

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՄՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ուսեայան Մարինե Գուրգենի

**ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ՊԼԱՆՆԵՐԻ ԶԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ
ՄՈԴՈՒԼԱՅԻՆ ԵՎ ՎԵՐՋՆԱՐԴՅՈՒՆՔԱՅԻՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ
ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Ե.13.02 «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

Երևան – 2026

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Усепян Марине Гургеновна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ НА ОСНОВЕ
РАЗРАБОТКИ МОДУЛЬНЫХ И РЕЗУЛЬТАТООРИЕНТИРОВАННЫХ ПРИНЦИПОВ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.02- “Системы автоматизации”

Ереван – 2026

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝	տ.գ.թ. Գևորգ Իվանի Մարգարով
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տ.գ.դ. Աշոտ Գևորգի Հարությունյան տ.գ.թ. Կարեն Հրահատի Նիկողոսյան
Առաջատար կազմակերպություն՝	ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2026թ. հոկտեմբերի 16-ին, ժ.14³⁰-ին ՀԱՊՀ-ում գործող «Կառավարման և ավտոմատացման» 032 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2026թ. սեպտեմբերի 14-ին:

032 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Անուշ Վազգենի Մելիքյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении.

Научный руководитель:	к.т.н.	Геворг Иванович Маргаров
Официальные оппоненты:	д.т.н.	Ашот Геворгович Арутюнян
	к.т.н.	Карен Грагатович Никогосян

Ведущая организация: Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА
Защита состоится 16-го октября 2026г. В 14³⁰ на заседании Специализированного совета 032 — "Управления и автоматизации", действующего при Национальном политехническом университете Армении, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 14-го сентября 2026г.

Ученый секретарь

Специализированного совета 032 к.т.н.



Ануш Вазгеновна Меликян

Աշխատանքի արդիականությունը: Բարձրագույն կրթության ժամանակակից համակարգը թևակոխել է խորը կառուցվածքային փոխակերպումների փուլ, ինչը պայմանավորված է տեխնոլոգիաների արագընթաց զարգացմամբ, աշխատաշուկայի պահանջների դինամիկ փոփոխություններով և նոր տիպի մասնագետների պատրաստման անհրաժեշտությամբ:

Այս պայմաններում ուսումնական պլանը դադարում է լինել ստատիկ վարչական փաստաթուղթ և վերածվում է դինամիկ գործիքի, որն արտացոլում է գործատուների, ուսանողների, շրջանավարտների և պրոֆեսորադասախոսական կազմի արդի պահանջները:

Սակայն ուսումնական պլանների ձևավորման ընդունված պրակտիկան հենվում է փորձագիտական դատողությունների և ձևավորված ավանդույթների վրա՝ ոչ թե ֆորմալացված մեթոդների ու ալգորիթմների: Այս մոտեցումը հանգեցնում է մի շարք փոխկապակցված համակարգային խնդիրների:

Շահագրգիռ կողմերի կարծիքները հաշվի են առնվում սուբյեկտիվ և ոչ համակարգված կերպով, առանց վերջնարդյունքների նշանակալիությունը գնահատող քանակական մեթոդաբանության, ինչը հանգեցնում է վերջնարդյունքների ոչ օպտիմալ ընտրության և ծածկույթի:

Դասընթացների կազմի և ուսումնական պլանների մոդուլային կառուցվածքի որոշման համար բացակայում են մաթեմատիկորեն հիմնավորված չափանիշներ. դասընթացների ձևավորումն ու միջդասընթացային կապերի որոշումը հիմնված են բացառապես փորձագիտական մոտեցման վրա:

Բացի այդ, դասընթացների աշխատատարության հաշվարկը և ըստ պարապմունքների տեսակների բաշխումն իրականացվում են ֆիքսված նորմատիվային համամասնություններով, առանց հաշվի առնելու վերջնարդյունքների բովանդակային կշիռը: Դասընթացների կիսամյակային բաշխումն ևս հիմնականում իրականացվում է առանց դասընթացների միջև առկա նախապայմանային կախվածությունների համակարգված դիտարկման, ինչը հանգեցնում է ուսումնական ծանրաբեռնվածության անհամաչափ բաշխման և դասընթացային հաջորդականության տրամաբանական հիմնավորվածության խախտման:

Միջազգային հետազոտությունները հաստատում են այս խնդիրների սրությունը: Համաձայն ACM-ի և IEEE-ի կողմից մշակված CS2023 (Computer Science Curricula 2023) ստանդարտի՝ առկա է զգալի անհամապատասխանություն ակադեմիական ծրագրերի և աշխատաշուկայի արդի պահանջների միջև: Թյունինգային նախագիծը (Tuning project) մշակել է շահագրգիռ կողմերի հետ խորհրդակցությունների միջոցով վերջնարդյունքների նույնականացման մեթոդաբանություն, սակայն դասընթացների օպտիմալ ձևավորման և աշխատատարության բաշխման հարցերը դեռևս մնում են չլուծված: Հարկ է նշել նաև, որ մաթեմատիկական օպտիմալացման մեթոդների կիրառումը անմիջապես ուսումնական պլանի կառուցվածքի նախագծման համար՝

հաշվի առնելով վերջնարդյունքային և մոդուլային սկզբունքները, շահագրգիռ կողմերի պահանջները և նորմատիվային սահմանափակումները, բավարար չափով հետազոտված չէ:

Այսպիսով, մոդուլային և վերջնարդյունքային սկզբունքների հիման վրա ուսումնական պլանի ձևավորման ֆորմալացված գործընթացի ավտոմատացման խնդիրն արդիական է թե՛ գիտական հետաքրքրություն ներկայացնող խնդիրների լուծման, և թե՛ կիրառական նշանակություն ունեցող ավտոմատացված համակարգերի նախագծման տեսանկյունից:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել ուսումնական պլանների ձևավորման ֆորմալացված մեթոդներ և գործընթացի ավտոմատացված համակարգ՝ մոդուլային և վերջնարդյունքային սկզբունքների հիման վրա:

Նշված նպատակին հասնելու համար աշխատանքում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները՝

- մշակել ուսումնառության վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորման և դրանց նշանակալիության գնահատման մեթոդ՝ շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների քանակական վերլուծության հիման վրա,
- մշակել դասընթացների և ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի ձևավորման մեթոդ՝ հիմնված միջդասընթացային կապերի վրա,
- մշակել դասընթացների աշխատատարության հաշվարկման, ըստ պարապմունքների տեսակների դրա բաշխման և կիսամյակների ընթացքում դասընթացների ուսումնասիրման օպտիմալ հաջորդականության որոշման մեթոդ:

Հետազոտության օբյեկտը: Մոդուլային և վերջնարդյունքահեն մոտեցումների հիման վրա ուսումնական պլանների ձևավորման ավտոմատացումը բարձրագույն կրթության համակարգում:

Հետազոտության առարկան: Շահագրգիռ կողմերի պահանջների հաշվառմամբ՝ մոդուլային և վերջնարդյունքահեն մոտեցումների հիման վրա ուսումնական պլանների ձևավորման ավտոմատացման մեթոդները և մաթեմատիկական մոդելները:

Հետազոտության մեթոդները: Աշխատանքում կիրառվել են մաթեմատիկական վիճակագրության և կորելյացիոն վերլուծության, կլաստերային վերլուծության, բազմաչափանիշային օպտիմալացման և խառը ամբողջաթիվ ծրագրավորման, դինամիկ ծրագրավորման, գրաֆների տեսության և իտերացիոն օպտիմալացման մեթոդները:

Գիտական նորոպը: Ատենախոսական աշխատանքի գիտական նորույթը կայանում է հետևյալում՝

- մշակվել է ուսումնական պլանի վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորման և դրանց նշանակալիության գնահատման մեթոդ, որը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող մոտեցումների, ապահովում է թեմատիկորեն փոխկապակցված վերջնարդյունքների խմբերի հիմնավորված ձևավորումը՝ հիմնված շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների քանակական վերլուծության վրա,

