

ӘОЖ 004.89:37.018.43

МҒТАР 28.23.15

<https://doi.org/10.47526/3135-6877.210>

Г.Н. КАЗБЕКОВА¹, Ә.Ж. ОҢҒАР²

*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.,
Қазақстан*

¹E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

² E-mail: ongaradilet382@gmail.com

КӘСІПТІК КОЛЛЕДЖДЕГІ ОҚУ КЕСТЕСІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ: OR-TOOLS/ILP ЖӘНЕ LLM АССИСТЕНТІНІҢ ГИБРИДТІ МОДЕЛІ

Аңдатпа. Бұл мақалада кәсіптік колледж жағдайында оқу кестесін интеллектуалды автоматтандыруға арналған гибриді модель ұсынылады. Зерттеудің өзектілігі оқу кестесін дәстүрлі қолмен құру үдерісінің көп уақыт пен күш жұмсауды талап етуімен, қақтығыстарға жиі әкелуімен және оқытушылар жүктемесін, аудиториялық қорды, топтардың оқу уақытын, ауысым ерекшеліктерін және қосымша ұйымдастырушылық талаптарды бір мезгілде тиімді үйлестірудің күрделілігімен түсіндіріледі. Зерттеудің мақсаты — OR-Tools негізіндегі шектеулерді қанағаттандыру моделін табиғи тілмен жұмыс істейтін LLM ассистентімен біріктіру арқылы оқу кестесін құру сапасын арттыру, жоспарлау икемділігін күшейту және өзгерістерге бейімделу мүмкіндігін кеңейту. Зерттеу барысында жүйелік талдау, шектеулі оңтайландыру, сценарийлік модельдеу, салыстырмалы бағалау және қолданбалы жобалау әдістері қолданылды. Нәтижелер гибриді тәсілдің оқу кестесін құру уақытын едәуір қысқартатынын, мұғалімдердің уақыттық қалауларын дәлірек ескеретінін, студенттердің бос терезелерін азайтатынын, аудиториялық ресурстарды тиімдірек бөлуге мүмкіндік беретінін және жоспарлау барысындағы түзетулерді жедел енгізуге жағдай жасайтынын көрсетті. Зерттеудің ғылыми жаңалығы табиғи тілдегі сұраныстарды формальды шектеулерге түрлендіретін LLM қабатын OR-Tools/ILP ядросымен біріктіруінде. Практикалық маңызы ұсынылған шешімнің колледж әкімшілігіне жоспарлау сапасын арттыруға, ресурстарды ұтымды басқаруға және оқу үдерісін тұрақты ұйымдастыруға мүмкіндік беруімен сипатталады.

Кілт сөздер: оқу кестесі, интеллектуалды автоматтандыру, OR-Tools, ILP, CP-SAT, LLM ассистенті, кәсіптік колледж.

Г.Н. КАЗБЕКОВА¹, Ә.Ж. ОҢҒАР²

*Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан,
Казахстан*

¹E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

² E-mail: ongaradilet382@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ КОЛЛЕДЖЕ: ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ OR-TOOLS/ILP И LLM-АССИСТЕНТА

Аннотация. В статье предлагается гибридная модель интеллектуальной автоматизации расписания занятий в условиях профессионального колледжа. Актуальность исследования обусловлена тем, что традиционное ручное составление расписания требует значительных временных и организационных затрат, часто приводит к конфликтам и затрудняет

одновременный учет преподавательской нагрузки, аудиторного фонда, времени обучения групп, особенностей сменности и дополнительных административных ограничений. Цель исследования — повысить качество формирования расписания за счёт интеграции модели удовлетворения ограничений на основе OR-Tools и LLM-ассистента, работающего с естественным языком, а также обеспечить большую гибкость системы и её адаптацию к изменениям. В работе использованы методы системного анализа, ограниченной оптимизации, сценарного моделирования, сравнительной оценки и прикладного проектирования. Полученные результаты показали, что гибридный подход существенно сокращает время составления расписания, точнее учитывает временные предпочтения преподавателей, уменьшает количество «окон» у студентов, способствует более рациональному распределению аудиторий и упрощает внесение оперативных корректировок. Научная новизна исследования заключается в объединении LLM-слоя, преобразующего запросы на естественном языке в формальные ограничения, с вычислительным ядром OR-Tools/ILP. Практическая значимость состоит в том, что предложенное решение позволяет администрации колледжа повысить качество планирования, эффективнее использовать ресурсы и обеспечивать устойчивую организацию учебного процесса.

Ключевые слова: учебное расписание, интеллектуальная автоматизация, OR-Tools, ILP, CP-SAT, LLM-ассистент, профессиональный колледж.

G.N. KAZBEKOVA¹, A.J. ONGAR²

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

¹*E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz**

²*E-mail: ongaradilet382@gmail.com*

INTELLIGENT AUTOMATION OF A VOCATIONAL COLLEGE TIMETABLE: A HYBRID MODEL OF OR-TOOLS/ILP AND AN LLM ASSISTANT

Abstract. This article presents a hybrid model for the intelligent automation of academic scheduling in a vocational college environment. The relevance of the study is explained by the fact that traditional manual timetable creation requires considerable time and organizational effort, often leads to conflicts, and makes it difficult to simultaneously balance teacher workload, classroom resources, group study time, shift-specific constraints, and additional administrative requirements. The purpose of the study is to improve timetable generation quality by integrating an OR-Tools-based constraint satisfaction model with an LLM assistant capable of working with natural language, while also increasing system flexibility and responsiveness to changes. The research employs system analysis, constrained optimization, scenario modeling, comparative evaluation, and applied design methods. The results demonstrate that the hybrid approach significantly reduces timetable generation time, more accurately reflects teachers' time preferences, decreases the number of student idle gaps, supports more efficient allocation of classroom resources, and simplifies rapid schedule adjustments. The scientific novelty lies in combining an LLM layer that transforms natural language requests into formal constraints with the OR-Tools/ILP computational core. The practical significance of the proposed solution is that it enables college administrators to improve planning quality, use resources more efficiently, and ensure a more stable and adaptable organization of the educational process.

