

ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ ДВО РАН

Основные научные результаты

Получено решение задачи о релаксации напряжений в скрученном нелинейно-вязкоупругом изотропном несжимаемом стержне (рис. 2.55). Используется мультипликативное разложение градиента деформации на обратимую (упругую) и необратимую (деформация ползучести) части. Упругий потенциал и потенциал ползучести могут быть выбраны произвольно. В частности, закон ползучести может учитывать, как нелинейность связи между скоростью деформации и эффективным напряжением, так и упрочнение или разупрочнение. Рассмотрены два варианта определяющих соотношений ползучести. Один основан на эквивалентном напряжении Треска, другой основан на эквивалентном напряжении Мизеса. Первый из них приводит к существенному упрощению определяющих уравнений, поскольку в этом случае исчезает радиальная упругая деформация. Для этого варианта получено решение в замкнутом виде (в элементарных функциях). Для материала Мизеса получены численно-аналитические результаты. Проведено сравнение с известными решениями для малых деформаций. (Sevastyanov G.M. // ZAMM. 2022. Vol. 102, No.10, e202100552. DOI: <https://doi.org/10.1002/zamm.202100552> (WOS Q2 MECHANICS, IF 1.759))

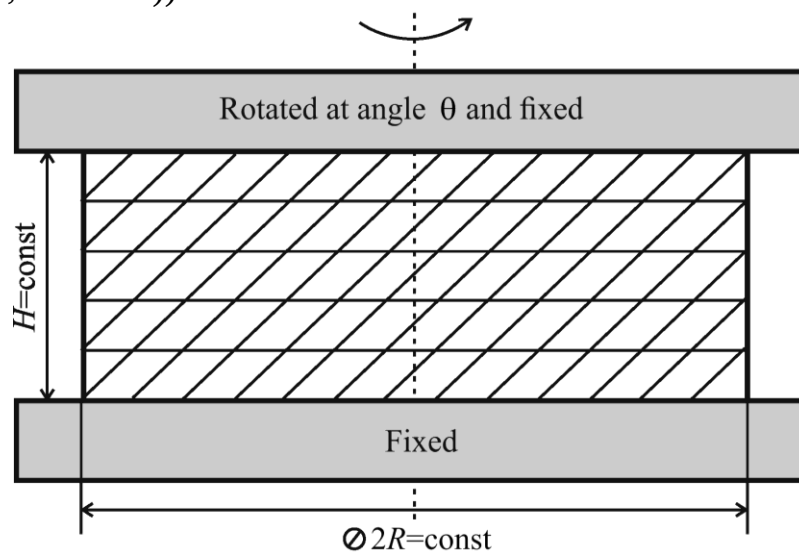


Рис. 2.55. Кручение с закрепленными торцами
(линии сетки представляют направления деформации материала)

С использованием математической модели больших деформаций материалов с упругими, пластическими и вязкими свойствами для процессов неизотермического деформирования с последующей разгрузкой получены решения связанных краевых задач. Изучено деформирование упруговязкопластического материала при его вискозиметрическом и прямолинейном движении в зазоре между двумя цилиндрами с учетом разогрева за счет трения о граничные шероховатые поверхности. Указаны законы движения упругопластических границ, рассчитаны напряжения, деформации, температура при развитии и замедлении течения, включая

остановку, разгрузку и остывание с вычислением остаточных напряжений (рис. 2.56) и деформаций. (Бегун А.С., Буренин А.А., Ковтанюк Л.В. // Известия РАН. МТТ. 2022. №3. С. 97-109. DOI: 10.31857/S0572329922030035; A. S. Begun, A. A. Burenin, and L. V. Kovtanyuk // Mech. Solids. 57 (3), 532-542 (2022). DOI: 10.3103/S0025654422030062 (WOS Q4 MECHANICS, IF 0.549)

