Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор

_____ В.А. Скрипняк
подпись
«_07_» _____05_____ 2023г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

АНАЛИЗ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕДИКТОРНОГО РАСЧЁТА ДАВЛЕНИЯ В МЕТОДЕ ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика
направленность (профиль) «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Милейкин Дмитрий Андреевич

Руководитель ВКР
д-р физ.-мат. наук, профессор

_____ А.Ю. Смолин
подпись
«_____» _____ 2023г.

Автор работы
студент группы № 101903

_____ Д.А. Милейкин
подпись
«_____» _____ 2023г.

Томск – 2023

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____ В.А. Скрипняк
подпись
«01» 09 2021г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра обучающемуся

Милейкину Дмитрию Андреевичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, направленность (профиль) «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг».

1 Тема выпускной квалификационной работы:
«Анализ и модернизация предикторного расчёта давления в методе подвижных клеточных автоматов»

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:
а) в учебный офис / деканат – 2.06.2023 б) в ГЭК – 2.06.2023

3 Исходные данные к работе:
Объект исследования – численная схема метода подвижных клеточных автоматов
Предмет исследования – влияние различных способов предикторной оценки давления на эффективность численной схемы интегрирования уравнений движения в методе подвижных клеточных автоматов
Цель исследования – разработка эффективной схемы предикторной оценки давления в методе подвижных клеточных автоматов за счёт использования данных о соседних автоматах.

Задачи:

1. Провести аналитический обзор литературы по тематике исследования.

2. Изучить численную схему интегрирования уравнений движения метода подвижных клеточных автоматов и проанализировать способ предиктора давления.
3. Исследовать сходимость простых итераций по расчёту давления.
4. Разработать новые схемы получения предикторной оценки давления.
5. Провести анализ эффективности разработанных новых схем предиктора.

Методы исследования:

Анализ сходимости численных схем и численных результатов тестовых расчётов методом подвижных клеточных автоматов.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, – Институт физики прочности и моделирования СО РАН, лаборатория компьютерного конструирования материалов

4 Краткое содержание работы: В работе представлены результаты анализа существующей предикторной схемы расчёта давления в методе подвижных клеточных автоматов (ПКА), а также трёх новых схем такого расчёта. Первая предложенная предикторная схема основана на нахождении аналитической формулы предела сходимости итераций для случая изолированной системы, состоящей из одного автомата и всех его соседей, при условии, что только один из них движется и во всех соседях нет приращения давления. Вторая предложенная итерационная схема состояла в том, что на основе уравнений метода ПКА была записана система линейных алгебраических уравнений для сил центрального взаимодействия одной пары автоматов с учётом всех их соседей. Третьим подходом стала попытка оптимизировать исходную итерационную схему путём сокращения имеющихся итерационных формул так, чтобы получать значение приращения давления напрямую через его же значение на прошлом итерационном шаге. Все три модификации тестировались на задаче одноосного сжатия кубического образца из модельного линейно-упругого материала. Показано, что лучшей в плане эффективности является последняя схема.

Руководитель выпускной квалификационной работы

д-р физ.-мат. наук, профессор каф. МДТТ ФТФ ТГУ	_____	/ А.Ю. Смолин
должность, место работы	*подпись*	*И.О. Фамилия*

Задание принял к исполнению

студент группы 101903, ФТФ, НИ ТГУ	_____	/ Д.А. Милейкин
должность, место работы	*подпись*	*И.О. Фамилия*

АННОТАЦИЯ

Тема работы: «Анализ и модернизация предикторного расчёта давления в методе подвижных клеточных автоматов».

Автор работы: Милейкин Дмитрий Андреевич, кафедра механики деформируемого твердого тела, физико-технический факультет, 15.03.03 – Прикладная механика, профиль – Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг.

Научный руководитель: Алексей Юрьевич Смолин, доктор физико-математических наук, профессор каф. МДТТ ФТФ ТГУ.

Выпускная квалификационная работа изложена на 11 страницах машинописного текста, содержит 8 рисунков, 0 таблиц, 18 литературных источников

Ключевые слова: метод подвижных клеточных автоматов, численная схема-предиктор, многочастичность взаимодействия, одноосное сжатие.

