. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-505-514.
18. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. «Настраиваемый» индекс оценки деятельности ученого // Социология науки и технологий. – 2020. – Том 11. – №2. – С. 194-210. DOI: 10.24411/2079-0910-2020-12009.
19. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Обобщенный индекс цитирования // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – №8. – С. 42-45.

Поступила в редакцию 06.04.2021 г.



ITERATIVE APPROACH TO THE FORMATION OF ADJUSTABLE SCIENTIFIC METRICS BASED ON THE CONSIDERATION OF THE COMPLETE SET OF THE SCIENTIST'S WORK CITATIONS

© 2021 D.V. Efanov, V.V. Sapozhnikov*

The article describes the iterative principle of the scientometric indicators' formation. This principle allows considering the full set of citations of all the scientist's works. It makes possible to obtain citation indices with a simple and understandable geometric interpretation. The indices are expressed as a single number, which is convenient from the point of comparison of different scientists and formation of ratings. It is shown that the iterative principle is efficient, whereby a certain number of first jobs are allocated not in the increasing order of the citations number of the scientist's works, citation number is averaged, these works are excluded from consideration and all procedures are repeated with a given way to select the first work at each iteration step. The method for separating the first work involves determining the chain base of intermediate indicators that are subsequently summed. Any number larger than or equal to h may be chosen as a basis. This number defines the Hirsch index value on each subset of the scientist's work. The family of "adjustable" indices is proposed. The base for these indices is selected as ah number, where a is a set natural number. The iterative approach makes it possible to make an index "setting" and, if necessary, not to count low citation works or to count only a certain percentage of citations. This may be relevant for specific science subject areas and specific scientific or educational organizations.

Keywords: evaluation of the scientists' activity, scientometric indicators, counting number of citations, Hirsch index, Hirsch chain, Hirsch base, iterative approach to the Hirsch index calculation, index «setting».

Received for publication on April 06, 2021

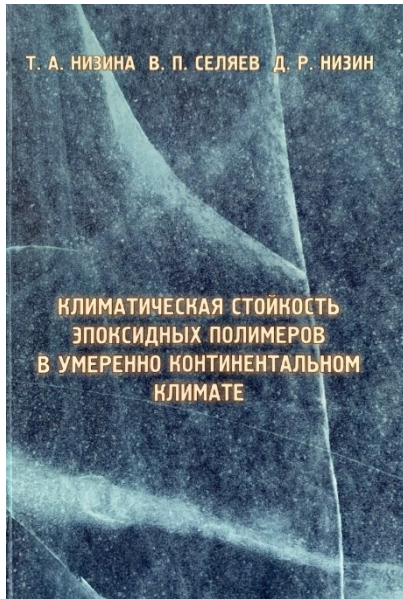
* Efanov Dmitry Viktorovich (TrES-4b@yandex.ru) - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Higher School of Transport of the Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Professor of the Department of Automation, Remote Control and Communication in Railway Transport of Russian University of Transport; Sapozhnikov Valery Vladimirovich (port.at.pgups@gmail.com) - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Remote Control on Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

РЕЦЕНЗИИ

УДК 624.012.45(075.8)

РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ
«КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ
В УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОМ КЛИМАТЕ»
(АВТОРЫ – НИЗИНА Т.А., СЕЛЯЕВ В.П., НИЗИН Д.Р.)

© 2021 Ю.А. Соколова*



Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография / Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – 188 с. ISBN 978-5-7103-4081-3

Известно, что одной из наиболее эффективной защитой строительных изделий и конструкций от воздействия агрессивных факторов, в том числе натуральных, является нанесение на их поверхность защитно-декоративных покрытий на основе полимерных связующих. Широкое распространение в качестве полимерных связующих получили эпоксидные смеси, композиты на основе которых обладают комплексом повышенных физико-механических и адгезионных характеристик. При этом их климатическая стойкость недостаточно высока, что требует проведения дополнительных исследований, особенно для составов, разрабатываемых на основе новых марок смол и отвердителей.

В представленной для рецензирования монографии приведены результаты комплексных испытаний эпоксидных полимеров, экспонированных в умеренно континентальном климате. Произведена количественная оценка изменения упруго-прочностных и колориметрических показателей модифицированных эпоксидных полимеров в процессе старения в условиях воздействия умеренно континентального климата. Выявлено влияние сезонности на климатическую стойкость модифицированных эпоксидных полимеров. Проведен анализ изменения основных метеорологических показателей в зависимости от года, сезона, месяца и времени суток. Полученные результаты, посвященные анализу стойкости полимер-

* Соколова Юлия Андреевна – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, Московский государственный строительный университет (РФ, Москва).



