

**Мадина Владимир Анатольевичтің «Жоспарлау міндеттерінде үлкен деректерді интеллектуалдық талдау модельдерін әзірлеу және зерттеу» тақырыбындағы 8D06102 – «Ақпараттық технологиялар және робототехника» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертациялық жұмысына
АҢДАТПА**

Зерттеу тақырыбының өзектілігі өнеркәсіпті цифрлық трансформациялаудың қазіргі заманғы үрдістерімен және үлкен деректерді талдау, машиналық оқыту және оңтайландырулық модельдеу әдістерін қолдануға негізделген интеллектуалды өндірістік жүйелердің дамуымен айқындалады. Industry 4.0 жағдайында өндірістік жүйелер жабдықтарды, өндірістік процестер мен технологиялық операцияларды мониторингтеу деректері басқарудың тиімділігін арттыру мен шешім қабылдауда негізгі ресурсқа айналатын киберфизикалық кешендер ретінде барған сайын кеңінен қызмет атқаруда.

Цифрлық өндірістік платформалардың дамуы өндірістік процестер параметрлерінің белгісіздігін, операциялар ұзақтығының өзгермелілігін және жабдықтардың техникалық жай-күйін ескеруге қабілетті интеллектуалды шешім қабылдауды қолдау жүйелеріне көшуімен қатар жүруде. Бұл ретте күнтізбелік-өндірістік жоспарлау деректерді жинауды, процестер параметрлерін болжауды және өндірістік кестелерді бейімдеуді қамтитын өндірісті басқарудың интеграцияланған контурының құрамдас бөлігі ретінде қарастырылады.

Қазақстан Республикасында өнеркәсіпті цифрландыру, интеллектуалдық ақпараттық жүйелерді енгізу және деректерді талдау технологияларын дамыту мәселелері ғылыми-технологиялық дамудың басым бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Осы жағдайларда өндірістік жүйелердің тұрақтылығын арттыруды және жабдықтарды пайдаланудың тиімділігін қамтамасыз ететін өндірістік үдерістерді интеллектуалдық жоспарлау әдістерін әзірлеу қажеттілігі арта түсуде.

Өндірістік жүйелерді басқарудың негізгі міндеттерінің бірі ресурстарды ұтымды пайдалануды және технологиялық шектеулердің сақталуын қамтамасыз ететін тиімді өндірістік кестелерді қалыптастыру болып табылады. Мұндай міндеттердің классикалық математикалық моделі ретінде Job Shop Scheduling Problem (JSSP) типіндегі күнтізбелік жоспарлау есебі қарастырылады. Дискретті оңтайландыру әдістері мен кестелер теориясы саласында елеулі ілгерілеу болғанына қарамастан, қолданыстағы жоспарлау модельдерінің басым бөлігі параметрлердің детерминистік мәндеріне негізделген және өндірістік үдерістердегі белгісіздікті ескермейді.

Кәсіпорындардың нақты жұмыс істеу жағдайларында операциялардың ұзақтығы, жабдықтардың жүктелуі және істен шығу ықтималдығы елеулі ауытқуларға ұшырайды, бұл өндірістік кестелердің тұрақтылығын төмендетіп, өндірістік үдерістер параметрлерінің белгісіздігін ескере алатын жоспарлау

әдістерін әзірлеуді талап етеді. Сонымен қатар мониторинг деректерін талдау негізінде өндірістік жүйелердің параметрлерін және жабдықтардың техникалық жай-күйін болжауға мүмкіндік беретін машиналық оқыту әдістері қарқынды дамуда.

Өндірістік жүйелерде жабдықтарға предиктивті қызмет көрсету (Predictive Maintenance) бағыты ерекше маңызға ие болып отыр, ол сенсорлық деректер негізінде жабдықтың қалдық ресурсын болжауға бағытталған. Машиналық оқыту мен предиктивті қызмет көрсету саласында зерттеулердің айтарлықтай санына қарамастан, болжамдық модельдер көбіне күнтізбелік жоспарлау міндеттерінен оқшау түрде қолданылады, ал оларды оңтайландыру модельдеріне формалданған түрде интеграциялау жеткілікті деңгейде дамымаған.

Осылайша, қазіргі ғылыми және инженерлік практикада өзара тығыз байланысты үш зерттеу бағыты қалыптасты: өндірістік үдерістерді күнтізбелік жоспарлау, өндірістік жүйелер параметрлерін болжауға арналған машиналық оқыту әдістері және жабдықтарға предиктивті қызмет көрсету әдістері. Оларды интеллектуалдық жоспарлаудың бірыңғай есептеу архитектурасы аясында интеграциялау өзекті ғылыми міндет болып табылады.

