

СЕРГАЛИЕВ АЛМАЗ СЕРИКОВИЧ

ТЕРЕҢ ЕМЕС БҰРҒЫЛАУДЫҢ БҰРҒЫЛЫҚ ҚАРНАҚТАРДЫҢ СЫЗЫҚСЫЗ ЖӘНЕ СТОХАСТИКАЛЫҚ ДИНАМИКАСЫН ПІШІНДЕУ

6D070500 – «Математикалық және компьютерлік пішіндеу» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациясына

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Қазіргі заманда негізгі энергия тасымалдаушылар арасында мұнай ерекше орын алады, сонымен қатар әлемдік экономикаға айтарлықтай әсер ететін стратегиялық маңызды өнім болып қала береді. Мұнай өндіру көлемін арттыру, оның қарқындылығы, тиімділігі және қауіпсіздігі мұнай және газ саласында қолданылатын жабдықтың даму деңгейіне және оның қолдану режиміне тікелей байланысты.

Мұнай өндірудің негізгі кезеңдерінің ішінде ұңғымаларды бұрғылау кезеңі энергия мен еңбек көп қажет ететін кезең болып табылады. Бұл кезең еңбек және уақыт пен ақшаның жоғары шығындарымен байланысты. Бұрғылау жұмыстарының техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне бұрғылау машиналары мен құралдарының жетіктілігі, оларды жүктеу және пайдалану режимінің ұйымдастырылуы, бұрғылау құралының қозғалысына қоршаған ортаның ықпалы және т.б. факторлар әсер етеді. Сонымен қатар, бұрғылау тәжірибесінен белгілі болғандай, бұрғыланған ұңғымалардың 30%-ы олардың қисықтығы немесе бұрғылау өзектерінің сынуымен байланысты. Бұл бұрғылау өзектерінің жұмыс кезінде пайда болатын - бастапқы қисықтықтарының өзара күрделі әрекеттескенінен бұрғылау өзектерінің кеңістікте орын ауыстыруы, сызықсыз инерциялық күштердің әрекеті, бұрғылау өзегіне әсер ететін осьтік жүктемелердің өзгергіштігі, бұрау моментінің өзгергіштігі және соның салдарынан өзектің динамикалық тұрақтылығын жоғалтуы; әдетте, кездейсоқ болатын бұрғы мен жойылатын жыныстардың, бұрғылау өзегі мен ұңғыма қабырғаларының өзара байланыс күштерінің әсер етуі; үйкеліс күштерінің әрекеті және басқа да күрделендіретін факторлар сияқты техникалық, технологиялық және геологиялық факторларға байланысты күрделі тербеліс процестері мен құбылыстар әсерінен болады. Ұңғыма бұрғылау тұрақтылығы мен бұрғылау режимдерінің қауіпсіздігі үшін жоғарыда айтылып кеткен факторлардың барлығы бұрғылау өзектерінің динамикасына тигізетін әсерін мұқият зерделеуді талап етеді. Бұл проблемалардың қазіргі жағдайы аз зерттелген. Негізінен, зерттеу бұрғылау өзегінің қозғалысының сызықтық математикалық моделіне әкелетін белгілі бір шектеулер мен жорамалдардың әсерінен жүзеге асырылады, бұл проблемалар ауқымын едәуір тарылтады

және олардың бастапқы жуықтауын ғана көруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұрғылау өзегінің ұзындығы өзінің ішінде пайда болатын деформациялық процестердің геометриялық бейсызығына әкеледі, кездейсоқ фактордың байланыс проблемаларына қосылуы олардың шешілуінің математикалық жағын қиындата отырып, пайда болатын физикалық құбылыстарды нақты көрсетеді. Қолданылатын математикалық модельдер бұрғылау бағанасын санды және сапалы талдауға мүмкіндік бермейді. Бұрғылау жұмыстарын төтенше жағдайсыз өтуін қамтамасыз ету мақсатында бұрғылау өзектері қозғалысының қазіргі заманғы математикалық модельдерін сызықтық емес деформацияланатын орта теориясы тұрғысынан дамыту керек және бұрғылау бағаналарының динамикасын талдау үшін жоғары өнімді есептеу жүйелері мен визуализация пакеттерін қолдана отырып, оларды шешудің қазіргі заманғы математикалық әдістерін қолдану қажет.