В работе представлены результаты анализа существующей предикторной схемы расчёта давления в методе подвижных клеточных автоматов (ПКА), а также трёх новых схем такого расчёта. Первая предложенная предикторная схема основана на нахождении аналитической формулы предела сходимости итераций для случая изолированной системы, состоящей из одного автомата и всех его соседей, при условии, что только один из них движется и во всех соседях нет приращения давления. Вторая предложенная итерационная схема состояла в том, что на основе уравнений метода ПКА была записана система линейных алгебраических уравнений для сил центрального взаимодействия одной пары автоматов с учётом всех их соседей. Третьим подходом стала попытка оптимизировать исходную итерационную схему путём сокращения имеющихся итерационных формул так, чтобы получать значение приращения давления напрямую через его же значение на прошлом итерационном шаге. Все три модификации тестировались на задаче одноосного сжатия кубического образца из модельного линейно-упругого материала. Для выбранного автомата в модельном образце анализировались значения давления, средней деформации, силы центрального взаимодействия с одним из соседей, как в ходе итераций, так и во время расчёта. Анализ тестирования первой предложенной схемы показал, что использование на второй итерации найденного предельного значения не улучшает сходимость последующих итераций. Вторая предложенная схема работает также как и 10 исходных итераций метода, однако она оказалась очень затратной по времени выполнения. Лучшей в плане эффективности является последняя схема.

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание 4

ВВЕДЕНИЕ 5

История метода подвижных клеточных автоматов 6

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ..... **Error! Bookmark not defined.**

1. Основные уравнения метода подвижных клеточных автоматов**Error! Bookmark not defined.**

1.1. Определяющее соотношение для сил центрального взаимодействия..... **Error! Bookmark not defined.**

1.2. Вычисление центральной деформации..... **Error! Bookmark not defined.**

2. Вычисление предикторной оценки среднего напряжения. **Error! Bookmark not defined.**

2.1 Оценка сходимости предиктора при движении только одного соседа ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.2 Сравнение предложенной оценки с результатом расчёта программы..... **Error! Bookmark not defined.**

3. Решение СЛАУ для получения приращения среднего напряжения**Error! Bookmark not defined.**

3.1 Вывод основного соотношения ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2 Решение СЛАУ для ближайшего окружения..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3 Сравнение результатов ..... **Error! Bookmark not defined.**

4. Улучшение оригинальной схемы. ..... **Error! Bookmark not defined.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 29

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 31

ВВЕДЕНИЕ

Метод подвижных клеточных автоматов (ПКА) является развитием метода дискретных элементов и классического метода клеточных автоматов. Он объединяет преимущества этих методов и дополняет их. Метод клеточных автоматов широко применяется для моделирования процессов самоорганизации в природе и технике. Метод дискретных элементов используется для описания порошковых сред. Объединение этих методов, в виде метода подвижных клеточных автоматов, позволяет с достаточно высокой степенью эффективности моделировать процессы генерации повреждений и распространения трещин в твёрдых телах, вплоть до фрагментации и взаимодействия фрагментов как гранулированной среды. Моделирование именно этих процессов вызывает трудности в других численных методах для решения задач механики деформируемого твёрдого тела.

Важной особенностью метода подвижных клеточных автоматов является многочастичность взаимодействия элементов, в основе которой лежит вычисление среднего напряжения (давления) внутри элемента. Поскольку значение давления рассчитывается на основе значений сил взаимодействия элемента со своими соседями, которые на текущем шаге интегрирования ещё не известны, то оценка давления берётся либо с предыдущего шага, либо осуществляется по схеме предиктор-корректор.

Основной целью данной работы была разработка эффективной схемы предикторной оценки давления в методе подвижных клеточных автоматов.