Машиналық оқытудың болжамдық модельдерін, жабдықтарға предиктивті қызмет көрсету деректерін және күнтізбелік жоспарлаудың оңтайландыру рәсімдерін біртұтас есептеу контурында формалданған түрде интеграциялауды қамтамасыз ететін әдістерді әзірлеу қажеттілігі осы зерттеудің ғылыми проблемасын айқындайды.

Докторлық диссертацияның мақсаты — өндірістік процестер параметрлерінің белгісіздігі жағдайында басқарушылық шешімдердің негізділігі мен тиімділігін арттыруға бағытталған өндірістік қызметті болжамдық жоспарлауға арналған үлкен деректерді интеллектуалды талдаудың модельдер кешенін әзірлеу және апробациялау.

Диссертациялық зерттеудің міндеттері:

- өндірістік жүйелерде болжам жасау және жоспарлау мәселелерінде қолданылатын қазіргі заманғы деректерді интеллектуалдық талдау және машиналық оқыту әдістерін талдау;

- өндірістік және эксплуатациялық сипаттағы әртүрлі деректерді, сондай-ақ болжамдық жоспарлау міндеттерінде ақпарат көздерін кеңейтуге арналған сыртқы факторларды интеграциялаудың концептуалды моделін әзірлеу;

- болжамдардың белгісіздігін бағалаудың формалдандырылған процедурасы бар гибридтік болжау модельдерін құру;

- тәуекелдер бойынша сценарийлік шектеулер мен операциялар параметрлерінің квантильдік болжамдық бағаларын ескере отырып, өндірістік жоспарды қалыптастырудың оптимизациялық моделін әзірлеу;

- болжамдық модельдер мен предиктивті қызмет көрсету (PdM) деректерін бірыңғай жоспарлау контурына интеграциялау;

- болжау дәлдігі, шешімдердің тұрақтылығы және есептеу тиімділігі көрсеткіштері бойынша нәтижелерді базалық әдістермен салыстыра отырып,

әдістемені ашық деректер жиынтықтарында эксперименттік апробациядан өткізу.

Зерттеу объектісі: операцияларды орындау параметрлерінің белгісіздігі жағдайында өндірістік қызметті күнтізбелік жоспарлау үдерістері.

Зерттеу пәні: өндірістік процестер параметрлерінің белгісіздігін ескеретін сценарийлік шектеулерді қалыптастыру арқылы машиналық оқытудың болжамдық модельдері мен оптимизациялық әдістерін интеграциялауға негізделген өндірістік қызметті календарлық жоспарлаудың гибридтік болжамдық-оптимизациялық модельдері.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыстың әртүрлі кезеңдерінде күрделі өндірістік жүйелерді жүйелік талдау және математикалық модельдеу әдістері, машиналық оқыту мен деректерді интеллектуалдық талдау әдістері, оңтайландыру модельдеу және комбинаторлық оңтайландыру әдістері, сондай-ақ болжамдардың дәлдігін, алынған шешімдердің робасттығын бағалау және есептеу эксперименттерінің нәтижелерін верификациялау үшін математикалық статистика әдістері қолданылды.

Қорғауға ұсынылатын тұжырымдар:

- өндірістік процестер параметрлерінің квантильдік болжамдарын пайдалануға негізделген және операциялардың ұзақтығындағы белгісіздікті ескеру үшін машиналық оқытудағы болжамдық модельдердің нәтижелерін күнтізбелік жоспарлаудың оңтайландыру модельдеріне интеграциялауды қамтамасыз ететін гибридті болжамдық-оңтайландырулық күнтізбелік жоспарлау моделі;

- жабдықтың болжамды техникалық қызмет көрсету көрсеткіштерін талдау нәтижелері негізінде қалыптастырылатын сценарийлік шектеулерді пайдалануға негізделген жабдықтың техникалық жай-күйі тәуекелдерін ескере отырып құрылған күнтізбелік жоспарлаудың математикалық моделі;

- «болжам жасау – шектеулерді синтездеу – оңтайландыру – орнықтылықты талдау» есептеу контурын іске асыратын және қалыптастырылатын өндірістік кестелердің орнықтылығын арттыруды қамтамасыз ететін машиналық оқытудағы болжамдық модельдер мен оңтайландырулық жоспарлауды біріктіру алгоритмі.