- մշակվել է դասընթացների և ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի ձևավորման մեթոդ, որը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող մոտեցումների, ապահովում է ուսումնական պլանի երկմակարդակ կառուցվածքի՝ մաթեմատիկորեն հիմնավորված ձևավորում միջդասընթացային կապերի հիման վրա,
- մշակվել է դասընթացների աշխատատարության հաշվարկման, ըստ պարապմունքների տեսակների դրա բաշխման և դասընթացների ուսումնասիրության օպտիմալ հաջորդականության որոշման մեթոդ՝ հիմնված ուսումնառության վերջնարդյունքների կշռային գործակիցների վրա, որը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող մոտեցման, ապահովում է աշխատատարության մաթեմատիկորեն հիմնավորված բաշխում և դասընթացների հաջորդականության օպտիմալացում՝ հաշվի առնելով նախապայմանների ու աշխատատարության սահմանափակումները:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը: Մշակված մեթոդները կիրառելի են բարձրագույն ուսումնական հաստատությունների ուսումնական պլանների նախագծման, արդիականացման և որակի վերահսկման գործընթացներում: ՀԱՊՀ-ի «Ծրագրային ճարտարագիտություն» և «Տեղեկատվական անվտանգություն» մասնագիտությունների բակալավրի ու մագիստրոսի որակավորման չորս ուսումնական պլանների վրա համակարգի փորձարկումը ցույց է տվել ինտեգրալ որակի ցուցանիշի բարելավում 26–32%-ով:

Պաշտպանության ներկայացվող դրույթները:

- Ուսումնական պլանի վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորման և դրանց նշանակալիության գնահատման մեթոդ,
- Դասընթացների և ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի ձևավորման մեթոդ,
- Դասընթացների աշխատատարության հաշվարկման, ըստ պարապմունքների տեսակների դրա բաշխման և դասընթացների կիսամյակային օպտիմալ տեղաբաշխման մեթոդ:

Արդյունքների ներդրումը: Ատենախոսության արդյունքները, մասնավորապես՝ ուսումնառության վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորման, դասընթացների ու ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի ձևավորման, ինչպես նաև աշխատատարության հաշվարկման և ըստ կիսամյակների դասընթացների բաշխման մշակված մեթոդները, ներդրվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Տեղեկատվական անվտանգություն և ծրագրային ապահովում» ամբիոնի ուսումնական պլանների մշակման և արդիականացման գործընթացներում:

Աշխատանքի արդյունքների փորձարկումը: ՀԱՊՀ տարեկան գիտաժողովներում (2014, 2015, 2016), “Computer Science and Information Technologies” International Conference (2016, 2021, 2023, 2025), 28th International Conference on Interactive Collaborative Learning, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2025:

Հրապարակումներ: Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակված են 8 գիտական աշխատանքներում, որոնցից մեկը ինդեքսավորված է «SCOPUS» գիտատեղեկատվական շտեմարանում: Հոդվածների ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլխից, եզրակացությունից և գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 113 էջ՝ ներառյալ 14 նկար, 11 աղյուսակ և 1 հավելված:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածություն: Ներածության մեջ հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակները, գիտական նորույթները և հիմնական դրույթները, որոնք ներկայացվում են պաշտպանության:

Գլուխ 1-ում դիտարկվել են որակավորումների շրջանակները՝ Եվրոպական (EQF) և Հայաստանի Հանրապետության ազգային շրջանակները, որպես ուսումնառության վերջնարդյունքների կառուցվածքավորման գործիքներ, ինչպես նաև շահագրգիռ կողմերի դերը ուսումնական պլանների ձևավորման գործընթացում:

Ուսումնասիրվել է վերջնարդյունքային մոտեցումը (outcome-based approach) և KSA (Knowledge, Skills, Abilities) մոդելը, որը վերջնարդյունքները բաժանում է երեք փոխկապակցված բաղադրիչի՝ գիտելիք, հմտություն և կարողություն: Քննարկվել է նաև մոդուլային մոտեցումը և դրա ինտեգրումը վերջնարդյունքային սկզբունքների հետ, ինչպես նաև միջդասընթացային կապերի ֆորմալացված ներկայացումը ուղղորդված գրաֆի տեսքով:

Վերլուծվել են մաթեմատիկական մեթոդները՝ կիրառված ուսումնական պլանների նախագծման խնդիրներում, մասնավորապես՝ կորելյացիոն վերլուծությունը՝ ուսումնառության վերջնարդյունքների դասակարգման համար, կլաստերավորման ալգորիթմները (Ուորդի մեթոդ և K-միջինների մեթոդ)՝ կոմպետենցիաների խմբավորման համար, խառը ամբողջաթիվ ծրագրավորման մեթոդը (MIP)՝ դասընթացների կազմի օպտիմալացման համար, և դինամիկ ծրագրավորման մեթոդը՝ ըստ կիսամյակների դասընթացների բաշխման համար:

Կատարվել է ուսումնական պլանների նախագծման գոյություն ունեցող ավտոմատացված համակարգերի (Kuali, CourseLeaf, Creatrix, EQF/ESCO և հետազոտական նախատիպեր) համեմատական վերլուծություն, որը ցույց է տվել, որ դրանցից ոչ մեկը չի իրականացնում ուսումնական պլանի ավտոմատացված ձևավորման ամբողջական ցիկլը՝ շահագրգիռ կողմերի պահանջների քանակական վերլուծությունից մինչև աշխատատարության մաթեմատիկորեն հիմնավորված հաշվարկն ու ըստ կիսամյակների դասընթացների օպտիմալ բաշխումը: Սա պայմանավորել է ինտեգրված մեթոդաբանության և համապատասխան ավտոմատացված համակարգի մշակման անհրաժեշտությունը:

Գլուխ 2-ում ներկայացված է ուսումնական պլանի վերջնարդյունքների կազմի օբյեկտիվ որոշման և դրանց հիման վրա ուսումնական պլանի դասընթացների ցանկի ձևավորման մեթոդի մշակումը:

Առաջարկվող մեթոդը հիմնված է չորս փոխկապակցված փուլերի վրա՝ շահագրգիռ կողմերի կարծիքների հավաքագրում և վերլուծություն, նշանակալի վերջնարդյունքների վերհանման համար տվյալների կորելյացիոն վերլուծություն, թեմատիկորեն կապված խմբերի ձևավորման համար վերջնարդյունքների հիբրիդային կլաստերացում և ստացված կլաստերներից դասընթացների ձևավորման բազմաչափանիշ օպտիմալացում:

Սույն հետազոտության մեջ առաջարկվում է շահագրգիռ կողմերի կազմում ներառել չորս խումբ՝ գործատուներ, շրջանավարտներ, դասախոսներ և ուսանողներ:

Շահագրգիռ կողմերի հարցման համար նախատեսված հարցաթերթը ձևավորվում է վերջնարդյունքների նախնական ցանկի հիման վրա:

Յուրաքանչյուր հարցման մասնակցին առաջարկվում է Լայկերտի 10-բալանոց սանդղակով (0-ից 10) գնահատել յուրաքանչյուր վերջնարդյունքի կարևորությունը շրջանավարտի մասնագիտական գործունեության համար:

Շահագրգիռ կողմերի տարբեր խմբերի գնահատականների ագրեգացման (միավորման) համար առաջարկվում է կշռված կոնսենսուսային մոդել: C_i վերջնարդյունքի կշռված առաջնահերթության գործակիցը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij}, \quad (1)$$

որտեղ w_j -ն j -րդ խմբի շահագրգիռ կողմերի կշռային գործակիցն է, r_{ij} -ն՝ j -րդ խմբի կողմից i -րդ վերջնարդյունք տրված միջին գնահատականը, իսկ n -ը՝ շահագրգիռ կողմերի խմբերի քանակը: Կշռային գործակիցներն են՝ գործատուներ - 0,3, շրջանավարտներ - 0,25, դասախոսներ - 0,25, ուսանողներ - 0,2:

