

ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИКИ ГЛУБИННЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ

GEODYNAMICS PROBLEMS OF DEEP AND NONLINEAR MECHANICAL PROCESSES OF THE EARTH

A. Tuleshov,
doctor of technical sciences,
professor,
General Director;
Zh. Masanov,
doctor of technical sciences,
professor,
Chief Researcher,
IMMash named after academician U.A. Dzholdasbekov,
Republic of Kazakhstan.

Article is about the life and work of the academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Zh.S. Erzhanov, organizer of the scientific direction of mechanics and machine science in the country, and about the prospects for the development of this industry in Kazakhstan.

Keywords: Earth mechanics, geodynamics, mechanical processes, underground space.

На всех этапах человеческой истории механика и инженерное дело рассматривались как единое целое. Эта специфика отражает тот факт, что успехи механики зачастую относят не к самой фундаментальной науке, а ее производной — технике, строительству, транспорту и т.д.

В настоящее время механика превратилась в разветвленную область знания. По физическим моделям, используемым при исследованиях явлений и процессов, она разделяется на механику абсолютно твердого тела, механику деформируемого твердого тела, механику жидкости, газа и плазмы. По применяемым методам она разделяется на аналитическую механику, вычислительную механику, экспериментальную механику. По конкретным отраслям практической деятельности человека механику разделяют на отдельные научные направления: механика ракетостроения и космического полета, строительная механика — вообще и самолета, корабля — в частности, механика материалов — вообще и композитных материалов — в частности, биомеханика и механика человека, небесная механика, механика Земли, горных пород и грунтов, механика подземных процессов и сооружений и т.д. Эти направления настолько объемны и значимы, что по ним существуют всемирные и континентальные ассоциации, общества, комитеты, союзы и проводятся раздельно крупные международные конгрессы, съезды, конференции; имеются специальные издания, журналы и т.д.

В настоящее время фундаментальные исследования по механике деформируемого твердого тела во всем мире вы-

А.К. Тулешов,
доктор технических наук,
профессор,
генеральный директор;
Ж.К. Масанов,
доктор технических наук,
профессор,
главный научный сотрудник,
ИММаш им. академика У.А. Джолдасбекова,
Республика Казахстан.

Ключевые слова: механика Земли, геодинамика, механические процессы, подземное пространство.

полняются, главным образом, в следующих основных направлениях:

- ✦ создание упругих, пластических, реологических, вязко-упругопластических моделей материалов, конструкций, сооружений, тел и сред при разнообразных воздействиях силовых, температурных и электромагнитных полей;
- ✦ создание упругих, пластических, реологических, вязкопластических деформации тел, металлов конструкций, сооружений различного назначения при разнообразных внешних воздействиях, типа температура, постоянные нагрузки, взрыв, землетрясения и др.;
- ✦ исследование напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости тоннелей метро, горных выработок, морских платформ и скважин нефтяных и газовых месторождений;
- ✦ комплекс исследований напряженного и деформированного состояния, устойчивости и прочности сооружений, разно ориентированные подземные полости типа горные выработки, тоннели, станционные и перегонные тоннели метрополитена, нефтяные и газовые скважины и др. в статических и динамических (в том числе, сейсмических) постановках;
- ✦ разработка научных основ макромеханики, мезомеханики, микромеханики и наномеханики с учетом все более мелкомасштабной внутренней структуры.

В геодинамике и механике разрушения происходит интенсивное развитие исследований, связанных с изучением нестационарных процессов в зонах разломов земной коры. Эти исследования находятся на стыке следующих научных направлений: полевые исследования движений земной коры в приразломных зонах и их связь с землетрясениями; лабораторные исследования напряженно-деформированного состояния твердых тел с зонами нарушений типа трещин; исследования по механике очага тектонического землетрясения; теоретические исследования предельных состояний твердых тел; теоретические исследования разрушения твердых тел с трещинами.

Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова является головным научным учрежде-

нием, осуществляющим фундаментальные и прикладные исследования в области механики в Республике Казахстан. Под руководством академика Ж.С. Ержанова построена общая теория вращения динамически асимметричной и неуравновешенной абсолютно твердой Земли в неограниченной постановке (Ж.С. Ержанов, А.А. Калыбаев). Вариант этой теории был принят в качестве Международного стандарта редуцированных вычислений.

Неустойчивость вязко-пластического деформирования литосферной оболочки при внутреннем давлении исследована по проблемам тектоники, связываемым с современными геологическими концепциями расширяющейся или нетектоническим этапом пульсирующей Земли (Ж.С. Ержанов, А.К. Егоров).

Процесс потери динамической устойчивости Земли как деформируемого тела, вызванной силами инерции ее вращения, увязан с сейсмическими явлениями в Земле (А.К. Егоров, Ж.Ш. Жантаев). Рассмотрена устойчивость эллиптической литосферной оболочки (К.К. Коксалов). Выдвинута теория и разработаны основы геопульсаций (А.А. Баймухаметов). Теория ползучести горных пород, основанная на принципах наследственности Больцмана-Вольтерра, нашла экспериментальное подтверждение Ж.С. Ержановым и его учениками (Ш.М. Айтиалиевым, Ю.А. Векслером и др.) во всех угольных и горнорудных бассейнах СССР.

Впервые разработаны анизотропные механико-математические модели упруго-вязкого деформирования мелко-, крупно- и с периодическими системами щелей слоистых горных массивов и предложены методы исследования устойчивости разно ориентированных выработок произвольной протяженности и глубины заложения в них.

Создана теория сейсмостойкости подземных сооружений в складчатом анизотропном массиве и на ее основе проведены экспертизы сейсмостойкости запроектированных тоннелей и станций Алматинского метро. (Ж.С. Ержанов, Ш.М. Айтиалиев, Ж.К. Масанов).

Так, разработана реологическая модель деформирования трансформного массива с произвольным углом падения пород, произвольной ориентацией горизонтальной горной выработки относительно линии простирания пород и наклонном выработке к горизонту (Ж.С. Ержанов, Ш.М. Айтиалиев, Ж.К. Масанов и Р.Б. Баймахан). Проводятся исследования нелинейных процессов, описываемых системой нелинейных дифференциальных уравнений или системой линейных дифференциальных с переменными коэффициентами (Тюреходжаев А.Н. и др.).

Исторически сложившиеся научные школы по механике деформируемого твердого тела в Республике Казахстан имеют свою отличительную особенность и нишу в мировой науке. Исходя из наличия новых идей и кадрового потенциала, способного реализовать их и приложить результаты в инженерную практику, стратегическим направлением фундаментальных исследований в области механики представляется развитие механики Земли, геодинамики глубинных процессов и научных основ освоения подземного пространства, нелинейных механических процессов.

Важным также является продолжение исследований, связанных с явлениями георезонансов, являющихся спусковым механизмом для землетрясений. Предполагается дать максимальное уточнение времени, места и силы землетрясе-

ния. Для этой цели намечается решение проблемы в случае дилатационной модели Земли с учётом её слоистости. Необходимо определить физические параметры модели Земли, позволяющие наиболее адекватно отразить реальное её поведение. При этом необходим учёт геолого-физического состояния литосферы и верхней её части — коры Земли.

При добыче нефти её количество в огромных подземных резервуарах начинает убывать. Оставшаяся часть нефти под влиянием различных факторов плещется, образно говоря, как море, несмотря на её вязкость. На частицы деформируемого материала Земли действуют силы, возникающие вследствие её вращения вокруг собственной полярной оси в потенциальном силовом поле внешних космических тел, движущихся с течением времени по своим орбитам. Такими внешними космическими телами являются, в основном, Луна и Солнце. Поскольку частицы деформируемого материала Земли находятся в условиях динамического воздействия сил инерции вращения и приливообразующих сил, вызываемых Луной и Солнцем, возникают скорости относительного движения частиц во вращающейся Земле, что приводит также к возникновению кориолисовых сил, влияние которых особенно заметно в жидкой среде, в нашем случае в плещущейся нефти. В определённые периоды времени и в определённых местах граничной поверхности резервуара, где расположены скважины, возникает волна нефти с максимальной амплитудой. В это время и в этих местах и следует проводить откачивание нефти. То есть из определённого числа скважин следует указать те, в которые пойдёт нефть под воздействием указанных сил.