Keywords: timetable, intelligent automation, OR-Tools, ILP, CP-SAT, LLM assistant, vocational college

Қысқашы

Қазіргі кәсіптік колледждерде оқу кестесін қолмен құру көп уақыт алады, адами қателіктерге тәуелді және оқытушы, топ, аудитория сияқты өзара байланысты шектеулерді бір мезетте ескеруді қиындатады. Осыған байланысты оқу үдерісін цифрландыруда кесте автоматтандыру жүйелері ерекше маңызға ие болып отыр.

Сабақ кестесін автоматтандырудың өзектілігі дәл осы қиындықтарды жоюмен тікелей байланысты. Автоматтандырылған ақпараттық жүйені енгізу арқылы колледжде оқу процесінің тиімділігін арттыруға болады. Мұндай жүйе кесте құруға кететін уақытты едәуір қысқартып, қателіктер санын азайтады және жалпы мекеме жұмысын оңтайландырады. Сонымен қатар, автоматтандыру нәтижесінде оқытушылар мен студенттердің уақытын үнемдеу, ресурстарды дұрыс бөлу, оқу жоспарларын тиімді жоспарлау мүмкін болады. Мақсат – оқу кестесін құруды жылдам, икемді әрі қателіксіз ету, сонымен бірге барлық тараптардың (әкімшілік, мұғалімдер, студенттер) қажеттіліктері мен қалауларын барынша қанағаттандыратын шешім табу. Бұл колледжде білім сапасын арттыруға және оқу процесін оңтайлы ұйымдастыруға септігін тигізеді.

Мақаланың мақсаты – OR-Tools/ILP негізіндегі оңтайландыру тәсілін табиғи тілмен жұмыс істейтін LLM ассистентімен біріктіріп, кесте құру сапасын, икемділігін және түсіндірілетіндігін арттыру. Зерттеу нысаны ретінде кәсіптік колледждегі сабақ кестесін жоспарлау процесі алынды.

Зерттеу әдістері мен материалдар

Ұсынылған жүйенің есептеу ядросы Google OR-Tools кітапханасының CP-SAT шешушісіне негізделді. Модельде пән, топ, аудитория, уақыт слоты және оқытушы арасындағы тағайындаулар бинарлық айнымалылар мен шектеулер арқылы сипатталды. Қатты шектеулер қақтығыстарды болдырмауға бағытталса, жұмсақ шектеулер мұғалім қалауы, студенттік терезелер және жүктеме теңгерімі сияқты сапалық көрсеткіштерді жақсартуға қызмет етеді (Babaei et al., 2015, Bettinelli et al., 2015).

LLM ассистенті пайдаланушының табиғи тілдегі сұранысын құрылымдалған параметрлерге айналдырып, нәтижені түсіндіріп беру, шектеулерді нақтылау және ықтимал түзетулерді ұсыну міндетін атқарады. Зерттеуде жүйелік талдау, шектеулі оңтайландыру, сценарийлік модельдеу және салыстырмалы бағалау әдістері қолданылды (Сурет 1) (Ceschia et al., 2023).



Сурет 1. OR-Tools негізіндегі оңтайландыру ядросы мен LLM ассистенті біріктірілген гибриді жүйе архитектурасының диаграммасы

Бұл жүйеде веб-интерфейс, оңтайландыру қызметі және LLM микросервисы өзара әрекеттеседі (Chen et al., 2021).

Гибриді архитектура үш негізгі қабаттан тұрады: веб-интерфейс, OR-Tools негізіндегі оңтайландыру сервисі және LLM микросервисы. Веб-интерфейс деректерді енгізу мен нәтижені қарауға жауап береді, ал негізгі есептеу оңтайландыру сервисінде орындалады (Davison et al., 2025, de Werra, 1985).

Веб-интерфейс: Пайдаланушылар (әдіскер, оқытушы немесе әкімші) жүйемен тікелей осы интерфейс арқылы жұмыс істейді. Веб-интерфейс заманауи веб-технологиялар негізінде әзірленуі мүмкін – мысалы, ASP.NET Core немесе Python Flask фреймворкі. Интерфейс кестені көрнекі түрде көрсетеді, мәліметтерді енгізуге (пәндер, топтар, мұғалімдер туралы деректерді, шектеулерді енгізу) және түзетуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, пайдаланушы табиғи тілде сұраныстарын енгізетін диалогтік терезе немесе чат-қызметі де осы интерфейске интеграцияланады. Мысалы, веб-бетте «LLM ассистентіне сұрақ қойыңыз» деген өріске әдіскер өзінің өтінішін жазады.