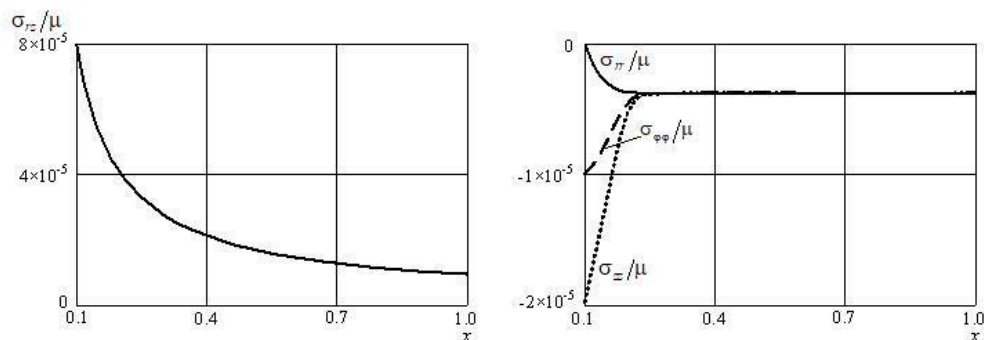


Рис. 2.56. Остаточные напряжения в случае прямолинейного течения.

Проведено исследование локального теплового воздействия на распределение остаточных напряжений в неразъемных соединениях металлоконструкций, изготовленных электродуговой сваркой с принудительным охлаждением. Использовалась модель Прандтля-Рейса, в которой закон Гука заменяется законом Дюамеля-Неймана, а условие Мизеса дополняется функцией деформационного упрочнения Джонсона-Кука. Упругие модули, как и предел текучести, полагались зависимыми от температуры. Рассчитанные по температурным полям (рис. 2.57) значения остаточных напряжений показали положительное влияние принудительного охлаждения зоны сварки (Tkacheva A.V., Abashkin E.E. // Materials Physics and Mechanics. 2022. Vol. 50(3), pp. 509-517. DOI: 10.18149/MPM.5032022_13; Ткачёва А.В., Абашкин Е.Е. // Вестник ПНИПУ. Механика. 2022. №3, с. 160-169. DOI: 10.15593/perm.mech/2022.3.16).

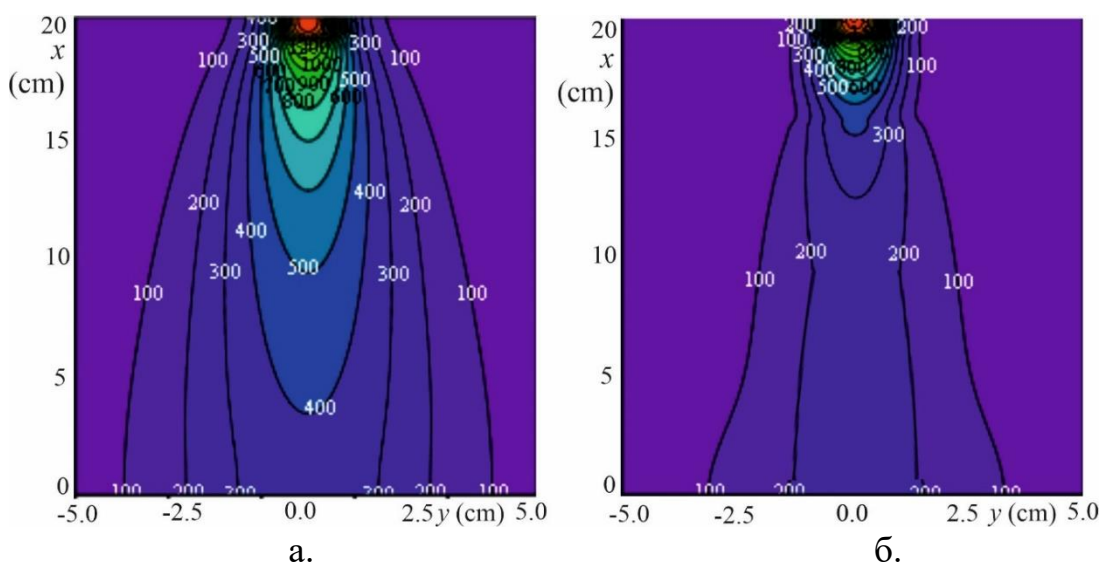


Рис. 2.57. Распределение температуры в пластине на расстоянии 5 см от сварного шва в момент прекращения сварки:
а) без охлаждения; б) с охлаждением.

