ҚҰРМАНСЕЙІТ МАҚСАТ БАҚЫТЖАНҰЛЫ

МИНЕРАЛДЫ ШАЙМАЛАУ ӘДІСІМЕН ӨНДІРУ КЕЗІНДЕГІ ФИЗИКА ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ

6D060300 – «Механика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациясына

АННОТАЦИЯ

Жалпы жұмыс сипаттамасы. Диссертациялық жұмыста ерітіндіге тығыздықтырының айырмашылығынан туындайтын гравитация әсері зерттелді; параллельді есептеулер мен ағын сызығы әдісін қолдану арқылы уранды жерасты шаймалау (ЖШ) кезінде пайда болатын кеуекті ортадағы масса алмасу процестері зерттелінді

Жұмыстың өзектілігі. ЖШ әдісі қышқыл немесе сілтілі ерітіндіні айдау ұңғымалары желісі арқылы рудалық кен орнына енгізіп және еріген уранды өндіру ұңғымалары арқылы алуын айтады. Бұл тау-кен әдісі өтімділігі жоғары геологиялық түзілімдердегі төмен концентрациялы пайдалы қазбалар кен орындарын игеру үшін қолданылады.

Қазақстан уран қоры бойынша әлемде екінші орында тұрғанымен, қалған қолда бар уран қорларына қатысты айтарлықтай қалпына келтіруге болатын проблемалар бар. Бүгінгі таңда Қазақстанда салыстырмалы операциялық құны килограммына 80 доллардан аз арзан уран кен орындары игерілуде. Алайда, Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымының (ЭЫДҰ) мәліметтері бойынша, соңғы 15 жылда мұндай ресурстардың қоры шамамен 55%-ға азайып, шамамен 2,0 миллион тонна уран ресурстары қалды. Қазіргі уақытта сазды минералдармен байытылған ұсақ және орташа түйіршікті құмтастары бар терең орналасқан минералданған қабаттарды пайдалану қажет.

Сондықтан қышқылды тұтынуды жақсырақ бақылау және уран өндіруге арналған өндірістік шығындарды азайту үшін өндіру процесін жоспарлауға көзқарасты өзгерту қажет. Геологиялық модельдеу кезінде де, кен орнындағы геотехнологиялық сынақ алаңын және өндіріс режимдерін жобалау кезінде де сандық зерттеу жүргізу рентабельділігін арттырудың мүмкін жолдарының бірі болып табылады.

ЖШ әдісімен пайдалы қазбаларды өндіру процесін модельдеу ресурсты көп қажет ететінін және есептеу ресурстарына белгілі бір талаптар қоятыны көрсетілді. ЖШ көмегімен уран өндіруді имитациялау кезінде есептеулерді жеделдету графикалық процессорында параллельді есептеу технологиясына негізделген әдісті қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Ағын сызық адісін модельдеуде қолдану, яғни үш өлшемді кеңістіктен бірнеше бір өлшемді кеңістікке көшудің арқасында есептеу уақытын жылдамдатуға болатынын көрсетеді.

Жұмыс мақсаты. тау жыныстарының әртүрлі нысандарының орналасуын ескере отырып жерасты шаймалау әдісімен уран өндіру кезінде минералды еріту және ерітінділердің массалық алмасу үлгісін әзірлеу.

Сонымен қатар есептеулерді жеделдету үшін ағын сызық әдісі мен графикалық процессорларда параллельді есептеу технологиясы қолдану.

Жұмыстың мақсаттары.

– қабаттағы қысым өрісін графикалық процессорда (GPU) есептеудің тиімді алгоритмін жасау және қабаттағы ерітіндінің гравитациялық шөгуіне ерітінді мен жер асты суларының тығыздықтарының айырмашылығының әсерін зерттеу;

– уранды жерасты шаймалау әдісімен еріту кезіндегі ағын сызық әдісін қолданудың тиімділігін талдау;

– жерасты шаймалау әдісімен уран өндіру кезінде тау жыныстарымен әрекеттесу үшін ерітіндіден кететін шығынын анықтау, химиялық моделін әзірлеу және сулы ерітіндідегі күкірт қышқылының уран қосылыстары және тау жыныстарының компоненттерімен еру жылдамдығын анықтау;

– ЖШ әдісімен уранды ерітіндімен сүзіп алуын фильтрация жылдамдығымен әсерін зерттеу;

– ЖШ әдісімен уранды өндіруге тау жынысының минералогиялық құрамының әсерін зерттеу;

– әзірленген модел кен орнының толық масштабты учаскесіне қолдану.

Зерттеу объектісі болып жер асты ұңғымаларын шаймалау әдісімен уранды алу кезінде пайда болатын кеуекті ортадағы әрекеттесуші қоспаның тасымалдыау процестері табылады.

Зерттеу пәні реакцияланатын қоспа тасымалы, кеуекті ортада масса алмасу моделін жасау және қазіргі заманғы сандық әдістер мен жоғары өнімді есептеулер арқылы оны тиімді зерттеу әдістерін қолдану болып табылады.

