

Глава 8.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ ОСВІТИ

8.1. Актуальна проблема формування математичної моделі системи університетської освіти

8.1.1. Загальні положення

Моделювання освітньої університетської системи спрямоване на пошук відповідей та варіантів оптимального вирішення задач, наведених далі та пов'язаних з організацією навчального процесу.

Формування зведених навчальних планів по напрямках підготовки.

Формування нормативних навчальних планів.

Формування доповнень до навчальних планів по наданню додаткових навчальних послуг.

Розв'язання цих трьох головних завдань носить ітеративний характер.

При формуванні зведених навчальних планів по напрямках підготовки вирішуються такі питання:

- 1.1. Оцінка максимального завантаження студентів відповідно календарю навчального процесу.
- 1.2. Оцінка максимального можливого обсягу додаткових навчальних послуг.
- 1.3. Визначення пріоритетів при реалізації концепції розвитку університету.
- 1.4. Визначення єдиного графіка навчального процесу для всіх напрямків підготовки по загальних дисциплінах.

При формуванні нормативних навчальних планів по напрямках підготовки вирішуються такі питання:

- 2.1. Встановлення мінімально допустимого обсягу аудиторних годин по дисциплінах з урахуванням нормативу – 10 студентів на одного викладача.
- 2.2. Вибір мінімально можливих обсягів аудиторних годин та їх форм проведення (лекції, групові та лабораторні).
- 2.3. Ітеративний етап корекції по роках навчання з пріоритетним навантаженням нормативною складовою поступово з молодших курсів до старших.

При формуванні доповнень до навчальних планів по наданню додаткових навчальних послуг вирішуються такі питання:

- 3.1. Визначення обсягів по дисциплінах при реалізації концепції розвитку університету.
- 3.2. Оптимізація розподілу обсягів доповнень до існуючих нормативних дисциплін та введених додатково.
- 3.3. Встановлення допустимих форм доповнень: до лекції, до групових та лабораторних занять, до консультацій.

Послідовність наведених форм доповнень доцільно впроваджувати поступово з переходом з молодших на старші роки навчання, що відповідає пп. 16, 17, 18 та 19 [48].

Після закінчення формування доповнень до навчальних планів по наданню додаткових навчальних послуг проводиться ітеративний процес корекції зведених навчальних планів. Цей процес включає сумування обсягів по формах навчання кожної з дисципліни відповідно до нормативної та додаткової складових.

Цим закінчується перша частина технології моделювання навантаження студента. Знайдені обсяги аудиторного навантаження та на самостійну роботу по кожній з дисциплін. Згідно з таким розподілом встановлюються нормативи для розробки викладачами робочих навчальних програм дисциплін, включаючи лекції, групові та лабораторні заняття, консультації, індивідуальні заняття та завдання на самостійну роботу студентів.

Друга частина технології моделювання освітньої системи для викладачів спрямована на вирішення таких задач:

- Встановлення обсягів навантаження на викладачів по напрямках підготовки відповідно до плану набору студентів університету.

- Оптимізація навантаження на викладачів та обґрунтування раціональних обсягів плану набору студентів по напрямках підготовки.
- Надання деканам факультетів та департаментів програмного забезпечення пошуку ефективних співвідношень між впроваджуваними формами навчання та індивідуальним навантаженням викладачів.
- Впровадження інформаційних технологій в роботу науково-методичних рад факультетів та департаментів з метою обґрунтування доцільних форм та обсягів навантаження викладачів по напрямках підготовки та індивідуально.
- Надання навчальній частині університету програмного забезпечення по розрахунках обсягів навантаження кафедр на поточний навчальний рік.
- Надання планово-фінансовому відділу університету програмного забезпечення формування його штатного розкладу як бюджетного, так і позабюджетного, кошторисів витрат на надання додаткових навчальних послуг, на навчання за контрактом.
- Забезпечити можливість кожному з викладачів індивідуально визначати форми навчання та обсяг свого навантаження.

У другій частині технології моделювання університетської системи освіти усі три навчальні плани, тобто зведений, нормативний та додаткових навчальних послуг, від годин на студента перетворюються у відповідні плани в годинах на викладача згідно з обсягом прийому студентів до університету.

Для цього в план вводяться змінні по кількості груп прийому та кількості підгруп для впровадження групових та лабораторних занять.

Аудиторні форми занять утворюють аудиторну складову навантаження викладачів, а самостійна робота студентів передбачає перевірку викладачами етапів її виконання. Тобто, чим ритмічніше викладач планує контроль та перевірку виконання студентами самостійної роботи, тим більш зростає обсяг його позааудиторного навантаження, тобто друга складова його робочого дня.

Оскільки державними освітньо-професійними програмами передбачаються межі між аудиторною складовою (A_3) та загальним обсягом (B) по кожній з дисциплін

$$1/3 B \leq A_3 \leq 2/3 B, \quad (8.1)$$

тому ми дійшли висновку, що визначене співвідношення у зведеному навчальному плані і встановлює цю ж пропорцію по індивідуальному навантаженню

ню на викладача. Так, якщо аудиторне навантаження викладача визначено як 460 годин на рік, а середнє співвідношення між аудиторною формою та самостійною роботою визначено як 50%, то навантаження на забезпечення самостійної роботи студента дорівнює також 460 годинам на рік. Саме тому загальне навантаження викладача навчальною роботою дорівнює сумі, тобто 920 годинам на рік.