Зерттеудің негізгі нәтижелері. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде машиналық оқыту әдістерін, жабдықтарға предиктивті қызмет көрсетуді және дискретті оңтайландыруды біріктіруге негізделген күнтізбелік жоспарлау міндеттерін шешудің гибридтік болжамдық-оңтайландыру тәсілі әзірленді. Операциялардың ұзақтығының квантильдік болжамдық модельдерін, жабдықтардың PdM-тәуекелдерін бағалауды және CP-SAT шешушісіне негізделген күнтізбелік жоспарлау оңтайландыру моделін біріктіретін интеллектуалдық жоспарлау жүйесінің архитектурасы ұсынылды.

Операциялардың ұзақтығы үшін (P10, P50, P90) квантильдік болжамдарды қалыптастыруға арналған машиналық оқыту моделі әзірленді, ол оптимизациялық шектеулерді қалыптастыру кезінде өндірістік үдерістердің белгісіздігін ескеруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жабдықтардың техникалық жағдай көрсеткіштерін агрегирленген PdM-

тәуекелдері негізінде күнтізбелік жоспарлау міндетіне интеграциялау әдісі ұсынылды.

Адаптивті сценарийлік шектеулерді жүзеге асыратын, S0–S5 жоспарлау сценарийлерін және жарамды шешім болмаған жағдайда ML-шектеулерді ретті түрде жеңілдету механизмін қамтитын күнтізбелік жоспарлау оңтайландыру моделі әзірленді. Өндірістік үдерістер параметрлерін болжау, кестелерді қалыптастыру және нәтижелерді аналитикалық визуализациялау мүмкіндігін қамтамасыз ететін интеллектуалдық жоспарлау жүйесінің бағдарламалық прототипі жасалды.

JSSP міндетінің эталондық инстанстарында жүргізілген есептеу эксперименттері ұсынылған тәсілдің жұмыс қабілеттілігін растап, ML-CR-SAT конвейер құрамында машиналық оқытудың болжамдық модельдерін қолдану оңтайландыру процесінің тұрақтылығын арттыратынын және белгісіздік жағдайында жарамды кестелер қалыптастыруды қамтамасыз ететінін көрсетті.

Ғылыми жаңалығы өндірістік қызметті күнтізбелік жоспарлаудың гибридік болжамдық-оңтайландырушылық тәсілін әзірлеу және негіздеуде жатыр; бұл тәсіл машиналық оқыту модельдері мен шектеулерге негізделген оңтайландыру әдістерін интеграциялауға сүйенеді. Өндірістік процестер параметрлерінің белгісіздігін ескеру мақсатында операциялар ұзақтығының квантильдік болжамдары негізінде оңтайландырғыш модельдің сценарийлік шектеулерін қалыптастыру әдістемесі әзірленді. Предиктивті қызмет көрсету әдістері арқылы алынған жабдықтың техникалық жай-күйінің бағаларын күнтізбелік жоспарлау контурына интеграциялау тәсілі ұсынылды. Ұсынылған тәсіл аясында «болжамдау – шектеулерді синтездеу – оңтайландыру – тұрақтылықты талдау» бірыңғай есептеу контуры жүзеге асырылып, есептеу эксперименттерінің қайта өндірілуін және жоспарлық шешімдердің интерпретациялануын қамтамасыз етеді.

Теориялық маңыздылығы белгісіздік жағдайында өндірістік процестерді күнтізбелік жоспарлаудың оңтайландырушылық рәсімдері мен машиналық оқыту модельдерін интеграциялау әдістерін дамытуда көрінеді. Операциялар параметрлерінің квантильдік бағаларын қолдануға негізделген және жабдықтың техникалық жай-күйінің бағаларын жоспарлау есебінің оңтайландырушылық сценарийіне енгізуді қарастыратын болжамдық модельдерді интеграциялаудың формалдандырылған сызбасы ұсынылды. Бұл тәсіл өндірістік процестерді робастты жоспарлау әдіснамасын кеңейтеді.

Практикалық маңыздылығы машиналық оқыту әдістерін, жабдықты предиктивті қызмет көрсету тәсілдерін және оңтайландырғыш модельдеуді біріктіретін күнтізбелік жоспарлаудың интеллектуалды жүйесінің бағдарламалық прототипін әзірлеуде көрінеді.

Ұсынылған гибридік болжамдық-оңтайландырғыш жоспарлау әдістері өндірістік процестерді күнтізбелік жоспарлау саласындағы шешім қабылдауды қолдау жүйелерін құру және жаңғырту кезінде, сондай-ақ деректерді талдау және интеллектуалды ақпараттық жүйелер саласындағы мамандарды даярлаудың білім беру практикасында қолданылуы мүмкін.

Зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу. Диссертациялық зерттеу нәтижелері өндірістік үдерістерді күнтізбелік жоспарлау саласындағы шешімдердің негізділігі мен сапасын арттыру мақсатында болжамдық модельдер мен сценарийлік талдауды пайдалану арқылы «ОПТИСОРТ» ЖШС-де практикалық тұрғыда енгізілді.