Մոդելի կայունությունը հաստատվել է զգայունության վերլուծությամբ (սահմանված միջակայքերում կշիռների փոփոխությունը հանգեցնում է դասակարգման մեջ առավելագույնը ± 2 դիրքի շեղման):

Կարծիքների համաձայնեցվածության նվազագույն թույլատրելի մակարդակի որոշման համար ներմուծվել է կոնսենսուսի քանակական չափանիշ.

$$Cons = 1 - \frac{\text{avg}(|r_{ij} - \bar{r}_i|)}{\text{max_range}}, \quad (2)$$

որտեղ $\bar{r}_i$ ՝ i -րդ վերջնարդյունքի միջին գնահատականն է շահագրգիռ կողմերի բոլոր խմբերի համար.

$$\bar{r}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad (3)$$

իսկ max_range -ը՝ կիրառվող գնահատման սանդղակի միջակայքն է, որը սահմանվում է որպես սանդղակի առավելագույն և նվազագույն արժեքների տարբերություն:

$Cons < 0,6$ դեպքում վերջնարդյունքը փոխանցվում է փորձագիտական խմբին՝ վերաձևակերպման համար:

Առաջարկվող մեթոդի շրջանակներում կորելյացիոն վերլուծությունը կիրառվում է երկու մակարդակով. առաջինը՝ շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների մշակման համար՝ վերջնարդյունքներն ըստ կարևորության աստիճանի դասակարգելու նպատակով, և երկրորդը՝ վերջնարդյունքների միջև տրամաբանական կախվածությունների բացահայտման համար, որի արդյունքը կորելյացիոն մատրիցն է՝ կլաստերացման փուլում կիրառվող բազմաբաղադրիչ մոտիկության մատրիցի տարրերից մեկը:

Երկու վերջնարդյունքների գնահատականների միջև գծային կախվածության ուժգնությունը չափելու համար կիրառվում է Պիրսոնի կորելյացիայի գործակիցը.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^M (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^M (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^M (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}}, \quad (4)$$

որտեղ M -ը հարցվողների ընդհանուր քանակն է, k — հարցվողի համարը, x_{ki} - k -րդ հարցվողի կողմից i -րդ վերջնարդյունքի գնահատականը, x_{kj} - k -րդ հարցվողի կողմից j -րդ վերջնարդյունքի գնահատականը, $\bar{x}_i$ - i -րդ վերջնարդյունքի միջին գնահատականը՝ ըստ բոլոր հարցվողների, $\bar{x}_j$ - j -րդ վերջնարդյունքի միջին գնահատականը՝ ըստ բոլոր հարցվողների: Գործակիցն ընդունում է արժեքներ $[-1, 1]$ միջակայքում:

Սահմանվել են խիստ վիճակագրական շեմեր. $|r| \geq 0.5$ (ուժեղ կապ՝ ձևավորում է կլաստերացման հիմքը), $|r| < 0.3$ (թույլ կապ):

Հարցման տվյալների կորելյացիոն վերլուծության ալգորիթմը ներառում է հինգ հաջորդական քայլ: Առաջին քայլում իրականացվում է տվյալների նախնական մշակում՝ բաց թողնված արժեքների լրացում համապատասխան խմբի միջնարժեքներով (Median) և տվյալների նորմավորում $[0, 1]$ միասնական միջակայքի: Երկրորդ քայլում հաշվարկվում է կորելյացիոն մատրիցը. վերջնարդյունքների յուրաքանչյուր զույգի (C_i, C_j) համար հաշվարկվում է r_{ij} գործակիցը՝ բոլոր շահագրգիռ կողմերի նորմավորված գնահատականների հիման վրա: Երրորդ քայլում՝ շահագրգիռ կողմերի բոլոր խմբերի միջին կշռված գնահատականների հիման վրա, հաշվարկվում են վերջնարդյունքների նորմավորված կշռային գործակիցները.

$$W_j = \frac{\bar{x}_j}{\sum_{k=1}^n \bar{x}_k} \quad (5)$$

որտեղ X_j -ն j -րդ վերջնարդյունքի կարևորության միջին կշռված գնահատականն է՝ ըստ շահագրգիռ կողմերի բոլոր խմբերի՝ հաշվի առնելով խմբերի կշռային գործակիցները: Նորմավորման պայմանն է՝ $\sum_{j=1}^n W_j = 1$: Չորրորդ քայլում իրականացվում է նշանակալի վերջնարդյունքների ընտրությունը. այն վերջնարդյունքները, որոնց կշռային գործակիցը ցածր է նվազագույն շեմային W_{min} արժեքից, դուրս են թողնվում հետագա դիտարկումից: Հինգերորդ քայլում՝ ըստ R կորելյացիոն մատրիցի, բացահայտվում են սերտորեն կապված վերջնարդյունքների խմբերը ($r \geq 0,5$), ինչը ծառայում է որպես նախնական տեղեկատվություն հաջորդող կլաստերացման համար: Ուսուցման արդյունքների միջև մոտիկության ինտեգրալային չափանիշը հաշվարկվում է բանաձևով՝

$$prox_{ij} = \alpha \cdot s_{ij} + \beta \cdot k_{ij} + \gamma \cdot p_{ij}, \quad (6)$$

որտեղ $\alpha = 0,5$ -ը իմաստաբանական մոտիկությունն է (TF-IDF), $\beta = 0,1$ -ը՝ KSA-կառուցվածքների նմանությունը, $\gamma = 0,4$ -ը՝ նախորդման հարաբերությունները, $\alpha + \beta + \gamma = 1$:

Առաջարկվող ալգորիթմի փորձարկումն իրականացվել է ՀԱՊՀ «Ծրագրային ճարտարագիտություն» մասնագիտության համար՝ 290 շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների հիման վրա: Գնահատման ինդեքսների համակարգով (Սիլուետի գործակից՝ 0.71 ± 0.08 , Davies-Bouldin՝ 0.62 , Calinski-Harabasz՝ 124.3) ապացուցվել է հիբրիդային ալգորիթմի առավելությունը լիակատար (*Complete*) և միջին (*Average*) կապի մեթոդների նկատմամբ: «Ծրագրային ճարտարագիտություն» մասնագիտության համար ստացվել է 5 օպտիմալ թեմատիկ կլաստեր (K_1 - Ծրագրավորման հիմունքներ և ալգորիթմներ, K_2 - Տվյալների բազաներ, K_3 - Որակի ապահովում, K_4 - Ենթակառուցվածք և DevOps, K_5 - Frontend և նախագծերի կառավարում), որոնք հանդիսանում են ուսումնական պլանի դասընթացների և մոդուլների ձևավորման օբյեկտիվ հիմքը:

Գլուխ 3-ում մշակվել է դասընթացների ձևավորման և ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի երկմակարդակ մեթոդ, որը որպես մուտքային տվյալներ ընդունում է վերջնարդյունքների թեմատիկ կլաստերները՝ ստացված 2-րդ գլխում առաջարկված մեթոդի կիրառման արդյունքում: Առաջին մակարդակում վերջնարդյունքների կլաստերներից ձևավորվում է դասընթացների օպտիմալ ցանկը՝ բազմաչափանիշային օպտիմալացման (MIP) մեթոդով, իսկ երկրորդ մակարդակում՝ միջդասընթացային կապերի գրաֆի հիման վրա, ձևավորվում է ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքը, այն է՝ դասընթացների թեմատիկորեն փոխկապակցված խմբերը՝ ուսումնասիրման որոշակի տրամաբանական հաջորդականությամբ: Ի տարբերություն ավանդական փորձագիտական մոտեցման՝ երկու մակարդակներն էլ ապահովում են կառուցվածքի մաթեմատիկորեն հիմնավորված ձևավորումը:

Վերջնարդյունքների թեմատիկ խմբերը փոխակերպվում են կոնկրետ դասընթացների՝ ըստ հետևյալ սկզբունքների.

