

Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского КФУ
Институт механики и машиностроения ФИЦ КазНЦ РАН
Научно-образовательный математический центр Приволжского федерального округа
Академия наук Республики Татарстан
Российский национальный комитет по теоретической и прикладной механике

**Всероссийская научная конференция
с международным участием
«Актуальные проблемы механики сплошной среды – 2020»,
посвященная 120-летию Х.М. Муштари, 110-летию К.З. Галимова,
110-летию Г.Г. Тумашева, 100-летию М.С. Корнишина, 90-летию И.Г. Терегулова**

(28 сентября – 2 октября 2020 г., Казань)

Материалы докладов



Казанский (Приволжский) федеральный университет

2020

Издание осуществлено за счет средств программы развития Регионального научно-образовательного математического центра Приволжского федерального округа, соглашение № 075-02-2020-1478.

УДК 531/534

ББК 22.2

Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы механики сплошной среды — 2020», 28 сентября — 2 октября 2020 г., Казань. – Казань: Казанский университет; изд-во Академии наук РТ, 2020. – 475 с.

Сборник содержит материалы докладов, представленных на Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы механики сплошной среды — 2020».

Материалы сборника предназначены для научных сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов, специализирующихся в области механики, прикладной математики и математического моделирования.

УДК 531/534

ББК 22.2

Всероссийская научная конференция с международным участием «Актуальные проблемы механики сплошной среды — 2020»

Сборник включает в себя материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы механики сплошной среды — 2020».

Организаторы конференции

- Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета
- Институт механики и машиностроения ФИЦ КазНЦ РАН
- Научно-образовательный математический центр Приволжского федерального округа
- Академия наук Республики Татарстан
- Российский национальный комитет по теоретической и прикладной механике

Организационный комитет конференции

Сопредседатели: Губайдуллин Д.А., Коноплев Ю.Г., Салахов М.Х.

Заместители сопредседателей: Аганин А.А., Поташев К.А., Султанов Л.У., Тазюков Б.Ф.

Члены комитета: Великанов П.Г., Галимов Н.К., Гафиятов Р.Н., Гиниятуллин Р.Р., Давлетшин А.И., Камалутдинов А.М., Марданов Р.Ф., Никифоров А.А., Нуриев А.Н., Саченков О.А., Скворцова З.В., Ткаченко Л.А., Турилова Е.А., Фахрутдинов Л.Р., Федоров Ю.В., Якупов Н.М., Якупов С.Н.

Технический секретарь: Вильданова Н.Р.

Программный комитет конференции

Губайдуллин Д.А., Коноплев Ю.Г., Нигматулин Р.И., Фомин В.М., Аганин А.А., Аннин Б.Д., Бабешко В.А., Баженов В.Г., Бережной Д.В., Бураго Н.Г., Буренин А.А., Газизов Р.К., Гайфуллин А.М., Галиев Ш.У., Ганиев Р.Ф., Гильманов А.Н., Горячева И.Г., Губайдуллин А.А., Егоров А.Г., Ильгамов М.А., Индейцев Д.А., Каюмов Р.А., Крайко А.Н., Крысько В.А., Куликовский А.Г., Левин В.А., Липанов А.М., Ломакин Е.В., Мазо А.Б., Маклаков Д.В., Матвеев В.П., Морозов Н.Ф., Мулюков Р.Р., Паймушин В.Н., Поташев К.А., Ребров А.К., Робинсон Н., Роговой А.А., Серазутдинов М.Н., Султанов Л.У.