Диссертациялық зерттеу нәтижелерін апробациялау. Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ-ның «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының ғылыми семинарларында, сондай-ақ 2022 жылы Қостанай қаласында өткен «Жасанды интеллект әдістері» атты халықаралық вебинарда баяндалып, талқыланды.

Scopus дерекқорына кіретін, импакт-факторы нөлден жоғары халықаралық басылымдарда – 1 мақала. Автордың үлесі ғылыми гипотезаны тұжырымдау, деректерді жинау және алдын ала өңдеу, зерттеудің эксперименттік бөлігін әзірлеу және техникалық жүзеге асыру, алынған нәтижелерді интерпретациялау және жарияланымды дайындаудан тұрады:

1. Enhancing electricity consumption forecasting in the Republic of Kazakhstan using machine learning // Journal of Applied Engineering and Technological Science. – 2025. – Vol. 6(2). – P. 1166-1196. <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i2.7425>.

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда – 6 мақала. Бұл жарияланымдарда автор зерттеу тұжырымдамасын және деректерді талдау әдіснамасын әзірледі, деректерді жинауға, нәтижелерді интерпретациялауға және ғылыми мақалаларды жариялауға дайындауға қатысты:

1. Свёрточные и глубокие нейронные сети // Вестник КазАТК. – 2023. – №126(3). – Б. 189–197. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-126-3-189-197>.

2. Сравнительный анализ форматов протоколов для обработки данных в сенсорных сетях интернета вещей // Вестник КазАТК. – 2024. – №134(5). – Б. 465–473. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-134-5-465-473>.

3. Adaptive process management using deep learning on a programmable logic controller (PLC) // International Journal of Information and Communication Technologies. – 2024. – Vol. 5. – Is. 1. – №17. – Б. 8-28. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2024.17.1.001>

4. Анализ моделей RNN и TRANSFORMER в задачах обработки естественного языка // Вестник КазАТК. – 2025. – №138(3). – Б. 311-321. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-138-3-311-321>.

5. Предиктивное обслуживание шпиндельных подшипников на основе вибродиагностики (на примере токарного станка СКЕ 6136/6150) // Вестник КазУТБ. – 2025. – Т. 3. – Вып. 28. – Б. 63-79.

6. Динамическая реконфигурация алгоритмов управления в программируемом логическом контроллере для гибкой автоматизации производственных процессов // Вестник ВКТУ. – 2025. – №4(110). – Б. 174-185.

Автордың жеке үлесі зерттеу міндетін қоюдан, күнтізбелік жоспарлауға арналған гибриді болжамды-оңтайландыру тәсілінің тұжырымдамасын әзірлеуден, күнтізбелік жоспарлау, машиналық оқыту, жабдыққа предиктивті қызмет көрсету және дискреттік оңтайландыру мәселелері бойынша ғылыми әдебиеттерді талдаудан тұрады. Автор интеллектуалды жоспарлау жүйесінің архитектурасын, операциялардың ұзақтығын квантильдік болжау модельдерін, жабдықтың PdM-тәуекелдерін оңтайландыру моделіне интеграциялау әдісін, ML-шектеулерін қолданудың сценарийлік механизмін әзірледі. Сонымен қатар жүйе прототипін бағдарламалық жүзеге асыру, деректерді дайындау және өңдеу, есептеу эксперименттерін жүргізу және алынған нәтижелерді талдау жұмыстары орындалды. Диссертациялық жұмыстың барлық негізгі нәтижелері автордың жеке өзімен алынған.

Диссертациялық зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық зерттеу тақырыбы бойынша барлығы 7 (жеті) ғылыми еңбек жарияланған, оның ішінде 6 (алты) мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда, 1 (бір) мақала Scopus дерекқорына кіретін халықаралық ғылыми басылымда жарияланған. Сонымен қатар электрондық есептеу машинасына арналған бағдарламаға мемлекеттік тіркеу туралы 2 (екі) авторлық куәлік бар.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Диссертациялық жұмыстың көлемі 137 бет (38 сурет және 17 кесте).

Кіріспеде операциялар ұзақтығының белгісіздігі және жабдықтардың істен шығу тәуекелдері жағдайында күнтізбелік-өндірістік жоспарлаудың тиімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты зерттеу тақырыбының өзектілігі негізделген. Өндірістік жоспарлау міндеттерінде шешім қабылдауды интеллектуалды қолдау үшін машиналық оқыту, предиктивті қызмет көрсету және дискреттік оңтайландыру әдістерін қолданудың маңыздылығы көрсетілген. Зерттеудің мақсаты мен міндеттері тұжырымдалып, зерттеу нысаны мен пәні айқындалған, жұмыстың ғылыми жаңалығы, теориялық және практикалық маңыздылығы ашып көрсетілген.

