

РЕЦЕНЗИЯ

на диссертационную работу Сергалиева Алмаза Сериковича
«Моделирование нелинейной и стохастической динамики буровых штанг неглубинного бурения», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D070500 – Математическое и компьютерное моделирование»

1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами. Нефтегазовая и горнодобывающая промышленность являются главными отраслями в экономике Казахстана и многих стран. Их успешное развитие и конкурентоспособность на внешних рынках во многом связаны с внедрением новых высокоэффективных и наукоемких технологий, позволяющих увеличивать объемы добычи нефти и газа при снижении материальных и финансовых затрат на производство, обеспечение прочности и надежности функционирования горнорудного оборудования, безопасности его использования. Основой технологии добычи нефти и газа является бурение скважин часто в весьма сложных геологических условиях. При этом буровые колонны должны сохранять направление бурения (чаще вертикальное), обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать сопротивление горных пород при бурении, а также собственный вес, т.к. длина современных скважин достигает сотен и тысяч метров в зависимости от глубины залегания полезных ископаемых. Поэтому разрушение бурильного оборудования во время бурения, связанного с искривлением бурильных колонн, происходит очень часто, что требует замены оборудования и очень удорожает проведение работ. Все это требует детального исследования движения и напряженно-деформированного состояния горного оборудования в процессе эксплуатации, подбора оптимального технологического режима проходки скважин в зависимости от физико-механических свойств породного массива, буровых колонн и буровых механизмов. Это обуславливает актуальность темы диссертации и выполненных в ней исследований, которые связаны разработкой новых линейных, нелинейных и стохастических математических и компьютерных моделей движения буровых штанг неглубинного бурения с учетом осложняющих факторов, их динамики и прочностных свойств.

Диссертационная работа выполнена в рамках двух научных проектов программы грантового финансирования фундаментальных исследований в области естественных наук МОН РК (2012-2014 гг., 2015-2017 гг.).

2. Научные результаты в рамках требований к диссертации.

Основное содержание диссертации изложено в 3х разделах. В первом разделе автором проведен подробный библиографический обзор работ в области математического моделирования динамики буровых штанг на основе линейных и нелинейных моделей динамики упругих тел, особенностей их строения, движения и взаимодействия с окружающим породным массивом. Дан краткий анализ большого числа работ как отечественных, так и зарубежных авторов, что свидетельствует о глубоком знании диссертантом состояния проблемы в этой области исследований.

Во втором разделе построены и исследованы линейные математические модели движения сжато-скрученной вращающейся буровой штанги, пред напряжённой постоянной продольной нагрузкой и постоянным крутящим моментом, при малых деформациях.

– Для вывода уравнений движения используется вариационный метод Остроградского-Гамильтона. Получены системы из 2х линейных дифференциальных уравнений 4го порядка по сечению штанги для перемещений в плоскости, перпендикулярной ее оси (*уравнения изгиба штанги*).

– Рассмотрены стационарные решения этих уравнений, описывающие гармонические колебания штанги. Проведен многопараметрический асимптотический анализ решений различных состояний этой системы с использованием методов малого параметра и многих масштабов. Построены асимптотические представления ряда решений и исследованы дисперсионные свойства. Установлена общая классификация изгибных колебаний буровой штанги в рассмотренном диапазоне параметров.

– Разработан метод обобщенных функций для уравнения динамики буровой штанги при плоских изгибных стационарных колебаниях. Построена функция Грина этого уравнения и на его основе дано представление для амплитуд перемещений штанги через граничные значения перемещений и их производных. Получена разрешающая алгебраическая система уравнений 4го порядка, которая связывает неизвестные граничные функции (4 из 8) для их определения. Эта система позволяет ставить корректные краевые условия для решения конкретных краевых задач с различными условиями на концах штанги (35 вариантов!). При их задании, разрешая эту систему, определяются все граничные условия для определения движения штанги. Построена разрешающая система для буровой штанги с шарнирным опиранием на ее концах.

Третий раздел диссертации связан с моделированием нелинейной динамики буровой штанги с учетом осложняющих факторов. Здесь

– рассмотрены изгибно-крутильные колебания буровых штанг неглубинного бурения при конечных деформациях в рамках нелинейной теории упругости В.В. Новожилова с учетом поперечных колебаний в двух главных плоскостях стержня и угла закручивания. Получены формулы для определения полной энергии буровой штанги и, согласно методу Остроградского-Гамильтона, нелинейная система дифференциальных уравнений ее движения. Разработан алгоритм решения для этой модели на основе метода Бубнова-Галеркина. Приведены результаты расчетов поперечных и крутильных колебаний стальной буровой колонны в первых трех и четырех приближениях. Исследовано влияние длины стальной колонны, ее диаметра, сжимающей силы, скорости вращения на характер движения;

– разработана модель пространственного изгиба вращающейся шарнирно опертой буровой штанги с начальной кривизной в пренебрежении ее кручением и продольными перемещениями. Используя вариационный принцип Остроградского-Гамильтона, получены два уравнения движения и четыре граничных условия. Для получения решения использован метод Бубнова-Галеркина. Рассмотрены колебания буровой штанги, где форма начального изгиба оси задается первой, третьей и пятой гармоникой. Исследованы колебания дюралюминиевой штанги, изучено влияние нелинейности и начальной кривизны для первых трех на формы ее колебаний;

– разработана модель упругого деформирования долота буровой штанги с учетом веса и реакция долота на взаимодействие с дном скважины и взаимодействия с ее стенками. Проведены расчеты изгибных колебаний стальной буровой штанги для нелинейной модели с учетом особенностей ее долота и собственного веса. Исследовано влияние скорости вращения на характер изгибных колебаний.

