

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
РЕЦЕНЗИЯ

“Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Дипломдық жұмыстың тақырыбы: “Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыруды модельдеу”

Орындаған : Мәлікбай Фархат Асқатұлы

Ғылыми жетекші: Уалиев Жомарт Разханович

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Дипломдық жоба өндірістік инженерия мен математикалық модельдеудің өзекті бағыттарының біріне — автокөлік зауытындағы өндірістік жабдықтарды тиімді орналастыру міндетіне арналған.

Жұмыста жабдықтарды тиімді орналастыру мәселесі формализацияланып, оны шешуге бағытталған математикалық модельдер мен оңтайландыру әдістері ұсынылған. Студент жабдықтар арасындағы көлік ағындары, логистикалық байланыстар мен кеністіктік шектеулерді ескеріп, модельдеу процесін жүйелі түрде жүргізе білген.

Дипломдық жобада қолданылған тәсілдер: желілік модельдер, графтар теориясы, алгоритмдік оңтайландыру әдістері және программалық құралдарды қолдану (мысалы, Python, MATLAB немесе AutoCAD) – практикалық міндеттерді шешуде тиімді болған. Нәтижелер визуалды түрде көрнекі көрсетіліп, тиімді орналасу схемалары ұсынылған.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Дипломдық жұмыс «Математикалық және компьютерлік модельдеу» мамандығының талаптарына толық сәйкес келеді. Жобаның теориялық негізі мықты, практикалық құндылығы жоғары. Қойылған мақсаттар мен міндеттер толығымен орындалған, ал ұсынылған шешімдер өндірістік процестерді оңтайландыруда нақты қолдануға жарамды. Жұмыс «өте жақсы» деген бағаға лайық және қорғауға ұсынылады.

90 %

РЕЦЕНЗИЯ БЕРУШІ

«ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ҚЫЗДАР
ПЕДАГОГИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»
КЕАҚ «ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ
ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТЫ»

«Ақпараттық технологиялар және
кітапхана ісі» кафедрасының
қауымдастырылған профессоры


Иманбаев Қ.С.
«2» маусым 2025

ҚазҰТУ 706-17 Ү. Рецензия

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

“Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Институт Автоматика және ақпараттық технология

Кафедра Жоғары математика және модельдеу

Дипломдық жобаның тақырыбы: “Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді
орналастыруды модельдеу”

Орындаған : Мәлікбай Фархат Асқатұлы

ПІКІР

Мәлікбай Фархат Асқатұлының дипломдық жұмысы заманауи өндіріс орындарындағы
өзекті мәселелердің бірі — өндірістік жабдықтардың тиімді орналасуын модельдеуге
арналған. Жұмыста қойылған міндеттер нақты, мазмұны терең және құрылымы жүйелі.

Студент зерттеу барысында жабдықтарды орналастыруға арналған математикалық модель
құрастырып, оны Python тілі арқылы бағдарламалық түрде іске асыра алды. Жұмыс
барысында логистикалық ағындарды қысқарту, өндіріс тиімділігін арттыру, AGV жүйелерін
оңтайлы пайдалану сияқты нақты өндірістік мәселелер қарастырылып, шешу жолдары
ұсынылған.

Фархаттың ғылыми-зерттеу жұмысына деген қызығушылығы, математикалық ойлау қабілеті
және бағдарламалау дағдылары жоғары деңгейде екенін байқауға болады. Ол тапсырманы дер
кезінде және сапалы орындап, өз бетінше талдау жүргізе алатын білікті маман ретінде
танылды.

Қорытынды:

Мәлікбай Фархаттың диплом жұмысы қойылған талаптарға толықтай сәйкес келеді, ғылыми-
тәжірибелік құндылығы жоғары және қорғауға ұсынылады.

жұмыс қорғауға ұсынылады және «өте жақсы» деген бағаға лайық.

Ғылыми жетекші:

Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-нің
«Жоғарғы математика және модельдеу»
кафедрасының қауымдастырылған профессоры

Уалиев Ж.Р

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Мәлікбай Фархат Асқатұлы

Тақырыбы: Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру модельдеу

Жетекшісі: Жомарт Уалиев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0

Өріптерді ауыстыру: 15

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 4

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді:

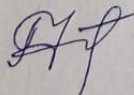
☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 29.04.25



Кафедра меңгерушісі

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мәлікбай Фархат Асқатұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру модельдеу

Научный руководитель: Жомарт Уалиев

Коэффициент Подобия 1: 1.8

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 15

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата 29.04.25.

А.Уст проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мәлікбай Фархат Асқатулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автоқолік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру модельдеу

Научный руководитель: Жомарт Уалиев

Коэффициент Подобия 1: 1.8

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 15

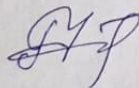
Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, являются законным и не являются плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата 29.04.25



Заведующий кафедрой

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
“Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті”
коммерциялық емес акционерлік қоғам

Институт Автоматика және ақпараттық технология
Кафедра Жоғары математика және модельдеу
6B06103 - Математикалық және компьютерлік модельдеу

Мәлікбай Фархат Асқатұлы

Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру модельдеу

Дипломдық жұмысқа
ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБА

6B06103 - Математикалық және компьютерлік модельдеу

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғам

Институт Автоматика және ақпараттық технология
Кафедра Жоғары математика және модельдеу

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі Тулешева Г.А.
Жоғары математика және модельдеу
Физика-математика ғылымдарының
кандидаты, қауымдастырылған
профессор

қолы аты-жөні

«2» маусым 2025 ж.

Дипломдық жұмысқа

ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБА

Тақырыбы: «Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру модельдеу»
6B06103 - Математикалық және компьютерлік модельдеу

Орындаған

Мәлікбай Ф.А

Рецензент

Ғылыми жетекші

«ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ҚЫЗДАР
ПЕДАГОГИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»
КЕАҚ «ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ
ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТЫ»

«Ақпараттық технологиялар және
кітапхана ісі» кафедрасының
қауымдастырылған профессоры

Иманбаев Қ.С.
«2» маусым 2025

Профессор
Уалиев Ж.Р.
«16» 05 2025

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Институт Автоматика және ақпараттық технология
Кафедра Жоғары математика және модельдеу

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі Тулешева Г.А
Жоғары математика және модельдеу
Физика-математика ғылымдарының
кандидаты, қауымдастырылған
профессор

қолы  аты-жөні

« 2 » маусым 2025 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Мәлікбай Фархат Асқарұлы

Тақырыбы: «Автокөлік зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыру
модельдеу»

Университетінің ректорының 2025 жылғы « 29 » қаңтардағы № 26-П/Ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі 2025 жылғы «10-11» маусым айы.

Дипломдық жобаның бастапқы деректері: Вариациялық әдістердің тиімділігі
мен қолданбалы есептерге әсерін талдау.

Дипломдық жобада әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Қатысты жұмысқа теориялық шолу
 - б) Автомобиль зауытындағы жабдықтың оңтайлы орналасуының
математикалық моделі
 - в) Математикалық модельді Python негізінде код құрастыру үшін қолдану
- Графикалық материалдар тізімі (міндетті суреттердің нақты көрсетілуімен): 12
Ұсынылған негізгі әдебиеттер саны:

Алматы 2025

Дипломдық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атаулары, әзірленетін мәселелердің тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Тақырыпқа байланысты арнайы әдебиеттері қарастыру	01.02.2025	орындалды
Дипломдық жұмыстың жоспарын құру	06.04.2025	орындалды
Негізгі бөлімді қарастыру	13.04.2025	орындалды
Дипломдық жұмысты қорытындылау	20.04.2025	орындалды

Қолтанбалар

Аяқталған дипломдық жобаға консультанттар мен норма бақылаушылар оларға катысты жұмыс бөлімдерін көрсете отырып

Бөлімдердің атаулары	Кенесшілер Т.А.Ә. (мұғ. дәрежесі, атағы)	Қол қойылған Күні	Қолы
Теориялық бөлім	Уалиев Ж.Р. PhD,ассоц.«Жоғары математика және модельдеу» кафедрасының профессоры	14.05.2025	MA
Еңбекті қорғау бөлімі	Уалиев Ж.Р. PhD,ассоц.«Жоғары математика және модельдеу» кафедрасының профессоры	14.05.2025	MA
Норма бақылаушы	Шатманов Ж.Ж физ-мат. ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор	20.05.2025	MA

Ғылыми жетекшісі
Уалиев Ж.Р.

MA

Білім алушы тапсырманы орындауға алды
Мәлікбай Ф.А

MA

Күні

«2» маусым 2025ж.

Алматы 2025

АНДАТПА

Автомобиль зауытындағы жабдықтың тиімді орналасуын модельдеу өндіріс өнімділігін арттырып, шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Цехтар мен логистикалық ағындардың дұрыс жоспарланбауы қосымша шығындарға әкеліп, өндіріс тиімділігін төмендетеді.

Осы зерттеуде зауыт конфигурациясын оңтайландыру мақсатында жабдықты орналастыруды модельдеу жүргізіледі. Бұл үшін математикалық модельдеу әдістері, соның ішінде сызықтық бағдарламалау қолданылады. Негізгі талданатын параметрлерге өндірістік аймақтардың орналасуы, логистикалық ағындардың маршруттары және автоматтандырылған басқарылатын көліктердің (AGV) тиімді пайдаланылуы жатады.

Модельдеу нәтижелері жабдықтың оңтайлы орналасуы өндіріс өнімділігін 0,3%-ға арттыруға, логистикалық ағындардың жүру қашықтығын 3,8%-ға қысқартуға және AGV қажеттілігін 11%-ға азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл автомобиль зауытының макетін жобалауда математикалық модельдеу мен логистикалық факторларды ескеретін кешенді тәсілдің маңыздылығын дәлелдейді.

АННОТАЦИЯ

Моделирование эффективного размещения оборудования на автомобильном заводе играет ключевую роль в повышении производительности и снижении издержек. Неоптимальная планировка цехов и логистических потоков приводит к дополнительным затратам и снижает эффективность производства.

В данном исследовании проводится моделирование размещения оборудования на этапе проектирования для оптимизации конфигурации завода. В качестве инструмента используется математическое моделирование с применением методов линейного программирования. Рассматриваются такие параметры, как компоновка производственных участков, пути логистических потоков и эффективность использования автоматизированных транспортных средств (AGV).

Результаты моделирования показывают, что оптимизированное размещение оборудования позволяет увеличить производственную пропускную способность на 0,3%, сократить расстояние перемещения логистических потоков на 3,8% и уменьшить потребность в AGV на 11%. Это подтверждает значимость комплексного подхода к проектированию макета автомобильного завода с учетом математического моделирования и логистических аспектов.

ABSTRACT

Modeling the efficient placement of equipment in an automobile plant plays a key role in improving productivity and reducing costs. Suboptimal workshop layouts and logistical flows lead to additional expenses and decrease production efficiency.

This study focuses on modeling equipment placement during the design phase to optimize the plant's configuration. As a tool, mathematical modeling is used, employing linear programming methods. Key parameters considered include the layout of production areas, logistical flow paths, and the efficiency of automated guided vehicles (AGVs).

The modeling results show that optimized equipment placement can increase production capacity by 0.3%, reduce logistical movement distances by 3.8%, and decrease the need for AGVs by 11%. This confirms the importance of a comprehensive approach to designing an automobile plant layout, incorporating mathematical modeling and logistical aspects.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	7
1 Қатысты жұмысқа теориялық шолу	10
1.1 Зауыт жабдықтарының орналасуын оңтайландыру үшін өндіріс модельдеуін пайдалану	10
1.2 Өндірісті оңтайландырудағы жабдықтар орналасуының модельдеудің артықшылықтары	11
2 Автомобиль зауытындағы жабдықтың оңтайлы орналасуының математикалық моделі	13
2.2 Мәселе сипаттамасы	13
2.2 Объективті функция және шектеулер	15
2.3 Сандық мысалдар	18
2.4 Функционалды және бөлінген жоспарлау	23
2.5 Статикалық және динамикалық бөлінген орналасу	24
2.6 Модельдің басқа мүмкіндіктері	25
3 Математикалық модельді Python негізінде код құрастыру үшін қолдану	27
3.1 Қойылатын міндет (Оптимизация моделі)	27
3.2 Мәліметтерді енгізу	27
3.3 Шектеулерді анықтау	28
3.4 Мақсаттық функцияны есептеу	29
3.5 Сызықтық бағдарламалау арқылы оңтайлы шешімді табу	29
3.6 Нәтижені визуализациялау	29
3.7 Толық код көрінісі	31
3.8 Визуализацияланған нәтиже	33
ҚОРЫТЫНДЫ	35
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	37

КІРІСПЕ

Автомобиль зауытында жабдықты орналастыруды және логистикалық ағындарды оңтайландыру өндіріс тиімділігін арттыруда негізгі рөл атқарады және зерттеушілердің назарын ерекше аударады. Нарық өзгерістеріне және тұтынушылардың қажеттіліктеріне икемді жауап беруге бағытталған интеллектуалды өндірістік жүйелерді талдау мен мониторинг жүргізу күрделі мәселе болып қала береді, әсіресе дәстүрлі модельдеу әдістерін қолданғанда.