Осылайша, зерттеу тақырыбының өзектілігі сөзсіз, сонымен қатар, ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

Жұмыстың мақсаты: күрделі факторлар мен қоршаған орта әсерін ескере отырып мұнай және газ саласындағы таяз бұрғылау өзектерінің сызықсыз және стохастикалық динамикасын моделдеу, оларды талдау.

Қойылған мақсатқа байланысты келесі зерттеу міндеттері туындайды:

– Кішкентай деформациялары бар мықты бұралған бұрғылау өзегінің қозғалыс моделін жасау және алғашқы жуықтау ретінде оның көп параметрлі асимптотикалық анализін өткізу.

– Әртүрлі топологиялардың иілу-бұралу тербелісі үшін ақырлы деформациялары бар мықты бұралған бұрғылау өзегінің сызықтық емес моделін жасау, оның сандық талдауын өткізу.

– Бұрғылау өзегінің қозғалысының бастапқы қисықтығымен және қоршаған орта (бұрғылау бағанасы түбінің ерекшеліктерін ескере отырып, скважинаның қабырғаға үйкеліс күштері) факторларының әсерімен күрделенген сызықтық емес моделдерін жасау және олардың сандық талдауын өткізу.

– Кездейсоқ сипаттағы күрделендіргіш факторлардың әсерінен пайда болатын бұрғылау өзегінің стохастикалық тербелістерін зерттеу (бұрғылау өзегінің кездейсоқ бастапқы қисығы, ұңғыманың қабырғасына әсер ететін кездейсоқ үйкеліс күші).

Зерттеу нысаны. Мұнай және газ саласында таяз ұңғымаларды бұрғылау үшін қолданылатын сыртқы күштер мен қоршаған орта әсеріне толы бұрғылау өзектері зерттеу нысаны болып табылады.

Зерттеу пәні. Ақырлы деформация кезіндегі күрделендіргіш факторларын ескере отырып қарастырылған алдын-ала кернеленген бұрғылау өзектерінің сызықсыз және стохастикалық тербелістері.

Зерттеу әдістері: теориялық механиканың дәлелденген фундаменталды әдістері; деформацияланатын ортаның сызықсыз механикасының заманауи әдістері және тербелістер теориясы; вариациялық әдістер; қазіргі заманғы сандық әдістер; сандық моделдеуге және технологиялық процестерді

визуализациялауға арналған символдық есептеу пакеттері. Бұрғылау өзегінің төменгі жиілікті тербелістерін көп параметрлі талдау үшін көп масштабты әдіс қолданылған. Бұрғылау өзегінің қозғалысының сызықтық моделінің аналитикалық шешімі үшін жалпыланған функциялар әдісі қолданылды. Мықты бұралған бұрғылау өзектерінің қозғалысына әсер ететін күрделі факторларды ескере отырып, сызықтық емес моделінің құрылуы В.В. Новожилов ақырлы деформациялар теориясы аясындағы Остроградский-Гамильтонның вариативті қағидасына негізделген. Алынған моделдің күрделілігіне байланысты оны тікелей біріктіру мүмкін емес. Сондықтан Бубнов-Галеркин әдісі бойынша үлестірілген параметрлері бар сызықтық емес қозғалыс теңдеулер жүйесі сандық түрде Wolfram Mathematica символдық есептеу пакетінде қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесі ретінде шешілді. Кездейсоқ үйкеліс күштерінің бұрғылау өзектерінің динамикасына әсерін зерттеу кезінде кесек масса әдісі негізінде дискретті стохастикалық модель жасалды.

Бұрғылау бағанының төменгі жиіліктегі тербелістерін әртүрлі шекаралық жағдайдағы екі компонентті өзек ретінде зерттеу үшін, шешімдерді кішігірім параметрдегі қатарға ыдыратып бұзу әдісі қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы математикалық модельдеудің заманауи әдістерін қолдану және нәтижелерді компьютерлік визуализациялау арқылы бұрғылау жабдықтарының жаңа сапалық деңгейдегі сызықтық емес және стохастикалық динамикасы мәселелерінің кең тобын шешуге қолданылатын кездейсоқ сипаттарды күрделендіретін факторлардың әсер ету жағдайында деформацияланатын жүйелердің деформацияларының ақырлығын ескере отырып жаңа сызықсыз динамикалық моделдерін жасау болып табылады.