ИСТОРИЯ МЕТОДА ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Метод подвижных клеточных автоматов был предложен совместно профессорами Сергеем Григорьевичем Псахье (https://en.wikipedia.org/?curid=30181261) и Ясуюки Хори в 1994 году во время пребывания С.Г. Псахье в Университете Северной Каролины [0]. В это время группа Я. Хори занималась моделированием ударно-волнового синтеза перспективных материалов, когда в смеси порошков некоторых металлов в результате химических реакций во фронте ударной волны получались интерметаллиды. При этом в порошковой смеси наблюдались большие пластические деформации, включая перемешивание вещества различных порошков. Идея С.Г. Псахье состояла в объединении метода отдельных элементов (Distinct Element Method) П. Кундалла, используемого для моделирования сыпучих сред, с методом клеточных автоматов (КА), используемым для процессов самоорганизации, включая химические реакции. Название метода подчёркивало способность клеточных автоматов перемещаться в пространстве, поскольку в классическом методе КА сетка автоматов фиксирована в пространстве.

После окончания визита в Университет Северной Каролины и возвращения С.Г. Псахье в Россию метод стал интенсивно развиваться в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, в лаборатории, которой руководил С.Г. Псахье. Впервые основы метода были опубликованы в журнале «Известия вузов. Физика» в 1995 году [1]. В этой первой статье подчёркивалось, что основным приложением метода является так называемый мезоскопический уровень описания материала, занимающий промежуточную ступень между микроскопическим (где явно учитывается атомная структура) и макроскопическим, где рассматривается весь образец и микроструктура материала «размазывается». В следующих работах [2, 3] было показано, что уравнения движения мезоскопических элементов (подвижных клеточных автоматов) могут быть получены из концепции возбудимых клеточных автоматов как распространение относительных перекрытий и поворотов в «среде», состоящей из пар дискретных элементов. Применение концепции бистабильных клеточных автоматов к парам элементов (у которых имеется два основных состояния – связанные и несвязанные) позволяет описывать разрушение материала и залечивание повреждений (микросварку).

В статьях [4, 5] впервые было показано, что для описания пластических деформаций в рамках метода ПКА важно выделять так называемую объёмно-зависящую силу взаимодействия. Эта составляющая силы обусловлена взаимодействием выбранного элемента со всем своим окружением, и аналогична многочастичному потенциалу погруженного атома в методе молекулярной динамики. Кроме того, показано, что для описания специфических

механических свойств материала используются так называемые функции отклика подвижных клеточных автоматов, которые аналогичны определяющим уравнениям в механике сплошной среды и определяют парные составляющие центрального и тангенциального взаимодействия автоматов. Для линейно упругого материала эта функция линейна. Для учёта деградации упругих свойств вследствие накопления внутренних повреждений, или учёта необратимости при пластическом деформировании эта функция должна быть нелинейной. В качестве первого приближения, для построения функции отклика можно использовать диаграммы растяжения материала.

В статьях [6, 7] было показано, что при определённом выборе параметров функции отклика поведение среды подвижных клеточных автоматов аналогично поведению линейно упругого континуума, что позволило предложить совмещённый дискретно-континуальный метод численного моделирования, на основе объединения программ, реализующих метод подвижных клеточных автоматов и метод конечных разностей (или конечных элементов) для численного решения уравнений механики деформируемого твёрдого тела, как сплошной среды.

В статьях [8–11] впервые был сформулирован формализм метода ПКА для корректного моделирования пластически деформируемых материалов. Для этого необходимо использовать усреднённые значения тензора напряжений в автомате, которые вычисляются по силам, действующим на площадках «контакта» этого автомата с соседями. Зная все компоненты тензора напряжений можно использовать существующие в механике деформируемого твёрдого тела критерии пластического течения. Было показано, например, что, в случае критерия Мизеса, можно соответствующим образом корректировать значения межавтоматных сил, подобно тому, как это делается в методе Уилкинса [11].

В работах [12–14] впервые представлены результаты трёхмерного моделирования методом ПКА. Они главным образом посвящены контактному нагружению металлических материалов жёстким индентором, а также моделированию сварки трением с перемешиванием. Необходимо подчеркнуть, что моделирование процессов интенсивного деформирования с перемешиванием масс в зоне трения представляет собой достаточно сложную проблему и здесь особо востребованы свойства метода по возможности разрыва «связей» между автоматами и образованию новых связанных пар.