Технологиялардың қарқынды дамуы және тұтынушылық сұраныстың өзгеруі шығарылатын өнімнің әртараптандырылуына, автомобильдердің конструкциясы мен өндірістік процестерді ұйымдастырудағы жиі өзгерістерге ықпал етеді. Нәтижесінде құрастыру желілеріндегі жабдықты қайта орналастыру және қайта конфигурациялау жиілігі айтарлықтай артты [1,2]. Мұндай динамикалық жүйелерді дәл әрі сенімді түрде талдау үшін өндірістік процестегі және жабдық конфигурациясындағы өзгерістерге имитациялық модельдерді уақтылы бейімдеу қажет.

Алайда осындай модельдерді жаңарту және түрлендіру бірнеше қиындықтармен байланысты. Өндірістік алаңдардан алынған деректерді беру және нақтылау барысында олардың бір бөлігі немесе толықтай жоғалуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл деректерді нақты уақыт режимінде имитациялық модельдің виртуалды ортасына біріктіру қиын міндет болып қала береді. Сондықтан бұл мәселелерді тиімді шешу үшін заманауи математикалық модельдеу және оңтайландыру әдістерін қолдану қажет.

Бұл саладағы жетістіктер адамға бағытталған және тұрақты өндірістік жүйелерді баса көрсететін Industry 5.0 қағидаттарына сәйкес келеді. Industry 5.0 адамның машинамен өзара әрекеттесуін жақсартуға, тұрақты өндіріс процестерін дамытуға және жасанды интеллект пен машиналық көру сияқты озық технологияларды интеграциялауға назар аударады [3]. Автомобиль жасау контекстінде машиналық көру жүйелерін енгізу жоғары сапалы өндірісті қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады, нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізіп, ақауларды барынша азайту үшін бейімделгіш басқаруды іске асырады [4]. Автомобиль өнеркәсібінде машиналық көруді қолдану бойынша жүйелі әдеби шолу бұл технологияның автономды роботтар, толықтырылған шындық және предиктивті техникалық қызмет көрсету сияқты салалардағы маңыздылығын атап көрсетеді, бұл өз кезегінде интеллектуалды өндірістік объектілерді дамытуға үлес қосады [5].

Ұсынылған әдістеме өндірістік жүйелердің орналасу жоспарына және автомобиль зауыттарындағы жабдықты орналастыруға негізделген деректермен оңтайландыруды енгізу арқылы операциялық тиімділікті арттыруға бағытталған. Бұл зерттеу өндірістегі тиімсіздікті алдын ала анықтау және жою үшін операциялық сценарийлерді қарастыруды, тексеруді және талдауды қамтиды. Сонымен қатар, зауыттың орналасуын әртүрлі модельдеу нәтижелеріне негізделген сандық және шынайы түрде бағалайтын оңтайландыру модельдері тәжірибеге сүйенетін дәстүрлі тәсілдермен

салыстырғанда барған сайын артықшылыққа ие болуда. Өндірістік модельдеу, виртуалды модельдеу және өндірістік ортаның жан-жақты көрінісі өнімділік параметрлерін талдау, процестерді оңтайландыру және қосылған құн әкелетін қызметті жақсарту үшін кеңінен қолданылады [6].

Физикалық жүйенің цифрлық аналогы ретінде өндірістік модельдеу әсіресе жоспарлау және жобалау кезеңдерінде құнды болып табылады, өйткені ол жабдықты ең жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін оңтайлы орналастыруға көмектеседі [7]. Цифрлық ақпарат активтерді басқару үшін қажет, бұл өндірушілерге өндіріс тиімділігін дәл баптауға мүмкіндік береді. Өнімділік, өнім сапасы және жабдықтың сенімділігі саласындағы тіпті болмашы жақсартулар да жоғары өнімді өндірістік ортаға айтарлықтай әсер етуі мүмкін [8]. Нақты уақыттағы деректерді пайдалана отырып, өндірістік модельдеу өндірістік ортаның виртуалды бейнесін қамтамасыз етеді, бұл шешім қабылдаушыларға тиімділікті, дәлдікті және ауқымды үнемдеуді арттыру бойынша жақсартулар енгізуге мүмкіндік береді [9].

Бұдан бөлек, жаңа технологиялардың үйлесімділігі интеграцияланған және бейімделгіш өндірістік платформаларды әзірлеу үшін үлкен мүмкіндіктер ашады. Бұл үйлесімділік өндірістік жүйелерді мониторингтеу мен басқаруды жақсартып, тұрақты және интеллектуалды өндірістік операцияларға бірқалыпты өтуді қамтамасыз етеді [10,11]. Қазіргі заманғы автомобиль жасау саласында зауыттың орналасуын оңтайландыру тиімділікті арттыру және қысқа мерзімді де, ұзақ мерзімді де шығындарды азайту үшін шешуші маңызға ие. Тиімсіз орналасу өндірістік жұмыс процестерін бұзып, оңтайлы емес өнімділікке әкелуі мүмкін.

Бұл мәселелерді шешу үшін осы зерттеуде автомобильдерді құрастыру цехтарында жабдықты орналастыруды оңтайландыруға арналған алдыңғы қатарлы тәсіл ұсынылады, ол өндірістік модельдеу мен күшейтілген оқытуды қолдануға негізделген. Ұсынылған әдістеме өндірістік модельдеуді әртүрлі жағдайларда кешенді түрде тексеру және валидациялау мүмкіндігін беретін киберполигонды қамтиды. Бұл тұтас құрылым бүкіл зауыттың перспективалық көрінісін қамтамасыз ету үшін нысанның орналасу жоспары мен логистикалық ағынды, сондай-ақ автоматтандырылған басқарылатын көлік құралдары (AGV) сияқты маңызды компоненттерді қамтиды.

Күшейтілген оқыту, машиналық оқытудың қуатты әдісі ретінде, орналасу жоспарының әртүрлі компоненттерін оңтайландыру үшін көпқабатты тәсілде қолданылады. Оңтайландыру нәтижелері кейін өндірістік модельдеуге біріктіріліп, жабдықты орналастыруды нақты уақыттағы деректер негізінде үздіксіз жетілдіретін жабық циклді жүйе қалыптастырады.

Талдау және орналасуды оңтайландыру бойынша әртүрлі мақсаттарды қолдайтын икемді модельдеу жүйесі әзірленді. Бұл жүйе пайдаланушыларға балама орналасу сценарийлерін зерттеуге мүмкіндік береді, сондай-ақ имитациялық модельдерді қайта жобалау және қайта пайдалану мүмкіндігін күшейтеді. Өндірістік нысанның құрылымын және логистикалық ұйымдастыруды қарастыра отырып, шешім қабылдаушылар өндірістік

талаптардың өзгеруіне бейімделу үшін әртүрлі конфигурацияларды тиімді бағалап, енгізе алады.

Бұл зерттеу Industry 4.0 тұжырымдамасының негізгі аспектілеріне сәйкес келеді, өндірістік модельдеу технологияларын дискретті өндірістік ортадағы жабдықты орналастыруды оңтайландыруға біріктіруге баса назар аударады. Ұсынылған әдіс орналасу модельдеуін, имитацияны және оңтайландыруды жетілдіруге ықпал етіп, қазіргі заманғы автомобиль жасау саласының динамикалық қажеттіліктеріне сәйкес икемді және бейімделгіш шешім ұсынады.

1 Қатысты жұмысқа теориялық шолу

Киберфизикалық жүйелер, яғни физикалық және виртуалды кеңістікті біріктіретін технологиялар, Industry 4.0 дәуірінде автомобиль зауыттарында жабдықты оңтайлы орналастыру мен интеллектуалды өндірісті енгізуде шешуші рөл атқарады. Өндірістік модельдеу технологиясы осы интеграцияны жүзеге асыру үшін негізгі құрал болып табылады, ол өндірістік орындау жүйелерімен (MES) байланысу арқылы өндірістік орталардың жоғары дәлдіктегі цифрлық көріністерін қамтамасыз етеді [12].

Автомобиль өндірісі контекстінде имитациялық модельдер өндірістің әртүрлі кезеңдері арасындағы алшақтықты жоюға көмектесіп, вертикалды интеграцияны жеңілдетеді және өндірістік процестердің горизонталды үйлесімділігін қамтамасыз етеді. Бұл жүйенің жалпы тиімділігін арттырып, жабдықты орналастырудағы және өндірістік жұмыс процестеріндегі тиімсіздікті анықтауға және жоюға мүмкіндік береді. Жобалау кезеңінде өндірістік процестердің күрделі өзара әрекеттестігін, ықтимал ақауларды, мәселелерді шешу стратегияларын және жабдықтың ең тиімді конфигурацияларын ескере отырып, оптималды орналасу сценарийлері талданады және болжанады [13,14].

Нәтижесінде, өндірістік модельдеу технологиясы өзгермелі өндірістік талаптарға икемді бейімделе алатын адаптивті орналасу стратегияларын әзірлеу үшін маңызды құралға айналады. Осы цифрлық технологияларды пайдалану арқылы автомобиль зауыттары жабдықты оңтайлы орналастыруға, логистикалық ағындарды оңтайландыруға және жалпы өндіріс тиімділігін арттыруға қол жеткізе алады, сонымен бірге болашақ өндірістік талаптарға бейімделу қабілетін сақтайды.

1.1 Зауыт жабдықтарының орналасуын оңтайландыру үшін өндіріс модельдеуін пайдалану

Жобалау қателері автомобиль құрастыру желілері сияқты күрделі өндірістік процестерді жоспарлау мен баптауда елеулі кідірістерге әкелуі мүмкін [15]. Бизингер және т.б. инженер-технологтармен жүргізген сұхбаттар өндірістік модельдеу технологиясының орналасу жобалау шығындарын төмендетіп, өнім сапасын арттыруға қалай ықпал ететінін көрсетеді [16]. Дәстүрлі орналасу жобалау әдістері алдын ала белгіленген конфигурацияларды оңтайландыру үшін қажетті икемділікке жиі ие болмайды. Алайда, өндірістік модельдеуді орналасуды талдауға біріктіру жобалау тиімділігін арттырады, автомобиль зауытының бірнеше учаскесіндегі жабдықты динамикалық түрде реттеуге мүмкіндік береді [17].

Осы артықшылықтарына қарамастан, бұл тәсіл еңбек ресурстарын көп талап етуі мүмкін. Лю және т.б. конфигурация-қозғалыс-басқару-оңтайландыру әдіснамасын қолданып, жобалау уақытын қысқартуға, сондай-ақ ресурстарды бөлу мен жабдықты пайдалануды жақсартуға қол жеткізді [18]. Сол сияқты, Го

және т.б. зауыттық орналасуларды талдау және кемшіліктерді анықтау үшін модульдік тәсілдің тиімділігін көрсетті, дизайн элементтерін деректер, жабдық, буферлер, қоймалар және автоматтандырылған басқарылатын көлік құралдары (AGV) ретінде жіктеді [7].

Бұл әдістемелер жобалаудың бастапқы кезеңінде орналасуды жоспарлау уақытын қысқартып, деректерге негізделген жүйелі шешім қабылдауға ықпал етеді. Сонымен қатар, алдын ала конфигурацияларды тексеру жобалау процесінде туындайтын мәселелерді азайтуға көмектесіп, қажет болған жағдайда орналасуды икемді түрде түзетуге мүмкіндік береді. Өндірістік модельдеу жобалау процесінің бастапқы кезеңінде ықтимал тиімсіз жағдайларды анықтауда маңызды рөл атқарады, бұл өнімділікті бағалауға және процесті жетілдіруге қосымша мүмкіндіктер береді [19].