<i>В.Н. Паймушин, Р.К. Газизуллин.</i> Свободные и вынужденные колебания композитной пластины в идеальной сжимаемой жидкости с учетом рассеивания энергии в пластине и жидкости	324
<i>В.Н. Паймушин, Р.А. Каюмов, Ф.Р. Шакирзянов, С.А. Холмогоров.</i> О специфике работы композитного несущего слоя трёхслойной панели	329
<i>Л.В. Ковтанюк, Г.Л. Панченко.</i> Ползучесть и вязкопластическое течение в плоском тяжелом слое на наклонной плоскости при его нагреве и приложении сдвиговых и сжимающих нагрузок	334
<i>Д.А. Панин, К.А. Поташев.</i> Модификация МКЭ-сеток вблизи скважин в двумерных задачах фильтрации	339
<i>М.Н. Перельмутер.</i> Моделирование роста трещин по границе соединения материалов	344
<i>К.А. Поташев, Р.Р. Ахунов.</i> Оценка неоднородности притока пластового флюида к контуру скважин	350
<i>А.В. Поташев, Е.В. Поташева.</i> Учет сжимаемости газового потока в проточной части турбомашин в рамках квазитрехмерной модели	355
<i>Э.В. Прозорова.</i> Роль определения давления на вычислительный процесс	361
<i>А.Н. Прокудин.</i> Упругопластическое деформирование упрочняющегося цилиндра с жестким включением под действием центробежных сил	366
<i>С.Г. Пшеничнов.</i> О построении решений динамических задач для слоистых упругих и вязкоупругих композитов	371
<i>А.А. Роговой, О.С. Столбова.</i> Конечные деформации в материалах с памятью формы	375
<i>М.К. Сагдатуллин.</i> Моделирование нелинейного поведения оболочек путем последовательного нагружения.	379
<i>А.А. Саламатин.</i> Асимптотические разложения в теории сверхкритической флюидной экстракции масла из полидисперсного высокомасличного сырья.	384
<i>О.А. Салтыкова.</i> Нелинейная динамика конструктивных элементов МЭМС и НЭМС датчиков	388
<i>С.О. Саркисян.</i> Моментная теория малых упруго-пластических деформаций	391
<i>А.В. Серебряков, Ю.Н. Нагар.</i> Применение метода возмущений в задачах установившейся ползучести	397
<i>О.В. Старожилова.</i> Проектирование и моделирование тонкостенных элементов конструкций итерационным двухступенчатым методом	402
<i>Л.У. Султанов, А.М. Кадиров.</i> Моделирование деформирования трехмерных тел с учетом повреждаемости материала	407
<i>Д.В. Тарлаковский, В.Л. Нгуен.</i> Антисимметричные волны в упругом моментном пространстве со сферической полостью	410
<i>А.Г. Терентьев.</i> Пляшущая капля на воде	414
<i>Д.А. Тукмаков.</i> Численное исследование влияние параметров двухфазной среды на скоростное скольжение при истечении аэрозоля.	419
<i>А.Н. Федоренко, Б.Н. Федулов, Е.В. Ломакин.</i> Ударное воздействие на демпфирующие элементы из композитных материалов	423

УДК 66.011

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ В ТЕОРИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ МАСЛА ИЗ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЫСОКОМАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

А.А. Саламатин¹

¹ arthur.salamatin2@gmail.com; КФУ, ИВМиИТ; ФИЦ КазНЦ РАН, ИММ

В статье обсуждается асимптотическое представление основной характеристики процесса сверхкритической флюидной экстракции – кривой выхода масла (КВМ). Кривая показывает динамику накопления целевых извлекаемых компонент (масла) к текущему моменту времени процесса и является, фактически, единственной измеряемой характеристикой. На основе КВМ проводится адаптация моделей к конкретному виду сырья и условиям экстракции. С точки зрения решения обратных задач, важно уметь вычислять кривую выхода масла быстро на основе простых аналитических формул. Для решения этого вопроса предложено асимптотическое разложение КВМ по малому параметру – безразмерной удельной поверхности частиц молотого сырья.

Ключевые слова: сверхкритическая флюидная экстракция, кривая выхода масла, растительное сырье, асимптотическое разложение.

Процесс сверхкритической флюидной экстракции (СФЭ) важен для фармацевтической, пищевой, химической и других отраслей мировой промышленности [1]. Применение процесса для извлечения ценных фракций масла, триглицеридов, из высокомасличного растительного сырья такого, как семена рапса, подсолнечника, тыквы и других, позволяет существенно повысить качество конечного продукта, его доступность. При реализации процесса измельченное сырье фиксируется в цилиндрической колонке аппарата, и через образовавшийся пористый зернистый слой фильтруется растворитель с заданным расходом. Это приводит к растворению масла в экстрагенте с последующим выносом его к выходному сечению колонки. С целью идентификации оптимальных условий производства проводятся лабораторные эксперименты, в результате которых измеряется так называемая кривая выхода масла (КВМ). Она показывает количество масла, извлеченного из аппарата к текущему моменту времени [3].