В связи с этим весьма перспективными являются исследования, которые включают в себя изучение поведения вязкой жидкости (нефти) в резервуаре, частично заполненном этой жидкостью, под воздействием указанных выше сил. При этом имеется в виду, что на поверхности, подобной граничной поверхности резервуара, на сравнительно небольшом удалении от последней влияние резервуара практически не сказывается на поведении среды. В самой же среде поведение материала описывается с помощью результатов, полученных на первом этапе исследования. Эти результаты позволяют решить задачу о поведении вязкой жидкости в резервуаре под воздействием указанных выше сил при соответствующих краевых и начальных условиях. Здесь можно применить метод линеаризации соответствующих соотношений движения вязкой жидкости, а также численные методы решения задачи. Кроме того, здесь целесообразно учесть влияние кориолисовых сил. После завершения исследований можно указать время и место максимальной волны нефти, совпадающей с местом расположения определенной скважины. Здесь и следует откачивать нефть. Иначе говоря, результаты проведённого исследования позволяют дать рекомендации по повышению эффективности нефтедобычи.

Дальнейшие исследования в области локальной тектоники целесообразно направить на изучение напряженно-деформированного состояния пород осадочного комплекса и подсолевого ложа, механизма формирования нефтегазовых ловушек с учетом температурного поля:

- ✦ исследование механизма гравитационной неустойчивости в зависимости от температуры в плоской постановке;

- ✧ исследование напряженно-деформированного состояния солянокупольных структур в плоской постановке в зависимости от температурных градиентов;
- ✧ исследование механизма гравитационной неустойчивости в зависимости от температуры в осесимметричной постановке;
- ✧ исследование напряженно-деформированного состояния солянокупольных структур в осесимметричной постановке в зависимости от температурных градиентов;
- ✧ исследование механизма гравитационной неустойчивости в зависимости от температуры в трехмерной постановке;
- ✧ исследование напряженно-деформированного состояния солянокупольных структур в трехмерной постановке в зависимости от температурных градиентов;
- ✧ исследование приуроченности областей нефтегазовых ловушек к повышенным термическим градиентам.

На основе современной теории пластического течения с использованием метода расщепления по физическим процессам определяющих уравнений для сред релаксационного типа важны исследования следующих вопросов теории упругопластичности:

- ✧ исследование влияния упрочнения материалов на несущие способности элементов конструкций и сооружений (изотропное упрочнение, кинематическое упрочнение, теория пластичности Прагера-Дракера);
- ✧ исследование влияния времени релаксации материала на несущие способности элементов конструкций и сооружений;
- ✧ исследование продольно-поперечных волн в упругопластическом полупространстве;
- ✧ исследование продольно-поперечных волн в упруговязко-пластическом полупространстве;
- ✧ исследование связанных задач теории упруго-пластичности и поврежденности.

В области механики тектонических и сейсмических процессов:

- ✧ необходимо дальнейшее исследование проблемы о медленных движениях земной коры и концентрации напряжений в разломных зонах, а также исследование механики нестационарных процессов в зонах тектонических разломов;
- ✧ решение вопросов прогнозирования разрушения породных массивов, расчета медленных движений земной коры, содержащей блочные структуры и разломы, которые являются мощными источниками возмущений, контролирующими сейсмическую активность, фильтрацию флюидов, разрушение горных пород.