Все наведене, на наш погляд, встановлює потребу, мету та необхідність у моделюванні освітньої системи, яка впроваджується в університеті. Тому зусилля студентів факультету комп'ютерних наук за напрямком "Інтелектуальні системи прийняття рішень" доцільно спрямувати саме на вирішення актуальних потреб університету, перетворити цю роботу з суто академічної задачі в сферу край потрібних практичних інтересів життя як студентів, так і викладачів. Вважаємо, що саме ці зусилля дозволять створити інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень в сучасному університеті класичного типу, створять демократичні засади університетського життя, сприятимуть його привабливості та гарантують розвиток його конкурентоспроможності у регіоні.

8.1.2. Матриці та змінні, які введені для формування математичної моделі освітньої системи

$VI(k, j)$ – i -й блок дисциплін за нормативними вимогами освітньо-професійних програм (ОПП), які згруповані за змістом.

Строки визначають дисципліни у блоці, а три стовпці визначають відповідно:

$j = 1$ – загальний обсяг k -ї дисципліни у кредитах;

$j = 2$ – наявність заліку;

$j = 3$ – наявність іспиту.

$VIM(p, j)$ – розподіл дисциплін за нормативними вимогами ОПП у i -му блоці на p модулів.

N – загальна кількість блоків дисциплін.

SIB – обсяг у кредитах кожного i -го блоку, скаляр.

SNB – загальний обсяг дисциплін за нормативними вимогами ОПП, у кредитах.

SDB – загальний обсяг дисциплін за додатковими навчальними послугами у кредитах.

SMB – максимальний обсяг дисциплін у кредитах.

VID (k, j) – i -й блок дисциплін, які згруповані за змістом і які надаються як додаткові навчальні послуги.

VIDM (p, j) – розподіл дисциплін у i -му блоці на p модулів, за якими надаються додаткові навчальні послуги.

S_{IDM} – обсяг дисциплін за додаткові навчальні послуги у i -му блоці.

VIZ (k, j) – i -й блок дисциплін, які згруповані за змістом і включають як нормативну, так і додаткову складові, тобто це є зведений i -й блок дисциплін.

VIZM (p, j) – i -й блок дисциплін з урахуванням розподілу на p модулів, і який включає як нормативну, так і додаткову складові.

BZ (p, j) – матриця блоків дисциплін як згорнута матриця **VIZM**.

S_{IZ} – обсяг у кредитах кожного i -го блоку з урахуванням як нормативної, так і додаткової складових, скаляр.

P ($12, L$) – матриця структури навчальної системи.

L – кількість модулів дисциплін у навчальній системі.

M ($L, 1$) – матриця модулів дисциплін у навчальній системі.

ZT ($12, j$) – матриця завантаження триместрів:

$j = 1$ – загальний обсяг дисциплін по триместрах у кредитах;

$j = 2$ – кількість заліків по триместрах;

$j = 3$ – кількість іспитів по триместрах;

KZ, KI – кількість заліків та іспитів за весь термін навчання, скалярні змінні.

KZI (i) – вектор, у i -му елементі якого визначена загальна кількість іспитів та заліків у i -му триместрі.

$B1Z, \dots, BIZ, \dots, BNZ$ (S_{iz}) – обсяг у кредитах кожного i -го блоку дисциплін (S_{iz}), скалярні змінні.

Γ_{FL} – матриця шляхів для навчальної системи з фіксованою структурою за умови, що всі комунікаційні елементи замкнуті, логічна.

Γ_{DL} – матриця шляхів у системі з динамічною структурою, логічна.

X_L – діагональна матриця стану логічних змінних, логічна.

A_{FL} – матриця існування шляхів у динамічній структурі, логічна.

$A\Gamma_L$ – матриця перебудови для системи з динамічною структурою, логічна.

$A\Gamma E_L$ – матриця існування шляхів, логічна.

E_L – одинична матриця, логічна.

\mathbf{VGE}_L – ортогоналізована матриця існування шляхів, логічна, чи матриця вибору шляхів.

\mathbf{VGE} – те ж саме, що і \mathbf{VGE}_L , але алгебраїчна.

ALT – кількість альтернативних блоків вільного вибору студентів, скаляр.

\mathbf{AF}_L – матриця перебудови для систем зі змішаною структурою, логічна.

BIZ_L – логічна змінна, яка характеризує наявність i -го блоку у шляху.

\mathbf{BZ}_L – динамічна матриця блоків, логічна.

\mathbf{AFE}_L – матриця існування шляхів для системи зі змішаною структурою, логічна.

\mathbf{AFE} – те ж саме, що і \mathbf{AFE}_L , але алгебраїчна.

ZO – загальний обсяг навчання з урахуванням блока вільного вибору студентів, скаляр.

$\mathbf{PI}(12, k)$ – субблок чи блок загальної матриці \mathbf{P} , який описує структуру i -го блоку дисциплін.

k – кількість модулів дисциплін у i -му блоці, скаляр.

$\mathbf{PIB}(12)$ – вектор, який визначає навантаження на кожний триместр дисциплінами i -го блоку, у кредитах.

\mathbf{PI}_0 – повна матриця структури системи блоку дисципліни “Мови”.

$\mathbf{PI}_0^{\text{П}}(\mathbf{PI}_0^{\text{К}})$ – повна матриця структури системи, яка враховує лише початок (кінець) кожного з елементів, для блоку дисциплін “Мови”.

\mathbf{PI} – основна матриця структури системи блоку дисципліни “Мови”.

\mathbf{PBV} – матриця, яка визначає структуру альтернативної сукупності блоку дисциплін вільного вибору студентів.

$\mathbf{V}(L, L)$ – матриця трансформації структури навчальної системи.