Характерно, что для многих видов высокомасличных растительных клеточных структур наблюдается резкая смена режима экстракции. На первом этапе линейного роста из аппарата выходит насыщенный раствор, с постоянной, максимальной, массовой концентрацией растворенных веществ. На втором, завершающем, этапе экстракции, экстрагент характеризуется предельно низким содержанием масла у выходного сечения аппарата. Переход между этапами происходит резко, в течение небольшого интервала времени.

Наблюдаемую динамику процесса принято интерпретировать в рамках подхода взаимопроникающих и взаимодействующих континуумов [2]. При этом фильтрацию раствора через пористый слой описывают в рамках квазистационарного конвективного переноса без учета конвективной диффузии (дисперсии) [4]. Соот-

ветствующее уравнение в безразмерном виде принимает следующий вид

$$\frac{\partial c}{\partial \zeta} = \int_0^{+\infty} q f(\xi) d\xi, \quad c|_{\zeta=0} = 0. \quad (1)$$

Массовый поток q с единицы поверхности сферической частицы безразмерного радиуса ξ получается в рамках схематизации сужающегося ядра [4, 5] для описания многофазного процесса диффузии в индивидуальной частице

$$\frac{\partial s}{\partial \tau} = q, \quad s|_{\tau=0} = 0, \quad q = \frac{1}{\xi^2} \lambda(s)(1-c), \quad \lambda(s) = \frac{0.5(1-s)^{1/3}}{1-(1-s)^{1/3}}. \quad (2)$$

Здесь τ – безразмерное время процесса, ζ – безразмерная координата вдоль оси аппарата, $0 < s(\tau, \zeta) < 1$ – доля масла, неизвлеченного из частицы, $0 < c(\tau, \zeta) < 1$ – текущая массовая концентрация масла, растворенного в экстрагенте в порах зернистого слоя, f – функция плотности объемного распределения частиц по размерам. Соответствующие масштабы пространства, времени и размера частиц принимают следующий вид

$$\zeta \sim H, \quad \tau \sim \frac{\theta_0}{\theta_*} \frac{H(1-m)}{v}, \quad \xi^2 \sim 6D_{eff} \frac{H(1-m)}{v},$$

где H – высота экстракционной колонны, θ_0 – плотность текущих запасов масла в сырье, θ_* – концентрация насыщения масла в растворителе, m – пористость слоя, v – скорость фильтрации растворителя.

Для задачи (1)–(2) получено решение в квадратурах относительно КВМ для произвольной плотности распределения f . Для этого разделим уравнение (2) на $\lambda(s)$ и проинтегрируем по времени, учитывая начальное условие в частице. Тогда получим алгебраическое уравнение, задающее функцию $s = s((\tau - y)/\xi^2)$ неявным образом

$$\varphi(s) \equiv 3(1 - (1-s)^{2/3}) - 2s = \min \left\{ 1, \frac{\tau - y}{\xi^2} \right\}, \quad y(\tau, \zeta) = \int_0^\tau c(\omega, \zeta) d\omega, \quad (3)$$

где функция $0 < y < \zeta$ имеет смысл доли масла, извлеченного из части аппарата $[0; \zeta]$ к текущему моменту времени τ . Уравнение (3) явным образом учитывает тот факт, что s не может превышать единицы – условие ее полного истощения.

Аналогичным образом, интегрируя уравнение (1) по времени и по пространству, придем с учетом определения

$$k(\omega) = \int_0^{+\infty} s\left(\frac{\omega}{\xi^2}\right) f(\xi) d\xi \quad (4)$$

к следующим соотношениям

$$\int_0^{\tau-} \frac{d\omega}{k(\omega)} = 1, \quad \tau > \tau_- : \int_{\tau-Y(\tau)}^\tau \frac{d\omega}{k(\omega)} = 1 \quad (5)$$

относительно искомой функции – кривой выхода масла

$$y(\tau, 1) \equiv Y(\tau) = \int_0^\tau c(\tau, 1) d\tau.$$

Момент времени $\tau = \tau_-$ отвечает окончанию начального линейного по выходу масла этапа экстракции, когда $Y(\tau) = \tau$ в силу выбранной нормировки. На втором этапе, $\tau > \tau_-$, КВМ должна определяться из решения интегрального уравнения (5) либо численным интегрированием задачи (1)–(2).