Қорғауға ұсынылған ғылыми қағидалар:

– момент пен бойлық күш, жиілік пен толқын ұзындығы қатынастары, сондай-ақ мықты бұралған бұрғылау өзегінің иілу тербелістерінің жалпы классификациясын жасауға және таңдалған параметр диапазоны үшін жуық шешімінің дисперсиялық қисығын көрсетуге мүмкіндік беретін айналуы болуына негізделген бұрғылау өзегінің жазықтық және кеңістіктік иілу тербелістерінің классикалық сызықты жағдайларын көп параметрлі талдау;

– бұрғылау өзегінің жазықтықтағы иілу тербелістерін талдау үшін жалпыланған функциялар теориясы аппаратын қолдану, бұл әртүрлі геометриялық және физикалық параметрлерімен өзек конструкцияларының кернеу күйін, діріл жиіліктерінің барлық диапазонында, шоғырланған қуат көздерінің бұрғылау өзегіне әсерін анықтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар, кері және жартылай кері есептерді шешуге тиімді;

– әр түрлі топологиялардың мықты бұралған бұрғылау өзекшелерінің иілу-бұралу тербелістерінің жаңа сызықсыз математикалық моделдері және олардың динамикалық талдауы;

– бастапқы өзек қисығы, бұрғылау өзегінің ұңғыма қабырғасына үйкелісі, бұрғылау бағанының түбінің ерекшелігі сияқты күрделендіретін

факторларды ескеретін бұрғылау өзектерінің сызықсыз динамикасының жаңа үлгілері және олардың сандық анализі;

– бұрғылау өзектерінің стохастикалық тербелістері және оларды талдау.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми пікірлерінің, қорытындылары мен нәтижелерінің сенімділігі мен дәлелдігі негізгі фундаменталды заңдар мен деформацияланатын қатты механика қатынастарын математикалық моделдерді құру кезінде қолдану арқылы расталады; алынған моделдер мен зерттеу нәтижелерін басқа авторлардың нәтижелерімен салыстыру және келісу.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы.

Жұмыстың теориялық маңыздылығы мұнай және газ саласында қолданылатын бұрғылау өзегі қозғалысының жаңа математикалық моделдерін жасауда, оларды шешу және талдау әдістерін әзірлеуде, сонымен қатар бұрғылау жабдықтарының басқа салалардағы зерттеу нәтижелерін жалпылауда жатыр.

Диссертациялық зерттеудің практикалық маңыздылығы қазіргі заманғы математикалық моделдеу әдістерін және компьютерлік технологияларды қолдану нәтижелерді нақты процестерге жақындатуға, бұрғылау жабдықтарының жұмысын жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік береді, яғни мұнай-газ саласында ұнғымаларды бұрғылау тиімділігі мен сенімділігін қамтамасыз етеді.

Диссертациялық жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы. Бұл жұмыс "Өндіріс өнеркәсібіндегі физикалық процестер есебін шешу үшін бейсызықтық деформацияланатын ортаның математикалық моделдерін жасау" (2012-2014 жж., №ГР 0112РК01496), "Анықталмағандықтарды, күрделілендіретін факторларды және қоршаған ортаның ықпалын ескергендегі, мұнай-газ өндіруші салада бұрғылау есебін шығару үшін, деформацияланатын ортаның бейсызықтық моделдерін жасау және олардың практикада қолданымы" (2015-2017 жж., №ГР 0115РК00755) жаратылыстану ғылымдар саласындағы іргелі зерттеулерге арналған гранттық қаржыландыру бағдарламасының жобалары аясында орындалған.