В работе [15] в трёхмерной постановке изучены упругие и прочностные свойства пористой керамики в зависимости от структуры порового пространства. Показано, что эти зависимости меняют свой характер при перколяционном переходе поровой структуры от изолированных пор к проницаемой пористости.

В статье [16] метод подвижных клеточных автоматов развит для моделирования материалов с эффектом памяти формы и показано влияние параметров такой модели на формирование структуры зоны трения.

Важным этапом в развитии метода ПКА стала возможность моделирования флюидонасыщенных материалов, предложенная в [17]. В первую очередь эта возможность была применена к моделированию геологических сред [18, 19].

В заключение можно отметить, что последние интересные результаты, полученные с помощью метода ПКА, связаны с моделированием биологических материалов, в частности костных и хрящевых тканей с различной степенью деградации [20–22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен анализ сходимости итерационных процедур при расчёте средних напряжений и деформаций в идеальном случае движения только одного соседа из всего окружения подвижных клеточных автоматов. Получены пределы таких итерационных процедур. Проведена серия численных экспериментов на разных образцах для оценки предикторной корректировки сходимости итерационной процедуры расчёта среднего напряжения в подвижном клеточном автомате предиктора среднего напряжения автоматов путём использования предельных теоретических значений.. Показано, что предиктор не улучшил сходимость последующих итераций. Эксперименты показали, что нельзя не учитывать вклад общих для «i-го» и «j-го» соседей в изменение среднего напряжения.

Далее представлен новый подход к получению приращения среднего напряжения для рассматриваемого автомата, основанный на решение системы линейных алгебраический уравнений. С использованием данного алгоритма была проведена серия численных экспериментов. Значения среднего напряжения, силы центрального взаимодействия и центральной деформации, полученные при помощи алгоритма, использующего для решения системы линейных уравнений, хорошо согласуются с аналогичными значениями для 10 итераций оригинального метода. Однако, данный метод оказывается крайней требовательным к объему памяти ОЗУ, а алгоритмическая сложность решения системы алгебраических уравнений пропорциональна N^3, где N – число автоматов. Это не позволяет проводить расчеты для сколько-либо значительного числа подвижных клеточных автоматов.

Учитывая недостатки вышеописанного метода был создан еще один алгоритм. Было сделано предположение о том, что значительным для формирования среднего напряжения оказывается лишь взаимодействие автоматов, принадлежащих первой и второй координационной сферы. Результаты расчетов дублируют результаты, полученные с применением предыдущего алгоритма. Таким образом, при хорошо согласующихся результатах, алгоритм позволяет работать со значительно большим числом подвижным клеточных автоматов, т.к. системы уравнений оказываются относительно небольшими. Данный алгоритм также как и предыдущий проигрывает в затрачиваемом машинном времени, но не столь существенно.

С учетом малой эффективности использования систем линейных алгебраических уравнений для получения значения среднего напряжения, было решено вернуться к итерационным процедурам. На основании формул, используемых в оригинальном методе, были выведены новые сокращенные формулы, которые проводят к точно такому же решению. Использование этих формул оказалось в 2-2.5 раза более эффективным, чем использование оригинальных формул, при этом в ходе вычислений информация не теряется, т.е. все

необходимые значения, вычисляемые в оригинальном методе, вычисляют на последнем шаге с использованием новых формул. Полученные значения полностью согласуются с оригинальным методом.

Таким образом, показано, что, во-первых, нельзя не учитывать взаимодействие рассматриваемой пары автоматов с их соседями, расположенными в первой и второй координационной сфере и взаимодействием этих соседей друг с другом, во-вторых, подходы, использующие для получения значений среднего напряжения системы линейных алгебраических уравнений, оказываются малоэффективными в виду высокой алгоритмической сложности решения таких систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Mackert G.A., Schulte M., Hirche C., Kotsougiani D., Vogelpohl J., Hoener B., et al. (2017) Low-energy extracorporeal shockwave therapy (ESWT) improves metaphyseal fracture healing in an osteoporotic rat model. PLoS ONE 12(12): e0189356.