Уравнениями (5) при известной зависимости (3) для сферических частиц дается полное решение математической модели процесса СФЭ для произвольной функции распределения частиц молотого сырья по размерам. Однако известно, что в эксперименте, как правило, реализуется специальный случай распределения частиц, характеризуемый двумя ярковыраженными модами. То есть в навеске сырья можно выделить две фракции частиц, характерные размеры которых существенно отличаются между собой. Математически это выражается следующим образом

$$f(\xi) = \alpha \delta(\xi - \xi_1) + (1 - \alpha) f_2(\xi), \quad \xi_2^{-2} = \int_0^{\infty} \frac{f_2(\xi)}{\xi^2} d\xi,$$

где α – объемная доля первой, мелкодисперсной фракции размера ξ_1 . Ее распределение дается функцией Дирака $\delta(x)$. Распределение частиц второй фракции по размерам дается функцией плотности f_2 с характерным размером ξ_2 .

Соответственно уточним выражение (4) для функции $k(\tau)$

$$k(\tau) = \alpha s\left(\frac{\tau}{\xi_1^2}\right) + (1 - \alpha) \int_0^{+\infty} s\left(\frac{\tau}{\xi^2}\right) f_2(\xi) d\xi, \quad (6)$$

характеризующей степень истощения некоторого сечения зернистого слоя.

В силу выбранной нормировки справедливо $\xi_1^2 \ll 1 \ll \xi_2^2$. В связи с этим характерные значения аргумента у $f_1(\xi)$ много меньше, а у $f_2(\xi)$ – много больше единицы. Тогда на втором и на переходном этапах экстракции значения первого члена в правой части уравнения (6) определяются поведением $s(\varphi)$ при $\varphi \rightarrow \infty$, а второго – при $\varphi \rightarrow 0$. Устремляя к нулю размер частиц пылевой фракции $\xi_1^2 \rightarrow 0$ при сохранении их полной объемной доли α в аппарате, имея в виду

$$s(\varphi \rightarrow 0) = \sqrt{3\varphi} - \frac{2}{3}\varphi + O(\varphi^{3/2}), \quad s(\varphi \geq 1) = 1,$$

и подставляя $\varphi = \tau/\xi^2$, с учетом (6) получим разложение $k(\tau)$ для сферических частиц

$$k(\tau) = \alpha + (1 - \alpha) \frac{\sqrt{3\tau}}{\xi_2} - \frac{2}{3}(1 - \alpha)\Omega \frac{\tau}{\xi_2^2} + O(\tau^{3/2}\xi_2^{-3}), \quad \Omega = \int_0^{\infty} \frac{\xi_2^2}{\xi^2} f_2(\xi) d\xi, \quad (7)$$

где Ω – характеризует дисперсию распределения f_2 .

Аналитическое представление $k(\tau)$ в виде ряда (7) по целым степеням $\tau^{1/2}$ позволяет проинтегрировать общее решение (5) и получить неявные алгебраические соотношения, определяющие КВМ $Y(\tau)$ на интервале $\tau_- < \tau \ll \xi_2^2$, и соответствующую продолжительность τ_- линейного этапа экстракции. Учитывая, что согласно формуле (7) они справедливы с точностью $O(\xi_2^{-3})$, в результате получают явные соотношения для вычисления τ_- и КВМ $Y(\tau)$ с той же точностью.

Подстановка (7) в (5), разложение подынтегральной функции $k^{-1}(\tau)$ по малому параметру ξ_2^{-1} и последующее интегрирование приводят к неявному алгебраиче-

скому уравнению относительно КВМ $Y(\tau)$:

$$\alpha = Y - \frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\tau^{3/2} - (\tau - Y)^{3/2} \right) \xi_2^{-1} + \frac{1-\alpha}{\alpha} \left(\frac{\Omega}{3} + \frac{3}{2} \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \left(\tau^2 - (\tau - Y)^2 \right) \xi_2^{-2} + O(\xi_2^{-3}). \quad (8)$$

Удерживая далее три главных члена разложения кривой выхода масла по степеням ξ_2^{-1} , получим

$$Y(\tau) = \alpha + \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1-\alpha}{\alpha \xi_2} \left(\tau^{3/2} - (\tau - \alpha)^{3/2} \right) - \frac{1-\alpha}{2\alpha^2 \xi_2^2} \left(2\alpha^2 \Omega (2\tau - \alpha) + 3(1-\alpha)(\alpha^2 - 2\alpha\tau + 4\tau^2) - 12\tau^{3/2}(1-\alpha)\sqrt{\tau - \alpha} \right) + O(\xi_2^{-3}), \quad \tau > \tau_-. \quad (9)$$