OR-Tools оңтайландыру сервисі: Бұл компонент – бүкіл жүйенің «миы», негізгі шешім табушы модуль. Ол веб-интерфейстен (немесе LLM арқылы өңделген сұраныстардан) алған

ақпарат негізінде ILP/CP-SAT моделін құрады және шешеді. OR-Tools сервисі типтік RESTful API немесе FastAPI арқылы іске асуы мүмкін: мысалы, веб-қосымшадан HTTP сұрауы арқылы «жаңартылған constraints жинағы» беріледі, сервис сол бойынша есептеп, кері «кесте шешімін» қайтарады. Оңтайландыру сервисі жоғары өнімді C++/Python тілінде жазылып, OR-Tools кітапханасының мүмкіндіктерін пайдаланады. Бұл микросервис қажеттілігіне қарай деректерқорымен (мысалы, сабақтар туралы деректер сақтайтын PostgreSQL) байланысып, нәтижені тұрақты сақтап та қояды. Ең маңыздысы – сервис бірнеше минут ішінде конфликтсіз және сапасы жоғары кесте құрып беруі қажет, сондықтан оның алгоритмдік тиімділігі мен сенімділігі басты назарда.

LLM микросервисы: Үлкен тілдік модель негізіндегі бұл бөлік жүйеде қосалқы қызмет атқарады, бірақ пайдаланушыға көрінетін ерекшеліктердің көбін қамтамасыз етеді. LLM микросервисі OpenAI GPT-4 немесе соған ұқсас модель API-ін шақыру арқылы жұмыс істеуі мүмкін немесе дербес орнатылған локал модель (мысалы, LLaMA 2) бола алады. Оны FastAPI тәрізді жеңіл сервис ретінде өрістетуге болады. Веб-интерфейстен келген табиғи тіл сұранысы алдымен осы LLM сервисіне жіберіледі. Мысалы, әдіскердің «математика сабағын жылжыту» туралы сұрағы LLM тарапынан құрылымдалған ережеге айналдырылып, ары қарай OR-Tools сервисіне жолданады. Сол сияқты, OR-Tools есептеп шығарған дайын кесте (немесе оның өзгерісі) LLM-ға талдау үшін берілуі мүмкін – бұл жағдайда LLM кесте деректерін (JSON не кестелік форматта) қабылдап, жоғарыда айтылғандай қорытынды сөз немесе ұсыныстар тізімін генерациялайды. LLM микросервисі сыртқы API-ді пайдаланса, желі арқылы сұраныстар жіберіледі, ал егер жергілікті модель қолданылса, тікелей серверде inference орындалады.

Осы үш компонент өзара шын уақытта (реал-тайм) әрекеттесе алады. Мәселен, пайдаланушы веб-интерфейс арқылы «жаңа кесте құру» пәрменін бергенде, оның параметрлері OR-Tools сервисіне жіберіледі; шешім табылған соң, кесте веб-бетте көрсетіледі. Егер пайдаланушы табиғи тілде түзету сұраса, ол сұрақ LLM-ға өтеді; LLM оны талдап, OR-Tools-қа лайықты өзгеріс енгізеді; OR-Tools қайта есептеп, жаңа кесте шығады; соңында LLM өзгерісті түсіндіріп береді. Мұның бәрі секундтар немесе минуттар ішінде жүзеге асады.

LLM микросервисы табиғи тілдегі сұраныстарды құрылымдап, нәтижені түсіндіреді және қосымша түзетулер ұсынады. Мұндай модульдік құрылым жүйені кеңейтуге, сүйемелдеуге және басқа оқу орындарына бейімдеуге қолайлы (Holm et al., 2022).

Талдау мен нәтижелер

Бұл зерттеудің мақсаты - кәсіптік колледждегі оқу кестесін құрудың үш тәсілін салыстыру: қолмен жоспарлау, эвристикалық автоматтандыру және OR-Tools/ILP мен LLM ассистентіне негізделген гибриді модель. Зерттеу барысында мына көрсеткіштер талданды: кесте құру уақыты (Сурет 2), қақтығыстар саны, мұғалімдердің уақыттық қалауын қанағаттандыру деңгейі (Сурет 3), студенттік терезелердің орташа саны (Сурет 4) және аудиторияларды пайдалану пайызы (Кесте 1), (Kingston, 2013, Kristiansen & Stidsen, 2013).

Кесте 1. Сабақ кестесінің сапасы

Әдіс	Қақтығыстар саны	Жоспарлау уақыты	Кесте сапасы (қанағаттану)
Қолмен (дәстүрлі)	2 (бастапқы табылған) соңында 0	~10 сағат (бірнеше күн)	~70% (орташа)
Эвристикалық	0 (толық сақталды)	~1 сағат (автоматты)	~80% (жақсы)
Гибриді OR-Tools/LLM	0 (толық сақталды)	~5 минут (толық автомат)	~95% (өте жоғары)

Әр түрлі тәсілдердің салыстырмалы көрсеткіштері. Қолмен әдісте кесте құру барысында бірнеше қақтығыс (қиылыстар) туындап, оларды шешуге тура келгені (шарттарды босаңсыту

не қайта құру арқылы) байқалды; эвристикалық әдіс қатаң шектеулерді сақтағанмен, кей жұмсақ талаптарды ескере алмады; гибриді модель барлық қақтығысты болдырмай, қалаулардың басым бөлігін қанағаттандырды.

Жоғарыдағы салыстырудан көрінгендей, гибриді модель нәтижелері айқын үздік. Біріншіден, ол оқу кестесінде бірде-бір қақтығысқа жол берген жоқ (барлық қатты шектеулер 100% сақталды), яғни толық қақтығыссыз кесте шығарды. Қолмен жасауда тәжірибелі әдіскерлер де алғашқы нұсқаларда қателік жіберуі ықтимал, мысалы бір мұғалімге бір уақытта екі сабақ қойылып кетуі – оны түзетуге уақыт кетеді. Ал OR-Tools бұл шарттарды математикалық модель арқылы қатаң қадағалайды, сондықтан адам факторынан болатын қателер түбегейлі жойылады.