1. **Թեմատիկ ամբողջականություն.** յուրաքանչյուր կլաստեր համապատասխանում է մեկ դասընթացի: Ավելցուկային վերջնարդյունքների դեպքում կլաստերը բաժանվում է:
2. **Լիարժեք ծածկույթ.** բոլոր վերջնարդյունքները պետք է ընդգրկվեն դասընթացներում:
3. **Բովանդակային կապակցվածություն.** դասընթացում ներառված վերջնարդյունքների զույգերի միջև միջին մոտիկությունը մատրիցում պետք է լինի առավելագույնը:
4. **Առաջնահերթությունների համապատասխանություն.** դասընթացի աշխատատարությունը համամասնական է վերջնարդյունքների գումարային կշռին:

KI կլաստերի գումարային կշռային գործակիցը (W_j) և դասընթացի նախնական աշխատատարությունը (D_j) հաշվարկվում են հետևյալ կերպ.

$$W_j = \sum_{i \in K_i} W_i, \quad (7)$$

որտեղ W_i -ն i -րդ կարողունակության նորմավորված կշռային գործակիցն է: Դասընթացի նախնական աշխատատարությունը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով:

$$K_j = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^n W_i} \cdot K_{\text{sum}}, \quad (8)$$

որտեղ W_j -ն դասընթացի վերջնարդյունքների գումարային կշռային գործակիցն է, K_{sum} -ը՝ ուսումնական պլանի ընդհանուր աշխատատարությունը, իսկ n -ը՝ դասընթացների քանակը: Ստացված արժեքները ճշգրտվում են բազմաչափանիշային օպտիմալացման փուլում:

Վերջնարդյունքների կլաստերացման հիման վրա ստացված դասընթացների նախնական ցանկի հստակեցման նպատակով մշակվել է բազմաչափանիշային օպտիմալացման մոդել, որը ֆորմալացվել է որպես խառը ամբողջաթիվ ծրագրավորման խնդիր (MIP): Մոդելը միաժամանակ հաշվի է առնում երեք մրցակցող չափանիշ՝ դասընթացների քանակի ու բովանդակության կրկնության նվազեցում, և թեմատիկ կապակցվածության առավելագույն ապահովում՝ ինչը թույլ է տալիս ձևավորել դասընթացների օպտիմալ ցանկը: Նպատակային ֆունկցիան ունի հետևյալ տեսքը.

$$F_{x_{ij}, y_j}^{\min} = (\omega_1 \sum_j y_j + \omega_2 \sum_{j,k} o_{jk} - \omega_3 \sum_j c_j) \quad (9)$$

որտեղ ω_1 , ω_2 , ω_3 -ն կշռային գործակիցներն են ($\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$), y_j -ն՝ j -րդ դասընթացի ձևավորման երկուական (բինար) փոփոխական է, որը հավասար է 1-ի, եթե j -րդ դասընթացը ներառված է ուսումնական պլանում, և 0-ի՝ հակառակ դեպքում, o_{jk} -ն՝ j -րդ և k -րդ դասընթացների միջև կրկնվող վերջնարդյունքների քանակը, իսկ c_j -ն՝ j -րդ դասընթացի միջին թեմատիկ կապակցվածությունը:

Գործակիցների արժեքները սահմանվել են ուսումնական պլանների նախագծման առաջնահերթությունների վերլուծության հիման վրա՝ $\omega_1 = 0,3$, $\omega_2 = 0,4$, $\omega_3 = 0,3$: Զգայունության վերլուծությունը ցույց է տվել լուծման կայունությունը, քանի որ որակի ինտեգրալային ցուցանիշը տատանվում է 0,77–0,82 միջակայքում:

Սահմանափակումների համակարգն ապահովում է ուսումնական պլանի համապատասխանությունը կրթական պահանջներին: Վերջնարդյունքների լիարժեք ծածկույթի պայմանը ներկայացվում է հետևյալ կերպ.

$$\sum_j x_{ij} \geq 1, \quad \forall i, \quad (10)$$

Դասընթացի առավելագույն ծավալի սահմանափակումը տրվում է.

$$\sum_i x_{ij} \leq MAX_{\text{COMP}} \cdot y_j, \quad \forall j, \quad (11)$$

իսկ դասընթացի նվազագույն ծավալի սահմանափակումը՝

$$\sum_i x_{ij} \geq MIN_{\text{COMP}} \cdot y_j, \quad \forall j, \quad (12)$$

որտեղ MAX_{COMP} -ը դասընթացում վերջնարդյունքների առավելագույն քանակն է (սովորաբար՝ 6–8), իսկ MIN_{COMP} -ը վերջնարդյունքների նվազագույն քանակն է (սովորաբար՝ 3–4):

Դասընթացի թեմատիկ կապակցվածության պահանջը ներկայացվում է հետևյալ ձևով.

$$c_j \geq 0,5 \cdot y_j, \quad \forall j, \quad (13)$$

որտեղ թեմատիկ կապակցվածությունը հաշվարկվում է որպես դասընթացի վերջնարդյունքների զույգերի միջին մոտիկություն.

$$c_j = \frac{2}{n_j(n_j-1)} \cdot \sum_{i < k, i, k \in D_j} prox_{ik}, \quad n_j \geq 2 \quad (14)$$

Փոփոխականների տրամաբանական կապը սահմանվում է հետևյալ կերպ.

$$x_{ij} \leq y_j, \quad \forall i, j \quad (15)$$

Խառը ամբողջաթիվ ծրագրավորման խնդիրը լուծվում է ճյուղերի և սահմանների մեթոդով՝ կլաստերացման արդյունքների վրա հիմնված էվրիստիկ նախնական արժեքավորմամբ, ինչը ապահովում է բարձրորակ սկզբնական լուծում և կրճատում է օպտիմալացման ժամանակը 60–75%-ով:

Ձևավորված ուսումնական պլանի որակի համալիր գնահատման համար մշակվել է հինգ հանգուցային ցուցանիշներից բաղկացած համակարգ: Վերջնարդյունքների ծածկույթի գործակիցը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$Coverage = \frac{covered}{total} \cdot 100\% \quad (16)$$

Ավելորդության ինդեքսը որոշվում է.

$$Redundancy = \frac{\sum d_i}{|C|} \quad (17)$$

որտեղ d_i -ն i -րդ վերջնարդյունքն ընդգրկող դասընթացների քանակն է, իսկ $|C|$ -ն՝ վերջնարդյունքների ընդհանուր քանակը:

Թեմատիկ կապակցվածության ցուցանիշը տրվում է հետևյալ կերպ.

$$Coherence = \frac{1}{|D|} \cdot \sum_j c_j, \quad (18)$$

Աշխատատարության հավասարակշռության գործակիցը հաշվարկվում է.

$$Balance = 1 - \frac{\sigma}{\mu} \quad (19)$$

որտեղ σ -ն դասընթացների աշխատատարության ստանդարտ շեղումն է, իսկ μ -ն՝ միջին արժեքը:

Շահագրգիռ կողմերի առաջնահերթություններին համապատասխանության գործակիցը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$Alignment = \frac{Cov(P, H)}{\sigma_P \cdot \sigma_H} \quad (20)$$

որտեղ P -ն վերջնարդյունքների առաջնահերթությունների վեկտորն է, իսկ H -ը՝ ժամերի բաշխման վեկտորը:

Որակի ինտեգրալային ցուցանիշը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$Quality = w_1 \cdot Coverage + w_2 \cdot (1 - Redundancy) + w_3 \cdot Coherence + w_4 \cdot Balance + w_5 \cdot Alignment, \quad (21)$$

որտեղ $w_1 = 0,3$; $w_2 = 0,15$; $w_3 = 0,25$; $w_4 = 0,15$; $w_5 = 0,15$; $\sum w_i = 1$.