2 Birnbaum K, Wirtz D.C., Siebert C.H., Heller K.D. Use of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) in the treatment of non-unions A review of the literature. Arch Orthop Trauma Surg (2002) 122 :324–330.

3 Mittermayr R., Haffner N., Feichtinger X. et al. The role of shockwaves in the enhancement of bone repair - from basic principles to clinical application. Injury 52S2 (2021) S84–S9.

4 Иванов А.А. Медицинская и биологическая физика: учебное пособие / А.А. Иванов и др. – Минск: БГУИР, 2014. – 330 с.: ил.

5 Сабельников Н.Е. Остеология: кости туловища и конечностей: учебное пособие / Н.Е. Сабельников – Ижевск, 2012. – 44 с.: ил.

6 Помогаева Е.В. Современные классификации переломов костей нижней конечности: учеб. пособие / Под ред. Е. В. Помогаевой; ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России. — Екатеринбург: Изд-во УГМУ, 2016.— 56 с

7 Тлевцежев З.Х. Травматология. Учебно-методическое пособие. – Майкоп: изд-во МГТУ, 2015. Т-49. – 92 с.

8 STORZ MEDICAL [Online]. – https://www.storzmedical.com/ru. (Дата обращения: 19.01.2023)

9 Wess O.: Physikalische Grundlagen der extrakorporalen Stoswellentherapie. Journal für Mineralstoffwechsel, 11(4), 7 – 18, 2004.

10 Chaussy C. et al.: Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. The Lancet, 316(8207), 1265 – 1268, 1980.

11 Chaussy C. et al.: First clinical experiences with extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. The Journal of Urology, 127(3), 417 – 420, 1982.

12 Valchanou V., Michailov P. High energy shock waves in the treatment of delayed and nonunion of fractures. Int Orthop 1991;15: 181–4.

13 Tischer T., Milz S., Weiler C. et al. Dose-dependent new bone formation by extracorporeal shock wave application on the intact femur of rabbits. Eur Surg Res 2008;41: 44–53.

14 Schaden W., Fischer A., Sailler A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. Clin. Orthop. Relat. Res. 2001;387: 90–4.

15 Псахье С. Г., Смолин А. Ю., Дмитриев А. И., Шилько Е. В., Коростелев С. Ю. Метод подвижных клеточных автоматов как направление дискретной вычислительной механики // Чебышевский сборник. – 2017.– т. 18, No 3(63). – С. 439-460.

16 Özkan A., Kişioğlu Y., The rotational loading capacity and effects of Fibula on lower extremity, Journal of Engineering Research and Applied Science, Volume 2(1) June 2013, pp. 138-143

17 Cleveland R.O., McAteer J.A. Physics of Shock-Wave Lithotripsy, in Smith's Textbook of Endourology, Eds. Wiley-Blackwell (2012). pp. 527–558.

18 Loske A.M. Medical and ApplicationsBiomedical of Shock Waves: in Shock Wave and High Pressure Phenomena (2007).

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

Отчет о проверке на заимствования №1

Автор: Милейкин Дмитрий Андреевич
Проверяющий:

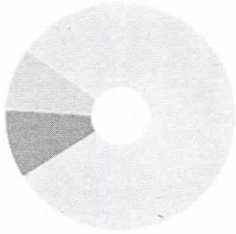
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - http://users.antiplagiat.ru

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 5
Начало загрузки: 27.05.2023 03:27:46
Длительность загрузки: 00:00:06
Имя исходного файла: ВКР Милейкин Д.А..docx
Название документа: ВКР Милейкин Д.А.
Размер текста: 37 кБ
Символов в тексте: 37865
Слов в тексте: 4865
Число предложений: 296

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 27.05.2023 03:27:52
Длительность проверки: 00:02:28
Комментарии: не указано
Поиск с учетом редактирования: да
Проверенные разделы: титульный лист с. 1, основная часть с. 2-4,6-26, содержание с. 5, библиография с. 27-28
Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (KkRu), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (KyRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по Интернету (KkRu), Переводные заимствования по Интернету (KyRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования (KkEn), Переводные заимствования (KyEn), Переводные заимствования издательства Wiley , eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, IEEE, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства Wiley , Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Шаблонные фразы, Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования



СОВПАДЕНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
9,83%	0%	9,06%	81,11%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» – это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирования — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» – это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирования — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» – это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» – это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Комментарии
[01]	7,52%	не указано	13 Янв 2022	Библиография	
[02]	2,61%	Скачать полнотекстовую версию http://journals.tsu.ru	26 Ноя 2016	Интернет Плюс*	
[03]	2,57%	Реферат: "Трехмерное моделирование методом подвижных кле... https://bakalavr-info.ru	30 Сен 2021	Интернет Плюс*	
[04]	2,07%	https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:14948/SOU... https://vital.lib.tsu.ru	05 Мая 2023	Интернет Плюс*	
[05]	1,7%	Моделирование деформации наноструктурных покрытий на тита... http://elibrary.ru	15 Янв 2013	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[06]	1,7%	Скачать полнотекстовую версию http://journals.tsu.ru	30 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	
[07]	1,69%	https://www.injuryjournal.com/article/S0020-1383(21)00184-4/pdf https://injuryjournal.com	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	

[08]	1,67%	Зависимости механических свойств керамики с бимодальным ра... http://elibrary.ru	09 Янв 2019	eLIBRARY.RU	
[09]	1,63%	Развитие подхода к моделированию деформирования и разруше... http://elibrary.ru	31 Авг 2011	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[10]	1,58%	https://lib.tsu.ru/win/produkzija/metodichka/NB_Metodichka_2021_g... https://lib.tsu.ru	07 Мая 2022	Интернет Плюс*	
[11]	1,58%	https://lib.tsu.ru/win/produkzija/metodichka/pril1.pdf https://lib.tsu.ru	25 Мая 2022	Интернет Плюс*	
[12]	1,54%	не указано	13 Янв 2022	Шаблонные фразы	
[13]	1,52%	Extracorporeal shockwave therapy: A systematic review of its use in fr... https://doi.org	20 Сен 2018	Интернет Плюс*	
[14]	1,47%	https://www.tsu.ru/upload/medialibrary/759/rekomenduemyy_shabl... https://tsu.ru	24 Янв 2022	Интернет Плюс*	
[15]	1,44%	Shockwave therapy: Is there an application to enhance wound healing... https://doi.org	28 Фев 2010	Издательство Wiley	
[16]	1,42%	https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/... https://repositorio.unbosque.edu.co	27 Мая 2023	Интернет Плюс*	
[17]	1,4%	Численное исследование влияния материала подложки на дефор... https://spravochnick.ru	11 Янв 2023	Интернет Плюс*	
[18]	1,3%	Еремина, Галина Максимовна Исследование механического пове... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	
[19]	1,26%	Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2017. № 48. http://journals.tsu.ru	06 Фев 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[20]	1,26%	Численное исследование влияния материала подложки на дефор... https://spravochnick.ru	11 Янв 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[21]	1,24%	Зависимости механических свойств керамики с бимодальным ра... http://elibrary.ru	09 Янв 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[22]	1,23%	Метод подвижных клеточных автоматов — Википедия https://ru.wikipedia.org	02 Июл 2022	Интернет Плюс*	
[23]	1,22%	Effect of Shockwave Treatment for Management of Upper and Lower ... https://doi.org	31 Дек 2018	Издательство Wiley	
[24]	1,2%	Вестник Томского государственного университета. Математика и ... http://ibooks.ru	09 Дек 2016	Сводная коллекция ЭБС	
[25]	1,2%	не указано https://doi.org	20 Авг 2019	Интернет Плюс*	
[26]	1,12%	Что такое ударные волны? Физика и техника https://storzmedical.com	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	
[27]	1,11%	Влияние организационной структуры включений на прочность д... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU	
[28]	1,09%	Методы моделирования https://knowledge.allbest.ru	14 Июн 2021	Интернет Плюс*	
[29]	1,09%	Методы моделирования. Курсовая работа (т). Информационное о... https://bibliofond.ru	12 Мая 2021	Интернет Плюс*	
[30]	1,09%	Методы моделирования. Курсовая работа (т). Информационное о... https://bibliofond.ru	29 Янв 2019	Интернет Плюс*	
[31]	1,03%	https://vestnik.pstu.ru/get/_res/fs/file.pdf/11337/%C5%F0%E5%EC%E... https://vestnik.pstu.ru	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	
[32]	1,02%	latsaphone_vilayphone-diplom.docx	29 Ноя 2022	Кольцо вузов	
[33]	1,01%	Исследование влияния локального напряженного состояния на о... http://elibrary.ru	29 Авг 2008	eLIBRARY.RU	
[34]	1%	(национального исследовательского университета) http://npnj.ru	03 Апр 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[35]	0,96%	Treatment planning & targeting during shock wave therapy https://ora.ox.ac.uk	13 Авг 2019	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[36]	0,87%	Т-кольца и факторно делимые группы (6/7) http://mpgu.edu	24 Дек 2014	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[37]	0,87%	Моделирование деформации наноструктурных покрытий на тита... http://journals.tsu.ru	06 Фев 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[38]	0,87%	Моделирование деформации наноструктурных покрытий на тита... https://core.ac.uk	20 Янв 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[39]	0,86%	Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) for wound healing: Techno... https://doi.org	31 Июл 2012	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[40]	0,86%	Extracorporeal shockwaves (ESWs) enhance the osteogenic medium-i... https://doi.org	28 Фев 2017	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[41]	0,84%	Корнеева, Марина Александровна Методика обучения студентов ... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2017	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[42]	0,84%	An investigation of shock wave therapy and low-intensity pulsed ultra... https://doi.org	31 Мар 2018	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[43]	0,78%	231822 http://biblioclub.ru	19 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[44]	0,77%	Abstracts https://doi.org	28 Фев 2005	Издательство Wiley	