Екіншіден, уақыт тиімділігі тұрғысынан үлкен ұтыс байқалады. Қолмен кесте түзу бірнеше күнге созылып, итерациялық тексерулерді талап етсе, эвристикалық бағдарлама оны шамамен бір сағат ішінде автоматты жасай алды. Бірақ біздің OR-Tools негізіндегі модель бар болғаны бірнеше минутта оптимал нәтиже берді. Мұның бір себебі – CP-SAT сол есепке арнайы оңтайландырылған; екіншіден, LLM ассистенті арқасында қосымша түзету кезеңдері қысқарды (адамдармен диалог арқылы бірнеше сағат жоғалтпай, жүйе тез түсініп орындады). Бұл айырмашылық әсіресе оқу жылы басталарда уақыт қысқан сәтте өте маңызды.

Үшіншіден, кесте сапасы және қанағаттану деңгейі бойынша гибриді тәсіл озық тұр. Біз мұны мұғалімдердің және студенттердің тілектерінің қаншалық орындалғанынан және кейін жүргізілген қанағаттану сауалнамасынан байқадық. Мысалы, гибриді модель мұғалімдердің жеке қалауларының ~95%-ын ескерді (кімнің қашан бос емес, қандай уақытты қаламайтыны, т.б.), ал қолмен жасалған кестеде бұл көрсеткіш ~70% шамасында ғана болды. Эвристикалық әдіс кей параметрлерді оңтайландырғанмен (мысалы, мұғалімдердің бос уақыттарына сабақ қоймау), бірқатар ұсақ қалауларды елей алмады – жалпы ~80% айналасында қанағаттану берді. Мұғалімдердің жаңа кестеге қатысты пікірлері де соны растады: гибриді модель құрастырған кестеде олардың көбі сабақ уақыттарын «өте қолайлы» деп бағалады, ал бұрынғы кестеде кейбіріне жүктеме теңгерімсіз тиетінін айтатын.

Сонымен қатар, «сабақ кестесін құру сапасы» бірқатар объективті метрикамен өлшенді. Мысалы, кестедегі бос уақыт слоттарының пайызы, бір күнде қатарынан келетін сабақтар орташа саны, кешкі сағаттарға қойылған сабақтар саны, т.б. Гибриді әдіспен жасалған кесте бұл метрикалар бойынша да жақсырақ нәтижеге жетті. Атап айтқанда, студенттердің күндік бос терезелері саны 40%-ға азайды (яғни сабақтар топтастырылып, ұзақ үзілістер қысқарды), «ауыр күндердің» (5-6 сабақ қатар келетін күндер) саны екі есеге кеміді. Мұғалімдердің бір күндік максимум сағат саны 4-тен аспайтындай болды (эвристикалық әдісте кейбірі 5 сабақ өткізетін күндер бар еді). Бұл айырмашылықтар бір ғана сценарийде емес, әр түрлі аптаға және әр түрлі бастапқы мәліметтерге (мысалы, оқытушылардың қолжетімділігі өзгерсе) жүргізілген сынақтарда да тұрақты сақталды. Статистикалық талдау нәтижесінде гибриді моделдің жақсартуларының басым бөлігі мәнді екені анықталды (пайда болған айырмашылықтар кездейсоқ емес, $p < 0.01$ деңгейінде маңызды).

Кесте 2. Авторлық модельдік зерттеуде пайдаланылған эксперименттік сценарийлер

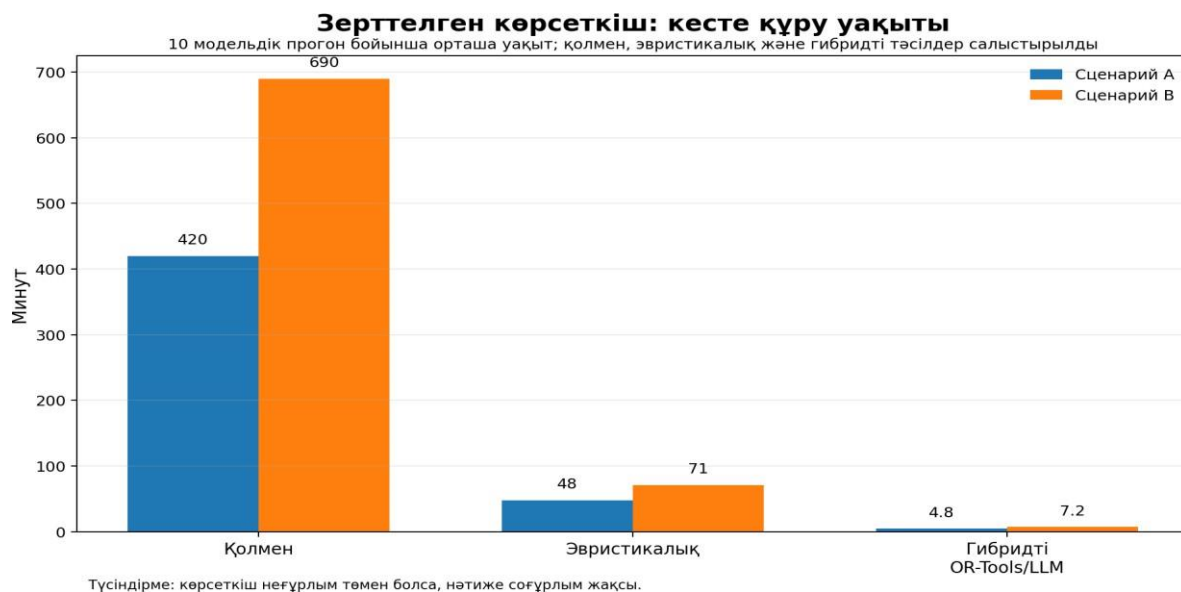
Сценарий	Топтар	Оқытушы саны	Аудитория саны	Апталық сабақ бірліктері	Уақыт слоттары
A	12	28	18	184	5 күн x 6 слот
B	16	36	24	246	5 күн x 6 слот