ных композитов на основе эпоксидных связующих в условиях умеренно континентального климата, могут быть полезны научным работникам, работающим в области оценки климатической стойкости и долговечности полимеров и в других климатических зонах.

Интересные данные получены авторским коллективом при анализе кривых деформирования образцов эпоксидных полимеров с помощью методов фрактального анализа. На основе предложенного подхода произведена количественная оценка влияния длительности и интенсивности

натурных климатических факторов на процесс разрушения полимерных материалов на основе эпоксидных связующих.

Считаю, что монография Низиной Т.А., Селяева В.П., Низина Д.Р. «Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате» является актуальной научной работой, будет полезна научно-техническим работникам, аспирантам и студентам технических и строительных вузов, и должна быть рекомендована к изданию.

Поступила в редакцию 02.04.2021 г.

REVIEW OF THE MONOGRAPHY
“CLIMATIC PERSISTENCE OF EPOXY POLYMERS IN A TEMPERATE CONTINENTAL CLIMATE”
(AUTHORS: T.A.NIZINA, V.P. SELYAEV, D.R. NIZIN)

© 2021 Yu.A. Sokolova*

It is well known that one of the most effective protection of construction products and structures in case of aggressive factors, including natural ones, is the application of protective and decorative coatings based on polymer binders. Epoxy mixtures are widely used as polymer binders. The composites on their basis have a complex of increased physical-mechanical and adhesive characteristics. However, their climate resilience is not high enough. That is why, further research is required, especially for formulations based on new resin and hardener brands.

The reviewed monography presents the results of complex tests of epoxy polymers exposed in the temperate continental climate. The change in the elastic strength and colorimetric properties of modified epoxy polymers during aging in temperate continental climate has been quantified. The authors have demonstrated the seasonality effects of modified epoxy polymers on climatic persistence. The analysis of the changes in the main meteorological indicators has been carried out. The obtained results could be useful to researchers working in the assessment of climate and durability of polymers.

The author's team has obtained interesting data during the analysis of deformation curves of epoxy polymers samples with the help of fractal analysis methods. On the basis of the proposed approach, the authors quantified the influence of the duration and intensity of natural climatic factors on the process of destruction of polymer materials based on epoxy binders.

I think that T.A. Nizina, V.P. Selyaev, D.R. Nizin's monography "Climatic Persistence of Epoxy Polymers in a Temperate Continental Climate" is an up-to-date scientific work. It will be useful for scientific and technical staff, post-graduate students, and students of technical and building universities. The monography should be recommended for publication.

Received for publication on April 2, 2021

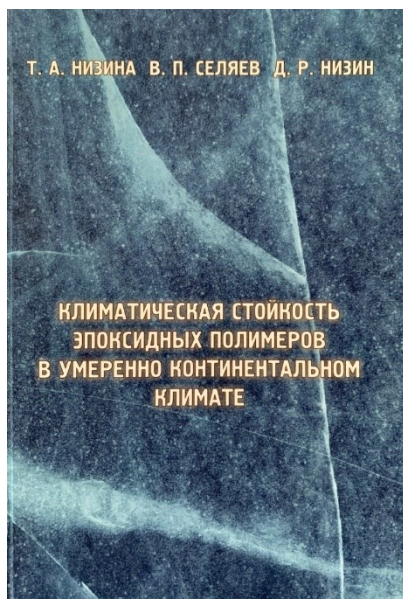
* Sokolova Yulia Andreevna - Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Russia, Moscow).



УДК 624.012.45(075.8)

РЕЦЕНЗИЯ
НА МОНОГРАФИЮ НИЗИНОЙ Т.А., СЕЛЯЕВА В.П., НИЗИНА Д.Р.
«КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ
В УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОМ КЛИМАТЕ»

© 2021 В.О. Старцев*



Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография / Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – 188 с. ISBN 978-5-7103-4081-3

Несомненно, что задача обеспечения надежной эксплуатации строительных изделий и конструкций, подвергаемых натурному климатическому старению, не теряет своей актуальности. Для защиты бетонных и железобетонных конструкций от действия разнообразных агрессивных факторов наиболее эффективной защитой является нанесение на их поверхность защитно-декоративных покрытий на основе полимерных связующих. Широкое распространение в данном качестве получили эпоксидные полимеры, отличающиеся комплексом высоких физико-механических и адгезионных характеристик. При этом их климатическая стойкость недостаточно высока, что требует

проведения дополнительных исследований, особенно для составов, разрабатываемых на основе новых марок смол и отвердителей.