Получены результаты экспериментов (рис. 2.58), выполненных на специально изготовленном испытательном стенде, по нагружению поперечными нагрузками ледяных балок с различными степенями их армирования стальной арматурой. На их основании показана возможность существенного увеличения прочности ледяного покрова путем такого армирования по сравнению с известными технологиями. Сделано заключение, что полученная на основании этих исследований зависимость разрушающей нагрузки от степени армирования льда указывает на целесообразность дальнейших исследований в этом направлении. Также приведены способы армирования ледяного покрова. Отмечена их простота и экологичность благодаря несложности внедрения в лед и извлечению стальной арматуры из ледяного покрова (после окончания срока эксплуатации ледяной переправы) путем ее нагрева электрическим током (Козин В.М. // Морские интеллектуальные технологии. 2022. Т. 56, №2-1, с. 29-34. DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.003).



а.



б.

Рис. 2.58. Различные стадии нагружения образца:
а - начальная; б - полное разрушение (нарушение его сплошности)

Снижение материало- и энергоемкости получения сплавов с вольфрамом представляется актуальной задачей, на решение которой направлено изучение процессов формирования износостойких сталей вне традиционных нагревательных агрегатов, позволяющих задействовать обогащенные рудные материалы и техногенные образования.

Экспериментальный процесс подразумевает использование алюмотермического переплава шихт, состав которых включает окалину, стружку цветного металла и содержащий вольфрам рудный концентрат отечественных месторождений. В исследовании изучалось влияние соотношения восстановителя на основе алюминия и шеелитового концентрата, содержащего вольфрам, на физико-механические свойства образцов, получаемых алюмотермией с использованием углеродной оснастки. Экспериментально установлена возможность использования алюмотермитного процесса формирования вольфрамсодержащего слитка для целей дальнейшего использования в качестве шихтового компонента и/или получения готовой отливки. Установлено, что образцы экспериментальных сплавов с максимальными значениями твердости 360 HBW получены из композиций, содержащих 21 и 25% восстановителя и 10% шеелита (рис. 2.59, а). При содержании шеелита в композициях 5-15% и 23% восстановителя, предел прочности на разрыв составляет $\sigma_B = 622-786$ МПа (рис. 2.59, б). (Комаров О.Н., Жилин С.Г., Предин В.В., Попов А.В. // *Металлург.* 2022. № 9. С. 105-116. DOI: 10.52351/00260827_2022_09_105 (WOS Q4 METALLURGY & METALLURGICAL ENGINEERING, IF 0.887))

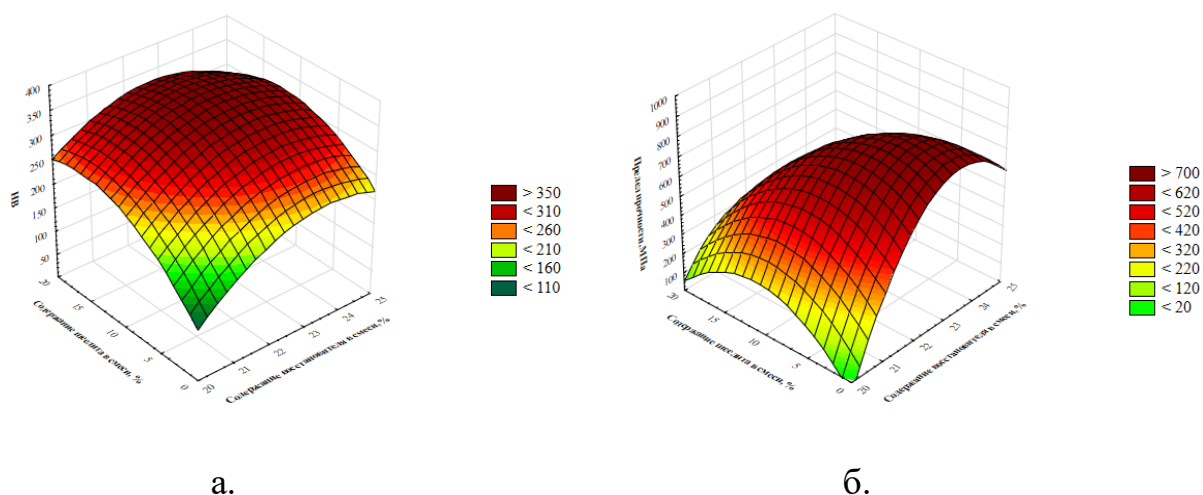


Рис. 2.59. Зависимости механических характеристик экспериментальных сплавов от содержания восстановителя и шеелита в термитных смесях:
а – твердость HB; б – предел прочности, МПа.