Зерттеу әдістері. параллельді есептеулерді және Поллок алгоритміне негізделген ағын сызық әдісті пайдалана отырып, кеуекті ортада ерітінділерді еріту және тасымалдау процестерін сандық және аналитикалық зерттеу әдістері.

Мәселенің ғылыми жаңалығы мыналардан тұрады: (і) графикалық процессордағы есептеулерді және ағын сызық әдісін қолдана отырып, жерасты шаймалауда уранды өндіру кезінде пайда болатын кеуекті ортадағы масса алмасу процестерінің физика-химиялық, математикалық және 3D сандық үлгілерін әзірлеу; (іі) төрт валентті және алты валентті уран қосылыстарының, тау жыныстарының құрамдас бөліктерінің еруін ескере отырып, ерітінділерді сүзу, минералды еріту және еріген заттарды кенді қабатқа тасымалдау процестерінің заңдылықтарын белгілеу.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер.

– графикалық процессорда (GPU) жоғары өнімді есептеудің заманауи әдістерін пайдалана отырып, тау жыныстарында ерітінділерді сүзу моделін есептеу алгоритмі, оның көмегімен есептеулерді 24 есе жеделдетуге қол жеткізілді;

– ерітіндінің гравитациялық төмен түсуі жер асты суларының тығыздығынан айырмашылығы 5%-дан жоғары болғанда маңызды;

– минералды біркелкі таралады деп және ерітіндінің сүзілу жылдамдығының

тұрақтылығы бойынша алынған ағын сызық бойымен масса алмасу мәселесінің шамамен аналитикалық шешімі;
– UO3, UO2 және рудалы жыныстардың еруін ескере отырып, ЖШ әдісімен уранды өндіру кезінде пайда болатын кеуекті ортадағы масса алмасу процестерінің математикалық моделі;
– UO3, UO2 қосылыстары мен рудалы жынысты күкірт қышқылымен еру жылдамдығының константалары, түтіктің шығысындағы тәжірибелік және есептік уран концентрациясының ауытқуы (NRMSD) 7%-дан аспайды;
– сүзу жылдамдығын 0,59-дан 0,99 м.тәу$^{-1}$ дейін арттыру уранды өндіріп алуды 6%-ға және өндіру уақытын 65%-ға қысқартуға әкеледі.

Диссертацияның ғылыми ережелерінің, қорытындылары мен нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі механиканың фундаментальді заңдарын қолданумен анықталады: массаның сақталу заңдылықтары, кеуекті ортадағы физика-химиялық түрлендірулерді модельдеу үшін реакцияға түсетін тасымалдау моделін құру кезіндегі Дарси және масса әрекетінің заңы, Поллок алгоритмі, сонымен қатар оның зерттеулері үшін жеткілікті дәлдігі дәлелденген сандық әдістерді пайдалану. Шаймалау ерітіндісінің тау жыныстары құрамдас бөліктерімен әрекеттесу реакциясының жылдамдығының константалары Төртқұдық кен орны материалдары бойынша белгілі тәжірибелік мәліметтер негізінде анықталды. Әзірленген реакцияға түсетін тасымалдау моделі толық масштабты Буденовск учаскесіне қолданылды, нәтижелер эксперименттік деректер мен модельдеу нәтижелерінің арасында жақсы сәйкестік көрсетті.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы. Нәтижелердің теориялық маңыздылығы жерасты шаймалау әдісін қолдана отырып, уранды өндіру кезінде болатын масса алмасу процестерінің моделін жасау. Практикалық маңыздылығы пайдалы қазбаларды өндірудің тиімділігін арттыру үшін әртүрлі тау-кен сценарийлерін есептеу, жерасты сілтісіздендіру жолымен игерілген кен орындарының жұмысын болжау, сондай-ақ уран кен орындарын игеру процесін зерттеу үшін әзірленген модельді пайдалану мүмкіндігімен сипатталады. ЖШ әдісін қолдана отырып жасалған масса алмасу моделі «Геостат» деп аталатын компьютерлік бағдарламада Орталық , Инкай және Семізбай кен орындарында сынақтан өткен.

Жұмыстың мемлекеттік ғылыми бағдарламалармен байланысы. Бұл диссертациялық жұмыс келесі жобалар аясында орындалды:
– 3290/ГФ4 «Жер асты шаймалау әдісімен пайдалы компонентті өндіруді оптимизациялау үшін геотехнологиялық ақпаратты-модельдеуші комплексті құру», ГҚ ҚР БҒМ ҒК, 2015 – 2017 гг., № ГР 0115РК00771;
– BR05236447 «Уран мен мұнай кен орындарын өндіруге арналған басқару және шешімдерді қабылдау зияткерлік жүйелері», ҚР БҒМ ҒК ғылыми зерттеулерді бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру, 2018 – 2020, № ГР 0118РК01275;
– AP19676743 «Ерітінділердің теңгерімсіздігінің сұлбасын, геотехнологиялық полигонның жұмыс режимдерін есептеу әдістерін және жерасты шаймалаумен металлдарды тиімді өндіруге арналған

геотехнологиялық ақпараттық жүйені жасау», ГҚ ҚР БҒМ ҒК, 2023-2025 гг., № ГР 0123РК00564.