В представленной монографии приведены результаты комплексных испытаний эпоксидных полимеров, экспонированных в умеренно континентальном климате. Проведен анализ варьирования основных метеорологических показателей в зависимости от года, сезона, месяца и времени суток. Выявлено влияние сезонности на климатическую стойкость модифицированных эпоксидных полимеров. Произведена количественная оценка изменения колориметрических показателей модифицированных

* Старцев Валерий Олегович – доктор технических наук, начальник лаборатории климатических, микробиологических исследований и пожаробезопасности материалов, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (Москва, РФ).

эпоксидных полимеров в процессе старения в условиях воздействия умеренно континентального климата.

Отдельный раздел монографии посвящен разработке и реализации методик фрактального анализа кривых деформирования полимерных композитов с выявлением кинетики накопления в их структуре отказов под действием растягивающих нагрузок. На основе предложенного подхода произведена количественная оценка влияния длительности и интенсивности натуральных климатических факторов на про-

цесс разрушения полимерных материалов на основе эпоксидных связующих.

Считаю, что монография «Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате» (авторы – Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р.) является актуальной научной работой и будет полезна научно-техническим работникам, аспирантам и студентам технических и строительных вузов, чьи интересы связаны с полимерными композиционными материалами, а также оценкой их климатической стойкости и долговечности.

Поступила в редакцию 02.04.2021 г.



REVIEW
OF THE MONOGRAPHY BY T.A. NIZINA, V.P. SELYAEV, D.R. NIZIN
“CLIMATIC PERSISTENCE OF EPOXY POLYMERS
IN A TEMPERATE CONTINENTAL CLIMATE”

© 2021 V.O. Startsev*

There is no doubt that the task of ensuring the reliable operation of construction products and structures, which are aging because of natural factors, is still valid. To protect concrete and reinforced concrete structures from a variety of aggressive factors, the most effective protection is the application of protective and decorative coatings based on polymer binders. In this case, epoxy polymers are widespread and have high physical, mechanical, and adhesive characteristics. However, their climate resilience is not high enough. This requires further research is required, especially for formulations based on new resin and hardener brands.

The reviewed monography presents the results of complex tests of epoxy polymers exposed in the temperate continental climate. The analysis has been carried out of the variation of the main meteorological indicators depending on the year, season, month, and time of day. The authors have demonstrated the seasonality effects of modified epoxy polymers on climatic persistence. The colorimetric parameters of modified epoxy polymers have been quantified during aging in temperate continental climates.

A separate section of the monography is devoted to the development and implementation of the fractal analysis methods of deformation curves of polymer composites with the detection of accumulation kinetics in the structure of failures under the action of stretching loads. On the basis of the proposed approach, the authors quantified the influence of the duration and intensity of natural climatic factors on the process of destruction of polymer materials based on epoxy binders.

I believe that T.A. Nizina, V.P. Selyaev, D.R. Nizin's monography "Climatic Persistence of Epoxy Polymers in a Temperate Continental Climate" is an up-to-date scientific work. It will be useful for scientific and technical workers, postgraduate students, and students of technical and building universities, who are interested in polymer composite materials as well as in the assessment of their climatic stability and durability.

Received for publication on April 2, 2021

* Startsev Valery Olegovich - Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory for Climatic, Microbiological Research and Fire Safety of Materials, All-Russian Research Institute of Aviation Materials (Moscow, RF).

ОБЩЕПРИНЯТЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНОЙ СТАТЬЕ

Метаданные

Комментарии

Заголовок (Title)	<ul style="list-style-type: none"> • Объем – 10-12 слов. • Содержит основные ключевые слова, нельзя использовать аббревиатуры и формулы. 	
Сведения об авторах (Information about authors)	<ul style="list-style-type: none"> • Содержат ФИО и аффилиации авторов. • Очередность упоминания авторов зависит от их вклада в выполненную работу. • В аффилиации указываются организация, город, страна. • Название организации (рус./англ.) должно совпадать с названием в ее уставе. • При транслитерации ФИО автор должен придерживаться единообразного их написания во всех статьях. 	
Аннотация (Abstract)	<ul style="list-style-type: none"> • Объем – 150-200 слов. • Отражает актуальность темы исследования, постановку проблемы, цели исследования, методы исследования, результаты и ключевые выводы. 	
Ключевые слова (Keywords)	<ul style="list-style-type: none"> • Объем – 8-10 слов и словосочетаний. • Отражает специфику темы, объект и результаты исследования. 	
Основные положения (Highlights)	Содержат 3-5 пунктов маркированного списка, кратко отражающих ключевые результаты исследования.	
Текст статьи	Введение (Introduction)	Представляет актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
	Методы (Materials and Methods)	<ul style="list-style-type: none"> • Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. • Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
	Результаты (Results)	Излагают фактические результаты исследования (текст, таблицы, рисунки, формулы).
	Обсуждение (Discussion)	Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: <ul style="list-style-type: none"> • соответствие полученных результатов гипотезе исследования; • ограничения исследования и обобщение его результатов; • предложения по практическому применению; • предложения по направлению будущих исследований.
	Заключение (Conclusion)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
Благодарности (Acknowledgements)	Автор выражает: <ul style="list-style-type: none"> • признательность коллегам за помощь; • благодарность за финансовую поддержку исследования. 	
Список источников (References)	Содержит только источники, используемые при подготовке статьи и оформленные в соответствии со стандартом, принятым в издательстве.	

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ в журнале “ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА”

Материал статьи присылать в программе **Word** на электронную почту **expert763@mail.ru**. В статье должны быть указаны на русском и английских языках УДК, сведения об авторе: фамилия, полное имя и отчество, ученая степень, ученое звание, места работы и (или) учебы, его e-mail и номер телефона, аннотация, ключевые слова, основные положения. Обязательны ссылки на литературу (библиографические ссылки или сноски) в конце статьи. Подробные правила приема и рецензирования статей, рубрикация журналов представлены на сайте <https://www.expert763.ru>

❖ *Порядок оформления 1-й страницы статьи*

УДК – **размещать по левому краю**

название статьи (и другие заголовки) – **размещать по центру**

инициалы, фамилия автора – **размещать по правому краю после названия статьи**

фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание,]
должность, название организации, электронный адрес } **размещать внизу (под текстом)**

❖ *Параметры страниц*

слева	3 см
справа	2 см
вверху	2,5 см
внизу	2,5 см

❖ *Набор текста*

тип шрифта	Таймс
размер шрифта	14 пт
абзацный отступ	0,5 см

(установить через окно “Абзац”,
не пробелами и не табуляцией)
межстрочный интервал “Полуторный”

❖ *Набор таблиц*

тип шрифта	Таймс
размер шрифта	13пт
линейки внешние (рамка)	1,5 пт
линейки внутренние	0,75 пт

❖ *Набор формул*

в редактуре формул – **Word**
все символы курсивным шрифтом,
цифры – прямым

❖ *Набор ссылок на литературу (сноски)*

размещение в конце статьи

тип шрифта	Таймс
размер шрифта	13пт



Запрещается вставлять в статью сканированные рисунки (графики, диаграммы) и другие неизменяемые объекты

Использовать стиль “Normal” или шаблон “Обычный”

Статьи, оформленные не по правилам, редколлегией рассматриваться не будут

Для записей

Научно-практический журнал

ЭКСПЕРТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
№ 3 (12) 2021 г.

Главный редактор - Мурашкин Василий Геннадьевич,
кандидат технических наук, АНО "ИССТЭ", Тольятти

Материалы представлены в авторской редакции
Компьютерная верстка О.В. Егоровой
Дизайн обложки: e-mail: anna.sarachai@gmail.com

Дата выхода в свет 25.05.2021. Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Уч.-изд. л. 9,72. Усл.-печ. л. 10,46 (11,25). Тираж 1000 экз. Первый завод 100 экз.
Распространяется бесплатно. Заказ № 163.

Издатель - АНО "ИССТЭ".
445047, Самарская область, г. Тольятти, Южное шоссе, дом 35А, офис 401.

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО "СГЭУ".
443090, Самарская область, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141.

Scientific and Practical Journal

EXPERT: THEORY AND PRACTICE
№ 3 (12) 2021

Editor-in-Chief - Murashkin Vasily Gennadievich,
Candidate of Technical, INO "IFCTE" (Tolyatti, Russia)

Approved for publication 25.05.2021. Format 60x84/8. Offset paper.

Type "Calibri Light". Offset printing.

Publisher's signatures 9,72. Printed signatures 10,46 (11,25).

Circulation 1000 copies.

Publishing house INO "IFCTE".
445047, office 401, the house 35A, Southern Highway,
Tolyatti, Samara region, e-mail: expert763@mail.ru

Printed in the Printing House of Samara State University of Economics.
443090, Samara, ulitsa Sovetskoi Armii, 141.