Стратегическими направлениями исследований являются разработка по обеспечению надежности и оценке ресурса трубопроводных систем нефти и газа:

- ✧ разработка технологии оценки состояния трубопроводов, механизма его разрушения, а также оценка экологических и экономических последствий его разрушения;
- ✧ определение параметров транспортируемой среды, прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций, анализ их возникновения и возможных последствий;

- ✧ определение геометрических параметров стенок трубы в зависимости от расположения дефектов на теле трубы, имеющих эрозионное, коррозионное, механическое и технологическое происхождение;
- ✧ оценка прочности газонефтепроводов на основе расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопроводов методами механики деформируемого твердого тела (МДТТ);
- ✧ разработка методов определения остаточного ресурса магистральных трубопроводов на основе данных внутритрубной диагностики.

Очень важным для инновационно-индустриального развития Республики Казахстан являются дальнейшие исследования по разработке упруго-пластических моделей деформирования массива горных пород вблизи подземных сооружений:

- ✧ разработка модели непрерывно неоднородного деформируемого горного массива и аналитическое решение соответствующей задачи для объяснения явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных сооружений, отличное от существующего решения с позиций континуальной теории разрушения Е.И. Шемякина;
- ✧ разработка упругопластических моделей деформирования массива на основании модифицированных условий пластичности Кулона-Мора, Мизеса и Треска и решение упругопластических задач об НДС, прочности и устойчивости пород вокруг подземных полостей с учетом их разупрочнения и перехода в область предельного деформирования (нелинейное монотонное деформирование);
- ✧ разработка упругопластических моделей деформирования массива на основании модифицированных условий пластичности Кулона-Мора, Мизеса и Треска и решение упругопластических задач об НДС, прочности и устойчивости пород вокруг подземных полостей с учетом эффектов их упрочнения и разупрочнения (немонотонное деформирование);
- ✧ разработка упругопластических моделей деформирования тел для исследования преждевременного разрушения неоднородных толстостенных оболочек (монокристаллических крепей выработок, облицовок тоннелей, обсадных колонн скважин).

Очень важным для Республики Казахстан также является дальнейшее развитие научных направлений по созданию представительных и совершенных механико-математических моделей деформирования упругих, упруго-вязко-пластических, неоднородно-слоисто-трещиноватых твердых тел, толщи горных пород и грунтов в условиях статических, динамических, температурных и др. внешних воздействий. На их основе возможно будет решение новых классов плоских и пространственных задач механики деформируемого твердого тела, горных пород и грунтов, теории подземных сооружений, а также фильтрации жидкости в напряженных телах усовершенствованными методами: теоретическими и численными (методы граничных и конечных элементов, метод граничных интегральных уравнений, метод конечных разностей) с разработкой пакетов прикладных объектно-ориентированных программ для компьютера.

В перспективе уделяется значительное внимание на приложения разработанных методов и пакетов программ для ре-

шения важных прикладных задач: состояния и устойчивости протяженных и пространственных наземных и подземных (произвольной глубины и формы), прибрежных, морских (платформ), скважин (в напряженном нефтяном слое)

пласте) и других специальных сооружений в условиях деформирования среды и внешнего воздействия сил техногенного (взрывы, нагрузки) и природного (землетрясения, ветры, течения, волны и др.) характера. ■



САТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

**Казахский национальный
исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева**

18 марта 2022г.

**ТОО «Институт сейсмологии»
РГП НА ПХВ «Институт механики и машиноведения
имени академика У.А. Джолдасбекова»**

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Уважаемые коллеги!

**Приглашаем Вас принять участие в Международной
научно-практической конференции,
посвященной к 115-летию член-корр. НАН РК А.Ж. Машанова
и 100-летию Академика НАН РК Ж.С. Ержанова
«Инновационные технологии в геопространственной
цифровой инженерии»**

Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

E-mail: <http://www.kazntu.kz>.

Дата и время проведения – 18 марта 2022 г. , 9 - 18 ч.

Рабочий язык: казахский, русский, английский

Формат проведения: онлайн, оффлайн

WWW.GEOMAR-NADRA.RU