Ավանդական տարբերակի ցուցանիշների հաշվարկման համար օգտագործվել է ՀԱՊՀ-ի գործող ուսումնական պլանները, որոնց դասընթացների համապատասխանությունը վերջնարդյունքների ցանկին որոշվել է դասընթացների ծրագրերի բովանդակության վերլուծության հիման վրա՝ կիրառելով որակի նույն ցուցանիշները, ինչ օպտիմալացված տարբերակի համար:

ՀԱՊՀ «Ծրագրային ճարտարագիտություն» մասնագիտության համար մոդելի կիրառումն ապահովել է համալիր որակի ինդեքսի (Quality) 31% աճ (0.61-ից մինչև 0.80) և ավելորդության (Redundancy) 57% նվազեցում:

Մեթոդի երկրորդ մակարդակում ուսումնառության վերջնարդյունքների կորելյացիոն մատրիցի հիման վրա ավտոմատ կերպով կառուցվում է միջառարկայական կապերի $G(D, E)$ ուղղորդված գրաֆը, որտեղ գագաթները համապատասխանում են դասընթացներին, իսկ (d_i, d_j) աղեղը նշանակում է, որ d_i -ն հանդիսանում է նախորդող դասընթաց d_j -ի համար: Այս մոտեցումն ապահովում է կապերի ձևավորման օբյեկտիվությունը՝ առանց փորձագիտական զույգ առ զույգ գնահատման անհրաժեշտության:

Մշակված ալգորիթմը բացահայտում և վերացնում է ցիկլերը, ինչպես նաև ոչ էական կապերը (օրինակ՝ $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ուղու առկայության դեպքում $1 \rightarrow 3$ կապը ճանաչվում է ավելորդ և հեռացվում): Գրաֆի օպտիմալացումից հետո դասընթացները բաշխվում են ըստ մակարդակների (առաջին մակարդակ՝ առանց նախորդողների դասընթացներ, հաջորդները՝ նախորդման պայմանների բավարարմանը զուգընթաց), իսկ նույն մակարդակի թեմատիկորեն կապակցված դասընթացները ձևավորում են ուսումնական պլանի մոդուլները:

Գլուխ 4-ում մշակվել է դասընթացների աշխատատարության հաշվարկման, ըստ պարապմունքների տեսակների դրա բաշխման և ըստ կիսամյակների դասընթացների ուսումնասիրման օպտիմալ հաջորդականության որոշման մեթոդ:

Դասընթացների աշխատատարության հաշվարկը հիմնված է ուսումնառության վերջնարդյունքների կշռային գործակիցների վրա: Ալգորիթմն իրականացվում է հետևյալ փուլերով. նախ դասընթացների բովանդակությունը բաժանվում է տարրական կրթական բաղադրիչների, ապա կազմվում է ուսումնառության վերջնարդյունքների և բաղադրիչների համապատասխանության երկուական մատրից:

$$WC_j = \sum_{o=1}^n W_{o_j}, \quad (22)$$

որտեղ W_o -ն՝ O_o ուսումնառության վերջնարդյունքի կշռային գործակիցն է, որը սահմանված է շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների հիման վրա, n -ը՝ C_j բաղադրիչի կողմից ձևավորվող ուսումնառության վերջնարդյունքների քանակը:

Հաջորդ փուլում բաղադրիչների միջև կապերի հիման վրա իրականացվում է դասընթացների ձևավորում, և հաշվարկվում է յուրաքանչյուր K_i դասընթացի աշխատատարությունը:

$$K_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \cdot K_{sum}, \quad (23)$$

որտեղ W_i ն i -երորդ դասընթացի բաղադրիչների ընդհանուր կշռային արժեքն է, K_{sum} ը՝ ուսումնական պլանի ընդհանուր աշխատատարությունը ECTS կրեդիտներով, n ը՝ դասընթացների քանակը: Այսպիսով, յուրաքանչյուր դասընթացի աշխատատարությունը որոշվում է նրա հարաբերական կարևորությամբ ուսումնական պլանի ընդհանուր կառուցվածքում:

Յուրաքանչյուր կիսամյակի աշխատատարությունը հաշվարկվում է թույլատրելի շեղումը հաշվի առնելով:

$$K_{Si} = \frac{K_{sum}}{n} \pm \Delta k, \quad (24)$$

որտեղ Δk ը թույլատրելի շեղումն է: Եթե կիսամյակի փաստացի աշխատատարությունը $K_s' = \sum K_i$ խախտում է տվյալ սահմանափակումը, իրականացվում է դասընթացների աշխատատարության վերահաշվարկ՝ հաշվի առնելով դրանց կշռային գործակիցները: Ուսումնական տարվա և ամբողջ ուսումնական պլանի աշխատատարության սահմանափակումները ձևակերպվում են հետևյալ կերպ.

$$K_y = \frac{K_{sum}}{n} \cdot 2, \quad K_{sum} = \sum_{y=1}^v K'_y, \quad (25)$$

որտեղ v ը ուսումնական տարիների քանակն է:

Ի տարբերություն սովորաբար կիրառվող նորմատիվային մոտեցման՝ որտեղ դասախոսությունների, գործնական և լաբորատոր պարապմունքների հարաբերակցությունը ֆիքսված է, առաջարկվող ալգորիթմը ապահովում է մաթեմատիկորեն հիմնավորված բաշխում՝ համապատասխանեցված K (Knowledge — գիտելիք), S (Skills — հմտություն) և A (Abilities — կարողություն) բաղադրիչների մասնաբաժիններին:

Առանձնացվում են պարապմունքների չորս տեսակներ. $Z1$ — դասախոսություններ, $Z2$ — գործնական պարապմունքներ, $Z3$ — լաբորատոր պարապմունքներ, $Z4$ — անհատական աշխատանք: Յուրաքանչյուր դասընթացի համար հաշվարկվում են KSA բաղադրիչների գումարային կշիռները.

$$K = \sum_{i=1}^j W_{Ki} \quad S = \sum_{i=1}^n W_{Si} \quad A = \sum_{i=1}^m W_{Ai}, \quad (26)$$

որտեղ W_{Ki} , W_{Si} , W_{Ai} - ուսումնառության վերջնարդյունքների կշիռներն են, որոնք նկարագրում են համապատասխանաբար գիտելիքները, հմտությունները և կարողությունները, իսկ j , n , m -ը՝ դրանց քանակը, և հաշվարկել դրանց տոկոսային հարաբերակցությունը:

Դասընթացի աշխատատարության բաշխումն ըստ պարապմունքների տեսակների հաշվարկվում է.

$$IZ_i = P_K \cdot k_i + P_S \cdot s_i + P_A \cdot a_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (27)$$

որտեղ IZ_i ՝ պարապմունքների տեսակներից յուրաքանչյուրի աշխատատարությունն է: Այնուհետև հաշվարկվում են շաբաթական ժամաքանակները.

$$O_i = \frac{IZ_i}{n\beta_i} \quad (28)$$

որտեղ n -ը շաբաթների քանակն է կիսամյակում, իսկ β_i -ն՝ պարապմունքի համապատասխան տեսակի գործակիցը:

Հաշվի է առնվում սահմանափակումը՝ շաբաթական ընդհանուր ծանրաբեռնվածությունը չգերազանցի ուսանողի շաբաթական առավելագույն աշխատատարությունը:

Դասախոսությունների ճշգրտված բաժինը սահմանափակվում է 20–50% միջակայքում՝ ապահովելով տեսության և պրակտիկայի հավասարակշռությունը:

Դասընթացների ըստ կիսամյակների օպտիմալ բաշխման խնդիրը ձևակերպվում է որպես դիսկրետ օպտիմալացման խնդիր և լուծվում է դինամիկ ծրագրավորման մեթոդով: Տրված են դասընթացների P բազմությունը և կիսամյակների S բազմությունը: Պահանջվում է բաշխել դասընթացներն այնպես, որ

նվազագույնի հասցվի տեղաբաշխման գումարային արժեքը՝ պահպանելով նախապայմանների հարաբերությունները և աշխատատարության սահմանափակումները:
Նպատակային ֆունկցիան.

$$TF_{\min}^{x_{ij}} = \sum_{i \in P} \sum_{j \in S} C(i, j) \cdot x_{ij} \quad (29)$$

