

Краткая информация о проекте

Наименование	AP09261135 «Разработка нелинейных математических моделей и программных модулей для решения задач бурения скважин в добывающей промышленности» (0121PK00367)
Актуальность	Актуальность проводимых исследований обусловлена происходящими в последнее время изменениями в добывающих отраслях промышленности, в частности в нефтегазодобывающей отрасли, связанные с требованиями постоянного улучшения эффективности бурения скважин и внедрением новых информационных и вычислительных технологий для работы с постоянно увеличивающимися объемами данных.
Цель	Разработка программных модулей для решения задач бурения скважин в добывающей промышленности на основе построенных нелинейных математических моделей пространственного деформирования бурительных колонн. Разрабатываемые программные модули позволяют решать широкий класс задач, включая анализ перемещений, исследование напряженно-деформированного состояния (НДС), устойчивости и 3D-визуализации движения бурительных колонн, для оптимизации процесса бурения скважин.
Задачи	<ol style="list-style-type: none">1) Разработка новой нелинейной математической модели пространственных колебаний бурительной колонны с учетом потока промывочной жидкости и сил гравитации.2) Обобщение разработанной математической модели на случай контактного взаимодействия бурительной колонны со стенками скважины для получения наиболее реалистичной картины колебаний бурительной колонны.3) Проведение численных экспериментов по определению перемещений бурительных колонн и построению их фазовых портретов.4) Разработка программного модуля для расчета перемещений бурительной колонны на основе обобщенной математической модели с использованием Wolfram Language.5) Переход от поля перемещений к полю напряжений бурительной колонны. Разработка программного модуля для расчета НДС бурительной колонны.6) Разработка программного модуля 3D-анимации движения бурительной колонны.7) Определение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и характеристических определителей зон неустойчивости движения бурительной колонны для обобщенного случая.8) Разработка программного модуля для построения резонансных кривых бурительной колонны.9) Разработка программного модуля для построения зон неустойчивости движения бурительной колонны, что позволит проводить детальный анализ динамической устойчивости бурительных колонн с учетом осложняющих факторов.

<p>Ожидаемые и достигнутые результаты</p>	<p>Ожидаемые результаты: будут разработаны нелинейные математические модели колебаний бурильной колонны с учетом потока промывочной жидкости, сил гравитации и контактного взаимодействия со стенками скважины; представлены графики перемещений и фазовые портреты движения колонны; разработаны программные модули, позволяющие проводить расчет перемещений, НДС и 3D-симуляцию движения бурильной колонны, с использованием Wolfram Language; определены АЧХ и характеристические определители зон неустойчивости движения колонны; разработаны программные модули, позволяющие моделировать резонансные режимы и зоны неустойчивости движения бурильной колонны с использованием Wolfram Language.</p> <p>Достигнутые результаты:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработана нелинейная математическая модель пространственных колебаний бурильной колонны с учетом потока промывочной жидкости и сил гравитации с использованием нелинейной теории упругости В.В. Новожилова и вариационного принципа Остроградского-Гамильтона. 2. Получено обобщение разработанной математической модели на случай контактного взаимодействия бурильной колонны со стенками скважины. Найдено выражение для виртуальной работы сил контактного взаимодействия и трения бурильной колонны о стенки скважины с использованием контактного закона Герца. 3. Проведены численные эксперименты по определению перемещений бурильных колонн и построению их фазовых портретов. Представлены графики перемещений и фазовые портреты движения бурильных колонн. Исследовано влияние параметров бурильной колонны, внешних нагрузок и потока промывочной жидкости на возникающие поперечные колебания колонны. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных при расчете нелинейной модели и ее линейного аналога. Показано, что геометрическая нелинейность вносит значительные поправки в решение и ее необходимо учитывать при исследовании движения бурильных колонн в процессе проходки скважин. 4. Разработан программный модуль для расчета перемещений бурильной колонны на основе обобщенной модели с использованием Wolfram Language. Осуществлена программная реализация метода Бубнова-Галеркина, позволяющего сводить системы уравнений в частных производных к системам обыкновенных дифференциальных уравнений. 5. Осуществлен переход от поля перемещений к полю напряжений с использованием соотношений нелинейной теории упругости В.В. Новожилова и уравнений обобщенного закона Гука. Разработан программный модуль для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) бурильной колонны с использованием языка Wolfram
---	---

Language, который позволяет проводить анализ НДС колонны как в определенном сечении, так и по всей ее длине. Построены графики деформаций и напряжений бурильной колонны в различных сечениях колонны, а также карты изменения НДС бурильной колонны по всей длине колонны с течением времени.

6. Разработан программный модуль 3D-анимации движения бурильной колонны с использованием языка Wolfram Language. Осуществлена двумерная и трехмерная визуализация колебаний бурильной колонны с учетом влияния потока промывочной жидкости, внешних нагрузок и контактного взаимодействия со стенками пробуриваемой скважины с возможностью настройки всех необходимых параметров исследуемой системы.

7. Определены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) движения бурильной колонны для обобщенной математической модели. Получена система уравнений возмущенного состояния бурильной колонны типа Матье относительно величин малого отклонения от периодического равновесного состояния системы. Найдены обобщенные уравнения в вариациях типа Хилла для случая основного резонанса нелинейных пространственных колебаний бурильной колонны с учетом рассматриваемых факторов. Определены характеристические определители зон неустойчивости движения бурильной колонны для обобщенного случая, описывающие границы первой и третьей областей неустойчивости в случае основного резонанса.