Зауыттық компоновкаларды оңтайландыру арқылы өндірушілер жұмыс үзілістерін барынша азайтып, өндірістік шығындарды төмендете алады. Компоновканы жетілдіру сондай-ақ құрастыру процесіндегі уақыт шығындарын қысқартады, нәтижесінде өндірістік операциялардың тиімділігі артады. Чой және т.б. құрастыру желісінің балансын, буферлерді орналастыруды және жабдықтың позициясын оңтайландыратын интеграцияланған интеллектуалды компоновка жобалау құрылымын ұсынды, оның нақты өндірістік қолданбаларда тиімділігі дәлелденді [20].

Оңтайландырылған компоновкалар жабдықты орналастыру шығындары мен жұмыс кеңістігін пайдалану тиімділігі сияқты факторларды ескереді, бұл әсіресе өнім түрі жиі өзгертін аралас модельді ірі құрастыру желілерінде өндірістік желіні теңестіруді (LOB) жақсартуға көмектеседі [21].

Осылайша, өндірістік модельдеуді автомобиль жасау кәсіпорындарын жобалау кезеңіне енгізу материалдарды өңдеу, буферлік аймақтар мен логистикалық маршруттарды тиімді оңтайландыруға мүмкіндік береді, нәтижесінде өндірістің жалпы тиімділігі мен бейімделгіштігі артады.

1.2 Өндірісті оңтайландырудағы жабдықтар орналасуының модельдеудің артықшылықтары

Өндірістік модельдеу дәстүрлі әдістерден айырмашылығы, зауытта сенсорлар мен Заттар Интернеті (IoT) технологиялары арқылы жиналған деректермен алмасу және оларды синхрондау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл ерекшелік тарихи деректерді талдауға және жүйе тиімділігін бағалауға байланысты шектеулерді еңсере отырып, болжамдардың дәлдігін арттырады және оларды нақты өндірістік жағдайлармен үйлестіреді [22]. Егер автомобиль зауыты генерациялайтын деректер модельге тиімді түрде біріктірілмесе, негізгі тиімділік көрсеткіштері (KPI) бойынша болжамдарда сәйкессіздіктер туындауы мүмкін, бұл жоспарлау дәлдігін төмендетеді.

Өндірістік модельдеу әсіресе күрделі және динамикалық өзгертін өндірістік процестер жағдайында жұмыс кестелерін оңтайландыру үшін тиімді құрал болып табылады. Автомобиль өнеркәсібіндегі өндірістік желілерді

талдауға арналған имитациялық модельдер жасалған компоновкалардың жұмыс қабілеттілігін тексеріп қана қоймай, сонымен қатар нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізу және өндірістік кестелерді түзету арқылы олардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [23]. Агостино және т.б. имитациялық модельге нақты уақыттағы операциялық деректерді енгізу арқылы өндірістік жоспарларды жаңартты, бұл кешіктірілген тапсырмалар санын азайтып, жабдықты орналастыру тиімділігін арттыру үшін модельдеуді қолданудың мүмкіндігін көрсетті [24]. Басқа зерттеулерде модельді MES деректерімен синхрондау тапсырыстарды орындау болжамдарының анықталмағандығын төмендетуге мүмкіндік берді. Жұмыс кестелері материалдардың жай-күйіне және зауыттағы құрастыру ретіне байланысты түзетіліп, жаңартылған деректер тікелей өндірістік алаңдарға жіберілді [25].

Өндірістік модельдеу жабдықтың конфигурациясы өзгерген кезде, соның ішінде автоматтандырылған тасымалдау жүйелері мен өндірістік роботтар үшін аса пайдалы. Жүйе модельдерді автоматты түрде жаңартып, жаңа орналастыру шарттарын көрсетеді, бұл жобалау шығындарын азайтады және уақыттық шығындарды барынша төмендетеді [26]. Автомобиль құрастыру желілерінің конфигурациясы жиі өзгереді өндірістік ортада, модельдерді автоматты түрде генерациялау жоспарлауды жеңілдетіп, компоновкадағы өзгерістерге жедел бейімделуге көмектеседі [27]. Осылайша, өндірістік модельдеу жобалаушылар, инженерлер және жоспарлау мамандары арасындағы үздіксіз өзара әрекеттестікті қамтамасыз етіп, процестерді үйлестірілген түрде басқаруға ықпал етеді [28].

Имитациялық модельдеуді пайдалану зауытты жобалаудың бастапқы кезеңдерінде мүмкін ақаулар мен проблемалық аймақтарды анықтау арқылы шығындар мен уақыттық шығындарды айтарлықтай азайтады. Микониатис пен Харрис эмуляцияны қамтитын модульдік тәсілді қолданып, басқару параметрлерін оңтайлы реттеу және жаппай өндіріс басталғанға дейін өндірістік жүйенің тиімділігін арттыру үшін зерттеу жүргізді [29]. Кумбхар және т.б. автоматтандырылған өндірістік алаңдарды цифрлық модельдерге айналдырып, тар жерлерді (bottleneck) ерте анықтау және басшылыққа болжамды талдау деректерін ұсыну тәсілін қолданды [30].

Өндірістегі тар жерлерді алдын ала болдырмау басқарушылық шешімдерді қолдайтын болжамдық ақпаратты қолдану арқылы мүмкін болды. Қосымша зерттеулерде логистикалық операциялар оңтайландырылып, өндірістік аймақтардың орналасу схемасы мен логистикалық жабдықтардың қозғалысы туралы деректерді модельдеуге енгізу жүзеге асырылды [31]. Бұл тәсіл өндірістік желілердегі сенсорлардан алынған ақпаратты талдау арқылы зауыттағы процестерді басқару мүмкіндіктерін кеңейтуге, сондай-ақ тапсырыстарды орындаудағы кешігулерге әсер ететін факторларды анықтауға мүмкіндік берді [32].

2 Автомобиль зауытындағы жабдықтың оңтайлы орналасуының математикалық моделі

2.1 Мәселе сипаттамасы

Автомобиль зауытының өндірістік жүйесін қарастырайық, ол P түрлі өнімді T тең жоспарлы кезең ішінде өңдейді, мұнда өнімге деген сұраныс әр кезеңде детерминирленген түрде өзгеруі мүмкін. Жүйе M бірлік жабдыктан тұрады, олар N бірегей орналастыру аймақтарына бөлінген ($N=M$), әрі әрбір жоспарлы кезеңнің басында оларды қайта конфигурациялау мүмкіндігі қарастырылған. Барлығы R өндірістік ресурс бар, әрбір жабдық осы ресурстардың белгілі бір бөлігіне ие, және бұл ресурстар кейбір жабдықтар үшін ортақ болуы мүмкін немесе тек бірегей болуы мүмкін.

Бөлшектерді өңдеу үшін белгілі бір операциялар тізбегін орындау қажет. Әрбір операцияны орындау үшін белгілі бір өндірістік ресурс қолданылады, ал осы ресурсқа ие жабдық бұл операцияны орындаудың балама маршруты ретінде қарастырылады. Әрбір операцияның орындалу уақыты белгілі. Кез келген берілген кезеңде бөлшекке деген сұраныс оны зауытта өндіру, субконтракт арқылы орындау немесе алдыңғы кезеңнен қалған қорларды пайдалану есебінен қанағаттандырылуы мүмкін. Бірінші кезеңнің басындағы және соңғы кезеңнің соңындағы бөлшек қоры нөлге тең деп болжанады.

Өндірістік партияны бір-бірінен тәуелсіз өңделетін ұсақ топтарға бөлуге болады. Материалдарды тасымалдау шығындары бөлшектердің зауытшілік логистика жүйесінде жүріп өтетін қашықтығына тәуелді. Жабдықты орналастыру шығындары да оны тасымалдау қашықтығына пропорционалды. Дегенмен, бөлшектер автоматтандырылған басқарылатын көлік құралдары (AGV) сияқты материал тасымалдау жүйесі арқылы тасымалданады, ал жабдық басқа тәсілмен жылжытылады, сондықтан тасымалдау түріне байланысты қашықтықтар әртүрлі болады.

Белгілі бір кезең ішінде өндірістік жүйенің жүктемесі тиісті ресурсты пайдаланатын жабдық арасында біркелкі бөлінеді. Оптимизацияның негізгі мақсаты – материал тасымалдау, жабдықты жылжыту, субконтракт жасау, переналадка, қорларды сақтау және бөлшектерді ішкі өндірісте өндіруге байланысты жиынтық шығындарды минимизациялау.

Алдыңғы бөлімде сипатталған есеп аралас бүтін сызықтық бағдарламалау (Mixed Integer Linear Programming, MILP) түрінде формулаланған. Осы модельде қолданылатын белгілеулер төменде берілген.

1-кесте – Индекстер және енгізу деректері

Индекстер және енгізу деректері	
T	Кезеңдер $t = 1, 2, \dots, T$ ретінде индекстелетін тең жоспарлау кезеңдерінің саны.

P	Өнімдер $p = 1, 2, \dots, P$ ретінде индекстелген өнім түрлерінің саны.
O_p	$o = 1, 2, \dots, O_p$ ретінде индекстелген p өнімін өндіруге қажетті операциялар саны.
N_p	$n = 1, 2, \dots, N_p$ ретінде индекстелген берілген кезеңдегі p өнім ішкі топтарының максималды саны.
M	$m = 1, 2, \dots, M$ ретінде индекстелген жабдық бірліктерінің саны.
R	$r = 1, 2, \dots, R$ ретінде индекстелген өндірістегі ресурс элементтерінің саны.
L	$l = 1, 2, \dots, L$ ретінде индекстелген жабдық орындарының саны.
J	$j = 1, 2, \dots, J$ ретінде индекстелген бірдей функционалдығы бар жабдық топтарының саны.
C	Қолда бар жұмыс уақытының минуттарымен жоспарланған кезеңнің ұзақтығы.
$D_{p,t}$	t кезеңіндегі p өніміне сұраныс көлемі.
Θ_p	Кәсіпорындағы өнім бірлігін өндіруге кеткен p шығындар (ауысымды қоспағанда).
Θ_p^*	Өнім бірлігіне қосалқы мердігерлік өнімнің p өзіндік құны.
H_p	Бір кезеңдегі өнім бірлігін p сақтау құны.
F_p	Өнім бірлігін p бірлік қашықтыққа жылжыту құны.
$U_{o,p}$	p өнімдер үшін o операцияны өңдеу уақыты.
$A_{r,m}$	Логикалық айнымалы: r ресурсы m аппараттық құралында қолжетімді болса 1, әйтпесе 0.
$B_{r,o,p}$	Логикалық айнымалы: 1, егер p өнімінің жұмыс істеуі үшін r ресурсы қажет болса, әйтпесе 0.
$K_{o,p,m}$	Логикалық айнымалы: 1, егер p өнімінің операциясы m жабдықта орындалуы мүмкін болса, 0, әйтпесе.
$E_{l,l'}$	l және l' орындары арасындағы жабдықтың қозғалу қашықтығы.
$\dot{E}_{l,l'}$	l және l' орындары арасындағы материалдық қозғалыстың қашықтығы.
G_m	Жабдық бірлігін m қашықтыққа жылжыту құны.
S_p	Өнімдердің кіші тобын өңдеуге арналған қайта p өңдеу құны.
Y	Біркелкі жүктемені қамтамасыз ету үшін $(0,1)$ диапазондағы жүктемені теңестіру коэффициенті 1-ге жақын таңдалады.
Ω	Үлкен оң сан.
$v_{p,t}$	t кезеңіндегі p өнімінің өндірістік партиясының мөлшері.
$b_{n,p,t}$	Өндірістің n -ші кіші тобының мөлшері t кезеңіндегі p продукция мөлшері.

$\hat{v}_{p,t}$	t кезеңіндегі қосалқы мердігерлік р өнімінің көлемі.
$\delta_{o,n,p,m,t}$	n-ші өнім ішкі тобы р үшін о операциясының t кезеңіндегі m жабдығында орындалу уақыты.
$h_{p,t}$	р өнімінің t кезеңінің басындағы қор деңгейі.
$d_{o,n,p,t}$	р өнімінің n-ші қосалқы тобы үшін о және о+1 операцияларын орындау орындары арасындағы қашықтық, t кезеңіндегі $b_{n,p,t}$ қосалқы топ мөлшеріне көбейтілген.
$e_{m,t}$	t-1 және t кезеңдері арасындағы m жабдығын жылжыту қашықтығы.
Логикалық айнымалылар	
$a_{m,l,t}$	Егер m жабдығы t кезеңінде l орында болса, 1, әйтпесе 0.
$\gamma_{o,n,p,m,t}$	Егер о операциясы n-ші өнімнің р кіші тобы үшін t кезеңінде m жабдығында орындалса, 1, әйтпесе 0.
$y_{n,p,t}$	Егер n-ші өнімнің р кіші тобы t кезеңінде жасалып, өңделсе, 1, әйтпесе 0.