$\mathbf{VM}(L, 1)$ – динамічна матриця блоків дисциплін, яка утворює модель навчальної системи бакалаврату зі змінним складом.

$\mathbf{PB}(12, L)$ – динамічна матриця, яка є матричною моделлю динамічної структури навчальної системи бакалаврату.

LP – кількість модулів дисциплін за шестирічною програмою навчання.

$\mathbf{VD}(KM, 13)$ – матриця, у якій визначається розподіл годин, які відведені для кожного модуля чи дисципліни, на різні форми занять.

$KM = L$ – загальна кількість дисциплін та модулів дисциплін у навчальному плані.

$\mathbf{T3}, \mathbf{CP}, \mathbf{IC}, \mathbf{PR}, \mathbf{D}, \mathbf{TB}$ – діагональні матриці, діагональні елементи, у яких, згідно з календарем навчального плану, визначають кількість кредитів, які

відведені щотриместрово на такі форми навчання, як теоретичні заняття, самостійна робота, іспитова сесія, практика, робота над дипломом, а також на канікули.

$S_{кр} = S_{мв}$ – максимальний обсяг дисциплін у кредитах.

SR – те ж, що і $S_{кр}$, але у годинах, скаляр.

SR – діагональна матриця загального навантаження на навчання у кожному триместрі у кредитах.

TN – вектор загального щотриместрового навантаження у кредитах.

TZ, TI – вектори, які характеризують загальну кількість заліків та іспитів щотриместрово.

TL, TG, TLP, TIZ – вектори, які характеризують загальну кількість лекцій, групових занять, лабораторних та індивідуальних занять щотриместрово, у годинах.

$AZ(i)$ – матриця, яка визначає кількість аудиторних форм занять щотриместрово, у годинах.

$TGV(i)$ – вектор, який визначає кількість годин навчання на тиждень теоретичних занять на триместр, у годинах.

$VDR(KM, 13, j)$ – матриця модулів дисциплін з урахуванням розподілу на компоненти нормативну та додаткових навчальних послуг.

$TNR, TZR, TIR, TLR, TGR, TLP, TIZR$ – матриці щотриместрового навантаження з урахуванням розподілу на компоненти нормативну та додаткових навчальних послуг.

$KП, KГ, KЛР, KС$ – діагональні матриці, які характеризують кількість студентських потоків, груп, підгруп та студентів по триместрах.

$SK_L(M, M)$ – матриця, яка відображає загальний перелік студентів.

M – загальна кількість студентів на факультеті за весь термін навчання, скаляр.

V – загальна кількість викладачів, скаляр.

$XB_L(V, V)$ – діагональна матриця викладачів, логічна, яка визначає приналежність викладача до тієї чи іншої категорії.

$GMI_L(L, V)$ – матриця, яка відображає структуру взаємозв'язків кожного з модулів дисципліни з викладачами для різних форм навчання.

$GI_L(L, L)$ – діагональна матриця, яка визначає викладачів, які забезпечують кожний з модулів дисципліни для різних форм навчання.

PBF ($12, L, j$) – матриця структури системи навчання в бакалавраті за формами навчання:

$j = 1$ – наявність дисципліни чи модуля дисциплін по триместрах;

$j = 2$ – наявність лекційної форми навчання;

$j = 3$ – наявність групової форми навчання;

$j = 4$ – наявність лабораторних робіт.

ГЛ, ГГ, ГЛР, ГІЗ, ГZ, ГІ, ГРР, ГD – вектори, які визначають щотриместрове навантаження для різних форм навчання, у тому числі: лекцій, групових занять, лабораторних робіт, індивідуальних занять, заліків, іспитів, практики, курсової та дипломної роботи.

GC (V, M) – матриця, яка визначає взаємозв'язок між викладачами та студентами під час практики, курсової та дипломної роботи.

XC (V, V) – діагональна матриця, яка визначає кількість студентів на викладача під час практики, курсової та дипломної роботи.

XBC (V, V) – діагональна матриця, яка визначає кількість студентів, які працюють з викладачами тієї чи іншої категорії.

GM11 (L, V) – матриця, що визначає викладачів, які мають навантаження з практики.

GM12 (L, V) – матриця, що визначає викладачів, які мають навантаження з курсової та дипломної робіт.

G11 (L, L) – діагональна матриця, що визначає загальну кількість годин з практики на всіх викладачів.

G12 (L, L) – діагональна матриця, що визначає загальну кількість годин по практиці на всіх викладачів з курсової та дипломної робіт.

ГDH, ГKH – вектори, які визначають загальне навантаження з всіх форм занять для кожної з категорій викладачів: докторів та кандидатів наук відповідно.

SDH, SKH – загальна кількість годин з всіх форм занять за категоріями викладачів.

VJ (j) – вектор, який характеризує загальний обсяг j -го модуля дисципліни в годинах.

CAV (j) – вектор, який визначає співвідношення аудиторних форм занять до загального обсягу модуля чи дисципліни, у відсотках.

8.2. Модель університетської системи для студентів

8.2.1. Формування блоків дисциплін

Формування блоків здійснюється шляхом об'єднання тих дисциплін, які забезпечують окремий бік чи аспект при навчанні студентів за обраним напрямком підготовки.

Об'єднання дисциплін у блоці має на меті у подальшому спрощення процесу формування послідовності їх вивчення, зробити процес формування структурно-логічної схеми викладання дисциплін наочним, що в результаті спрямовано на запобігання логічних помилок.

Для прикладу сформуємо блок дисциплін, які забезпечують мовну підготовку. Назвемо цей блок "Мови".