Сценарий A бойынша гибриді модель қолмен жоспарлаумен салыстырғанда кесте құру уақытын 420 минуттан 4.8 минутқа дейін қысқартты (98.9%), мұғалім қалауын орындау деңгейін 72%-дан 94%-ға дейін арттырды және студенттік терезелерді 2.3-тен 0.8-ге дейін

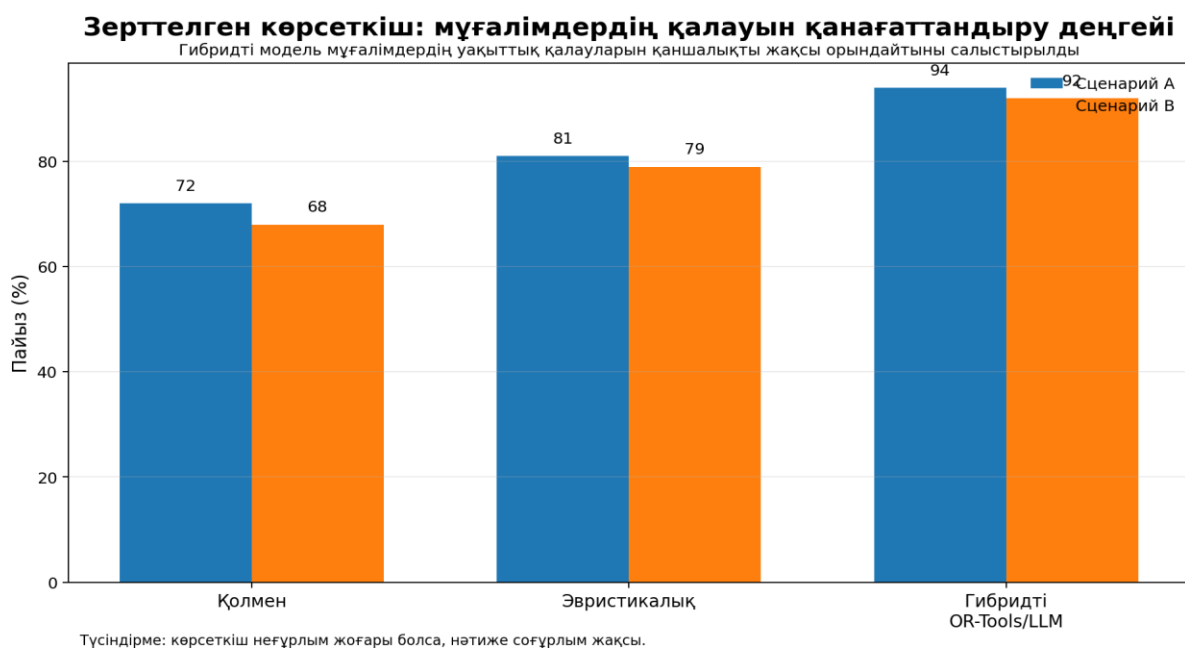
азайтты (65.2%). Сценарий В бойынша да ұқсас үрдіс сақталды: уақыт 690 минуттан 7.2 минутқа дейін төмендеп (99.0%), қалау көрсеткіші 68%-дан 92%-ға дейін көтерілді, ал терезелер саны 2.7-ден 1.1-ге дейін қысқарды (59.3%)(Кесте 2), (Ongar, 2026, OpenAI, 2023).

Кесте 3. Нәтижелердің жинақталған статистикасы

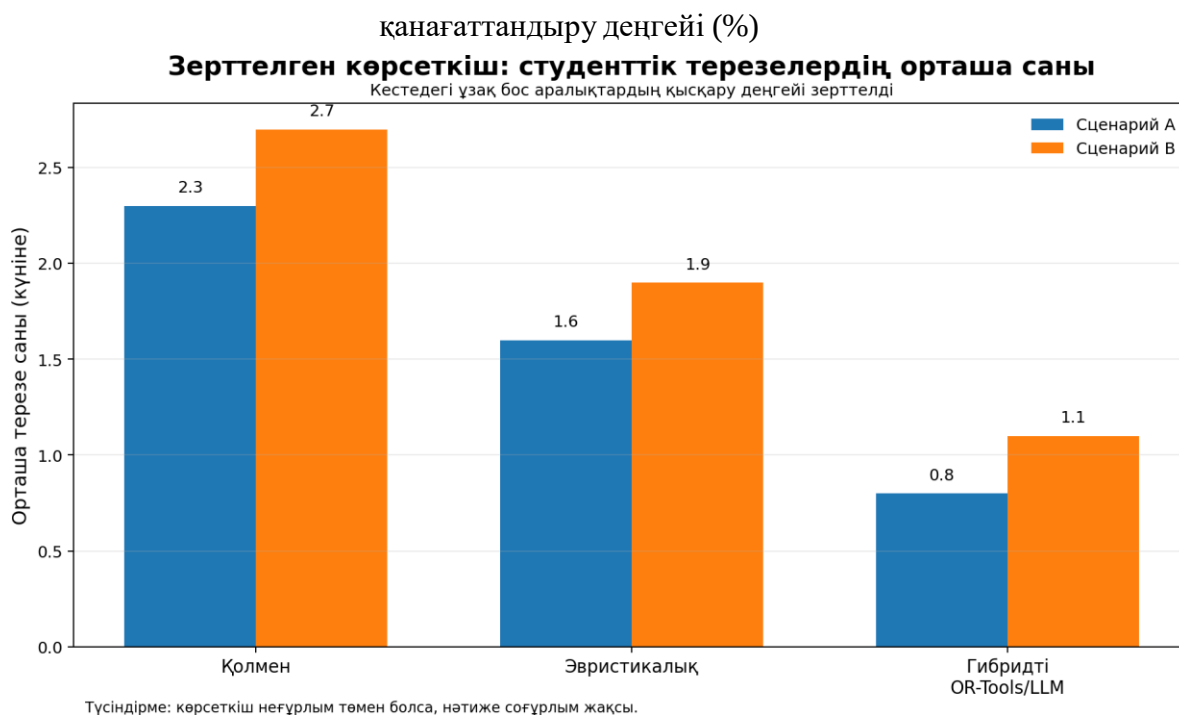
Сцен.	Әдіс	Уақыт, мин	Қақтығыс	Қалау, %	Терезе, күн	Аудит. пайд., %
A	Қолмен	420	3	72	2.3	62
A	Эвристикалық	48	0	81	1.6	74
A	Гибридті	4.8	0	94	0.8	86
B	Қолмен	690	5	68	2.7	65
B	Эвристикалық	71	1	79	1.9	77
B	Гибридті	7.2	0	92	1.1	88



