



ВМСППС 2021

МАТЕРИАЛЫ XXII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ И СОВРЕМЕННЫМ ПРИКЛАДНЫМ ПРОГРАММНЫМ СИСТЕМАМ



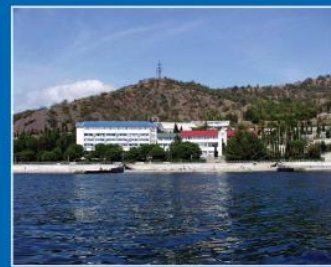
Посвящается году Науки и Технологий

**МАТЕРИАЛЫ XXII МЕЖДУНАРОДНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ
И СОВРЕМЕННЫМ ПРИКЛАДНЫМ
ПРОГРАММНЫМ СИСТЕМАМ**



ВМСППС'2021

4–13 сентября 2021 г.
Алушта, Крым



УДК 519.6:517.958:533.6
ББК 22.2:2218
М34

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Московского авиационного института
(национального исследовательского университета)

М34 **Материалы XXII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2021), 4–13 сентября 2021 г., Алушта. — М.: Изд-во МАИ, 2021. — 696 с.: ил.**

ISBN 978-5-4316-0824-7

Сборник включает в себя научные работы, отражающие современные мировые достижения в вычислительной механике, механике деформируемого твердого тела, механике жидкости, газа и плазмы, аэрокосмической механике, прикладной математике, разработке прикладных программных средств.

Для специалистов в области прикладной математики и механики, математического моделирования, информационных технологий, разработчиков современных прикладных программных систем, аспирантов и студентов старших курсов технических вузов.

Материалы XXII Международной конференции по вычислительной механике
и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2021),
4–13 сентября 2021 г., Алушта

Дизайн и компьютерная верстка *Ал. А. Пярнпуу*

Подписано в печать 11.08.2021. Формат 70 × 100 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 56,55
Тираж 400 экз. Изд. № 959. Заказ № 251

Издательство МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3 125993

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ООО «Компания АРТИШОК»,
125362, Москва, Волоколамское шоссе, д. 116, стр. 2, e-mail: info@artishok.ru

ISBN 978-5-4316-0824-7

© Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет), 2021

В качестве примера использования разработанных кинетических Монте-Карло моделей представлены результаты исследования потери атмосферы для так называемых горячих экзопланет, т. е. планет, орбиты которых близки к родительской звезде и их атмосферы подвержены воздействию экстремальных потоков жесткого УФ-излучения звезды. Соответственно, в верхней атмосфере планеты поглощения потока звездного УФ-излучения происходит сильный локальный нагрев атмосферного газа, вследствие которого атмосфера может расширяться на большие расстояния от центра планеты, что приводит к высоким атмосферным потерям. В кинетической модели [3] было исследовано воздействие жесткого излучения родительской звезды на верхнюю атмосферу экзопланеты — горячего непуна GJ 436b. Расчеты функций распределения показали (рис. 1), что процессы поглощения звездного УФ-излучения сопровождаются образованием и переносом в самые верхние слои переходной $\text{H}_2 \rightarrow \text{H}$ области верхней атмосферы экзопланеты восходящего потока надтепловых атомов водорода с кинетическими энергиями выше локальной энергии убегающего. Одним из важных следствий данных процессов является образование нетеплового потока убегающих из атмосферы атомов водорода с величиной $3,0 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ для умеренного уровня звездной активности в УФ-излучении, что приводит к скорости потери атмосферы за счет процессов поглощения звездного УФ-излучения равной $1,8 \cdot 10^9 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$. Данные оценки превышают локальные значения тепловой потери атмосферы, рассчитанной по формуле Джинса, и попадают в интервалы полученных из наблюдений оценок возможной скорости потери атмосферы экзопланеты GJ 436b в диапазоне $\sim 3,7 \cdot 10^6 \div 1,1 \cdot 10^9 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$. Данный источник надтепловых атомов водорода необходимо включить в современные астрономические модели физических и химических процессов в верхних атмосферах экзопланет [1, 2].