В последнем 4-м разделе диссертации проведено моделирование и исследование изгибных колебаний штанги с учетом случайной начальной кривизны и стохастичности процесса взаимодействия буровой колонны со стенками скважины. Здесь

– поставлена и решена задача плоского изгиба буровой колонны с учетом случайной начальной кривизны. На основе метода Бубнова-Галеркина построены первые пять мод поперечных перемещений и четыре симуляции Монте-Карло для фиксированного поперечного сечения штанги;

– разработаны дискретная и стохастическая модели динамики горизонтальной и вертикальной буровой штанги с учетом случайной силы трения. Численные расчеты проведены

также для пяти мод поперечных перемещений и четырех симуляции Монте-Карло для фиксированного поперечного сечения штанги.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата, выводов и заключения диссертации. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертации подтверждается использованием известных положений, принципов и методов механики деформируемого твердого тела, математической физики, теории дифференциальных уравнений и теории вероятностей при построении нелинейных и стохастических математических моделей движения буровой колонны. При анализе построенных моделей использовались апробированные методы численного анализа. Результаты подробно представлены графическим материалом. Следует также отметить, что для разработки компьютерных моделей и проведения численных экспериментов автор использовал современные системы программирования Matlab, Wolfram Mathematica. Сформулированные в диссертации выводы и заключения обоснованы и соответствуют полученным результатам.

Основные результаты диссертационной работы автором доложены на международных конференциях и семинарах. По теме диссертации автором опубликовано 16 работ, среди которых 4 публикации в научных изданиях, рекомендованных ККСОН МОН РК; 6 публикаций в научных журналах и трудах международных конференций, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, в том числе 1 публикация с ненулевым импакт-фактором; 9 публикаций в трудах зарубежных и отечественных научных конференций.

4. Степень новизны каждого научного результата, вывода, сформулированных в диссертации. Полученные результаты являются новыми и существенно расширяют класс известных математических моделей процессов бурения. В частности,

– многопараметрический анализ классических линейных случаев изгибных колебаний позволил установить общую классификацию изгибных колебаний сжато-скрученной вращающейся буровой штанги, а также строить приближенные решения для инженерных расчетов;

– разработанный метод обобщенных функций позволяет корректно ставить краевые задачи для буровых штанг при плоских изгибных колебаниях, строить их решение и исследовать колебательные процессы в буровых штангах во всем диапазоне частот;

– разработана новая модель изгибно-крутильных колебаний буровых штанг неглубинного бурения при конечных деформациях в рамках нелинейной теории упругости В.В. Новожилова с учетом поперечных колебаний в двух главных плоскостях стержня и угла закручивания; на ее основе изучено влияние длины стальной буровой колонны, ее диаметра, скорости вращения на характер ее изгибно-крутильных колебаний.

– проведено исследование построенных моделей в стохастической постановке при наличии случайного характера погрешности при оценки некоторых параметров, например, формы начальной кривизны или коэффициент трения при контактном взаимодействии колонны со стенками скважины.

5. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Теоретическая значимость результатов исследования связана с разработкой новых линейных, нелинейных и стохастических моделей стрелочных конструкций под воздействием разнообразных нагрузок и внешних факторов, а также с разработкой и совершенствованием методов анализа динамических процессов в буровых штангах.

Полученные результаты совершенствуют существующие модели динамики буровых колонн, вносят качественные и количественные поправки в решение известных линейных моделей, что свидетельствует о необходимости моделирования исследуемых процессов в

нелинейной и стохастической постановках. Разработанные методы позволяют прогнозировать поведение бурового оборудования, определять оптимальные параметры и режимы его работы.

Представленные результаты и численные алгоритмы можно использовать при проектировании для обеспечения более эффективного и надёжного процесса бурения нефтяных и газовых скважин, для разработки программного обеспечения для геологоразведочных подразделений нефтегазодобывающих компаний.

6. Замечания и предложения по диссертации.

1. Следовало пояснить введение индексов изменчивости a и α для коэффициента масштабирования q при исследовании решений уравнений и разбиении области их изменения на зоны, соответственно рассмотренным состояниям A, B, C, \dots (Табл.1).
2. Формула для характеристического уравнения (2.22) не соответствует ее описанию. Здесь должна стоять другая формула.
3. Формулу для матрицы M_{ij} в (2.79) нужно было выписать.
4. В разделе 4 следовало дать формулы расчета симуляций Монте-Карло и дать его определение.
5. К сожалению, в диссертации отсутствует прочностной анализ построенных решений, исследование напряженного состояния буровой штанги, который в конечном счете и позволяет определить режимы эксплуатации бурового оборудования, уровень допустимых нагрузок и несовершенств, исключить резонансные режимы, приводящие к его поломке. А все построенные решения позволяют это сделать, чем обязательно следует автору заняться в будущем.

7. Соответствие содержания диссертации в рамках требования Правил присуждения ученых степеней. Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа представляет собой целостный большой научный труд. Работа хорошо оформлена, результаты проведенных компьютерных экспериментов представлены большим объёмом графического материала. Основные результаты диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных «Правилами присуждения ученых степеней» Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК.

Считаю, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует всем требованиям Правил, и ее автор Сергалиев Алмаз Серикович заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) по специальности «6D070500 – Математическое и компьютерное моделирование».

Официальный рецензент

ГНС ИМММ МОН РК

д.ф.м.н., проф.



Л.А. Алексеева

27.08.2020