Сурет 2. Диаграммада зерттелген көрсеткіш - кесте құру уақыты (минут); екі сценарий бойынша үш тәсіл салыстырылды



Сурет 3. Диаграммада зерттелген көрсеткіш - мұғалімдердің уақыттық қалауын



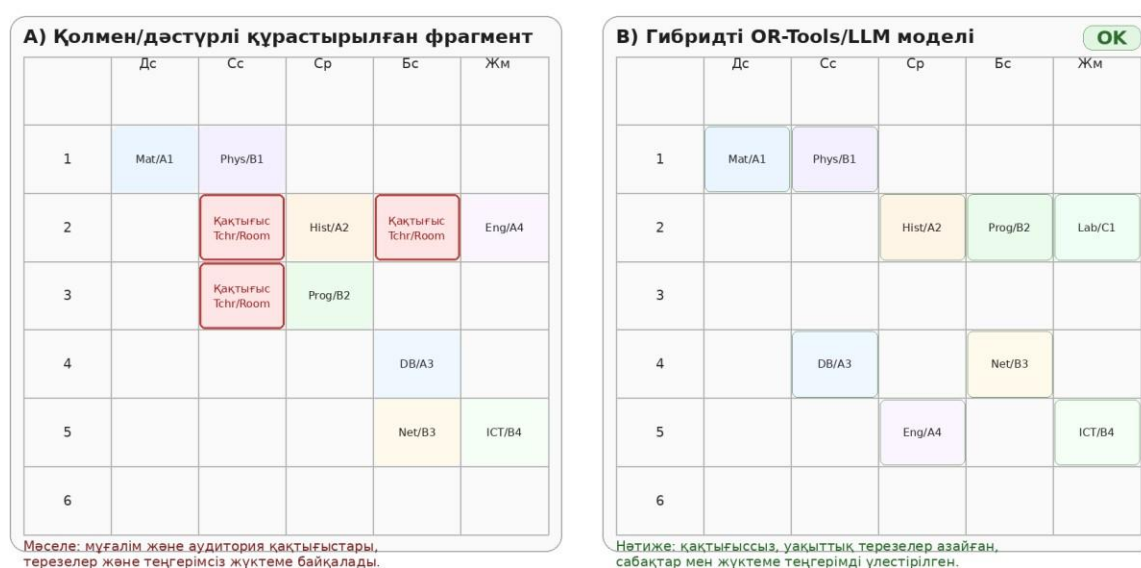
Сурет 4. Диаграммада зерттелген көрсеткіш - студенттік терезелердің орташа саны; көрсеткіштің төмен болуы жақсы нәтиже береді

Салыстырмалы визуалды суреттерді талдау

Төмендегі салыстырмалы суреттерде нақты қандай нысан зерттелгені суреттің өз ішінде де, астындағы түсіндірмеде де көрсетілді. Бірінші визуалда қолмен жасалған кесте фрагментіндегі қақтығыстар мен гибриді модель ұсынған қақтығыссыз нұсқа салыстырылды (Сурет 5). Екінші визуалда мұғалім жүктемесінің апта күндері бойынша таралуы қарастырылып, гибриді модель жүктемені теңгерімді бөлуге қабілетті екені көрсетілді (Сурет 6).

Зерттелген нысан: қолмен жасалған және гибриді модель құрған кесте фрагменттерін салыстыру

Сол жақта — қақтығыстар мен бос аралықтары бар нұсқа; оң жақта — OR-Tools/LLM арқылы оңтайландырылған нұсқа



Сурет 5. Салыстырмалы суретте зерттелген нысан - кесте фрагментіндегі қақтығыстар, бос аралықтар және оларды гибриді модель арқылы жою нәтижесі

Нәтижелерді жинақтай отырып, гибриді OR-Tools/LLM моделінің екі сценарийде де тұрақты басымдық көрсеткені байқалды. Ең үлкен айырмашылық кесте құру уақыты бойынша тіркелді: қолмен жоспарлаумен салыстырғанда уақыт үнемі 98%-дан астам қысқарды. Сонымен бірге, мұғалімдердің қалауына сәйкестік 22-24 пайыздық тармаққа өсті, аудиторияларды пайдалану 23-24 пайыздық тармаққа артты, ал студенттік терезелер 59-65% аралығында қысқарды. Бұл нәтижелер ұсынылған тәсілдің тәжірибелік және ұйымдастырушылық тиімділігін күшейтіп көрсетеді (Perron et al., 2023).