Аналогичные вычисления для времени окончания линейного этапа экстракции дают

$$\tau_- = \alpha + \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{(1-\alpha)\alpha^{1/2}}{\xi_2} + \frac{1-\alpha}{2\xi_2^2} \left(1 - \alpha - \frac{2}{3}\Omega\alpha \right) + O(\xi_2^{-3}). \quad (10)$$

Асимптотические формулы (9) – (10) определяют полное решение задачи о СФЭ масла из бимодальной зернистой среды на конечных временах для сферических частиц. Формулы справедливы для имеющих практический интерес интервалов значений ξ_2 , а также времен экстракции τ . Аналитическое представление зависимости позволяет эффективно проводить вычисления с использованием ЭВМ, что способствует быстрому решению обратных задач и идентификации параметров модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19–31–60013).

Литература

1. Залепугин Д. Ю., Тилькунова Н. А., Чернышова И. В., Поляков В. С. *Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических флюидов* / Д. Ю. Залепугин, Н. А. Тилькунова, И. В. Чернышова, В. С. Поляков // Сверхкрит. флюиды: Теория и практика – 2006. – Т. 1. – № 1. – С. 27–51.
2. Саламатин А. А., Егоров А. Г., Максудов Р. Н., Аляев В. А. *Интерпретация кривых выхода извлекаемых компонентов при сверхкритической флюидной экстракции* / А. А. Саламатин, А. Г. Егоров, Р. Н. Максудов, В. А. Аляев // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 22. – С. 74–77.
3. Егоров А. Г., Саламатин А. А. *Оптимизационные задачи в теории сверхкритической флюидной экстракции масла* / А. Г. Егоров, А. А. Саламатин // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2015. – Т. 49. – № 2. – С. 59–69.
4. Саламатин А. А. *Оценка влияния конвективной диффузии на кинетику сверхкритической флюидной экстракции из бидисперсных зернистых слоев* / А. А. Саламатин // Сверхкрит. флюиды: Теория и практика. – 2016. – Т. 11. – № 4. – С. 41–53.
5. Goto M., Roy V. C., Hirose T. *Shrinking-core leaching model for supercritical-fluid extraction* / M. Goto, V. C. Roy, T. Hirose // J. Supercrit. Fluids. – 1996. – V. 9. – P. 128–133.

ASYMPTOTIC EXPANSIONS IN THE THEORY OF SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION OF OIL FROM POLYDISPERSE RAW MATERIAL WITH HIGH INITIAL OIL CONTENT

A.A. Salamatin

The paper discusses the asymptotic representation of the main characteristic of the supercritical fluid extraction process – the overall extraction curve (OEC). The curve shows the dynamics of accumulation of solute, i.e., the oil, by the current time of the process and is, in fact, the only measurable characteristic. On the basis of the OEC, models are adapted to a specific type of raw material and extraction conditions. From the point of view of solving the inverse problems, it is important to be able to calculate the OECs quickly based on simple analytical formulae. To solve this problem, we propose an asymptotic expansion of OEC with respect to a small parameter – the dimensionless specific surface area of the particles of ground raw material.

Keywords: supercritical fluid extraction, overall extraction curve, vegetable raw material, asymptotic expansion.

УДК 539.3

**НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЭМС
И НЭМС ДАТЧИКОВ**О.А. Салтыкова¹

¹ —; БСГТУ имени Гагарина Ю.А.

Работа посвящена математическому моделированию и исследованию нелинейной динамики контактного взаимодействия балочной структуры, находящейся в поле действия белого шума и других динамических нагрузок. При построении математической модели учтена геометрическая и конструктивная нелинейность балочной структуры, а также влияние моментов высших порядков. В работе исследуется тип хаотических колебаний в зависимости от внешних воздействий, геометрических и размерно-зависимых параметров исследуемой механической структуры.

Ключевые слова: хаос, гипотеза Эйлера-Бернулли, гипотеза Тимошенко, старший показатель Ляпунова, спектр показателей Ляпунова.