До його складу доцільно включити такі дисципліни:

Ділова українська мова – 1 кр. – залік.

Англійська мова-1 – 6 кр. – іспит.

Блок "Мови" визначається матрицею чи таблицею блоку дисциплін:

$$\mathbf{B1} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Назва дисципліни} \\ \hline \text{Ділова українська мова} \\ \hline \text{Англійська мова – 1} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \text{Обсяг у} & \text{Форми контролю} & \\ \text{кредитах} & \text{Залік} & \text{Іспит} \\ \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline 6 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

або $\mathbf{B1}(i, j)$,

де i – кількість дисциплін у блоці; j – три параметри, які характеризують дисципліни; $\mathbf{B1}(i, 1)$ – визначає загальний обсяг, який заплановано в освітньо-професійній програмі на i -ю дисципліну, у кредитах;

$$\mathbf{B1}(i, 2) = \begin{cases} 1, & \text{якщо дисципліна завершується заліком;} \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases}$$

$$\mathbf{B1}(i, 3) = \begin{cases} 1, & \text{якщо дисципліна завершується іспитом;} \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases}$$

Таким чином, перший стовпчик матриці **V1** вміщує інформацію про обсяг дисциплін, які увійшли у блок № 1, у кредитах. Другий стовпчик визначає наявність заліку, а третій стовпчик визначає наявність іспиту, що встановлює освітньо-професійна програма за напрямком підготовки.

8.2.2. Розподіл дисциплін на модулі

Зрозуміло, що кожна дисципліна має особливості у використанні тієї чи іншої технології у навчанні. Наприклад, дисципліна “Фізичне виховання” не може бути опанована в одному чи двох триместрах. Природно, що збереження здоров’я та розвиток фізичної культури студентів доцільніше забезпечувати протягом всього терміну навчання в університеті. Тому дисципліна розподіляється на окремі модулі для кожного триместру.

Для нашого прикладу:

Фізичне виховання – 4 кр. – залік;

$$\mathbf{V2} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Розподіляємо на модулі:

$$\mathbf{V2M} = \begin{matrix} 1 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 2 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 3 & \begin{bmatrix} 0,25 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ 4 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 5 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 6 & \begin{bmatrix} 0,25 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ 7 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 8 & \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 9 & \begin{bmatrix} 0,25 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ 10 & \begin{bmatrix} 0,25 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

або **V2M** (10, 3).

Для дисципліни “Англійська мова”:

$$AM1 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{matrix} 1,0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 0 & 1 \end{matrix} .$$

У матрицях **B2M** та **AM1** кількість рядків відповідає кількості модулів, на які розподілена дисципліна і відповідає кількості триместрів, протягом яких викладаються ці модулі.

Слід зазначити, що не всі дисципліни потребують розподілу на модулі. Так, дисципліна “Ділова українська мова”, маючи обсяг у 1 кредит, вивчається лише в одному триместрі і не розподіляється на модулі.

Оскільки процес формування моделі навчального плану є суто ітеративний, то після виконання другого етапу слід повернутися до першого етапу з тим, щоб доповнити інформацію про блоки з урахуванням розподілу дисциплін на модулі.

Для блоку “Мови” модулі можна записати таким чином:

$$\begin{matrix} \text{Ділова українська мова} \\ \text{Англійська мова – 1} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{ДУМ} \\ \text{AM1} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{ДУМ} \\ \text{AM11} \\ \text{AM12} \\ \text{AM13} \\ \text{AM14} \\ \text{AM15} \\ \text{AM16} \end{matrix} ,$$

або

$$\mathbf{BIM} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ} \\ \hline \text{AM11} \\ \hline \text{AM12} \\ \hline \text{AM13} \\ \hline \text{AM14} \\ \hline \text{AM15} \\ \hline \text{AM16} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1,0 & 1 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}.$$

Завершувати цей етап роботи слід перевіркою. Як перевірку доцільно виконати підрахунок загального обсягу дисциплін у кредитах, які і утворюють модель першого рівня – модель складу освітньої системи університету.

Будемо вважати, що загальна кількість блоків дисциплін, які введені на першому етапі, – N . Тоді обсяг кожного i -го блоку підраховується за формулою:

$$S_{iB} = \text{colon}^t(1, 1_j, \dots, 1_K) \cdot \mathbf{BI}(j, 1),$$

$$S_{iB} = \text{colon}^t(1, 1_j, \dots, 1_M) \cdot \mathbf{BIM}(j, 1),$$

де \mathbf{BI} – матриця i -го блока дисциплін; \mathbf{BIM} – матриця i -го блока дисциплін з урахуванням їх розподілу на модулі; K – кількість дисциплін у i -му блоці; M – кількість модулів у i -му блоці; $\text{colon}(1, 1, \dots, 1)$ – одинична матриця стовпців; $\text{colon}^t(1, 1, \dots, 1)$ – транспонована одинична матриця стовпців чи одинична матриця рядків.

Після цього можемо підрахувати загальний обсяг дисциплін, які утворюють модель складу, виходячи з нормативних вимог ОПП:

$$S_{NB} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_N) \cdot \text{colon}(S_{1B}, S_{2B}, \dots, S_{NB}).$$

Відомо, що за нормативними вимогами ОПП загальний обсяг дисциплін, які мусять студенти опанувати за чотирирічною програмою бакалаврату, визначений як 139 кр.

Якщо за підрахунками $S_{NB}=139$, то це є свідченням відсутності помилок при виконанні 1 та 2-го етапів.

8.2.3. Визначення максимально можливого обсягу надання освітніх послуг

Відповідно до чотирирічної програми навчання у бакалавраті маємо:

1. Загальний обсяг тижнів:

- $52 \times 4 = 208$.