Можно ожидать, что будущие наблюдения наложат дополнительные ограничения на развиваемые основе кинетического метода Монте-Карло модели [1–3] потери атмосфер экзопланет, что будет способствовать прогрессу планетной астрономии и лучшему пониманию процессов эволюции, включая формирование атмосферы и климата на Земле и планетах земной группы в Солнечной системе. Расширение области исследований далеко за пределы Солнечной системы и дальнейшее совершенствование разрабатываемых математических моделей на основе кинетического метода Монте-Карло будет способствовать лучшему пониманию эволюционных процессов и ключевых проблем планетной космогонии.

1. Шематович В. И., Маров М. Я. Диссипация планетных атмосфер: физические процессы и численные модели // Успехи физических наук. — 2018. — Т. 38, № 3. — С. 233–265.
2. Shematovich V. I. Suprathermal particles in astrochemistry // Russian Chemical Reviews. — 2019. — V. 88, No. 10. — P. 1013–1045.
3. Автаева А. А., Шематович В. И. Нетепловая потеря атмосферы экзопланеты GJ 436b за счет процессов диссоциации H_2 // Астрономический вестник. — 2021. — Т. 55, № 2. — С. 172–181.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕГОМОГЕННОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

В. В. Яикова¹, Н. В. Харин¹, М. Э. Балтин², Т. В. Балтина², О. А. Саченков¹

¹ИММ КФУ, Казань, Россия; ²ИФМиБ КФУ, Казань, Россия

В данной работе показана методика построения расчетной конечно-элементной модели по данным компьютерной томографии (КТ). Отражены следующие этапы для оценки модели бедренной кости: обработка данных КТ в программном ком-

плексе Avizo; определение механических свойств в локальной области; построение конечно-элементной сетки с распределенными механическими свойствами; создание методики для оценки напряженно-деформированного состояния локальной области; решение модельных задач и сравнение результатов [1, 2].

Предполагается, что материал изотропный и негомогенный. Из предположения наличия связи между физической плотностью и механическими характеристиками оптическая плотность использовалась для расчета модуля Юнга и предельных напряжений. Общая идея заключается в построении взаимосвязи между конечно-элементной сеткой и данными КТ [3]. Для этого необходимо определить коэффициенты ослабления в узлах на дискретизированном множестве, которое представляет набор данных узлов и элементов. Далее производится осреднение механических характеристик для каждого элемента, что позволяет, находясь в рамках упругой постановки, использовать классические конечные элементы.

Оценка значимости предложенного метода показана на примере двух модельных задач: негомогенная и гомогенная, обладающая той же геометрией, и граничными условиями, но с осредненными механическими характеристиками. Изучались следующие задачи: одноосное сжатие, изгиб и совместный изгиб со сжатием. После получения решения анализировались поля распределений напряжений по Мизесу и коэффициента запаса. Стоит отметить, что локализация максимальных напряжений и наибольший коэффициент запаса для негомогенного и гомогенного случая значительно отличались в каждом из трех расчетных случаев.

Таким образом, данные примеры иллюстрируют необходимость учета распределения механических свойств костного органа при моделировании НДС [4]. Качественным образом изменяются картины распределения коэффициентов запаса, значительно изменяются их количественные значения. Приведенная методика позволяет моделировать механическое поведение костных органов с учетом индивидуализации не только геометрии органа, но и его механических свойств.

1. Gupta S., Dan P. Bone geometry and mechanical properties of the human scapula using computed tomography data // Trends Biomater. Artif. Organs. — 2004. — V. 17, No. 2. — P. 61–70.
2. Акулич Ю. В., Акулич А. Ю., Денисов А. С., Шайманов П. С., Шулятьев А. Ф. Уточнение индивидуальной зависимости модуля упругости трабекулярной костной ткани от объемного содержания матрикса // Российский журнал биомеханики. — 2014. — Т. 18, №2. — С. 158–167.
3. Rho J. Y., Hobatho M. C., Ashman R. B. Relations of mechanical properties to density and CT numbers in human bone // Med. Eng. Phys. — 1995. — V. 17(5). — P. 347–551.
4. Саченков О. А., Хасанов Р. Ф., Андреев П. С., Коноплев Ю. Г. Численное исследование напряженно-деформированного состояния тазобедренного сустава при ротационной остеотомии проксимального участка бедренной кости // Российский журнал биомеханики. — 2016. — Т. 20, №3. — С. 257–251.