Бұл кесте өндірістік жоспарлауды және ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз ету мақсатында түрлі айнымалылар мен параметрлерді анықтайды. Ол өнім түрлерін өндіруге қажетті операциялар, жабдықтардың мүмкіндіктері мен ресурстардың қолжетімділігін, сондай-ақ әр кезеңдегі өнімдердің сұранысын, сақтау және жылжыту шығындарын қарастырады. Кесте арқылы өндірістің әр кезеңінде қажетті ресурстар мен жабдықтарды бөлу, операциялардың орындалу уақытын есептеу, сонымен қатар өндіріс көлемін жоспарлау мүмкіндігі туындайды. Бұл мәліметтер негізінде өндіріс процесін оңтайландыру және өнім өндірудің тиімділігін арттыру мақсатында шешімдер қабылданады.

2.2 Объективті функция және шектеулер

2.1 және 2.2 бөлімдерінде берілген мәселе сипаттамасы мен белгілерге сәйкес, бөлінген орналасу өндірістік жүйесін жобалаудың кешенді математикалық моделі төменде ұсынылады.

Минимизациялау:

$$z = \sum_m \sum_t (G_m \cdot e_{m,t}) + \sum_p \sum_n \sum_o (F_p \cdot d_{o,n,p,t}) + \sum_p \sum_t \sum_m (H_p \cdot h_{p,t}) + \sum_p \sum_t \sum_n (S_p \cdot y_{p,t}) + \sum_p \sum_t (\theta_p \cdot v_{p,t}) + \sum_p \sum_t (\delta_p \cdot \psi_{p,t}) \quad (1)$$

Шарттар бойынша:

$$e_{m,t} \geq E_{l,l'} + \Omega(\alpha_{m,l,t-1} + \alpha_{m,l,t-1}) - 2\Omega; \forall(m, t, l, l') | t > 1 \quad (2)$$

$$e_{m,t} \leq E_{l,l'} - \Omega(\alpha_{m,l,t-1} + \alpha_{m,l,t-1}) + 2\Omega; \forall(m, t, l, l') | t > 1 \quad (3)$$

$$d_{o,n,p,t} \geq \tilde{E}_{l,l'} \cdot b_{n,p,t} + \Omega(\alpha_{m,l,t} + \gamma_{o,n,p,m,t} + \alpha_{m',l',t} + \gamma_{o+1,n,p,m',t}) - 4\Omega; \quad (4)$$

$$\forall(o, n, p, t, m, m', l, l')|(o < O_p \ \& \ K_{o,p,m} \times K_{o+1,p,m'} = 1)$$

$$d_{o,n,p,t} \leq \tilde{E}_{l,l'} \cdot b_{n,p,t} - \Omega(\alpha_{m,l,t} + \gamma_{o,n,p,m,t} + \alpha_{m',l',t} + \gamma_{o+1,n,p,m',t}) + 4\Omega; \quad (5)$$

$$\forall(o, n, p, t, m, m', l, l')|(o < O_p \ \& \ K_{o,p,m} \times K_{o+1,p,m'} = 1)$$

$$v_{p,1} + \hat{v}_{p,1} = D_{p,1} + h_{p,2}; \quad \forall(p) \quad (6)$$

$$v_{p,t} + h_{p,t} + \hat{v}_{p,t} = D_{p,t} + h_{p,t+1}; \quad \forall(p, t)|(1 < t < T) \quad (7)$$

$$v_{p,T} + h_{p,T} + \hat{v}_{p,T} = D_{p,T}; \quad \forall p \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{o=1}^{O_p} \delta_{o,n,p,m,t} \leq C; \quad \forall(m, t) \quad (9)$$

$$\delta_{o,n,p,m,t} \geq U_{o,p} \cdot b_{n,p,t} + \Omega \cdot (\gamma_{o,n,p,m,t} - 1); \quad \forall(o, n, p, m, t)|(K_{o,p,m} = 1) \quad (10)$$

$$\delta_{o,n,p,m,t} \leq U_{o,p} \cdot b_{n,p,t} - \Omega \cdot (\gamma_{o,n,p,m,t} - 1); \quad \forall(o, n, p, m, t)|(K_{o,p,m} = 1) \quad (11)$$

$$\delta_{o,n,p,m,t} \leq \Omega \cdot \gamma_{o,n,p,m,t}; \quad \forall(o, n, p, m, t)|(K_{o,p,m} = 1) \quad (12)$$

$$\gamma_{o,n,p,m,t} \leq K_{o,p,m}; \quad \forall(o, n, p, m, t) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{o=1}^{O_p} B_{r,o,p} \times \delta_{o,n,p,m,t} \\ & \geq \left(\frac{\sum_{m''=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{o=1}^{O_p} B_{r,o,p} \times \delta_{o,n,p,m'',t}}{\sum_{m'=1}^M A_{r,m'}} \right) \times \Upsilon; \\ & \forall(r, m, t) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\sum_{m=1}^M \gamma_{o,n,p,m,t} = y_{n,p,t}; \quad \forall(o, n, p, t) \quad (15)$$

$$b_{n,p,t} \leq \Omega \cdot y_{n,p,t}; \quad \forall(n, p, t) \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^{N_p} b_{n,p,t} = v_{p,t}; \quad \forall(p, t) \quad (17)$$

$$\sum_{l=1}^L \alpha_{m,l,t} = 1; \quad \forall(m, t) \quad (18)$$

$$\sum_{m=1}^M \alpha_{m,l,t} = 1; \quad \forall(l, t) \quad (19)$$

$$\alpha_{m,l,t}, * \gamma_{\omega, \nu, \pi, \mu, \tau}, \theta_{\nu, \pi, \tau} \text{ арға біріктіріледі} \quad (20)$$

Максатты функция (1) теңдеуде алты шығын бөлігінен тұрады: машина орын ауыстыруы, материалды өңдеу, инвентаризацияны сақтау, машина баптау, ішкі өндіріс және мердігерлік қажеттіліктер. Осылайша, (2) және (3) теңдеулердегі шектеулер мынаны білдіреді: егер машина m l орыннан l' орнына t кезеңінің басында орын ауыстырса, онда айнымалы $e_{m,t}$ мәні $E_{l,l'}$ қашықтығына тең болады. $d_{o,n,p,t}$ айнымалысының мәні t кезеңінде o және $o+l$ операциялары p өнімінің n -ші сублотында l және l' орындарындағы машиналарда өңделген кезде $E_{l,l'}$ $b_{n,p,t}$ көбейтіндісіне тең болады. Бұл талап (4) және (5) теңдеулер арқылы орындалады. (6), (7) және (8) теңдеулеріндегі шектеулер инвентаризация теңгеріміне қатысты. (9) теңдеуі машина m жұмыс жүктемесінің t кезеңінде қол жетімді уақыт C -ден артық болмайтынын қамтамасыз етеді. (10) және (11) теңдеулері бойынша, t кезеңінде машина m -де p өнімінің n -ші сублотында o операциясы өңделгенде $\delta_{o,n,p,m,t}$ уақыты $U_{o,p}$ $b_{n,p,t}$ көбейтіндісіне тең болады, егер бұл операция осы кезеңде осы машинаға тағайындалса.

Әйтпесе, бұл айнымалының мәні (12) теңдеуі арқылы нөлге теңестіріледі. (13) теңдеуіндегі шектеу o операциясын p өнімінің n сублотында машина m -да t кезеңінде өңдеуге рұқсат береді, тек егер o операциясы p өнімін машина m -да тағайындауға болады. Жұмыс жүктемесін теңгеру шектеуі (14) теңдеуінде беріледі. Бұл теңдеудің сол жағы t кезеңінде машина m тарапынан r ресурстық элементін пайдаланып орындалған жұмыс жүктемесінің мөлшерін білдіреді. Осы шектеудің оң жағы (i) r ресурстық элементін пайдаланып барлық машиналардың жалпы жұмыс жүктемесі ретінде көрсетіледі.

$$\sum_{m''=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{o=1}^{O_p} B_{r,o,p} \times \delta_{o,n,p,m'',t}$$

(ii) осы ресурстық элементке ие машиналар санына бөлінеді және

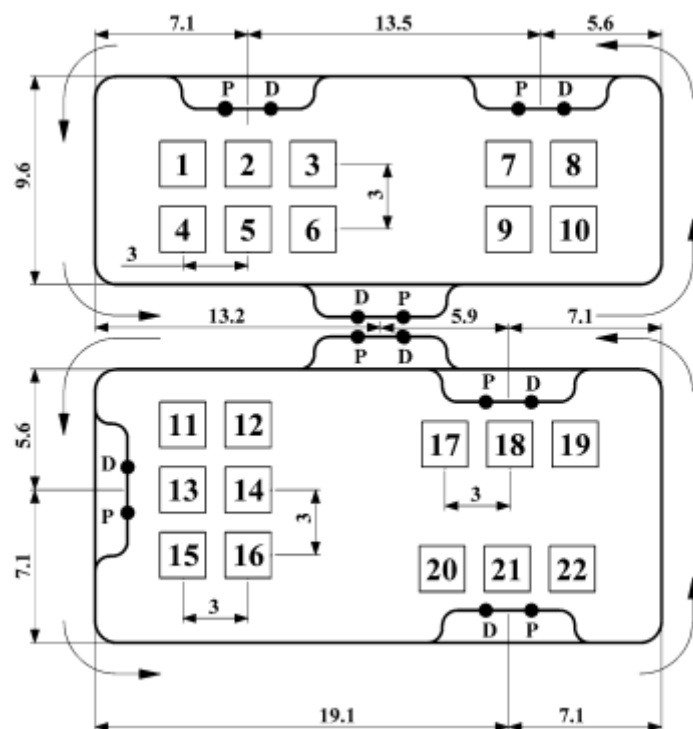
$$\sum_{m'=1}^M A_{r,m'}$$

(iii) $Y \in (0,1)$ коэффициентіне көбейтіледі. Егер бұл коэффициент 1-ге өте жақын болса, r ресурстық элементін пайдаланатын жүйенің жұмыс жүктемесі осы ресурстық элементке ие барлық машиналар арасында біркелкі бөлінеді. (15) теңдеуі t кезеңінде p бөлшегінің n th сублотындағы операцияның, егер сублот құрылса, машиналардың біріне тағайындалуын қамтамасыз етеді. (16) теңдеудегі шектеу әрбір кезеңдегі әрбір сублоттың өндіріс көлемі $b_{n,p,t}$ осы сублот құрылмаған жағдайда (яғни, $y_{n,p,t} = 0$ болғанда) 0-ге тең болуын қамтамасыз етеді.

(17) теңдеудегі шектеу белгілі бір өнімнің барлық сублоттарының мөлшерінің осы өнімнің өндірістік лот мөлшеріне әр кезеңде тең болуын талап етеді. (18) және (19) теңдеулеріндегі шектеулер әрбір орынға тек бір машина бекітілуін және әрбір машина тек бір орынға тағайындалуын қамтамасыз етеді. (20) теңдеуі бинарлық айнымалыларға бүтіндік шектеуін қояды.

2.3 Сандық мысалдар

Бұл бөлімде қарастырылған кешенді мәселе бұрын зерттелмегендіктен, бізде оны салыстыруға болатын әдебиет көздерінен алынған мысалдар жоқ. Сондықтан біз мәселені сипаттау және ұсынылған шешу әдісінің тиімділігін көрсету үшін бірнеше деректер жиынтығын жасадық. Осы жиынтықтардың бірі (1-есеп деп аталады) 1-суретте егжей-тегжейлі көрсетілген. Бұл деректер жиынтығында біз 20 ресурс элементі мен 22 станоктан тұратын жүйені қарастырдық.