2. Кількість канікул:

- 2.1. Літо після 1 та 4-го курсів – 8 тижнів.
- 2.2. Літо після 2 та 3-го курсів – 8 тижнів – 2 тижні практики = 6 тижнів.
- 2.3. У середині навчального року – 3 тижні.

Загальна кількість канікул:

- $8 \times 2 + 6 \times 2 + 3 \times 4 = 16 + 12 + 12 = 40$.

3. Атестація – 2 тижня.

4. Практика – $2 \times 3 = 6$ тижнів.

Враховуючи це, маємо

- $208 - 40 - 2 = 166$ тижнів чи 166 кредитів.

Оскільки 6 тижнів відведені на практику, тоді для надання навчальних послуг максимально залишається $S_{MB} = 160$ кредитів (тижнів).

За державними вимогами в ОПП визначено $S_{NB} = 139$ кредитів. Відповідно для надання додаткових навчальних послуг залишається:

$$S_{DB} = S_{MB} - S_{NB};$$

$$S_{DB} = 160 - 139 = 21 \text{ кредит.}$$

8.2.4. Визначення моделі складу дисциплін, які надаються як додаткові навчальні послуги

За статутом НаУКМА мовами спілкування та навчання є: державна – українська та міжнародна – англійська. За європейським стандартом освіченою людиною вважається та, яка володіє п'ятьма європейськими мовами. Саме тому у концепції МФ НаУКМА про надання додаткових навчальних послуг передбачено поглиблене вивчення мовних дисциплін:

- Ділова українська мова-2 – 0,5 кр.
- Англійська мова-2 – 7,0 кр.
- Англійська мова-3 – 4,5 кр.
- Друга іноземна мова – 8,5 кр.
- Разом – 20,5 кр.

Враховуючи вищенаведене, формуємо наступні матриці.
Матриця додаткового блоку дисциплін “Мови”:

$$\mathbf{B1D} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ2} \\ \hline \text{АМ2} \\ \hline \text{АМ3} \\ \hline \text{ДІМ} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 7,0 & 0 & 0 \\ \hline 4,5 & 0 & 1 \\ \hline 8,5 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} .$$

Матриця додаткового блоку дисциплін “Мови” з урахуванням розподілу на модулі:

$$\mathbf{B1DM} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ2} \\ \hline \text{АМ21} \\ \hline \text{АМ22} \\ \hline \text{АМ23} \\ \hline \text{АМ24} \\ \hline \text{АМ25} \\ \hline \text{АМ26} \\ \hline \text{АМ31} \\ \hline \text{АМ32} \\ \hline \text{АМ33} \\ \hline \text{ДІМ1} \\ \hline \text{ДІМ2} \\ \hline \text{ДІМ3} \\ \hline \text{ДІМ4} \\ \hline \text{ДІМ5} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 1 \\ \hline 0,5 & 1 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 1 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} .$$

Обсяг додаткових навчальних послуг у блоці “Мови” розраховуємо за формулою

$$S_{1DB} = \text{colon}'(1, 1, 1, 1) \cdot \mathbf{B1D}(i, 1) = 20,5 \text{ кр.}$$

або

$$S_{1DB} = \text{colon}'(1, 1, \dots, 1) \cdot \mathbf{B1DM}(i, 1) = 20,5 \text{ кр.}$$

Для блоку “Фізичне виховання” маємо відповідно:

$$\mathbf{B2D} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B2DM} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Обсяг додаткових навчальних послуг у блоці “Фізичне виховання” розраховуємо за формулою

$$S_{2DB} = \text{colon}'(1) \cdot \mathbf{B2D}(i, 1) = 0,5 \text{ кр.}$$

або

$$S_{2DB} = \text{colon}'(1, 1, \dots, 1) \cdot \mathbf{B2DM}(i, 1) = 0,5 \text{ кр.}$$

Загальний обсяг додаткових навчальних послуг складає:

$$S_{DB} = S_{1DB} + S_{2DB} = 20,5 + 0,5 = 21 \text{ кр.,}$$

що відповідає обсягу, який було визначено на третьому етапі технології формування навчального плану.

Перш ніж перейти до етапу розподілу дисциплін за роками навчання, слід сформувати сумарні матриці блоків дисциплін з урахуванням як державної,

нормативної, складової, так і складової за планом додаткових навчальних послуг.

Для блока дисциплін “Мови” маємо

$$\mathbf{B1Z} = \mathbf{B1} + \mathbf{B1D}.$$

У формі субматриць

$$\mathbf{B1Z} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ} \\ \hline \text{АМ1} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ2} \\ \hline \text{АМ2} \\ \hline \text{АМ3} \\ \hline \text{ДІМ} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,5 & 1 & 0 \\ \hline 13,0 & 1 & 1 \\ \hline 4,5 & 0 & 1 \\ \hline 8,5 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}.$$