որտեղ $C(i, j)$ -ն i -րդ դասընթացը j -րդ կիսամյակում տեղաբաշխելու արժեքն է, X_{ij} -ն՝ բինար (երկուական) փոփոխական (1, եթե i -րդ դասընթացը տեղաբաշխված է j -րդ կիսամյակում, 0՝ հակառակ դեպքում):
Սահմանափակումները.

$$\sum_{j \in S} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in P, \quad \sum_{i \in P} h_i \cdot x_{ij} \leq H_{\max}, \quad \forall j \in S, \quad (30)$$

ինչպես նաև նախապայմանների հարաբերությունները՝ նախապայման հանդիսացող դասընթացը պետք է տեղաբաշխվի ավելի վաղ կիսամյակում, քան հիմնական դասընթացը: Խնդիրը լուծվում է ռեկուրենտ առնչության միջոցով.

$$F(i, j) = \min_{k \leq j} \{F(i-1, k) + C(i, j)\} \quad (31)$$

Բազային պայմաններն են՝ $F(0, j) = 0$ բոլոր j -երի համար: Արժեքների $C(i, j)$ մատրիցը կառուցվում է դասընթացների միջև կորելյացիոն կախվածությունների և նախապատվության հարաբերությունների հիման վրա. 1 արժեքը համապատասխանում է օպտիմալ տեղաբաշխմանը, իսկ 9 արժեքը՝ խիստ անցանկալին:

Ալգորիթմն ապահովում է օպտիմալության երեք պայմանների կատարումը. բազային դասընթացները տեղաբաշխվում են մասնագիտականներից առաջ, սերտ կորելյացված դասընթացները՝ հարևան կիսամյակներում, իսկ աշխատատարությունը բաշխվում է հավասարաչափ բարդության աստիճանական աճով:

Դինամիկ ծրագրավորման ալգորիթմը փորձարկվել է ՀԱՊՀ «Ծրագրային ճարտարագիտություն» մասնագիտության համար (20 դասընթաց, 8 կիսամյակ), որի արդյունքում ստացվել է ուսումնական պլանի նախատիպ, որտեղ բազային դասընթացները տեղաբաշխված են վաղ, իսկ մասնագիտականները՝ ուշ կիսամյակներում, պահպանված են նախապայմանների բոլոր հարաբերությունները և աշխատատարության հավասարաչափ բաշխումը:

Մեթոդի առավելությունների ցուցադրման նպատակով իրականացվել է համեմատություն «ազահ» ալգորիթմի հետ, որը յուրաքանչյուր քայլում դասընթացը տեղադրում է ընթացիկ նվազագույն արժեքն ունեցող կիսամյակում՝ առանց հաշվի առնելու այդ որոշման ազդեցությունը հետագա տեղաբաշխումների վրա: «Ազահ» ալգորիթմը խախտել է նախապայմանների հարաբերությունները երեք դասընթացների դեպքում և ապահովել է գումարային արժեք, որը 23%-ով բարձր է օպտիմալից, մինչդեռ դինամիկ ծրագրավորումը երաշխավորել է գլոբալ օպտիմալ լուծում՝ առանց որևէ խախտման:

Մագիստրատուրայում ուսումնական պլան ձևավորելիս շեշտը դրված է հետազոտական բաղադրիչի վրա, և ժամանակի բաշխումը մոդուլների միջև էապես

տարբերվում է բակալավրի ուսումնական պլանից՝ պահանջելով 40–45% աշխատատարություն գիտահետազոտական գործունեությանը:

Վերջնարդյունքների W_j կշռային գործակիցները որոշվում են շահագրգիռ կողմերի ադապտացված հարցման արդյունքների կորելյացիոն վերլուծության հիման վրա՝ նորմալացման միջոցով:

Նպատակային ֆունկցիան.

$$F = \sum_{j=1}^n W_j \cdot C_j \rightarrow \max_{H_i} \quad (32)$$

մաքսիմալացնում է վերջնարդյունքների ձևավորվածության մակարդակների կշռված գումարը՝ ըստ դրանց նշանակության:

Օպտիմալացումն իրականացվում է հետևյալ սահմանափակումների դեպքում.

ա) ժամանակի նորմալացում.

$$\sum_{i=1}^m H_i = 1 \quad (33)$$

Ընդհանուր ժամանակը բաշխվում է բոլոր դասընթացների միջև:

բ) դասընթացի ծավալին ներկայացվող նվազագույն պահանջները.

$$H_i \geq H_{\min i}, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (34)$$

Յուրաքանչյուր դասընթաց ունի նվազագույն պահանջվող ծավալ:

գ) առավելագույն սահմանափակումները.

$$H_i \leq H_{\max i}, \quad \forall i = 1, \dots, m, \quad (35)$$

ինչը կանխում է ժամանակի չափից ավելի կենտրոնացումը:

դ) ուսումնական պլանին ներկայացվող պահանջները.

$$\sum_{i \in S_k} H_i \geq H_{\text{reg } k}, \quad (36)$$

բոլոր $k = 1 \dots p$ արժեքների համար՝ դասընթացների մոդուլներին ներկայացվող նորմատիվ պահանջների ապահովում, որտեղ S_k -ն k -րդ մոդուլի դասընթացների բազմությունն է:

ե) տրամաբանական կախվածություններ՝ դասընթացների ուսումնառության հաջորդականություն

$$H_{\text{prereq}} \leq H_{\text{main}}, \quad (37)$$

Օպտիմալացման խնդիրը լուծվում է պրոյեկտված գրադիենտային վերելքի խտրացիոն մեթոդով.

$$H_i^{t+1} = H_i^t + \alpha \cdot \frac{\partial F}{\partial H_i} \quad (38)$$

որտեղ t -ն խտրացիայի համարն է, α -ն՝ ուսուցման քայլը, $\partial F / \partial H_i$ -ն՝ նպատակային ֆունկցիայի գրադիենտն ըստ i -րդ դասընթացի ժամանակի բաժնի.

$$\frac{\partial F}{\partial H_i} = \sum_{j=1}^n W_j \cdot K_{ij} \cdot T_i, \quad (39)$$

Յուրաքանչյուր խտրացիայից հետո H_i -ի արժեքները պրոյեկտվում են թույլատրելի բազմության վրա՝ նորմալացման և սահմանափակումների կիրառման միջոցով: Գործընթացը շարունակվում է մինչև կայունացման պայմանի ապահովումը.

$$|F^{t+1} - F^t| \leq \varepsilon, \quad (40)$$

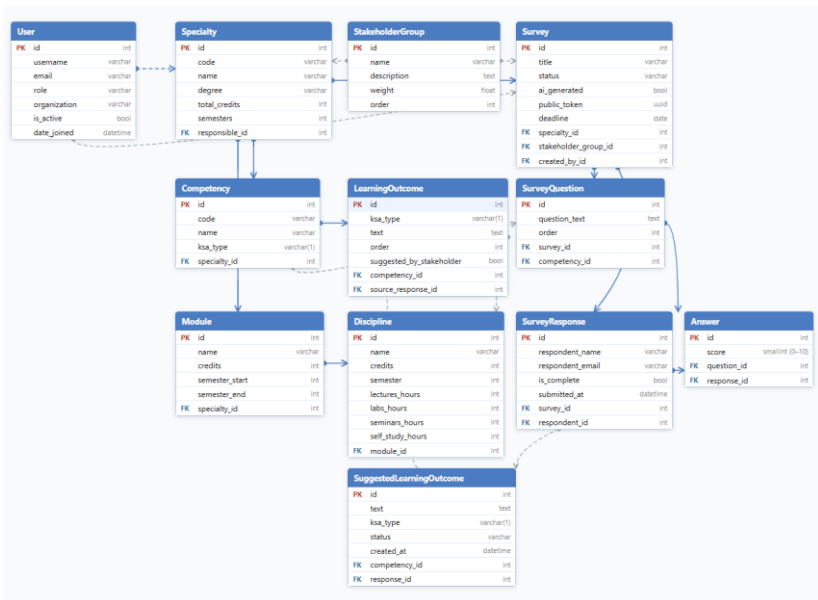
որտեղ ε -ը սահմանված ճշտությունն է:

Մոդելը փորձարկվել է ՀԱՊՀ «Ծրագրային ճարտարագիտություն» մագիստրոսական ծրագրի (120 կրեդիտ, 4 կիսամյակ) վրա՝ 105 շահագրգիռ կողմերի մասնակցությամբ, և ցույց է տվել հետազոտական դասընթացների և թվային տեխնոլոգիաների կրեդիտների զգալի աճ, ինչպես նաև նպատակային ֆունկցիայի արժեքի բարձրացում 0,422-ից մինչև 0,782 (+85,3%):

ՀԱՊՀ-ի չորս ուսումնական պլանների (երկու մասնագիտություն, երկու մակարդակ) վրա իրականացված փորձարկումները հաստատել են որակի ինտեգրալ ցուցանիշի կայուն բարելավումը +26–32% միջակայքում, ինչը վկայում է առաջարկվող մեթոդի համապիտանիության և կայուն արդյունավետության մասին:

Գլուխ 5-ում նկարագրված է մոդուլային և վերջնարդյունքային սկզբունքների հիման վրա ուսումնական պլանների մշակման ավտոմատացված համակարգի նկարագրությունը, որը միասնական ինտեգրված գործընթացում իրականացնում է 2–4-րդ գլուխների բոլոր մեթոդներն ու ալգորիթմները:

Համակարգն ունի բազմաշերտ ճարտարապետություն, որի սերվերային մասի հիմքում օգտագործվել է Django 4.2 ֆրեյմվորքը (ծրագրավորման լեզու՝ Python)՝ ապահովելով հավելվածի բազմահարկ կառուցվածքը:



Նկ. 1 curriculum_db տվյալների բազայի ER-դիագրամ

Համակարգում սահմանված են օգտատերերի երեք դեր՝ ադմինիստրատոր, որն ունի լիարժեք հասանելիություն համակարգի բոլոր տվյալներին և կարգավորումներին, պատասխանատու մասնագետ, որն անցկացնում է շահագրգիռ կողմերի հարցումը և դրա արդյունքների հիման վրա, կիրառելով մշակված մեթոդներն ու ալգորիթմները,

ձևավորում է մասնագիտության ուսումնական պլանը, և շահագրգիռ կողմ, որն ունի հասանելիություն միայն սեփական հարցաթերթիկին՝ մեկանգամյա օգտագործման հղման միջոցով:

Համակարգը ներառում է հետևյալ մոդուլները. KSA կառուցվածքներով ուսումնառության վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորում, հարցաթերթերի ձևավորում պատասխանատու անձի կամ արհեստական բանականության ինտեգրմամբ և շահագրգիռ կողմերի հարցման անցկացում, կորելյացիոն վերլուծության, կլաստերացման և MIP-օպտիմալացման ալգորիթմների կիրառում՝ ուսումնական պլանի կառուցվածքի փոփոխման առաջարկների ձևավորման համար, նորմատիվային սահմանափակումների վերահսկում (29–31 կրեդիտ կիսամյակում, 60 կրեդիտ տարում), ինչպես նաև համեմատման (բենչմարկինգի) մոդուլ՝ ԱԲ-ի կիրառմամբ ձևավորված ուսումնական պլանն աշխարհի առաջատար համալսարանների ուսումնական պլանների հետ ավտոմատ համեմատելու և բարելավելու համար:

Համակարգի փորձարկումը ՀԱԴՀ-ի «Ծրագրային ճարտարագիտություն» և «Տեղեկատվական անվտանգություն» մասնագիտությունների բակալավրի և մագիստրատուրայի չորս ուսումնական պլանների վրա հաստատել է բոլոր մոդուլների գործունակությունը՝ ինտեգրալ որակի ցուցանիշի կայուն բարելավմամբ 26–32% միջակայքով: Համեմատական վերլուծությունը բացահայտել է ուսումնական պլանի համապատասխանությունը միջազգային ստանդարտներին (240 ECTS) և ձևավորել է կոնկրետ առաջարկություններ՝ միջազգային նորմերից հայտնաբերված վեց շեղումները բարելավելու համար:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

- Մշակվել է ուսումնական պլանի վերջնարդյունքների ցանկի ձևավորման և դրանց նշանակալիության գնահատման մեթոդ, որը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող փորձագիտական մոտեցումների, ապահովում է թեմատիկորեն փոխկապակցված վերջնարդյունքների խմբերի հիմնավորված ձևավորումը՝ հիմնված շահագրգիռ կողմերի հարցման տվյալների քանակական վերլուծության վրա: [4,5,6,8]
- Մշակվել է դասընթացների և ուսումնական պլանի մոդուլային կառուցվածքի ձևավորման մեթոդ, որը, ի տարբերություն ավանդական փորձագիտական մոտեցման, ապահովում է ուսումնական պլանի կառուցվածքի երկմակարդակ մաթեմատիկորեն հիմնավորված ձևավորում: [1,5,8]
- Մշակվել է դասընթացների աշխատատարության հաշվարկման, ըստ պարապմունքների տեսակների բաշխման և կիսամյակային օպտիմալ հաջորդականության որոշման մեթոդ՝ հիմնված ուսումնառության վերջնարդյունքների կշռային գործակիցների ու KSA-կառուցվածքների վրա: Ի տարբերություն ավանդական նորմատիվային մոտեցման, այն ապահովում է աշխատատարության մաթեմատիկորեն հիմնավորված բաշխում և

դասընթացների հաջորդականության օպտիմալացում՝ հաշվի առնելով նախաապայմանների ու աշխատատարության սահմանափակումները:[2,3,4,7]

ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԱՇԽԱՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

1. **Ուսեպյան Մ.** Միջառարկայական կապերի հիման վրա ուսումնական պլանի նախագծման մեթոդ // Լրաբեր: Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան: ՀՊՃՀ. - Մաս 1. - 2014. - էջ 93-98.
2. **Ուսեպյան Մ.** Կրթական առարկաների աշխատատարության հաշվարկը տրված սահմանափակումների հիման վրա // Լրաբեր: Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան: ՀՊՃՀ.- Մաս 1. - 2015. - էջ 96-100.
3. **Усепян М.** Алгоритм распределения трудоёмкости дисциплин по видам занятий для формирования предварительного варианта учебного плана // Լրաբեր: Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան: ՀՊՃՀ. - Մաս 1. - 2016. - էջ 145-148.
4. **Margarov G., Usepyan M.** Development of Curricula Based on the Combination of Modular and Competence Approaches // International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). – Yerevan, Armenia. - 2021. – P. 282-285.
5. **Margarov G., Hambardzumyan K., Usepyan M.** Correlation Analysis of Data in the Education Management System // International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). – Yerevan, Armenia. - 2023. – P. 302-305.
6. **Usepyan M.** Development of a Mathematical Model for Master's Program Curricula Based on Labor Market Needs Analysis // International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). – Yerevan, Armenia. - 2025.- P. 348-351.
7. **Margarov G., Usepyan M., Hambardzumyan K., Hovhannisyan E.** Adaptive System for Developing Educational Programs Through Multilevel Educational Data Analysis // Innovation via Collaborative Learning in Engineering Education. - Conference paper. - 2026, P. 607-615.
8. **Margarov G., Manukyan S., Usepyan M.** A Hybrid Competency Clustering Methodology for Curriculum Structure Formation // Բանբեր: ՀԱՊՀ, Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ, էլեկտրոնիկա, ռադիոտեխնիկա.- 2026.- ՈՒ.- էջ 22-31.

AUTOMATION OF THE CURRICULUM DESIGN PROCESS BASED ON THE
DEVELOPMENT OF MODULAR AND LEARNING OUTCOME-BASED PRINCIPLES

RESUME

The modern system of higher education has entered a phase of profound structural transformation, driven by the rapid advancement of technologies, dynamic changes in labor market requirements, and the need to train specialists of a new type. Under these conditions, the curriculum ceases to be a static administrative document and becomes a dynamic tool reflecting the current demands of employers, students, graduates, and faculty.