Механические микро- и нано-размерные структуры, состоящие из балок и пластин с зазорами между ними являются составными элементами современных микро и нано электромеханических датчиков, применяемых в самых различных областях [1]. Такие датчики во время эксплуатации подвержены различным внешним воздействиям, что влияет на точность и надежность работы всего устройства. Зазор, имеющийся между элементами, зачастую приводит всю конструкцию в состояние колебаний хаотического характера даже при наличии незначительного прогиба. По классификации П.А.Лукаша [2] контактное взаимодействие приводит к конструктивной нелинейности. В связи с этим актуальным является построение математических моделей контактного взаимодействия балочных структур, описываемых различными кинематическими гипотезами с учетом нескольких типов внешних воздействий. Объектом исследования является балочная структура, состоящая из двух нанобалок с зазором между ними. Балки описываются кинематическими

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Алигасанова К.Л. 181
Алимов М.М. 10
Анисимова И.В. 20, 24
Аннин Б.Д. 15
Аносова Е.П. 29
Антонова О.В. 129
Артюхин Ю.П. 105
Арутюнян А.Р. 32, 38
Ахунов Р.Р. 350

Б

Бабешко В.А. 43
Бабешко О.М. 43
Баженов В.Г. 48, 53
Бакулин В.Н. 144
Башмаков Р.А. 447
Бегун А.С. 57
Беззаметнов О.Н. 278
Белкин А.Е. 63, 68
Бельских Д.С. 302
Беляев А.К. 296
Болдырева О.Ю. 139
Бородин С.Л. 74
Булгакова Г.Т. 199
Буренин А.А. 77
Буркин В.В. 82

В

Валиев Х.Х. 86
Васекин А.А. 91
Ватульян А.О. 94, 100
Великанов П.Г. 105, 111
Власов А.Н. 86
Власова С.С. 20
Волегов П.С. 251
Волчков Ю.М. 15
Вуцин Л.И. 195

Г

Гаврилов А.Г. 272
Газизова С.Е. 119

Газизуллин Р.К. 324
Галеев А.А. 156
Галиакбарова Э.В. 116, 450
Гелин Д.В. 91
Гелин Н.Д. 91
Герасименко Е.А. 125
Голиков Н.А. 309, 314
Гордеев А.Н. 129
Губайдуллин А.А. 139
Гувернюк С.В. 134
Гуреева Н.А. 147
Гусев Е.Л. 144

Д

Джабраилов А.Ш. 147
Дудко Д.Н. 139
Дуйшеналиев Т.Б. 152
Дураджи В.Ю. 63
Душина О.А. 282
Дьячковский А.С. 82

Е

Евдокимова О.В. 43

З

Зайцева О.Н. 319
Закиров Т.Р. 156
Зарипов Р.Г. 164
Зарипов Ш.Х. 161, 266
Земсков А.В. 167

И

Иваньшин П.Н. 172
Ивлев М.И. 213
Игнатъев А.В. 20
Игнатъев В.Н. 24
Исаев С.А. 175
Ищанов Т.Р. 147
Ищенко А.Н. 82

К

Кабиров А.А. 164

- Кагенов А.М. 181
 Кадиров А.М. 407
 Калинин Е.И. 282
 Калинин В.В. 186
 Камалутдинов А.М. 191
 Каплун В.О. 443
 Карнет Ю.Н. 86
 Каюмов И.Р. 119
 Каюмов Р.А. 329
 Кибец А.И. 195
 Киреев Т.Ф. 199
 Клочков Ю.В. 147
 Ковтанюк Л.В. 125, 334
 Козлов В.В. 204
 Комиссарова Т.Н. 443
 Конопельчев М.А. 144
 Конюхов В.М. 207
 Конюхов И.В. 207
 Корнев Ю.В. 86
 Костюшин К.В. 181
 Косяков В.П. 305
 Котельникова Н.В. 251
 Кравченко М.Н. 213
 Краснов С.В. 242
 Кречин А.Н. 218
 Кружилин В.С. 223, 466
 Крылова Е.Ю. 223, 228
 Крысько А.В. 218
 Крысько В.А. 223, 228, 466
 Кузин А.А. 233
 Кузин Р.А. 233
 Кузнецов Е.Б. 239
 Кузнецов С.А. 242, 246
 Куканов Н.И. 105, 111
 Курмоярцева К.А. 251
- Л**
 Леви Г.Ю. 186
 Леонов С.С. 239
 Леонтьев А.И. 175
 Леонтьев В.Л. 129
 Ломакин Е.В. 256, 423, 428
 Лысов Д.А. 91
- М**
 Мазо А.Б. 175, 260, 282
- Маклаков Д.В. 119
 Максимов Ф.А. 134
 Марданов Р.Ф. 161, 266, 269
 Марданова А.Е. 269
 Маркин А.А. 204
 Марков В.А. 91
 Марфин Е.А. 272
 Меркурьев И.В. 152
 Мигранова З.Н. 454
 Митряйкин В.И. 278
 Михайлов А.А. 129
 Молочников В.М. 282
 Моренко И.В. 287
 Морозов Н.Ф. 296
 Морозов П.Е. 291
 Мусакаев Н.Г. 302, 305
- Н**
 Нагаева З.М. 457
 Нагар Ю.Н. 397
 Нагорных Е.В. 48, 53
 Назаров Л.А. 309, 314
 Назарова Л.А. 309, 314
 Нгуен В.Л. 410
 Нестеров С.А. 94, 100
 Никитин Е.А. 68
 Николаев А.П. 147
 Никущенко Д.В. 175
 Нуриев А.Н. 191, 319
- О**
 Овчинников М.Н. 272
- П**
 Паерелий А.А. 282
 Паймушин В.Н. 324, 329
 Панин Д.А. 339
 Панов А.В. 314
 Пантелей К.Д. 213
 Панченко Г.Л. 334
 Папкина И.В. 223, 228
 Перельмутер М.Н. 344
 Петюков А.В. 91
 Поташев А.В. 355
 Поташев К.А. 260, 339, 350