Якщо спиратися на розподіл за модулями, то

$$\mathbf{B1ZM} = \mathbf{B1M} + \mathbf{B1DM} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ} \\ \hline \text{АМ11} \\ \hline \text{АМ12} \\ \hline \text{АМ13} \\ \hline \text{АМ14} \\ \hline \text{АМ15} \\ \hline \text{АМ16} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{0} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{ДУМ2} \\ \hline \text{АМ21} \\ \hline \text{АМ22} \\ \hline \text{АМ23} \\ \hline \text{АМ24} \\ \hline \text{АМ25} \\ \hline \text{АМ26} \\ \hline \text{АМ31} \\ \hline \text{АМ32} \\ \hline \text{АМ33} \\ \hline \text{ДІМ1} \\ \hline \text{ДІМ2} \\ \hline \text{ДІМ3} \\ \hline \text{ДІМ4} \\ \hline \text{ДІМ5} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1,5 & 1 & 0 \\ \hline 2,5 & 0 & 0 \\ \hline 2,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 1 & 0 \\ \hline 2,5 & 0 & 0 \\ \hline 2,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 1 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 1 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,5 & 0 & 0 \\ \hline 2,0 & 0 & 0 \\ \hline 1,0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array};$$

$$S_{1Z} = \text{colon}'(1, 1, \dots, 1) \cdot \mathbf{B1ZM}(i, 1) = 27,5 \text{ кр.}$$

Для блоку дисциплін “Фізичне виховання” маємо

$$\mathbf{B2Z} = \mathbf{B2} + \mathbf{B2D},$$

або

$$\mathbf{B2Z} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,5 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Якщо врахувати розподіл за модулями, то маємо:

$$\mathbf{B2ZM} = \mathbf{D2M} + \mathbf{D2DM} = \begin{array}{c} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 3 & 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 4 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 5 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 6 & 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 7 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 8 & 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 9 & 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 10 & 0,25 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,5 & 0 & 0 \\ \hline 0,25 & 0 & 0 \\ \hline 0,75 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \end{array}.$$

$$S_{2Z} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1) \cdot \mathbf{B2ZM} (i, 1) = 4,5 \text{ кр.}$$

Для перевірки виконання розподілу на блоки та доповнення нормативної складової додатковими навчальними послугами розраховуємо максимально можливий обсяг навчання

$$S_{MB} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_N) \cdot \text{colon}(S_{1Z}, S_{2Z}, S_{3B}, \dots, S_{NB}).$$

Якщо за підрахунками виходить, що $S_{MB} = 160$ кр., то це є свідченням правильності у визначенні моделі складу освітньої системи при максимально можливому використанні робочого часу за чотири роки навчання у бакалавраті.

8.2.5. Розподіл дисциплін за роками навчання

Для здійснення зазначеного розподілу перш за все слід встановити максимальні обсяги робочого часу студентів по триместрах за чотири роки бакалаврату.

Складаємо таблицю календаря:

Рік навчання	Тримістр	Теоретичні заняття (ТЗ)	Самостійна робота (СР)	Іспитова сесія (І)	Практика (РР)	Підготовка до диплому (D)	Разом занять (R)	Атестація (А)	Канкули (К)	Разом на рік								
										T3	CP	I	PR	D	R	A	K	Всього
I	1	14	1	2	0	0	17	0	2	33	2	6	0	0	41	0	11	52
	2	13	1	2	0	0	16	0	1									
	3	6	0	2	0	0	8	0	8									
II	4	14	1	2	0	0	17	0	2	33	2	6	2	0	43	0	9	52
	5	13	1	2	0	0	16	0	1									
	6	6	0	2	2	0	10	0	6									
III	7	14	1	2	0	0	17	0	2	33	2	6	2	0	43	0	9	52
	8	13	1	2	0	0	16	0	1									
	9	6	0	2	2	0	10	0	6									
IV	10	14	1	2	0	0	17	0	2	26	2	4	2	5	39	2	11	52
	11	12	1	2	2	0	17	0	1									
	12	0	0	0	0	5	5	2	8									
Всього										125	8	22	6	5	166	2	40	208

Наведена таблиця календаря може бути записана в іншому вигляді:

Рік навчання	Тримістр	Теоретичні заняття (ТЗ)	Самостійна робота (СР)	Іспитова сесія (І)	Практика (РР)	Підготовка до диплому (D)	Разом занять (R)	Атестація (А)	Канкули (К)	Разом на рік
I	1	14	1	2	0	0	17	0	2	52
	2	13	1	2	0	0	16	0	1	
	3	6	0	2	0	0	8	0	8	
		33	2	6	0	0	41	0	11	
II	4	14	1	2	0	0	17	0	2	52
	5	13	1	2	0	0	16	0	1	
	6	6	0	2	2	0	10	0	6	
		33	2	6	2	0	43	0	9	
III	7	14	1	2	0	0	17	0	2	52
	8	13	1	2	0	0	16	0	1	
	9	6	0	2	2	0	10	0	6	
		33	2	6	2	0	43	0	9	
IV	10	14	1	2	0	0	17	0	2	52
	11	12	1	2	2	0	17	0	1	
	12	0	0	0	0	5	5	2	8	
		26	2	4	2	5	39	2	11	
Всього		125	8	22	6	5	166	2	40	208

Спираючись на наведені таблиці календаря, маємо можливість скласти таблицю розподілу дисциплін за роками навчання:

Блоки та модулі дисциплін	Всього	Триместри											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	166	17	16	8	17	16	10	17	16	10	17	17	5
B1ZM	27,5												
ДУМ1 + ДУМ2	1,5	1											
AM11 + AM21	2,5	1											
AM12 + AM22	2,5		1										
AM13 + AM23	1,5			1									
AM14 + AM24	2,5				1								
AM15 + AM25	2,5					1							
AM16 + AM26	1,5						1						
AM31	2,0							1					
AM32	1,5								1				
AM33	1,0									1			
DIM1	2,0							1					
DIM2	2,0								1				
DIM3	1,5									1			
DIM4	2,0										1		
DIM5	1,0											1	
B2ZM	4,5												
...
BNZM													
...