1-сурет – 20 ресурс элементі мен 22 станоктан тұратын жүйе

2-кесте – 20 ресурс элементінің (RE) әрқайсысы бір немесе бірнеше станокта қолжетімді болатын төрт түрлі жағдай

Ресурс элементі	Машина индекстері (Кейс 1)	Машина индекстері (Кейс 2)	Машина индекстері (Кейс 3)	Машина индекстері (Кейс 4)
1	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	(1, 2, 4, 6)	(1, 6)	(1)
2	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	(1, 3, 5)	(2, 5)	(2)
3	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	(2, 4, 6)	(3)	(3)
4	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	(1, 3, 5, 6)	(4)	(4)
5	(7, 8, 9, 10)	(7, 8, 10)	(8)	(5)
6	(7, 8, 9, 10)	(9, 10)	(7, 10)	(6)
7	(7, 8, 9, 10)	(7, 8, 10)	(9)	(7)
8	(7, 8, 9, 10)	(8, 9)	(7, 10)	(8)
9	(11, 12, 13, 14, 15, 16)	(11, 14, 15)	(14, 15)	(9)
10	(11, 12, 13, 14, 15, 16)	(11, 13, 16)	(11, 16)	(10)
11	(11, 12, 13, 14, 15, 16)	(12, 14, 16)	(16)	(11)
12	(11, 12, 13, 14, 15, 16)	(11, 13, 15)	(12, 13)	(12)

13	(11, 12, 13, 14, 15, 16)	(11, 12, 14)	(11, 15, 16)	(13)
14	(17, 18, 19)	(18, 19)	(18)	(14)
16	(17, 18, 19)	(18, 19)	(19)	(16)
17	(20, 21, 22)	(20, 22)	(22)	(17)
18	(20, 21, 22)	(21, 22)	(20)	(18, 21)
19	(20, 21, 22)	(20, 21)	(21)	(19, 22)
20	(20, 21, 22)	(20, 22)	(20, 22)	(20)

2-кестеде 20 ресурс элементінің (RE) әрқайсысы бір немесе бірнеше станокта қолжетімді болатын төрт түрлі жағдай көрсетілген. Нақтырақ айтқанда:

1-кейс белгілі бір ресурс элементі бірнеше станокта қолданылатын жағдайды сипаттайды;

4-кейс көптеген станоктардың бірегей мүмкіндіктері бар жағдайды көрсетеді;

2 және 3-кейстер осы екі шектік жағдайдың аралығында орналасқан.

Осы төрт жағдайда бір ресурс элементіне шаққандағы станоктардың орташа саны сәйкесінше 4.55, 2.65, 1.5 және 1.1 болып табылады.

3-кесте – Әр операция үшін қажетті ресурс элементінің r индексі және $U_{o,p}$ өңдеу уақыты

Бөлшек	Өр	Өр	Нр	Fr	Sp	Np	Op	Операция деректері (r , U_p)
1	6	12	5	2	300	2	2	(14, 1) (8, 3)
2	10	40	5	3	200	2	3	(17, 2) (19, 1) (1, 2)
3	6	18	2	2	150	2	4	(4, 2) (12, 3) (4, 2) (2, 3)
4	4	16	4	1	200	2	2	(14, 1) (18, 2)
5	6	18	4	2	300	2	2	(6, 2) (14, 1)
6	8	24	3	2	150	2	2	(13, 3) (14, 2)
7	8	24	3	2	350	2	4	(3, 2) (1, 1) (16, 3) (2, 1)
8	10	30	3	1	250	2	5	(0, 2) (9, 1) (13, 3) (1, 2) (4, 2)
9	4	16	5	3	400	2	5	(6, 2) (4, 2) (10, 2) (3, 2) (18, 2)
10	6	18	3	1	350	2	4	(18, 2) (6, 1) (19, 1) (19, 2)
11	2	6	2	3	150	2	3	(12, 1) (8, 1) (1, 3)
12	4	12	5	2	350	2	3	(6, 3) (15, 1) (4, 2)
13	4	12	4	3	250	2	3	(11, 2) (9, 2) (12, 2)
14	2	6	4	2	350	2	4	(16, 3) (14, 2) (7, 2) (14, 1)
15	4	8	3	3	250	2	4	(17, 2) (4, 1) (13, 2) (7, 2)
16	10	40	3	2	200	2	4	(2, 2) (12, 2) (13, 2) (3, 3)
17	2	6	4	3	200	2	3	(16, 2) (12, 3) (1, 2)
18	10	30	3	1	250	2	2	(19, 2) (11, 2)

3 кестенің жалғасы

19	8	16	6	2	350	2	5	(3, 2) (17, 1) (14, 3) (6, 1) (1, 1)
20	4	16	4	2	200	2	3	(16, 2) (9, 2) (6, 2)
22	6	12	3	1	350	2	4	(14, 3) (18, 2) (1, 1) (10, 3)
23	8	24	2	3	400	2	4	(18, 2) (17, 1) (6, 2) (10, 1)
24	4	12	3	2	350	2	4	(6, 1) (10, 3) (2, 2) (7, 2)
25	4	16	3	2	350	2	3	(15, 2) (7, 2) (10, 2)

3-кестеде (O_p N_p Θ_p Θ'_p H_p F_p S_p) модель параметрлері, әр операция үшін қажетті ресурс элементінің r индексі және $U_{o,p}$ өңдеу уақыты көрсетілген. 4-кестеде төрт жоспарлау кезеңіндегі бөлшектерге деген сұраныстар берілген. 5-кестеде әрбір m жабдық түрін G_m көшіру құны көрсетілген.

4-кесте - Төрт жоспарлау кезеңіндегі бөлшектерге деген сұраныс

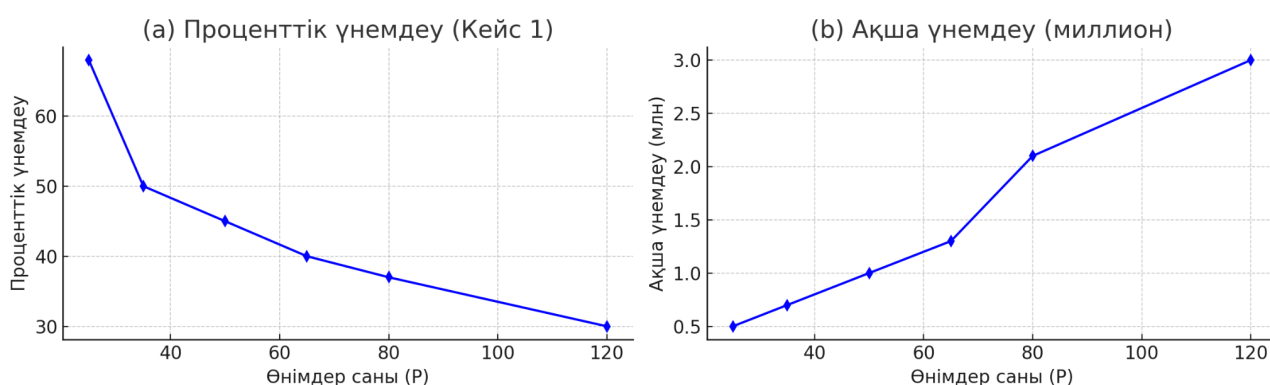
Бөлшек	$D_{p,t}$			
	t=1	t=2	t=3	t=4
1	50	100	0	650
2	0	50	550	200
3	150	300	300	0
4	400	0	150	350
5	0	100	450	450
6	250	600	0	0
7	550	0	0	200
8	0	100	400	100
9	650	150	700	100
10	0	350	0	0
11	550	250	0	350
12	450	0	0	0
13	0	450	200	50
14	100	650	600	0
15	400	150	0	0
16	0	100	700	250
17	750	0	300	200
18	200	700	700	0
19	0	0	200	0
20	150	0	100	200
21	150	0	0	500
22	700	700	150	450
23	700	450	250	300
24	600	100	450	200
25	500	450	350	0

5-кесте – Әрбір m жабдық түрін Gm көшіру құны

m	Gm	m	Gm	m	Gm	m	Gm
1	80	7	100	13	80	18	80
2	80	8	80	14	80	19	60
3	60	9	80	15	100	20	80
4	80	10	80	16	80	21	100
5	60	11	80	17	60	22	80
6	80	12	100				

1-есептегі ықтимал жабдық орналасуын көрсететін жоспар 2-суретте берілген. Ұсынылған модель кез келген түрдегі жоспар пішіндерін және материал тасымалдау жүйелерін қарастыра алады, дегенмен біз автоматтандырылған басқарылатын көліктер (AGV) тандемдік конфигурацияда қызмет көрсететін жүйені қабылдауды жөн көрдік. AGV-лер қозғалмалылығының арқасында стационарлық материал тасымалдау роботтарына қарағанда, ал икемділігіне байланысты конвейерлерге қарағанда тиімдірек (Asef және Laporte, 2005).

AGV жүйесі өндіріс көлемінің өзгеруіне, өнім ассортиментіне, өнім маршрутына және жабдық интерфейсінің талаптарына тез бейімделе алады, бұл оны басқа көптеген материал тасымалдау жүйелерінен икемдірек етеді (Goetz және Egbelu, 1990). 6-кестеде біз функционалдық жоспардың (ұқсас жабдықтар бір-біріне жақын орналастырылған) кездейсоқ жасалған орналасу нұсқаларын және бес түрлі кездейсоқ бөлінген жоспарларды (DL1; ...; DL5) ұсынамыз. Әрбір орын жұбы арасындағы материал тасымалдау және жабдықты жылжыту қашықтықтары 7 және 8-кестелерде көрсетілген.



2-сурет – 1-жағдай бойынша 1-6 есептердегі функционалдықтан бөлінген орналасуға көшу кезіндегі шығындарды үнемдеу.

(a) Пайыздық үнемдеу, (b) ақша бірлігінде үнемдеу

6-кесте – Функционалдық жоспардың (ұқсас жабдықтар бір-біріне жақын орналастырылған) кездейсоқ жасалған орналасу нұсқалары

Өңдеу мүмкіндіктерін ортақ пайдалану деңгейлері (REs)	1-жағдай	2-жағдай	3-жағдай	4-жағдай
DL1	322,120	399,395	830,240	764,405
DL2	286,450	308,695	764,215	829,820
DL3	389,805	465,485	746,280	805,985
DL4	276,190	344,705	739,760	746,250
DL5	288,405	365,225	591,335	794,100
Орташа	312,549	376,701	745,760	788,112
Функционалды	857,625	882,465	907,980	904,005
Үнемдеу пайызы	63.65	57.31	17.85	12.82

7-кесте – Жабдықтардың ортақ пайдалану деңгейлері (есеп 1)

Жабдықтардың ортақ пайдалану деңгейлері (REs)	1-жағдай	2-жағдай	3-жағдай	4-жағдай
SDL (статикалық бөлінген жоспар)	254,135	305,605	412,680	495,315
DDL (динамикалық бөлінген жоспар)	239,582	290,827	313,988	335,991
Үнемдеу пайызы	5.76	4.83	23.91	32.16

8-кесте – Динамикалық және статикалық таралған орналасулар (2–6 есептерінде)

Проблема №	1-жағдай	4-жағдай
2	0.0	21.3
3	2.4	17.1
4	2.6	21.0
5	0.0	13.0
6	1.3	16.3

2-ден 6-есепке дейін, тиісінше, 35, 50, 65, 80 және 120 бөлшекті өңдеу қарастырылды. Бір бөлшекке шаққандағы ең көп операция саны 6 (2, 3 және 4-есептерінде) және 8 (5 және 6-есептерінде) болды. Алайда, 2-ден 6-есепке дейінгі есептер 1-есепке ұқсас болғандықтан, олардың егжей-тегжейлі деректер жиынтығы бұл дипломдық жұмыста ұсынылмайды. Сонымен қатар, бұл жұмыстың негізгі мақсаты – бөлінген жоспарларды жобалауға арналған кешенді модельді ұсыну болғандықтан, есептерді шешу үшін қолданылған симуляцияланған күйдіру алгоритмі енгізілмеді.

2.4 Функционалды және бөлінген жоспарлау

Бұл бөлімнің мақсаты – функционалды жоспарлаумен салыстырғанда, қабілеттері қайталанатын жабдықтар бар жағдайда бөлінген жоспарлаудың тиімділігін көрсету. Осы екі кездейсоқ жасалған жоспарлардың әділ

салыстыруын жүргізу үшін, біз екі жағдайда да жабдықты орналастыруды оңтайландырмадық. Қабілеттері ортақ жабдықтар (жалпы ресурс элементтері бар) функционалды жоспарлау кезінде бір-біріне жақын орналастырылды, ал бөлінген жоспарларда кездейсоқ таратылды.

1-есепті шешудегі мақсатымыз (2-кестедегі төрт деңгейлі қабілеттер қайталануы және 6-кестедегі алты түрлі жоспар) материал тасымалдау және басқа да шығын элементтерін оңтайландыру болды. 6-кестеде бөлінген жоспарларды қолдану айтарлықтай үнемдеуге алып келетінін көруге болады. Әсіресе, 1-жағдайда шығындардың күрт төмендеуі байқалады.