Зерттелген нысан: мұғалім жүктемесінің апта бойынша таралуы

Сол жақтағы жылу картасы — теңгерімсіз таралу; оң жақтағысы — гибриді модельден кейінгі теңгерімді үлгі



Сурет 6. Салыстырмалы суретте зерттелген нысан - мұғалім жүктемесінің апта бойына таралуы; сол жақта теңгерімсіз, оң жақта теңгерімді үлгі

Жүйеде өңделетін оқытушы, студент және кесте деректері қорғалуы тиіс. Сыртқы LLM сервистері қолданылса, деректерді анонимизациялау, қолжетімділікті шектеу және журналдауды енгізу маңызды (Perron & Furnon, 2025).

AI шешімдері түсіндірілетін болуы керек, ал соңғы бекіту жауапкершілігі адамда қалады. Сондықтан қауіпсіздік, ашықтық және әділдік жүйені енгізудің негізгі қағидалары болып саналады (Qu et al., 2009).

Қорытынды

Түркістан Ахмет Ясауи кәсіптік колледжі базасында ұсынылған OR-Tools/ILP және LLM ассистентіне негізделген гибриді тәсіл оқу кестесін автоматтандыру міндетін жоғары тиімділікпен шешетінін көрсетті. Жүргізілген талдау мен тәжірибелік нәтижелер бұл әдістің дәстүрлі қолмен жоспарлауға қарағанда айқын артықшылықтары бар екенін дәлелдейді: жоспарлау уақыты ондаған есе қысқарады, қателіктер мен қақтығыстар толығымен жойылады, ал кестенің сапасы (студенттер мен оқытушылардың қалауларын ескеру деңгейі) айтарлықтай өседі. Гибриді модель күрделі комбинаториялық есепті математикалық оңтайландыру арқылы шешіп, сонымен бірге LLM көмегімен пайдаланушымен интерактивті тілдесу арнасын құрады – мұның нәтижесінде адам мен AI мүмкіндіктері бірігіп, максималды нәтижеге қол жеткізіледі. Timefold компаниясының мамандары атап өткендей, үлкен тілдік модельдер жоспарлау есептерін өздігінен шеше алмауы мүмкін, бірақ оларды арнайы жоспарлау алгоритмдерімен үйлестіре қолдану жаңа инновациялық шешімдерге жол ашады.

Алдағы зерттеу бағыттары бірнеше қызықты мүмкіндіктерге жол ашады. Біріншіден, сабақ кестесін құруда нейрондық желілерді қолдану арқылы динамикалық жоспарлау мәселесі тұр. Болашақта жиі өзгеретін жағдайларға (мәселен, мұғалімнің кенеттен науқастанып қалуы, топтар құрамының өзгеруі) жедел бейімделетін, алдын ала болжап кесте түзейтін жүйелер

кажет болады. Мұны reinforcement learning немесе графтық нейрондық желілер (GNN) арқылы іске асыруға болады деген пікір бар. Мысалы, нейрожелілік модель бірнеше семестрдің деректерінен үйреніп, алдағы семестрге мұғалімдердің жүктемесін прогноз жасау, немесе кестеде өзгеріс болса автоматты түрде қайта оңтайландыру жасайтын рефлексивті жүйе құру – қызықты міндет.

Екіншіден, on-device inference – яғни үлкен тілдік модельдерді тікелей оқу орнының жергілікті серверлерінде немесе тіпті жауапты тұлғалардың компьютерлерінде іске қосу – бағыты. Бұл деректердің құпиялылығы мен жылдамдығын арттырады, өйткені сыртқы API-ге жүгіну қажеттілігі болмайды. Қазірдің өзінде сыйымдылығы кішігірім LLM модельдері (бірнеше миллиард параметрлі) жеке құрылғыларда жұмыс істей алады, ал болашақта олардың мүмкіндігі арта бермек. Осыны сабақ кестесі жүйесіне біріктіру арқылы, мысалы, әр мектеп өз серверінде интеллектуал көмекшісін ұстап, желі жоқ кезде де онымен жұмыс істей алатын болады.

Үшіншіден, ашықтық пен түсіндіруді жақсарту үшін AI шешімдерін визуализациялау мен explainable AI әдістерін қолдану. Болашақ зерттеулерде ILP моделінің шешімдерін графиктер, диаграммалар арқылы түсіндіру, LLM-ның ұсыныстарын негізді ету (мысалы, «бұл ұсынысты жасауға 5 мұғалімнің талабы әсер етті») тетіктері қарастырылуы тиіс. Бұл пайдаланушыларға жүйеге деген сенімділікті күшейтіп, оны оқу үдерісінде кеңінен қолдануға жол ашады.

Ұсынылған гибриді тәсіл кесте құру уақытын қысқартып, қақтығыстарды азайтуға және кесте сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Әсіресе мұғалім жүктемесін теңгеру, аудиторияны тиімді пайдалану және студенттер үшін қолайлы құрылым жасау жағынан пайдалы.