Наведена таблиця дозволяє перейти до алгебраїчного рівня опису освітньої системи університету:

$$P \cdot M = ZT, \tag{8.1}$$

де $M(L, 1) = \text{colon}^t(1,5; 2,5; 2,5; 1,5; 2,5; 2,5; 1,5; 2,0; 1,5; 1,0; \dots)$ – вектор модулів дисциплін, чи модель складу навчальної системи; $ZT(12, 1) = \text{colon}^t(17, 16, 8, 17, 16, 10, 17, 16, 10, 17, 17, 5)$ – матриця стовпців завантаження триместрів; $P(12, L)$ – рядки матриці P відповідають триместрам, описують їх, а стовпці – усі L модулів дисциплін у навчальній системі.

Отже, маємо типову задачу синтезу структури навчальної системи, коли задані матриці M та ZT .

Якщо матричне рівняння (2.1) записати у вигляді

$$ZT(12, 2) = P(12, L) \cdot M(L, 2),$$

тоді можемо визначити кількість заліків за чотири роки навчання:

$$KZ = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot ZT(12, 2).$$

За заданою структурою навчальної системи університету також можемо підрахувати кількість іспитів за чотири роки навчання:

$$\mathbf{ZT}(12, 3) = \mathbf{P}(12, L) \cdot \mathbf{M}(L, 3);$$

$$KI = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{ZT}(12, 3).$$

Кількість заліків та іспитів у кожному j -му триместрі з 12 розраховано в елементах матриці $\mathbf{ZT}(j, 2)$ та $\mathbf{ZT}(j, 3)$ відповідно.

Таким чином легко забезпечити контроль, коли б загальна сума заліків та іспитів у кожному j -му триместрі відповідала обмеженню:

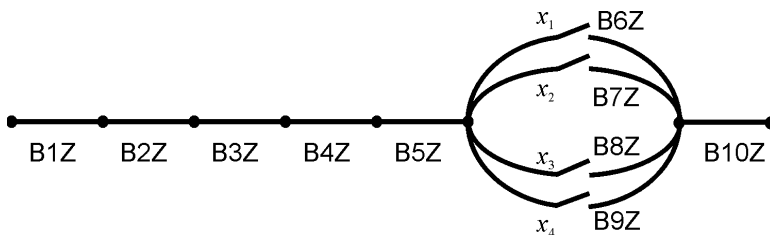
$$\mathbf{KZI}(j) = \mathbf{ZT}(j, 2) + \mathbf{ZT}(j, 3) \leq 7 \text{ одиниць.}$$

Максимально можливий обсяг навчання за заданою моделлю структури системи розраховуємо як

$$S_{MB} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{ZT}(12, 1). \quad (8.2)$$

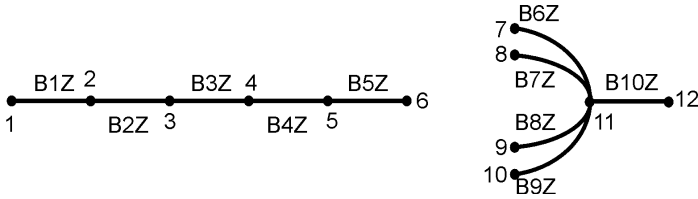
8.2.6. Альтернативна сукупність блоків дисциплін вільного вибору студентами

Матриця \mathbf{P} описує фіксовану структуру навчальної системи університету. Але цикл дисциплін вільного вибору студентів загальним обсягом 14 кредитів, як правило, формують у вигляді 3-4 блоків. Тобто на старших курсах навчання студенти повинні мати можливість вибрати один з трьох-чотирьох блоків для здобуття відповідної цьому блоку спеціалізації. У цьому випадку структура навчальної системи є суто динамічною. Граф зазначеної динамічної структури при чотирьох альтернативних блоках дисциплін вільного вибору студентів за умови, що загальна кількість блоків $N = 10$, має вигляд

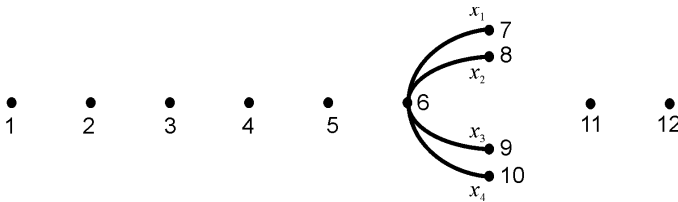


Наведений граф описує змішану структуру навчальної системи. Виділимо два окремі підграфи.

Підграф системи з фіксованою структурою:



Підграф навчальної системи з динамічною структурою:



Матриця шляхів у системі з фіксованою структурою записуємо за умови, що всі комутаційні елементи замкнуті. Цій умові відповідає стан, коли існують усі чотири маршрути:

$$\Gamma_{FL} = \begin{matrix} & \begin{matrix} B1Z & B2Z & B3Z & B4Z & B5Z & B6Z & B7Z & B8Z & B9Z & B10Z \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} T & T & T & T & T & T & & & & T \\ T & T & T & T & T & & T & & & T \\ T & T & T & T & T & & & T & & T \\ T & T & T & T & T & & & & T & T \end{bmatrix} \end{matrix} .$$

Матриця шляхів у системі з динамічною структурою

$$\Gamma_{DL} = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} T & & & \\ & T & & \\ & & T & \\ & & & T \end{bmatrix} \end{matrix} .$$

Матрицю існування шляхів сформуємо за формулою

$$\mathbf{A}_{\Gamma L} = \Gamma_{DL} \wedge \mathbf{X}_L \wedge \Gamma_{DL}^t, \tag{8.3}$$