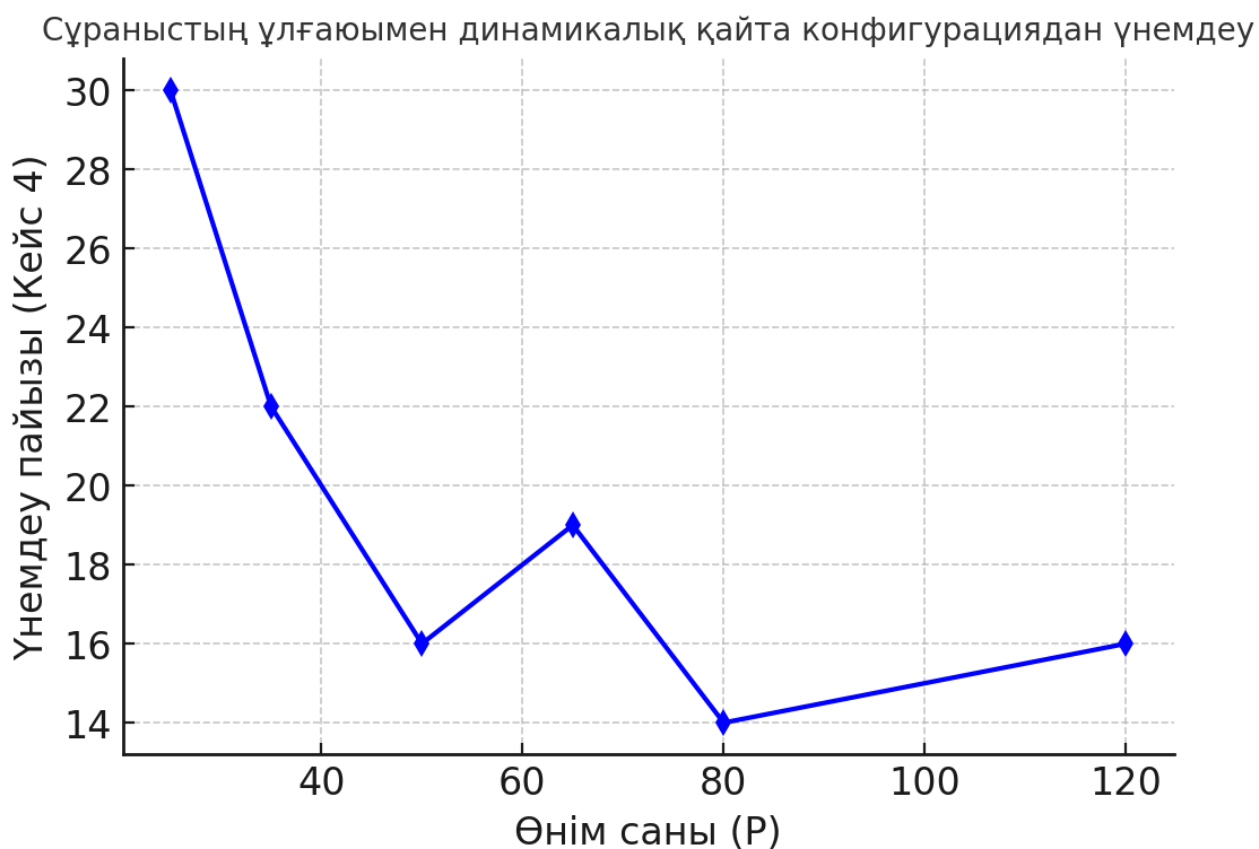
Бұл үнемдеу, ортақ қабілеттері бар бірнеше жабдықтар бөлініп орналастырылғанда, олардың әртүрлі аймақтардан қолжетімді болуының нәтижесінде материал тасымалдау шығындарының айтарлықтай азаюын көрсетеді. Күтілгендей, 1-жағдайдан 4-жағдайға ауысқан сайын шығынды азайту әсері төмендейді.

Осылайша, біздің зерттеуіміз көптеген ортақ қабілеттері бар жабдықтар болған жағдайда бөлінген жоспарлардың аса тиімді екенін көрсетеді. Заманауи өндіріс орындарында түрлі құрамдас бөліктерді өндіре алатын, қабілеттері қайталанатын жабдықтардың көп екендігін ескерсек (Gindy және т.б., 1996), бөлінген жоспарлау бұрынғыдан да өзекті болуда. 2-6 есептердегі 1-жағдай үшін шығын үнемдеу көрсеткіштері 1-суретте көрсетілген. Бірінші графикте (график-а) бөлінген жоспарларды қолданғанда бөлшектер саны артқан сайын үнемдеу пайызы төмендейтіні байқалады. Алайда, үлкенірек мәселелерде өндіріс шығындары жоғары болғандықтан, ақшалай үнемдеу жылдам артып (график-б), бөлінген жоспарларды қолдану тиімді бола түседі.

2.5 Статикалық және динамикалық бөлінген орналасу

Бұл бөлімде біз 1-есептің (алдыңғы бөлімде сипатталған) төрт түрлі жағдайында және бірнеше басқа мәселелерде статикалық және динамикалық түрде қайта конфигурацияланған бөлінген жоспарларды салыстырамыз. Біз динамикалық қайта конфигурациялауға тыйым салу арқылы мәселелерді шештік. Сондықтан, статикалық бөлінген жоспар жағдайында жабдықты орналастыру бүкіл жоспарлау кезеңінде өзгеріссіз қалатын сенімді жоспарды қамтамасыз ету үшін оңтайландырылады. 6-кестеде 1-есептің төрт жағдайындағы мақсаттық функция мәндері және статикалық бөлінген жоспардан динамикалық бөлінген жоспарға ауысу арқылы алынған үнемдеу пайызы көрсетілген. Кестеден көрініп тұрғандай, егер өндірістік жүйеде бірегей жабдықтар көп болса және ортақ мүмкіндіктер аз болса (4-жағдай), динамикалық қайта конфигурациялау айтарлықтай шығын үнемдеуге әкелуі мүмкін. Керісінше, өндірістік кәсіпорында ортақ мүмкіндіктері бар жабдықтар көп болған жағдайда (1-жағдай), жүйені қайта конфигурациялаудың қажеттілігі азаяды. 7-кестеде көрсетілгендей, біз бірнеше басқа мәселелерде де ұқсас нәтижелерге қол жеткіздік. 3-сурет динамикалық қайта конфигурациялау қолданылғанда үнемдеу пайызы мәселе көлемінің ұлғаюымен азаятынын

көрсетеді. Дегенмен, ірі өндірістік мәселелерде нақты өндірістік шығындар өте жоғары болып табылады, сондықтан тіпті үнемдеудің аз пайызы айтарлықтай ақшалай пайда әкелуі мүмкін.



3-сурет – Сұраныстың өлшемі ұлғайған сайын динамикалық қайта конфигурациялаудан шығындарды үнемдеу пайызы

2.6 Модельдің басқа мүмкіндіктері

Осы бөлімде біз жұмыс жүктемесін теңгеруді, өндірістік жоспарлауды және аутсорсингті енгізудің ұсынылған кешенді модельдегі артықшылықтарын көрсетеміз. 7-кестеде ресурс элементі-1 (RE-1) қолданылатын жұмыс жүктемесінің таралу нәтижелері көрсетілген. Бұл ресурс элементі 1-ден 6-ға дейінгі жабдықтардың әрқайсысында қолжетімді. Кестенің бірінші қатарында жұмыс жүктемесін теңгеру ($Y=0.99$) барлық жабдықтар арасында тең бөлінген жұмыс жүктемесіне әкеледі. Ал екінші қатарда, керісінше, Y коэффициенті нөлге тең болған жағдайда алты жабдық арасында жүктеменің теңгерімсіз бөлінуі байқалады. Бұл нәтижелер ұсынылған модельге жұмыс жүктемесін теңгеру шектеуін енгізудің маңыздылығын көрсетеді.

9-кестеде көрсетілгендей, өндірістік жоспарлау мен аутсорсингтің бірін немесе екеуін де қолдану мақсаттық функцияның мәнін едәуір төмендетуге алып келеді, бұл олардың экономикалық тұрғыдан маңыздылығын дәлелдейді. Ең бастысы, бұл факторларды енгізу бірнеше мақсаттық функция шарттарына

әсер етеді, бұл өндірістік жүйені талдауда кешенді модельді қолданудың артықшылықтарын одан әрі айқындайды. Жүйенің әртүрлі аспектілерін қамтитын модель зерттелетін мәселені тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Интеграцияланған жүйелік тәсіл маңызды аспектілердің ескерусіз қалу ықтималдығын азайтып, өндірістік жүйенің барлық элементтерін кешенді түрде қарастыруға мүмкіндік береді.

9-кесте – Өндірістік жоспарлау мен аутсорсингтің мақсаттық функцияға әсері

Y	1-жабдық	2-жабдық	3-жабдық	4-жабдық	5-жабдық	6-жабдық	Барлығы
0.99	1,131	1,131	1,200	1,131	1,131	1,131	6,855
0.00	0	0	6,350	0	750	0	7,070

3 Математикалық модельді Python негізінде код құрастыру үшін қолдану

3.1 Қойылатын міндет (Оптимизация моделі)

Дипломдық жұмыстағы басты міндет – өндірістік жабдықтарды зауыт аймақтарында оңтайлы орналастыру. Бұл процесс көлік шығындарын азайту және аймақтық шектеулерді сақтау арқылы жүзеге асады.

Кодтың құрылымы және оның рөлі:

- Жабдықтарды оңтайлы орналастыру үшін Python-да сызықтық бағдарламалау әдісі қолданылды. Бұл әдіс әрбір жабдықтың ең тиімді орынға орналасуын есептеуге мүмкіндік береді. Код бірнеше негізгі бөлімнен тұрады:

- Мәліметтерді енгізу – Жабдықтар арасындағы материал ағыны, олардың өлшемдері және аймақтардың сыйымдылықтары енгізіледі.

- Шектеулерді анықтау – Әрбір жабдық тек бір орынға орналастырылуы керек, ал әрбір аймақтың сыйымдылығы шектелген.

- Мақсаттық функцияны есептеу – Жалпы көлік шығындарын азайтуға бағытталған.

- Линеілік бағдарламалау арқылы оңтайлы шешімді табу.

Нәтижені визуализациялау – Жабдықтардың зауыт аумағында орналасуын графикалық түрде көрсету.

3.2 Мәліметтерді енгізу

Алдымен, өндірістік жабдықтар туралы негізгі мәліметтер анықталады. Бұл мәліметтерге:

- Жабдықтардың өлшемдері,
- Әрбір жабдықтың басқа жабдықтармен байланысы (материал ағыны),
- Зауыттың әр аймағының рұқсат етілген сыйымдылығы кіреді.

Бұл мәліметтер кестелік түрде немесе матрицалар түрінде беріледі. Кодта бұл келесідей көрсетіледі:

```

import numpy as np
from scipy.optimize import linprog

# Жабдықтар арасындағы материал ағыны (мысалы, тонна)
flow_matrix = np.array([
    [0, 10, 5, 8],
    [10, 0, 7, 6],
    [5, 7, 0, 4],
    [8, 6, 4, 0]
])

# Жабдықтардың өлшемдері (шаршы метр)
machine_sizes = np.array([10, 15, 12, 18])

# Аймақтардың сыйымдылықтары
zone_sizes = np.array([25, 30, 20, 35])

```

4-сурет – Өндірістік жабдықтар туралы негізгі мәліметтер (код негізінде)

3.3 Шектеулерді анықтау

Жабдықтарды орналастыру кезінде келесі шарттар сақталуы қажет:

- Әрбір жабдық бір ғана аймаққа бекітілуі тиіс.
- Әрбір аймақтың сыйымдылығы артық жүктелмеуі керек.
- Жабдықтар арасындағы материал ағыны минималды қашықтықта ұйымдастырылуы қажет.