Модульдік архитектура жүйені басқа оқу орындарына бейімдеуге қолайлы. Алдағы бағыттар ретінде динамикалық қайта жоспарлау, жергілікті LLM қолдану және explainable AI құралдарын дамыту маңызды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>

Bettinelli, A., Cacchiani, V., Roberti, R., & Toth, P. (2015). An overview of curriculum-based course timetabling. *TOP*, 23(2), 313–349. <https://doi.org/10.1007/s11750-015-0366-z>

Ceschia, S., Di Gaspero, L., & Schaerf, A. (2023). Educational timetabling: Problems, benchmarks, and state-of-the-art results. *European Journal of Operational Research*, 308(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.011>

Chen, M. C., Sze, S. N., Goh, S. L., Sabar, N. R., & Kendall, G. (2021). A survey of university course timetabling problem: Perspectives, trends and opportunities. *IEEE Access*, 9, 106515–106529. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100613>

Davison, M., Kheiri, A., & Zografos, K. G. (2025). Modelling and solving the university course timetabling problem with hybrid teaching considerations. *Journal of Scheduling*, 28(2), 195–215. <https://doi.org/10.1007/s10951-024-00817-w>

De Werra, D. (1985). An introduction to timetabling. *European Journal of Operational Research*, 19(2), 151–162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(85\)90167-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(85)90167-5)

Holm, D. S., Mikkelsen, R. Ø., Sørensen, M., & Stidsen, T. J. R. (2022). A graph-based MIP formulation of the International Timetabling Competition 2019. *Journal of Scheduling*, 25(4), 405–428. <https://doi.org/10.1007/s10951-022-00724-y>

Kingston, J. H. (2013). Educational timetabling. In A. Ş. Etaner-Uyar, E. Özcan, & N. Urquhart (Eds.), *Automated scheduling and planning: From theory to practice* (pp. 91–108). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39304-4_4

Kristiansen, S., & Stidsen, T. R. (2013). A comprehensive study of educational timetabling: A survey (DTU Management Engineering Report No. 8-2013). Technical University of Denmark.

Ongar, A. (2026). Research and development of an information system for scheduling classes for Yassawi College [Unpublished master's dissertation]. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University.

OpenAI. (2023). GPT-4 technical report (arXiv:2303.08774). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>

Perron, L., Didier, F., & Gay, S. (2023). The CP-SAT-LP solver. In R. H. C. Yap (Ed.), 29th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 2023) (Leibniz International Proceedings in Informatics [LIPIcs], Vol. 280, pp. 3:1–3:2). Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CP.2023.3>

Perron, L., & Furnon, V. (2025). OR-Tools [Computer software]. Google. <https://developers.google.com/optimization>

Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T. G., & Lee, S. Y. (2009). A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55–89. <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0077-5>

REFERENCES

Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>

Bettinelli, A., Cacchiani, V., Roberti, R., & Toth, P. (2015). An overview of curriculum-based course timetabling. *TOP*, 23(2), 313–349. <https://doi.org/10.1007/s11750-015-0366-z>

Ceschia, S., Di Gaspero, L., & Schaerf, A. (2023). Educational timetabling: Problems, benchmarks, and state-of-the-art results. *European Journal of Operational Research*, 308(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.011>

Chen, M. C., Sze, S. N., Goh, S. L., Sabar, N. R., & Kendall, G. (2021). A survey of university course timetabling problem: Perspectives, trends and opportunities. *IEEE Access*, 9, 106515–106529. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100613>

Davison, M., Kheiri, A., & Zografos, K. G. (2025). Modelling and solving the university course timetabling problem with hybrid teaching considerations. *Journal of Scheduling*, 28(2), 195–215. <https://doi.org/10.1007/s10951-024-00817-w>

De Werra, D. (1985). An introduction to timetabling. *European Journal of Operational Research*, 19(2), 151–162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(85\)90167-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(85)90167-5)

Holm, D. S., Mikkelsen, R. Ø., Sørensen, M., & Stidsen, T. J. R. (2022). A graph-based MIP formulation of the International Timetabling Competition 2019. *Journal of Scheduling*, 25(4), 405–428. <https://doi.org/10.1007/s10951-022-00724-y>

Kingston, J. H. (2013). Educational timetabling. In A. Ş. Etaner-Uyar, E. Özcan, & N. Urquhart (Eds.), *Automated scheduling and planning: From theory to practice* (pp. 91–108). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39304-4_4

Kristiansen, S., & Stidsen, T. R. (2013). A comprehensive study of educational timetabling: A survey (DTU Management Engineering Report No. 8-2013). Technical University of Denmark.

Ongar, A. (2026). Research and development of an information system for scheduling classes for Yassawi College [Unpublished master's dissertation]. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University.

OpenAI. (2023). GPT-4 technical report (arXiv:2303.08774). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>

Perron, L., Didier, F., & Gay, S. (2023). The CP-SAT-LP solver. In R. H. C. Yap (Ed.), 29th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 2023) (Leibniz International Proceedings in Informatics [LIPIcs], Vol. 280, pp. 3:1–3:2). Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CP.2023.3>

Perron, L., & Furnon, V. (2025). OR-Tools [Computer software]. Google. <https://developers.google.com/optimization>

Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T. G., & Lee, S. Y. (2009). A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55–89. <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0077-5>

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Казбекова Гулнур Нагиметовна – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Казбекова Гулнур Нагиметовна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Kazbekova Gulnur - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ahmet Yassawi University , Turkestan, Kazakhstan E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-2756-7926
2	Оңғар Әділет Жарилқасынұлы - «Түркістан Ахмет Ясауи» кәсіби колледжі, Түркістан қ., Қазақстан Оңғар Адилет Жарилқасынұлы – профессиональный колледж «им. Ахмета Ясауи», г. Туркестан, Казахстан Ongar Adilet - Ahmet Yassawi Professional college , Turkestan, Kazakhstan E-mail: ongaradilet382@gmail.com ORCID: 0009-0006-0268-9149