Диссертациялық жұмыстың бірінші бөлімі өндірістік жүйелерде күнтізбелік жоспарлау әдістері мен деректерді интеллектуалды талдаудың қазіргі жағдайын талдауға арналған. Job Shop Scheduling Problem (JSSP) мәселесінің математикалық тұжырымдамалары, дискреттік оңтайландыру әдістері және робастты жоспарлау тәсілдері қарастырылды. Өндірістік үдерістер параметрлерін болжау және жабдықтың техникалық жағдайын бағалау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану мүмкіндіктері талданды. Болжамдық модельдер мен оңтайландыру алгоритмдерін интеграциялау интеллектуалды жоспарлау жүйелерін дамытуда перспективалы бағыт болып табылатындығы көрсетілді.

Екінші бөлімде күнтізбелік жоспарлауға арналған гибриді болжамды-оңтайландыру тәсілінің әдістемелік негізі әзірленді. Операциялардың ұзақтығының белгісіздігі мен жабдық деградациясының тәуекелдерін ескере отырып, күнтізбелік жоспарлау мәселесі формальдендірілді. Квантильдік операция ұзақтықтарын болжау және PdM-тәуекелдердің агрегатталған көрсеткіштерін пайдаланатын кеңейтілген күнтізбелік жоспарлау оңтайландыру моделі ұсынылды. Болжамдық шектеулерді қолданудың сценарийлік механизмі және рұқсат етілген шешімдер болмаған жағдайда олардың адаптивті түрде әлсіретілу схемасы әзірленді.

Үшінші бөлімде операция ұзақтықтарын болжау және жабдық деградациясының тәуекелдерін бағалау үшін машиналық оқыту модельдері әзірленді. Ансамбльдік және нейрондық желілік әдістерге негізделген квантильдік болжамның гибриді моделі жүзеге асырылды, ол операциялардың ұзақтықтарының P10, P50 және P90 бағалауларын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Жабдыққа диагностикалық деректерге негізделген предиктивті қызмет көрсету моделі әзірленді. Есептеу эксперименттері жүргізіліп, болжамдық бағалауларды күнтізбелік жоспарлау оңтайландыру моделінің параметрлері ретінде қолдану мүмкіндігі расталды.

Төртінші бөлімде ұсынылған гибриді ML-CP-SAT тәсілінің тәжірибелік зерттеуі күнтізбелік жоспарлау мәселесінің эталондық инстанстарында жүргізілді. Болжамдық шектеулер мен PdM-тәуекелдерді пайдалана отырып, әртүрлі жоспарлау сценарийлері салыстырылды. Сценарийлердің мақсаттық функция мәніне, шешімдердің тұрақтылығына және оңтайландыру процесінің есептеу сипаттамаларына әсері талданды. Болжамдық модельдерді қолдану арқылы оңтайландыру іздеудің басқарылуын және жоспарлау процесінің тұрақтылығын арттыруға болатыны көрсетілді.

Бесінші бөлімде интеллектуалды күнтізбелік жоспарлау жүйесінің практикалық жүзеге асырылуы программалық прототип түрінде көрсетілген, ол машиналық оқыту модульдері, PdM-тәуекелдерді бағалау және CP-SAT оңтайландыру шешушісін біріктіреді. Жүйенің пайдаланушы интерфейсі әзірленіп, single-instance және batch-жоспарлау режимдері, сондай-ақ шешім қабылдауды қолдау модулі іске асырылды. Жасалған прототиптің тәжірибелік апробациясы жүргізіліп, ұсынылған тәсілдің жұмыс қабілеттілігі мен оны өндірістік жоспарлау міндеттерінде және білім беру зерттеулерінде қолдану мүмкіндігі расталды.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері беріліп, диссертациялық жұмыстың мақсатының орындалғаны және қойылған міндеттердің шешілгені туралы қорытындылар жасалған. Қосымшаларда авторлық куәліктер және енгізу актісі ұсынылған.

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасының ғылыми-технологиялық дамуының басым бағыттарына сәйкес жүзеге асырылатын BR24992785 «Қостанай облысының агроөнеркәсіптік кешенінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету бойынша кешенді зерттеулерді ұйымдастыру және

жүргізу, ғылыми-зерттеу технологиялық орталығын құру» тақырыбындағы бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы аясында орындалды.