Предложен алгоритм и проведены расчеты изменяющихся температурных напряжений в осесимметричной задаче Гадолина, моделирующей термомеханический процесс протекания технологической операции горячей посадки. Материалы сопрягаемых деталей сборки полагаются упруговязкопластическими. Показано, что утвердившийся в литературе вывод о росте остаточных напряжений и формируемого натяга в сборке при приближении к ее торцам является ошибочным. Указывается причина такой ошибки, состоящая в игнорировании при проведении расчетов имеющейся сингулярности в задании краевых условий. На рисунках 2.60, а и 2.60, б демонстрируется качественное различие в распределении остаточных

напряжений по длине сборки. В первом случае в расчетах сингулярность устранена алгоритмическими мерами, во втором – нет. (Буренин А. А., Ткачева А. В. // ПММ. 2022, том 86, № 4, с. 595–611. DOI: [10.31857/S0032823522040051](https://doi.org/10.31857/S0032823522040051) (WOS Q4 MECHANICS, IF 0.549))

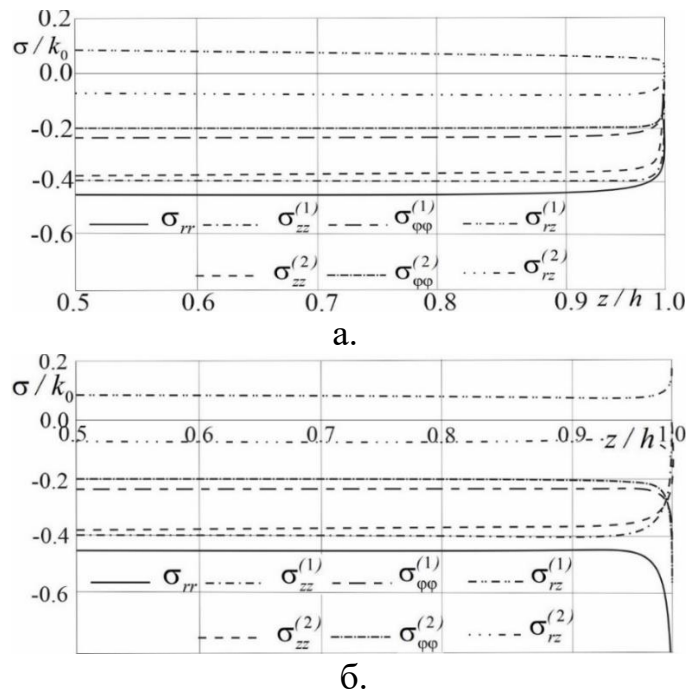


Рис. 2.60. Остаточные напряжения на поверхности $r = R$ в зависимости от координаты z (торцевой эффект):
а – без учета сингулярности; б – с учетом сингулярности.

Экспериментальным моделированием процессов формирования объемных прессовок из сферических воскообразных элементов решается проблема усадки материала и повышается трещиностойкость керамических форм, что позволяет в значительной мере сократить долю механической обработки заготовок в общем объеме технологических операций. Среди проблем реализации экспериментального процесса отмечается упругий отклик уплотняемого материала модельной композиции, что, в ряде случаев, сказывается на увеличении размеров прессовок. При формировании пористой удаляемой модели в условиях отсутствия внешних источников тепла прессованием композиций на основе воскообразных компонентов установлены варианты регулирования значений упругого отклика прессовок начальной упаковкой материала в пресс-матрице, скоростью деформирования элементов, входящих в состав композиций и временем выдержки прессовки под нагрузкой. Установлены значения остаточных напряжений и упругого последействия материала прессовок, состоящих из однородных воскообразных и упругих элементов сферической формы, с кубическим, гексагональным и тетраэдрическим размещением в объеме уплотняемого тела и предназначенные для имитации процесса уплотнения гетерогенных порошковых сред. Напряжения при сжатии материала с более высоким модулем упругости (с недеформируемыми упругими элементами, рис. 2.61, б)

выше, чем при сжатии материала с более низким модулем упругости (однокомпонентных материалов, рис. 2.61, а). Установлено, что с ростом скорости деформации уплотняемой системы, имеющей как однородный, так и гетерогенный составы, наблюдается рост остаточных напряжений по завершении процесса уплотнения.