[45]	0,76%	https://ecuro.ru/sites/default/files/magazine/ecu-3-2019ru.pdf https://ecuro.ru	12 Фев 2020	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[46]	0,76%	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК Руководитель ООП д-р физ.-мат. наук... https://docplayer.com	08 Фев 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[47]	0,74%	Развитие подхода к моделированию деформирования и разруше... http://elibrary.ru	31 Авг 2011	eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[48]	0,73%	Добрынин, Сергей Александрович Развитие метода подвижных кл... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2009	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[49]	0,73%	Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2013. № 4(24). http://journals.tsu.ru	01 Янв 2013	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[50]	0,72%	Use of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) in the treatment of ... http://elibrary.ru	25 Авг 2002	eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[51]	0,68%	Проблемы геологии и освоения недр:. http://elibrary.ru	04 Июл 2015	eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[52]	0,67%	Примеры использования моделей в процессе применения метода... https://citionhall.ru	28 Мар 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[53]	0,62%	Facial treatment with acoustic wave therapy for improvement of facial... https://doi.org	30 Апр 2020	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[54]	0,62%	Мочекаменная болезнь у пациентов с инфравезикальной обструк... http://emll.ru	20 Янв 2020	Медицина	
[55]	0,62%	The Role of Extracorporeal Shockwave Treatment in Musculoske... : JBJS https://journals.lww.com	12 Янв 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[56]	0,57%	Мочекаменная болезнь у пациентов с кистозными образованиям... http://emll.ru	20 Янв 2020	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[57]	0,57%	Мочекаменная болезнь у пациентов с кистозными образованиям... http://emll.ru	20 Дек 2016	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[58]	0,49%	https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5018534 https://aip.scitation.org	27 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[59]	0,45%	Метод подвижных клеточных автоматов http://ru.wikipedia.org	10 Янв 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[60]	0,43%	http://scirate.1spbgmu.ru/SciRateSMUWeb/attachments/14134/SciPr... http://scirate.1spbgmu.ru	13 Июл 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[61]	0,42%	Метод подвижных клеточных автоматов http://dic.academic.ru	08 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[62]	0,41%	Субпопуляционный состав лимфоцитов крови после изолированн... https://mimmun.ru	27 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[63]	0,4%	МЕТОД ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ КАК НАПРАВЛЕНИ... https://chebsbornik.ru	06 Фев 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[64]	0,4%	Захаров, Артём Юрьевич Лечение травматических повреждений ... http://dlib.rsl.ru	08 Ноя 2022	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[65]	0,39%	Моделирование деформации наноструктурных покрытий на тита... https://cyberleninka.ru	27 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[66]	0,39%	Димаки, Андрей Викторович Нелинейные закономерности контак... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2017	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[67]	0,39%	Артур Степанян	28 Дек 2022	Кольцо вузов	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[68]	0,38%	Extracorporeal shock-wave therapy enhanced wound healing via incr... https://doi.org	31 Июл 2009	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[69]	0,36%	Разработка пакета прикладных программ по автоматизации скла... http://biblioclub.ru	21 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[70]	0,36%	Смета доходов и расходов бюджетного учреждения: практическо... http://biblioclub.ru	21 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[71]	0,35%	Роман, Никита Витальевич диссертация ... кандидата физико-мате... http://dlib.rsl.ru	15 Сен 2015	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[72]	0,35%	Физика твердого тела. Сборник материалов XIII Российской научн... http://bibliorossica.com	26 Мая 2016	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[73]	0,35%	Смолин, Алексей Юрьевич диссертация ... доктора физико-матема... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[74]	0,35%	Potential Novel Strategies for the Treatment of Dental Pulp-Derived P... https://frontiersin.org	17 Ноя 2020	СМИ России и СНГ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[75]	0,34%	Extracorporeal Shock-Wave Therapy for Musculoskeletal Indications a... https://aetna.com	12 Янв 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[76]	0,31%	Диссертация на тему «Оптимизация нагрузки на конечность при ... https://dissercat.com	25 Мая 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[77]	0,3%	Карзова, Мария Михайловна Нелинейные эффекты при отражени... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[78]	0,29%	Poly(methyl methacrylate) particles for local drug delivery using shock... https://doi.org	31 Авг 2015	Издательство Wiley	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[79]	0,28%	Ссудный процент в Христианстве и Исламе. История и современн... https://nauchkor.ru	10 Апр 2019	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[80]	0,27%	Ефимочкин, Сергей Александрович диссертация ... кандидата меди... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2009	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[81]	0,26%	https://isn.ucsd.edu/courses/beng221/problems/2013/project-13-Mo... https://isn.ucsd.edu	27 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