Бұл шектеулер кодта былай жазылады:

```

num_machines = len(machine_sizes)
num_zones = len(zone_sizes)

# Әр жабдық бір ғана аймаққа орналасуы керек
A_eq = np.zeros((num_machines, num_machines * num_zones))
b_eq = np.ones(num_machines)
for j in range(num_machines):
    A_eq[j, j:num_machines] = 1

# Әр аймақтың сыйымдылығы шектелген
A_ub = np.zeros((num_zones, num_machines * num_zones))
b_ub = zone_sizes
for i in range(num_zones):
    A_ub[i, i*num_machines:(i+1)*num_machines] = machine_sizes

```

5-сурет – Жабдықтарды орналастыру шектеулерінің кодтағы көрінісі

3.4 Мақсаттық функцияны есептеу

Мақсат – жабдықтардың арасындағы тасымалдау шығындарын барынша азайту. Сондықтан, код әрбір жабдықтың басқа жабдықтармен ара қашықтығын және материал ағынын ескере отырып, жалпы шығынды есептейді.

```
# Қашықтықтар матрицасы (мысалы, метр)
dist_matrix = np.array([
    [0, 2, 3, 1],
    [2, 0, 4, 3],
    [3, 4, 0, 5],
    [1, 3, 5, 0]
])

# Көлік шығындарын есептеу
costs = (flow_matrix * dist_matrix[:num_machines, :num_machines]).flatten()
```

6-сурет – Мақсаттық функцияның матрица ретінде жазылуы

3.5 Сызықтық бағдарламалау арқылы оңтайлы шешімді табу

Осы алынған мәліметтер негізінде Python-дағы linprog функциясы қолданылады. Бұл функция барлық шектеулер мен мақсаттық функцияны ескере отырып, әрбір жабдықтың ең тиімді орналасуын есептейді.

```
res = linprog(costs, A_eq=np.vstack([A_eq, A_eq2]), b_eq=np.hstack([b_eq, b_eq2]), A_ub=A_ub, b_ub=b_ub, bounds=bounds, method='highs')
```

7-сурет – linprog функциясы

Есептеу нәтижесінде жабдықтардың қай аймақта орналасуы керектігі көрсетіледі.

3.6 Нәтижені визуализациялау

Алынған деректер негізінде жабдықтардың зауыт аумағындағы орналасуы графикалық түрде көрсетіледі.

```

import matplotlib.pyplot as plt

zone_coords = np.array([[0, 0], [1, 0], [0, 1], [1, 1]])
machine_positions = np.argmax(res.x.reshape(num_zones, num_machines), axis=0)

plt.figure(figsize=(6, 6))
plt.scatter(zone_coords[:, 0], zone_coords[:, 1], c='blue', label='Жұмыс аймақтары')
colors = ['red', 'green', 'purple', 'orange']

for i, pos in enumerate(machine_positions):
    plt.scatter(zone_coords[pos, 0], zone_coords[pos, 1], color=colors[i],
                s=200, label=f'Жабдық {i+1}')
    plt.text(zone_coords[pos, 0] + 0.1, zone_coords[pos, 1],
             f'Жабдық {i+1}', fontsize=10)

plt.xlabel('X координатасы')
plt.ylabel('Y координатасы')
plt.title('Жабдықтардың оңтайлы орналасуы')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

```

8-сурет – Жабдықтардың зауыт аумағындағы орналасу

Бұл кодтың көмегімен жабдықтарды автомобиль зауытының құрастыру цехына ең тиімді орналастыруға мүмкіндік туды. Оның нәтижесінде:

- Өндірістік процестің тиімділігі артты,
- Көлік шығындары азайды,
- Аймақтардың сыйымдылығы тиімді пайдаланылды.

Бұл әдіс өндіріс орындарын оңтайландыруда қолданылатын маңызды құрал болып табылады.

3.7 Толық код көрінісі

Толық кодтың мазмұны мен ішіне кіретін түсініктемелерді 9-11 суреттерінен көруге болады.

```
1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3  from scipy.optimize import linprog
4
5  # Құрылғылар мен жұмыс аймақтары туралы деректер
6  num_machines = 6 # Құрылғылардың саны
7  num_zones = 6 # Жұмыс аймақтарының саны
8
9  # Құрылғылар арасындағы материалдар ағынының матрицасы (кездейсоқ деректер)
10 √ flow_matrix = np.array([
11      [0, 20, 10, 0, 5, 15],
12      [20, 0, 25, 10, 0, 5],
13      [10, 25, 0, 5, 20, 0],
14      [0, 10, 5, 0, 15, 10],
15      [5, 0, 20, 15, 0, 25],
16      [15, 5, 0, 10, 25, 0]
17  ])
18
19  # Аймақтар арасындағы қашықтықтар матрицасы (кездейсоқ деректер)
20 √ dist_matrix = np.array([
21      [0, 2, 3, 4, 5, 6],
22      [2, 0, 2, 3, 4, 5],
23      [3, 2, 0, 2, 3, 4],
24      [4, 3, 2, 0, 2, 3],
25      [5, 4, 3, 2, 0, 2],
26      [6, 5, 4, 3, 2, 0]
27  ])
28
29  # Көлік шығындарын есептеу
30  costs = (flow_matrix * dist_matrix[:num_machines, :num_machines]).flatten()
31
32  # Шектеулер: әр аймақ тек бір құрылғыны қабылдайды
33  A_eq = np.zeros((num_zones, num_zones * num_machines))
34  b_eq = np.ones(num_zones)
35
36 √ for i in range(num_zones):
37     A_eq[i, i*num_machines:(i+1)*num_machines] = 1
38
39  # Шектеулер: әр құрылғы тек бір аймақта орналастырылады
40  A_eq2 = np.zeros((num_machines, num_zones * num_machines))
41  b_eq2 = np.ones(num_machines)
42
43 √ for j in range(num_machines):
```

9-сурет – Толық код

```

44     A_eq[j, j::num_machines] = 1
45
46     # Аймақтардың сыйымдылығы бойынша шектеулер
47     machine_sizes = np.array([10, 15, 12, 18, 14, 16]) # Әр құрылғының өлшемі
48     zone_sizes = np.array([20, 25, 30, 35, 28, 26]) # Әр аймақтың сыйымдылығы
49
50     A_ub = np.zeros((num_zones, num_zones * num_machines))
51     b_ub = zone_sizes
52
53     for i in range(num_zones):
54         A_ub[i, i*num_machines:(i+1)*num_machines] = machine_sizes
55
56     # Өзгермелі шекаралар (0 немесе 1)
57     bounds = [(0, 1)] * (num_zones * num_machines)
58
59     # Линейлік бағдарламалау мәселесін шешу
60     res = linprog(costs, A_eq=np.vstack([A_eq, A_eq2]), b_eq=np.hstack([b_eq, b_eq2]), A_ub=A_ub, b_ub=b_ub, bounds=bounds, method='highs')
61
62     # Құрылғылардың орналасуын анықтау
63     machine_positions = np.argmax(res.x.reshape(num_zones, num_machines), axis=0)
64
65     # Жұмыс аймақтарының координаттары (кездейсоқ деректер)
66     zone_coords = np.array([
67         [1, 1], [3, 1], [5, 1],
68         [1, 3], [3, 3], [5, 3]
69     ])
70
71     # Нәтижелерді визуализациялау
72     plt.figure(figsize=(8, 6))
73     plt.scatter(zone_coords[:, 0], zone_coords[:, 1], c='blue', label='Жұмыс аймақтары')
74     colors = ['red', 'green', 'purple', 'orange', 'cyan', 'magenta']
75     machine_names = [f"Құрылғы {i+1}" for i in range(num_machines)]
76
77     for i, pos in enumerate(machine_positions):
78         plt.scatter(zone_coords[pos, 0], zone_coords[pos, 1], color=colors[i], s=200, label=machine_names[i])
79         plt.text(zone_coords[pos, 0] + 0.2, zone_coords[pos, 1], machine_names[i], fontsize=12, fontweight='bold')

```

10-сурет – Толық код жалғасы

```

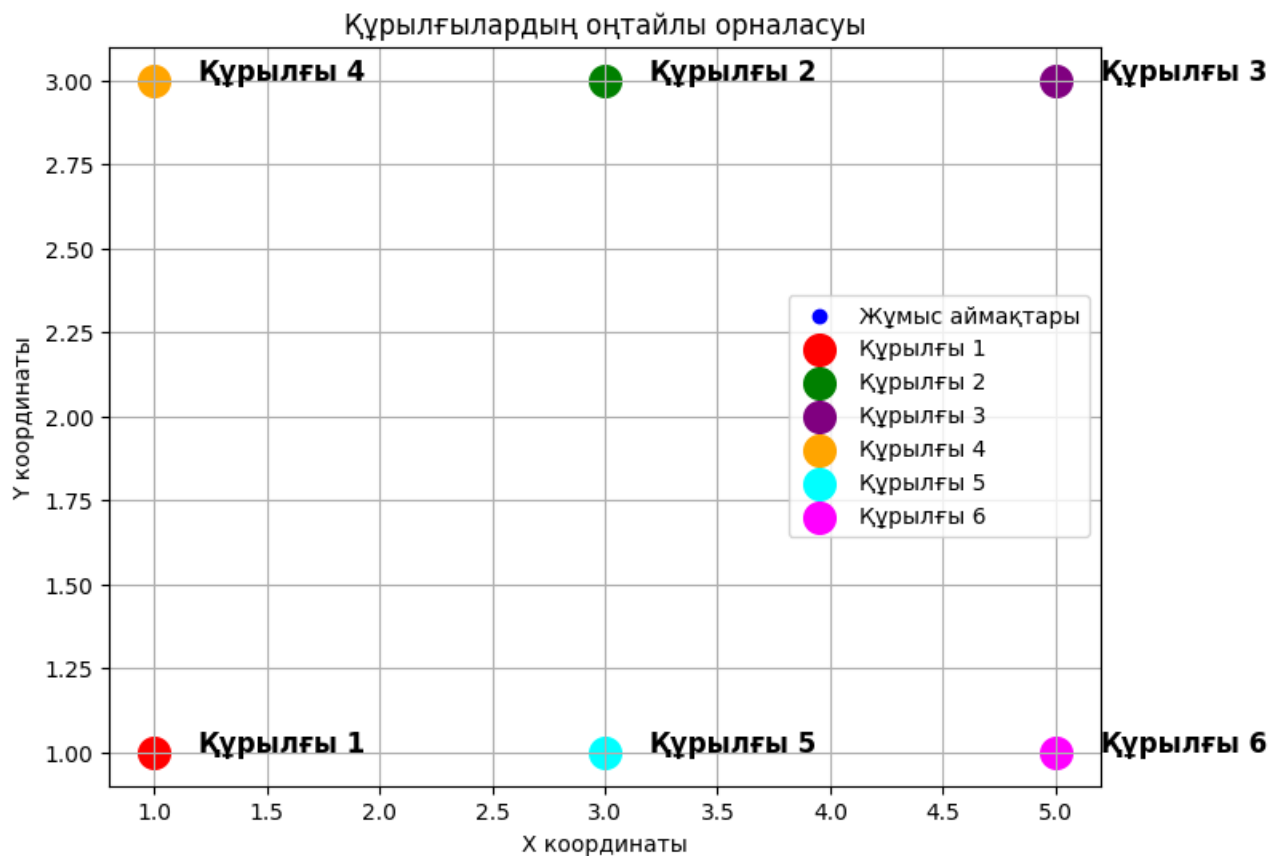
80
81     plt.xlabel('X координаты')
82     plt.ylabel('Y координаты')
83     plt.title('Құрылғылардың оңтайлы орналасуы')
84     plt.legend()
85     plt.grid()
86     plt.show()
87

```

11-сурет – Толық код жалғасы

3.8 Визуализацияланған нәтиже

Келесі суреттен көрініп тұрғандай, кодты толық жөндеу және алынған нәтиже математикалық модельде сипатталған шарттар сақталған жағдайда да, автомобиль құрастыру зауытындағы жабдықтарды орналастырудың ең оңтайлы тәсілі – әрбір станция арасында жеткілікті кеңістік қалдыра отырып, оларды сызықтық түрде орналастыру болып табылады.



12-сурет – Құрылғылардың орналасу визуализациясы

Алайда, сызықтық орналасу әмбебап шешім емес екенін ескеру қажет. Оның тиімділігі өндірістік процестің конфигурациясы, жұмыс аймақтарының саны, логистикалық шектеулер және жабдықтың техникалық сипаттамалары сияқты көптеген факторларға байланысты болуы мүмкін. Мысалы, жоғары автоматтандырылған кәсіпорындарда өндірістің өзгермелі шарттарына бейімделетін модульдік немесе ұяшықтық орналасу схемалары жиі қолданылады.

Өндіріс кезінде жабдықты қалай орналастыру керектігін егжей-тегжейлі сипаттау үшін тек математикалық модельдерге ғана емес, сонымен қатар жұмыс орындарының эргономикасына, қызметкерлердің қозғалысын азайтуға және бөлшектерді станциялар арасында тасымалдау уақытын қысқартуға да назар аудару қажет. Бұл параметрлер тікелей өндірістің өнімділігі мен жалпы тиімділігіне әсер етеді. Мысалы, "Lean Manufacturing" (ұқыпты өндіріс) саласындағы зерттеулер көрсеткендей, цех ішіндегі логистиканы оңтайландыру уақыт жоғалтуды азайтып, өнімділікті арттыруға ықпал етеді.