Жұмысты апробациялау.

Диссертацияның негізгі нәтижелері мен ережелері келесі ғылыми іс-шараларда баяндалып, талқыланды:

- Есептеу ғылымындағы 9-шы халықаралық жас ғалымдар конференциясы, 5-13 қыркүйек, 2020 ж.;
- IX Халықаралық ғылыми-практикалық конференция «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері», Алматы, 7 – 9 қараша 2019 ж.;
- Ядролық отын циклі үшін уран шикізаты бойынша халықаралық симпозиум: барлау, өндіру, өндіру, ұсыныс және сұраныс, экономика және қоршаған орта мәселелері (URAM-2018), МАГАТЭ, Вена, Австрия, 25-29 маусым 2018 ж.
- Интегративті сандық геологияға арналған зерттеулер (RING) кездесуі, Нэнси, Франция, 2017 ж.;
- «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» VIII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция, Астана, 3 – 5 тамыз, 2017 ж.

Докторанттың мақалалар дайындаудағы жеке үлесі.

Диссертация авторы мәселені қоюға, бағдарламалық кодты әзірлеуге, нәтижелерді алу мен талдауға, мақалаларды дайындауға қатысты. Оның Scopus деректер базасына енгізілген 3 жарияланымы (төменде көрсетілген) және ҚРҒЖБМК ұсынған журналдарда 3 мақаласы бар және 5 жарияланымның бірінші авторы.

1. M.B. Kurmanseiit, M.S. Tungatarova, J.-J. Royer, etc. Streamline-based reactive transport modeling of uranium mining during in-situ leaching: Advantages and drawbacks. Hydrometallurgy, 2023, 220, 106107. (WoS: Q1, Scopus: процентиль -89, SJR -1.012)

2. Kurmanseiit, M.B.; Tungatarova, M.S.; etc. Reactive Transport Modeling during Uranium In Situ Leaching (ISL): The Effects of Ore Composition on Mining Recovery. Minerals 2022, 12, 1340. (WoS: Q2, Scopus: процентиль -68, SJR -0.53)

3. M.S. Tungatarova, M.B. Kurmanseiit, N. Shayakhmetov GPU accelerated modeling of In-Situ Leaching process and Streamline based reactive transport simulation. - Procedia Computer Science. – 2020.– V. 178, p. 145-152, (WoS: Q2, Scopus: процентиль -68, SJR -0.507, Conference paper)

Сонымен қатар, диссертация авторы халықаралық ғылыми конференциялар жинағында 5 тезис жариялады, сонымен қатар баяндамашы болды және диссертациялық жұмыс шеңберінде әзірленген бағдарламалық модульдерге 2 авторлық куәлік алынды.

Диссертацияның негізгі мазмұны.

Кіріспеде келесі тармақтар көрсетіледі: зерттеу тақырыбының өзектілігі, жұмыстың негізгі мақсаттары, зерттеудің жаңалығы, теориялық және практикалық маңыздылығы, жұмыстың ғылыми және ғылыми-практикалық конференцияларда сынақтан өткізілуі.

Диссертацияның бірінші бөлімінде бір алтыбұрышты ұяшықты біртекті қабат мысалында ұңғымалар желісінің әсерінен тау жыныстарындағы

ерітінділерді сүзу процесін модельдеу қарастырылады. Ерітінді мен жер асты суларының тығыздықтарының айырмашылығы 5%-дан асса ерітіндінің гравитациялық шөгінділерін тудыратыны көрсетілген. Есептеу уақытын және есептеу ресурстарына қойылатын талаптарды қысқарту үшін графикалық процессорда (GPU) орындалатын есептеулерде параллельдеу алгоритмі қолданылды.

Екінші бөлімде ЖШ әдісімен уранды алу кезіндегі масса алмасу процестерін модельдеу есептеулерді параллелизациялау арқылы және ағын сызық әдісі негізінде орындалды. 2-ші ретті жуықтауды пайдаланып, қарапайым химиялық кинетика үшін көрсетілген жүйенің асимптотикалық ерітіндісі алынады.

ЖШ-да уранды алу кезінде UO3, UO2 және негізгі жыныстың еруін ескеретін реакцияға түсетін тасымалдау моделі ұсынылады . Реакция жылдамдығының эмпирикалық константалары сандық түрде анықталып, минералды өндіруге ерітінді жылдамдығы мен төрт валентті және алты валентті уран қосылыстарының арақатынасының әсері зерттелді . Әзірленген реакцияға түсетін тасымалдау моделі Буденовск кен орнының толық масштабты учаскесіне қолданылды.

Нәтижелер негізінде: қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалауды; зерттеу нәтижелерін пайдалану бойынша ұсыныстарды; зерттеудің техникалық-экономикалық тиімділігін бағалауды көрсетілді. Жүзеге асырылған жұмыстың деңгейі осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда жоғары болып табылады.