[82]	0,22%	Совершенствование технологии производства новых структур жа... http://diss.natlib.uz	26 Дек 2020	Коллекция НБУ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[83]	0,22%	https://www.gubkin.ru/diss2/files/d06-Faist/Dissertation_Faist_IA.pdf https://gubkin.ru	13 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[84]	0,22%	Сотрудники | Уральский государственный медицинский универси... https://usma.ru	27 Мар 2020	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[85]	0,2%	Исследование состава и свойств белых слоев, образующихся при т... https://cyberleninka.ru	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[86]	0,19%	Метод оценки изменения направлений главных максимумов диаг... https://elibrary.ru	31 Дек 2022	eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[87]	0,19%	https://www.biznesbooks.com/components/com_jshopping/files/de... https://biznesbooks.com	11 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[88]	0,13%	Management of proximal femur fractures in the elderly: current conce... https://eurjmedres.biomedcentral.com	26 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

Руководитель ООП.
зав. каф. МДТТ,
д.ф.-м.н., профессор

В.А. Сиротюк

27.05.2023

Руководитель выпускной работы
д.ф.-м.н., профессор

А.Ю. Смолин

27.05.2023

Заключение
руководителя ООП 15.03.03 Прикладная механика
профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Руководствуясь п.3.2 и п. 3.4 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке НИ ТГУ» (Приказ ректора №301/ОД от 22.04.2016) выпускную квалификационную работу Милейкина Дмитрия Андреевича «Анализ и модернизация предикторного расчёта давления в методе подвижных клеточных автоматов» следует разместить в депозитарий НБ НИ ТГУ с изъятием раздела 1, раздела 2, раздела 3.

27.05.2023 г.

Руководитель ООП
зав. кафедрой механики
деформируемого твердого тела,
д.ф.-м.н., профессор В.А. Скрипняк

моб. тел. +7 9039140028