8. Разработан программный модуль для моделирования резонансных режимов бурильной колонны на основе использования разработанной обобщенной нелинейной математической модели с применением языка Wolfram Language. Построены резонансные кривые бурильной колонны. Проведен анализ влияния различных параметров системы на амплитудно-частотные характеристики бурильной колонны. Проведен сравнительный анализ линейной и нелинейной моделей колебаний бурильной колонны. Путем линеаризации модели получены известные кривые АЧХ линейных колебаний, что подтверждает достоверность полученных результатов.

9. Разработан программный модуль для моделирования зон неустойчивости бурильной колонны на основе использования разработанной обобщенной нелинейной математической модели с применением языка Wolfram Language. Построены зоны неустойчивости движения бурильной колонны на основе полученных ранее АЧХ колебаний колонны. Проведен анализ влияния различных параметров системы на зоны неустойчивости движения бурильной колонны. Установлено, что увеличение длины колонны приводит к смещению зон неустойчивости в область меньших частот, а учет потока промывочной жидкости смещает зоны неустойчивости к большим частотам.

<p>Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кудайбергенов Аскар Канатович, руководитель проекта, PhD, индекс Хирша – 4; Researcher ID R-1820-2019, ORCID 0000-0001-9154-9653, Scopus Author ID 57202688443. 2. Хаджиева Леля Азретовна, д.ф.-м.н., профессор, индекс Хирша – 5; Researcher ID N-4382-2014, ORCID 0000-0002-2565-3409, Scopus Author ID 55779888800. 3. Кудайбергенов Аскат Канатович, PhD, индекс Хирша – 4; Researcher ID AAR-2337-2020, ORCID 0000-0003-4773-0580, Scopus Author ID 56479154600. 4. Умбеткулова Алия Балгабаевна, PhD, индекс Хирша – 2; Researcher ID N-4318-2014, ORCID 0000-0002-0322-9762, Scopus Author ID 55780187400. 5. Сабирова Роза Фархатовна, магистр технических наук, индекс Хирша – 1; ORCID 0000-0001-8733-6153, Scopus Author ID 57226890520. 6. Сабирова Юлия Фархатовна, PhD-докторант, индекс Хирша – 2; ORCID 0000-0002-3497-0940, Scopus Author ID 57758916300. 7. Кыдырбек Фарангис Алматбекқызы, PhD-докторант.
<p>Список публикаций со ссылками на них</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lelya Khajiyeva, Askar Kudaibergenov, Yuliya Sabirova. Application of the lumped-parameter method for modelling nonlinear vibrations of drill strings with complicating factors // Abstracts 16th Int. Conf. “Dynamical Systems – Theory and Applications” (DSTA 2021). – Lodz, Poland, December 6-9, 2021. – P. 751-752 (https://www.dys-ta.com/paper_documents/VIB322). 2. L.A. Khajiyeva, I.V. Andrianov, Yu.F. Sabirova, Askar K. Kudaibergenov. Analysis of drill-string nonlinear dynamics using the lumped-parameter method // Symmetry. – 2022. – Vol. 14(7). – P. 1-18 (DOI: https://doi.org/10.3390/sym14071495, SJR=0.540, процентиль по CiteScore=93, Q2). 3. Askar K. Kudaibergenov, Askat K. Kudaibergenov, L.A. Khajiyeva. Analysis of the stress-strain state of rotating drill strings with a drilling mud // Proc. XIII Int. Conf. on the Theory of Machines and Mechanisms (TMM 2020). – Liberec, Czech Republic, September 7-9, 2021. Mechanisms and Machine Science. – 2022. – Vol. 85. – P. 114-122, (DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-83594-1_12, SJR=0.225, процентиль по CiteScore=24, Q3). 4. Danila A. Prikazchikov, Roza F. Sabirova, Peter T. Wootton. Seismic metasurface of an orthorhombic elastic half-space// Science Progress. – 2023. – Vol. 106 (4). – P. 1-13 (Scopus, DOI: https://doi.org/10.1177/00368504231206320, SJR=0.350, процентиль по CiteScore=72, Q2). 5. Askar K. Kudaibergenov, Askat K. Kudaibergenov, L.A. Khajiyeva. On nonlinear spatial vibrations of rotating drill strings under the effect of a fluid flow // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. – 2023. – Vol. 18. – P. 75-83, (DOI: https://doi.org/10.37394/232011.2023.18.8, SJR=0.174, процентиль по CiteScore=25, Q4). 6. Askar K. Kudaibergenov, Askat K. Kudaibergenov. Development of a software module for modeling drill string

	<p>displacements // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. – 2023. – No. 3 (119). – P. 117-129 (КОКСНВО, DOI: https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a10).</p> <p>7. Sabirova Yu.F., Sabirova R.F. Development of a numerical model of a drill string in a fluid flow by the lumped-parameter method // Материалы VIII Межд. научно-практ. конф. «Информатика и прикладная математика», посвященной памяти 85 д.т.н., профессора Бияшева Р.Г. – Алматы, Казахстан, 26-27 октября 2023. – С. 101-106 (https://conf.iict.kz/wp-content/uploads/2023/10/collection_CSAM_VIII_2023_1.pdf).</p> <p>8. Кудайбергенов А.К. Математическое моделирование нелинейных процессов в задачах бурения: монография. – Алматы: Қазақ университеті, 2023. – 112 с. (ISBN 978-601-04-6488-9).</p>
Информация о патентах	–