However, the established practice of curriculum design relies on expert judgment and established traditions rather than on formalized methods and algorithms. This approach leads to a number of interrelated systemic problems.

Stakeholder opinions are taken into account in a subjective and unsystematic manner, without a quantitative methodology for assessing the significance of learning outcomes, which leads to a suboptimal selection and coverage of learning outcomes.

For determining the composition of courses and the modular structure of curricula, mathematically justified criteria are lacking: the formation of courses and the determination of inter-course relationships rely exclusively on an expert-based approach.

In addition, the calculation of course workloads and their distribution across instruction types are carried out using fixed normative proportions, without taking into account the content-related weight of learning outcomes. The semester-based placement of courses is likewise generally carried out without systematic consideration of existing prerequisite dependencies between courses, which leads to an uneven distribution of academic workload and a violation of the logical soundness of course sequencing.

International research confirms the severity of these problems. According to the CS2023 (Computer Science Curricula 2023) standard developed by ACM and IEEE, there is a significant mismatch between academic programs and current labor market requirements. The Tuning Project has developed a methodology for identifying learning outcomes through consultations with stakeholders; however, the issues of optimal course formation and workload distribution remain unresolved. It should also be noted that applying mathematical optimization methods directly to the design of curriculum structure — taking into account outcome-based and modular principles, stakeholder requirements, and regulatory constraints — has not been sufficiently investigated.

Thus, the problem of automating the formalized process of curriculum design based on modular and outcome-based principles is relevant both from the standpoint of addressing problems of scientific interest and from the standpoint of designing automated systems of practical significance.

Aim of the Work. The work aims to develop formalized methods for curriculum design and an automated system of this process, based on modular and outcome-based principles. To achieve this aim, the following research objectives were formulated and addressed:

- To develop a method for forming a list of learning outcomes and assessing their significance based on quantitative analysis of stakeholder survey data.
- To develop a method for course formation and curriculum modular structure design, based on inter-course relationships.
- To develop a method for calculating course workloads, distributing them by instruction types, and determining the optimal sequence of course study during semesters.

Practical Significance of the Work. The developed methods applicable to the processes of designing, modernizing, and quality control of educational programs in higher education institutions. System testing on four bachelor's and master's degree curricula for the "Software Engineering" and "Information Security" specialties at NPUA demonstrated a 26–32% improvement in the curriculum quality index.

Implementation of Results. The results of the dissertation, specifically the developed methods for forming learning outcomes, disciplines, and modular curriculum structure, as well as workload calculation and semester distribution, have been implemented in the curriculum development and updating process of the Department of «Information Security and Software» at the National Polytechnic University of Armenia.

The main results:

- A method for forming a list of learning outcomes and assessing their significance has been developed, which, unlike existing expert approaches, ensures the substantiated formation of thematically related groups of outcomes based on quantitative analysis of stakeholder survey data. [4,5,6,8]
- A method for course formation and curriculum modular structure design has been developed, which, unlike existing approaches, provides a mathematically substantiated, two-level design of the curriculum structure based on inter-course relationships. [1,5,8]
- A method for calculating course workloads, distributing them by instruction types, and determining the optimal sequence of course study has been developed based on the weight coefficients of learning outcomes, which, unlike the existing approach, ensures the mathematically substantiated allocation of workload and optimization of course sequencing, taking into account prerequisite and workload constraints

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЬНЫХ И РЕЗУЛЬТАТООРИЕНТИРОВАННЫХ ПРИНЦИПОВ

РЕЗЮМЕ

Современная система высшего образования вступила в фазу глубоких структурных преобразований, обусловленных стремительным развитием технологий, динамичными изменениями требований рынка труда и необходимостью подготовки специалистов нового типа. В этих условиях учебный план перестаёт быть статичным административным документом и превращается в динамичный инструмент, отражающий актуальные запросы работодателей, студентов, выпускников и профессорско-преподавательского состава.

Однако сложившаяся практика формирования учебных планов опирается на экспертные суждения и устоявшиеся традиции, а не на формализованные методы и алгоритмы. Такой подход приводит к ряду взаимосвязанных системных проблем.

Мнения заинтересованных сторон учитываются субъективным и несистематизированным образом, без количественной методологии оценки значимости результатов обучения, что приводит к неоптимальному отбору и охвату результатов обучения.

Для определения состава дисциплин и модульной структуры учебных планов отсутствуют математически обоснованные критерии: формирование дисциплин и определение междисциплинарных связей основывается исключительно на экспертном подходе. Кроме того, расчёт трудоёмкости дисциплин и её распределение по видам занятий осуществляются с фиксированными нормативными пропорциями, без учёта содержательного веса результатов обучения. Семестровое распределение дисциплин также в основном осуществляется без систематического рассмотрения имеющихся между дисциплинами отношений предшествования, что приводит к неравномерному распределению учебной нагрузки и нарушению логической обоснованности последовательности дисциплин.

Международные исследования подтверждают остроту этих проблем. Согласно стандарту CS2023 (Computer Science Curricula 2023), разработанному ACM и IEEE, наблюдается значительное несоответствие между академическими программами и актуальными требованиями рынка труда. Проект «Тюнинг» (Tuning Project) разработал методологию идентификации результатов обучения посредством консультаций с заинтересованными сторонами, однако вопросы оптимального формирования дисциплин и распределения трудоёмкости остаются нерешёнными. Следует также отметить, что применение методов математической оптимизации непосредственно к проектированию структуры учебного плана — с учётом результатно-ориентированных и модульных принципов, требований заинтересованных сторон и нормативных ограничений — недостаточно исследовано.

Таким образом, задача автоматизации формализованного процесса формирования учебного плана на основе модульных и результатно-ориентированных принципов

является актуальной как с точки зрения решения задач, представляющих научный интерес, так и с позиции проектирования автоматизированных систем, имеющих прикладное значение.

Цель работы. Целью исследования является разработка формализованных методов формирования учебных планов и автоматизированной системы этого процесса на основе модульных и результатно-ориентированных принципов. Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи исследования:

- Разработать метод формирования перечня результатов обучения и оценки их значимости на основе количественного анализа данных опроса заинтересованных сторон.
- Разработать метод формирования дисциплин и модульной структуры учебного плана, основанный на междисциплинарных связях.
- Разработать метод расчёта трудоёмкости дисциплин, её распределения по видам занятий и определения оптимальной последовательности изучения дисциплин в течение семестров.

Практическая значимость работы. Разработанные методы применимы в процессах проектирования, модернизации и контроля качества образовательных программ в высших учебных заведениях. Апробация системы на четырех учебных планах бакалавриата и магистратуры по специальностям «Программная инженерия» и «Информационная безопасность» в НПУА показала улучшение показателя качества учебного плана на 26–32%.

Внедрение результатов. Результаты диссертационной работы, в частности разработанные методы формирования результатов обучения, дисциплин и модульной структуры учебных планов, а также расчета трудоёмкости и распределения по семестрам, были внедрены в процессы разработки и обновления учебных планов кафедры «Информационная безопасность и программное обеспечение» Национального политехнического университета Армении.

Основные результаты:

- Разработан метод формирования перечня результатов обучения и оценки их значимости, который, в отличие от существующих экспертных подходов, обеспечивает обоснованное формирование тематически связанных групп результатов на основе количественного анализа данных опроса стейкхолдеров. [4,5,6,8]
- Разработан метод формирования дисциплин и проектирования модульной структуры учебного плана, который, в отличие от существующих подходов, обеспечивает математически обоснованное двухуровневое построение структуры учебного плана на основе междисциплинарных связей. [1,5,8]
- разработан метод расчёта трудоёмкости дисциплин, её распределения по видам занятий и определения оптимальной последовательности изучения дисциплин, основанный на весовых коэффициентах результатов обучения, который, в отличие от существующего подхода, обеспечивает математически обоснованное распределение трудоёмкости и оптимизацию последовательности дисциплин с учётом ограничений по предшествованию и трудоёмкости. [2,3,4,7]