Жұмыс апробациясы. Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі шараларда баяндалған және талқыланған:

– «Заманауи машина жасауға арналған машиналар, технологиялар және материалдар» халықаралық конференциясы (ИМАШ РАН, Мәскеу, Ресей, сәуір 2013 ж.);

– «Материалдар мен наноматериалдардың деформациясы мен бүлінуі» V Халықаралық конференциясы (ИМЕТ им. Байкова РАН, Мәскеу, Ресей, 2013 ж.);

– «Мұнай және газ саласының ғылыми, технологиялық және экологиялық мәселелеріндегі математикалық моделдеу» VIII Қазақстан-Ресей халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Атырау, 20-21 маусым, 2014)

- International Conference on Application of Materials Science and Environmental Materials (Yichang, China, July 4-6, 2014);
- The 5th International Conference on Mechanics, Simulation and Control (St. Petersburg, Russian Federation, June 14-15, 2015);
- 10th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery (The University of Manchester, Manchester, England, September 9-11, 2015);
- XII International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms (Liberec, Czech Republic, September 6-8, 2016);
- «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» VII Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Астана, 3-5 тамыз 2017 ж.);
- «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» IX Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Алматы, 7-9 қараша, 2019);
- Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ механика-математика факультетінің ғылыми семинарлары (2013-2019 жж., Алматы);
- Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ математика және компьютерлік моделдеу кафедрасының ғылыми семинарлары (2013-2019 жж., Алматы).

Жарияланымдар

Диссертация тақырыбы бойынша автор 16 жұмыс жариялады, оның ішінде 4 жарияланым - ғылыми жұмыстардың негізгі нәтижелерін жариялау үшін Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған тізімге енгізілген; Scopus дерекқорымен индекстелген ғылыми журналдардағы және халықаралық конференциялар материалдарының 6 жарияланым, соның ішінде нөлдік емес импакт-факторы бар 1 басылым (IF 9.052); шетелдік және отандық ғылыми конференциялар жинағында 9 жарияланым, оның ішінде 3 шетелдік конференция материалдары, 3 жариялау бүкілресейлік ғылыми конференциялар жинағында, 3 мақала отандық материалдарда.

Автордың жеке қосқан үлесі. Диссертацияда баяндалған негізгі зерттеу нәтижелерін автор өз бетінше алды.

Диссертацияның құрылысы мен көлемі. Диссертациялық жұмыста негізгі бет, мазмұн, белгілер мен қысқартулар тізімі, кіріспе, төрт бөлім, қорытынды және 139 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздер тізімі берілген. Диссертацияның жалпы көлемі 140 бет, оның ішінде 72 сурет және 1 кесте.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мазмұны

Кіріспеде келесі тармақтар көрсетілген: диссертациялық зерттеу тақырыбының өзектілігі, жұмыстың негізгі мақсаты, зерттеу нысаны, тақырыбы мен әдістері, ғылыми жаңалығы, диссертацияның ғылыми-практикалық маңыздылығы, оның даму деңгейі.

Бірінші бөлімде зерттеліп отырған мәселенің қазіргі жағдайы сипатталады, бұрғылау бағандарының динамикасын зерттеу саласындағы бар жұмыстар қарастырылады.

Екінші бөлімде кішігірім және ақырлы деформацияларға арналған мықты бұралған бұрғылау өзектері қозғалысының моделдері жасалынған. В.В. Новожилов серпімділік сызықсыз теориясының негізгі ережелері мен қатынастары келтірілген. Кішігірім деформация жағдайында жүйеге көп параметрлі талдау жүргізілді және жазықтық иілу тербелісі үшін жалпыланған функциялар теориясының аппараты қолданылды. Жазықтық және кеңістіктік діріл жағдайларының сызықты емес модель үшін сандық талдау жүргізілді.

Үшінші бөлім бұрғылау бағанының тербелісі динамикасының сызықтық емес математикалық моделдерін бұрғылау бағанының бастапқы қисығы, бағананың ұңғыма қабырғасымен байланысы, өз салмағы сияқты күрделендіруші факторларды ескере отырып әзірлеумен байланысты. Моделдерге сандық талдау жасалып, жүйе параметрлерінің баған тербелістеріне әсері зерттелген.

Төртінші бөлімде факторлардың бірі кездейсоқ болатыны ескеріле отырып бұрғылау бағаналарының тербелістерінің бұрын жасалған сызықтық емес математикалық моделдері қарастырылды. Кездейсоқ бастапқы бағанның қисықтығы және үйкеліс коэффициенті қарастырылған. Монте-Карло әдісімен бірнеше моделдеу жүргізілді.

Қ

о
р
ы
т
ы
н
д
ы
д
а

н
е
г
і
з
г
і

н
ә
т
и
ж
е
л
е
р