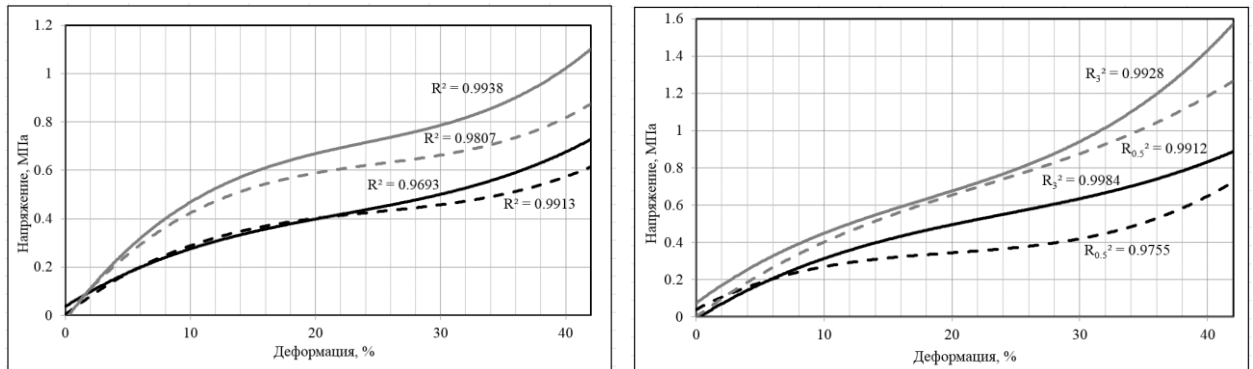


Рис.2.61. Полиномиальные зависимости третьего порядка напряжения от деформации, полученные в ходе уплотнении элементов модельного материала при различных вариантах их начальной упаковки:
а – тетрагональная упаковка без упругих элементов;
б – тетрагональная упаковка с 50 % упругих элементов.

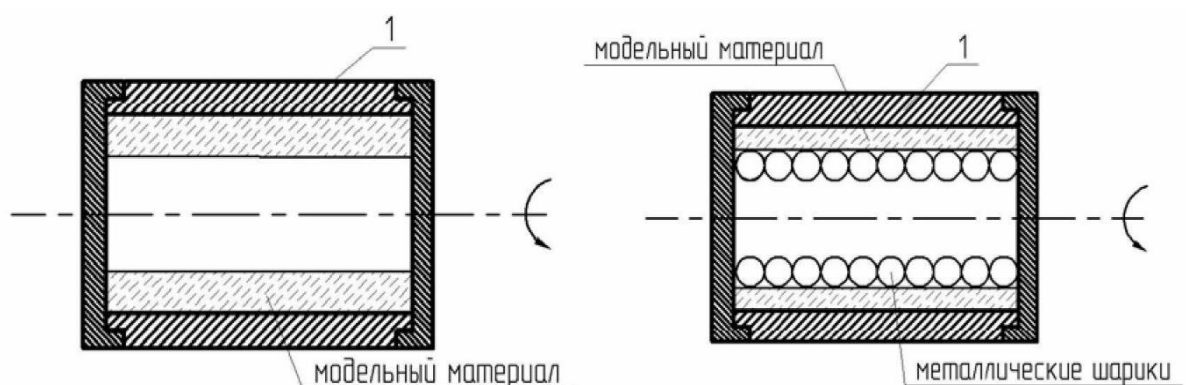
Результаты основных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (разработок), законченных и готовых к практическому использованию