Алайда, бүгінгі таңда бұл зерттеу саласы әлі толық зерттелмеген. Интернет пен ашық дерекқорларда жабдықты оңтайлы орналастыруды модельдеуге мүмкіндік беретін нақты әрі егжей-тегжейлі ақпарат жеткіліксіз. Себебі әрбір өндіріс алаңы өзіндік ерекшеліктерге ие, ал компаниялар көбінесе

ішкі деректеріне негізделген жеке жоспарлау әдістерін әзірлейді, олар ашық көздерде жарияланбайды.

Бұл тақырыпты одан әрі зерттеу үшін нақты өндірістік нысандардан бастапқы деректер жинау, жабдықты орналастыруды оңтайландырудың алдыңғы қатарлы әдістерін талдау және қолданыстағы математикалық модельдерді автомобиль зауыттарының ерекшеліктеріне бейімдеу қажет. Мүмкін болатын тәсілдердің бірі – сызықтық бағдарламалау элементтері мен машиналық оқыту әдістерін біріктіретін аралас модель әзірлеу, бұл нақты өндірістік параметрлерге байланысты жабдықтарды орналастырудың оңтайлы схемаларын болжауға мүмкіндік береді.

Осылайша, бұл зерттеу – тақырыпты тереңірек зерделеу үшін бастапқы кезең ғана. Теориялық әдістер мен практикалық деректерді біріктіру құрастыру кәсіпорындарында кеңістікті ұйымдастыру бойынша дәлірек ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді, бұл түпкі есепте жұмыс тиімділігін арттыруға және өндірістік шығындарды азайтуға алып келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста автомобиль зауытындағы жабдықтарды тиімді орналастыруды модельдеу мәселесі зерттелді, ол өндіріс тиімділігін арттыру және шығындарды азайту мақсатында жүргізілді. Зерттеу барысында математикалық модельдеу әдістері, атап айтқанда сызықтық бағдарламалау қолданылды, сонымен қатар Python бағдарламалау тілі негізінде практикалық шешімдер әзірленді.

Зерттеудің негізгі нәтижелері мыналарды көрсетті:

Математикалық модельдің тиімділігі. Жабдықтарды орналастырудың кешенді математикалық моделі құрылды, ол материал тасымалдау, жабдықты жылжыту, қорларды сақтау, переналадка және аутсорсинг сияқты шығындарды минимизациялауға бағытталды. Модель әртүрлі сценарийлерді ескере отырып, өндірістік жүйенің жүктемесін теңестіру және ресурстарды тиімді пайдалану мүмкіндіктерін қамтамасыз етті.

Функционалды және бөлінген жоспарлаудың салыстырмалы талдауы. Зерттеу нәтижелері бөлінген жоспарлаудың, әсіресе ортақ қабілеттері бар жабдықтар көп болған жағдайда, функционалды жоспарлаумен салыстырғанда материал тасымалдау шығындарын едәуір азайтатынын көрсетті. Бөлінген жоспарларды қолдану шығындарды 1-жағдайда айтарлықтай төмендетті, бұл оның заманауи өндірістік орталардағы өзектілігін дәлелдейді.

Динамикалық және статикалық орналасудың артықшылықтары. Динамикалық қайта конфигурациялау бірегей жабдықтар басым болған жағдайда (4-жағдай) шығындарды үнемдеуге мүмкіндік берді. Ал ортақ қабілеттері бар жабдықтар көп болғанда (1-жағдай) қайта конфигурациялаудың қажеттілігі азайды, бұл жоспарлаудың икемділігін арттыруға бағытталған шешімдердің маңыздылығын көрсетеді.

Өндірістік жоспарлау мен аутсорсингтің әсері. 9-кестеде көрсетілгендей, өндірістік жоспарлау мен аутсорсингті енгізу мақсаттық функцияның мәнін едәуір төмендетті, бұл олардың экономикалық маңыздылығын дәлелдеді. Интеграцияланған жүйелік тәсіл өндірістік жүйенің барлық элементтерін кешенді түрде қарастыруға мүмкіндік берді, бұл зерттелетін мәселені тереңірек түсінуге ықпал етті.

Python негізіндегі практикалық шешім. Python-да сызықтық бағдарламалау әдісі негізінде код құрастырылды, ол жабдықтарды зауыт аймақтарында оңтайлы орналастыруды қамтамасыз етті. Кодтың нәтижесінде көлік шығындары азайып, өндірістік процестің тиімділігі артты, ал аймақтардың сыйымдылығы тиімді пайдаланылды. Визуализация нәтижелері жабдықтарды сызықтық орналастырудың тиімді екенін көрсетті, бірақ бұл әдістің әмбебап еместігі және басқа конфигурацияларды қарастыру қажеттілігі атап өтілді.

Зерттеу барысында математикалық модельдеу мен өндірістік модельдеудің автомобиль зауыттарының макетін жобалаудағы маңыздылығы дәлелденді. Модельдеу нәтижелері жабдықтың оңтайлы орналасуы өндіріс өнімділігін 0,3%-ға арттыруға, логистикалық ағындардың жүру қашықтығын

3,8%-ға қысқартуға және AGV қажеттілігін 11%-ға азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Дегенмен, дипломдық жұмыс осы саладағы зерттеулердің бастапқы кезеңі ғана болып табылады. Болашақта нақты өндірістік нысандардан алынған деректерді пайдалану, машиналық оқыту әдістерін интеграциялау және өндірістік процестердің эргономикалық аспектілерін ескере отырып, модельді одан әрі жетілдіру қажет. Бұл тәсілдер кеңістікті ұйымдастыру бойынша дәлірек ұсыныстар әзірлеуге және автомобиль зауыттарының жалпы тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Lee, S., Park, S., Yang, J., Son, Y.H., Ko, M.J., Lim, J.W., Kong, H., Jung, Y., Kim, S., Noh, S.D. и др. Modeling, Simulation-Based Assessments of Reconfigurability and Productivity for Automotive Module Assembly Lines // J. Comput. Des. Eng. 2019. № 24. С. 233–247.
- 2 Kang, H.S., Lee, J.Y., Choi, S., Kim, H., Park, J.H., Son, J.Y., Kim, B.H., Noh, S.D. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions // Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol. 2016. № 3. С. 111–128.
- 3 Konstantinidis, F.K., Myrillas, N., Tsintotas, K.A., Mouroutsos, S.G., Gasteratos, A. A technology maturity assessment framework for industry 5.0 machine vision systems based on systematic literature review in automotive manufacturing // Int. J. Prod. Res. 2023. С. 1–37.
- 4 Psarommatis, F., May, G., Azamfirei, V., Konstantinidis, F. Optimizing efficiency and zero-defect manufacturing with in-process inspection: Challenges, benefits, and aerospace application // Procedia Comput. Sci. 2024. № 232. С. 2857–2866.
- 5 Konstantinidis, F.K., Myrillas, N., Mouroutsos, S.G., Koulouriotis, D., Gasteratos, A. Assessment of industry 4.0 for modern manufacturing ecosystem: A systematic survey of surveys // Machines. 2022. № 10. С. 746.
- 6 Park, K.T., Nam, Y.W., Lee, H.S., Im, S.J., Noh, S.D., Son, J.Y., Kim, H. Design and implementation of a production simulation application for a connected micro smart factory // Int. J. Comput. Integr. Manuf. 2019. № 32. С. 596–614.
- 7 Guo, J., Zhao, N., Sun, L., Zhang, S. Modular based flexible production simulation for factory design // J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 2019. № 10. С. 1189–1200.
- 8 Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives // Process Saf. Environ. Prot. 2018. № 117. С. 408–425.
- 9 Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Parekh, H., Mani, V., Belhadi, A., Sharma, R. Production simulation for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework // Technol. Forecast. Soc. Change. 2022. № 176. С. 121448.
- 10 Cai, Y., Starly, B., Cohen, P., Lee, Y.S. Sensor data and information fusion to construct digital-twins virtual machine tools for cyber-physical manufacturing // Procedia Manuf. 2017. № 10. С. 1031–1042.
- 11 He, B., Bai, K.J. Production simulation-based sustainable intelligent manufacturing: A review // Adv. Manuf. 2021. № 9. С. 1–21.
- 12 Anderl, R., Haag, S., Schützer, K., Zancul, E. Digital twin technology—An approach for Industrie 4.0 vertical and horizontal lifecycle integration // IT-Inf. Technol. 2018. № 60. С. 125–132.
- 13 Park, K.T., Lee, D., Noh, S.D. Operation procedures of a work-center-level digital twin for sustainable and smart manufacturing // Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol. 2020. № 7. С. 791–814.

- 14 Zheng, Y., Yang, S., Cheng, H. An application framework of digital twin and its case study // *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 2019. № 10. C. 1141–1153.
- 15 Caputo, F., Greco, A., Fera, M., Macchiaroli, R. Digital twins to enhance the integration of ergonomics in the workplace design // *Int. J. Ind. Ergon.* 2019. № 71. C. 20–31.
- 16 Biesinger, F., Kraß, B., Weyrich, M. A survey on the necessity for a digital twin of production in the automotive industry // *Proceedings of the 2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT)*. Salerno, Italy. 2019. C. 1–8.
- 17 Guo, H., Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, Y., Chen, M., Zhang, R. A digital twin-based layout optimization method for discrete manufacturing workshop // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2021. № 112. C. 1307–1318.
- 18 Liu, Q., Leng, J., Yan, D., Zhang, D., Wei, L., Yu, A., Zhao, R., Zhang, H., Chen, X. Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system // *J. Manuf. Syst.* 2021. № 58. C. 52–64.
- 19 Zúñiga, E.R., Moris, M.U., Syberfeldt, A., Fathi, M., Rubio-Romero, J.C. A simulation-based optimization methodology for facility layout design in manufacturing // *IEEE Access.* 2020. № 8. C. 163818–163828.
- 20 Choi, S.H., Kim, B.S. Intelligent factory layout design framework through collaboration between optimization, simulation, and digital twin // *J. Intell. Manuf.* 2024. C. 1–15.
- 21 Zhao, R., Zou, G., Su, Q., Zou, S., Deng, W., Yu, A., Zhang, H. Digital twins-based production line design and simulation optimization of large-scale mobile phone assembly workshop // *Machines.* 2022. № 10. C. 367.
- 22 Segovia, M., Garcia-Alfaro, J. Design, modeling and implementation of digital twins // *Sensors.* 2022. № 22. C. 5396.
- 23 Jiang, H., Qin, S., Fu, J., Zhang, J., Ding, G. How to model and implement connections between physical and virtual models for digital twin application // *J. Manuf. Syst.* 2021. № 58. C. 36–51.
- 24 Agostino, Í.R.S., Broda, E., Frazzon, E.M., Freitag, M. Using a digital twin for production planning and control in industry 4.0 // *Scheduling in Industry 4.0 and Cloud Manufacturing*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2020. C. 39–60.
- 25 Wang, Y.; Wu, Z. Model construction of planning and scheduling system based on digital twin. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 109, 2189–2203. [CrossRef]
- 26 Braun, D.; Biesinger, F.; Jazdi, N.; Weyrich, M. A concept for the automated layout generation of an existing production line within the digital twin. *Procedia CIRP* 2021, 97, 302–307. [CrossRef]
- 27 Biesinger, F.; Meike, D.; Kraß, B.; Weyrich, M. A case study for a digital twin of body-in-white production systems general concept for automated updating of planning projects in the digital factory. In *Proceedings of the 2018 IEEE 23rd International conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Turin, Italy, 4–7 September 2018; Volume 1, pp. 19–26.

- 28 Choi, S.; Woo, J.; Kim, J.; Lee, J.Y. Digital twin-based integrated monitoring system: Korean application cases. *Sensors* 2022, 22, 5450. [CrossRef] [PubMed]
- 29 Mykoniatis, K.; Harris, G.A. A digital twin emulator of a modular production system using a data-driven hybrid modeling and simulation approach. *J. Intell. Manuf.* 2021, 32, 1899–1911. [CrossRef]
- 30 Kumbhar, M.; Ng, A.H.; Bandaru, S. A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks. *J. Manuf. Syst.* 2023, 66, 92–106. [CrossRef]
- 31 Bottani, E.; Cammardella, A.; Murino, T.; Vespoli, S. From the Cyber-Physical System to the Digital Twin: The process development for behaviour modelling of a Cyber Guided Vehicle in M2M logic. In XXII Summer School Francesco Turco Industrial Systems Engineering; University of Washington: Washington, DC, USA, 2017; pp. 1–7.