- Поташева Е.В. 355
Прозорова Э.В. 361
Прокудин А.Н. 366
Пшеничнов С.Г. 371
- Р**
Рогаев К.С. 82
Роговой А.А. 375
- С**
Сагдатуллин М.К. 379
Саламатин А.А. 384
Салтыкова О.А. 388
Самсонова Д.А. 53
Саркисян С.О. 391
Селиванов В.В. 91
Семенов Н.А. 86
Серебряков А.В. 397
Сидоров А.Д. 82
Синичкина А.О. 228
Скобеева М.В. 195
Скулкин А.А. 309
Соколова М.Ю. 439
Сон Э.Е. 175
Сотский М.Ю. 91
Старожилова О.В. 402
Степанов Е.Ю. 82
Столбова О.С. 375
Султанов Л.У. 407
Сухоруков Д.А. 439
- Т**
Тарлаковский Д.В. 167, 410
Терентьев А.Г. 414
Тимербулатов Ш.В. 233
Ткаченко Л.А. 164
Товстик П.Е. 296
Товстик Т.П. 296
Тукмаков Д.А. 419
- У**
Улемаева С.А. 233
- Ф**
Федоренко А.Н. 256, 423, 428
- Федулов Б.Н. 256, 423, 428
Фирсов С.В. 433
Фокеева Н.О. 454
- Х**
Хакимзянов Р.Р. 246
Хахимов А.Г. 233
Хакимова З.Р. 450
Халитовав Д.М. 111
Хасанов М.К. 74
Холмогоров С.А. 329
Храмченков М.Г. 156
Христич Д.В. 439
Хроматов В.Е. 152, 443
- Ч**
Чекалин А.Н. 207
Черных В.Д. 144
- Ш**
Шагапов В.Ш. 447, 450, 454, 457
Шайдуллин Л.Р. 164
Шакирзянов Ф.Р. 329
Шамсиев М.Н. 461
Шарафутдинов В.Ф. 161, 266
Широкова Е.А. 172
- Щ**
Щугорев В.Н. 152
- Ю**
Юмашев О.Б. 86
- Я**
Яковлева Т.В. 218, 466

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ – 2020»,
ПОСВЯЩЕННОЙ 120-ЛЕТИЮ Х.М. МУШТАРИ, 110-ЛЕТИЮ К.З. ГАЛИМОВА,
110-ЛЕТИЮ Г.Г. ТУМАШЕВА, 100-ЛЕТИЮ М.С. КОРНИШИНА, 90-ЛЕТИЮ И.Г. ТЕРЕГУЛОВА

Подписано в печать 20.10.2020
Бумага офсетная. Формат 60×84/16. Печать ризографическая.
Усл.печ. л. 11,04. Тираж 150 экз. Заказ 17/В

Издательство Академии наук Республики Татарстан
420111, г. Казань, ул. Баумана, 20
e-mail: izdat.anrt@yandex.ru