Способ получения выплавляемых моделей

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано при изготовлении выплавляемой литейной модели. Способ получения выплавляемой модели включает дозированную подачу воскообразного модельного материала в виде порошка фракции не менее 0,4 мм в форму и вращение формы относительно ее оси. Используют форму с внутренним радиусом не менее 3 см, которую вращают до достижения ею 3000-4000 об/мин, что является достаточным для увеличения плотности модельного материала, при которой он перестает быть сыпучим после прекращения вращения формы. Форму останавливают, помещают в нее металлические шарики диаметром 1-12 мм в количестве, достаточном для покрытия внутренней поверхности выплавляемой модели хотя бы в один слой, затем вращают форму со скоростью 3500-4000 об/мин (рис. 2.62). Металлические шарики увеличивают воздействие центробежной силы на модельный материал, за счет чего он уплотняется при уменьшенной скорости вращения формы. Сферическая форма обеспечивает равномерность распределения металлических шариков на внутренней поверхности модели. Обеспечивается устранение усадки, коробления поверхности и слоистости модели.

Патент на изобретение № RU 2768661 С1, дата публикации: 24.03.2022.

Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.



Устройство для периодической заливки металла

Изобретение относится к литейному производству и может быть использовано в установках периодической заливки металла. Устройство для периодической заливки металла содержит расположенный на

площадке промежуточный ковш с окном для заливки в него жидкого металла, с разливочным стаканом в дне и стопором слива металла (рис. 2.63). Площадка установлена на пружинах, общая жесткость которых определена из выражения $k_{\text{общ}} = \rho_m \cdot \pi \cdot r_k^2 \cdot g$, где $k_{\text{общ}}$ – коэффициент общей жесткости пружин, Н/м, ρ_m – плотность расплавленного металла, кг/м³, r_k – внутренний радиус промежуточного ковша, м, g – ускорение свободного падения, м/с². Характеристики пружин подобраны из соотношения $k = G \cdot d_n^4 / (8 \cdot d_p^3 \cdot n)$, где G – модуль сдвига, Н/м², d_n – диаметр проволоки пружины, м, d_p – внешний диаметр пружины, м, n – число витков пружины, k – коэффициент жесткости каждой пружины, Н/м. Обеспечивается постоянное гидростатическое давление струи металла, выходящей из промежуточного ковша в литейную форму.

Патент на изобретение № RU 2786275 С1, дата публикации: 19.12.2022.

Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

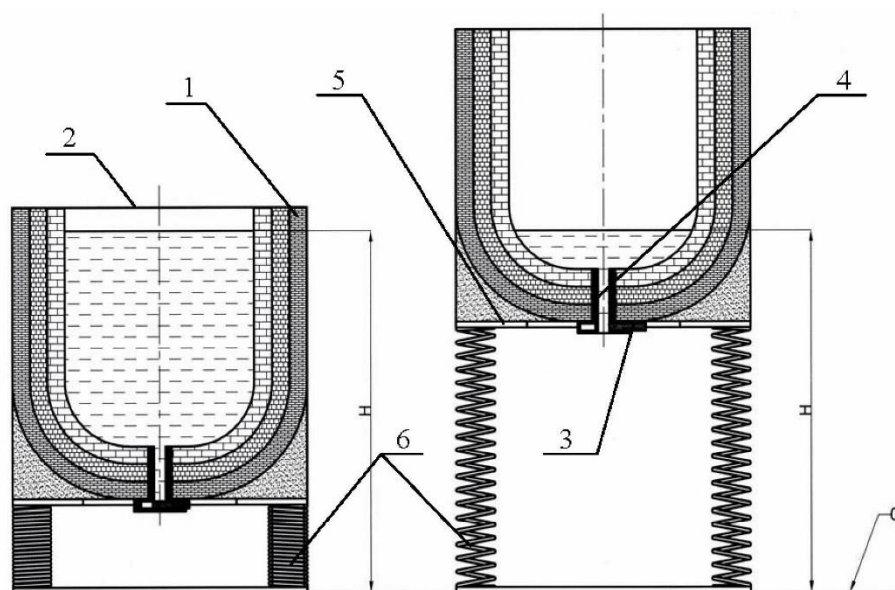


Рис.2.63. Схема действия устройства

1 – промежуточный ковш; 2 – окно; 3 – стопор; 4 – разливочный стакан;
5 – удерживающая площадка; 6 – пружина.

В 2022 г. опубликовано: 41 статья, из них 19 в отечественных и 9 в зарубежных изданиях, в том числе 28 в рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science – 17 в Scopus – 11.