де $\mathbf{X}_L = \text{diag}(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Об'єднаємо матрично-топологічний опис систем з фіксованою та динамічною структурами у вигляді матриці перебудови:

$$\mathbf{A}\Gamma_L = \mathbf{A}_{\Gamma_L} \wedge \Gamma_{FL}. \tag{8.4}$$

Для прикладу, який визначено на графі, маємо

$$\mathbf{A}\Gamma_L = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{|cccccc|cc|} \hline x_1 & x_1 & x_1 & x_1 & x_1 & x_1 & & & & x_1 \\ \hline x_2 & x_2 & x_2 & x_2 & x_2 & & x_2 & & & x_2 \\ \hline x_3 & x_3 & x_3 & x_3 & x_3 & & & x_3 & & x_3 \\ \hline x_4 & x_4 & x_4 & x_4 & x_4 & & & & x_4 & x_4 \\ \hline \end{array}.$$

Сформуємо матрицю

$$\mathbf{A}\Gamma_L \wedge \mathbf{A}\Gamma_L^t = \begin{array}{|cccc|} \hline x_1 & x_2x_1 & x_3x_1 & x_4x_1 \\ \hline x_1x_2 & x_2 & x_3x_2 & x_4x_2 \\ \hline x_1x_3 & x_2x_3 & x_3 & x_4x_3 \\ \hline x_1x_4 & x_2x_4 & x_3x_4 & x_4 \\ \hline \end{array}.$$

Оскільки взаємодія шляхів нас не цікавить, а цікавим є лише інформація виключно про наявність шляхів, то сформуємо матрицю існування шляхів за формулою

$$\mathbf{A}\mathbf{E}_L = \overline{\overline{\mathbf{A}\Gamma_L \wedge \mathbf{A}\Gamma_L^t} \vee \overline{\mathbf{E}_L}}, \tag{8.5}$$

де $\mathbf{E}_L = \text{diag}(T, T, T, \dots, T_{10})$ – одинична матриця логічного типу; \mathbf{E}_L – зворотна матриця від \mathbf{E}_L .

Кожний зі студентів при виборі спеціалізації формує фактично для себе свій індивідуальний навчальний план. Тобто з чотирьох блоків вільного вибору студентів потрібно залишити кожному студенту лише один. Наведену процедуру ортогоналізації запишемо як формулу

$$\mathbf{V}\mathbf{E}_L(i, i) = \mathbf{A}\mathbf{E}_L(i, i) \bigcap_{k=1}^{k=i-1} \overline{\mathbf{A}\mathbf{E}_L(k, k)}, \tag{8.6}$$

де i – робоча змінна у межах $2 \leq i \leq ALT$; ALT – кількість альтернативних блоків вільного вибору студентів. У даному прикладі $ALT = 4$.

Матриця вибору шляхів у розгорнутій формі має вигляд

$$\mathbf{BGE}_L = \begin{matrix} & x_1 & & & \\ & & x_2 x_1 & & \\ & & & x_3 x_1 x_2 & \\ & & & & x_4 x_1 x_2 x_3 \end{matrix} = \begin{matrix} F_1 & & & \\ & F_2 & & \\ & & F_3 & \\ & & & F_4 \end{matrix},$$

де $F_1 = x_1$; $F_2 = x_2 x_1$; $F_3 = x_3 x_1 x_2$; $F_4 = x_4 x_1 x_2 x_3$.

Запишемо матриці

$$\mathbf{AF}_L = \mathbf{BGE}_L \wedge \mathbf{\Gamma}_{FL}; \tag{8.7}$$

$$\mathbf{AF}_L = \begin{matrix} F_1 & F_1 & F_1 & F_1 & F_1 & F_1 & & & & F_1 \\ F_2 & F_2 & F_2 & F_2 & F_2 & & F_2 & & & F_2 \\ F_3 & F_3 & F_3 & F_3 & F_3 & & & F_3 & & F_3 \\ F_4 & F_4 & F_4 & F_4 & F_4 & & & & F_4 & F_4 \end{matrix},$$

$$\mathbf{AF}_L \wedge \mathbf{BZ}_L \wedge \mathbf{AF}_L^t =$$

$$= \begin{matrix} F_1(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B6Z}_L) & F_2 F_1 \cdot \mathbf{BF}_L & F_3 F_1 \cdot \mathbf{BF}_L & F_4 F_1 \cdot \mathbf{BF}_L \\ F_1 F_2 \cdot \mathbf{BF}_L & F_2(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B7Z}_L) & F_3 F_2 \cdot \mathbf{BF}_L & F_4 F_2 \cdot \mathbf{BF}_L \\ F_1 F_3 \cdot \mathbf{BF}_L & F_2 F_3 \cdot \mathbf{BF}_L & F_3(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B8Z}_L) & F_4 F_3 \cdot \mathbf{BF}_L \\ F_1 F_4 \cdot \mathbf{BF}_L & F_2 F_4 \cdot \mathbf{BF}_L & F_3 F_4 \cdot \mathbf{BF}_L & F_4(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B9Z}_L) \end{matrix},$$

де $\mathbf{BF}_L = \mathbf{B1Z}_L \vee \mathbf{B2Z}_L \vee \mathbf{B3Z}_L \vee \mathbf{B4Z}_L \vee \mathbf{B5Z}_L \vee \mathbf{B10Z}_L$; $\mathbf{BZ}_L = \text{diag}(\mathbf{B1Z}_L, \mathbf{B2Z}_L, \mathbf{B3Z}_L, \mathbf{B4Z}_L, \mathbf{B5Z}_L, \mathbf{B6Z}_L, \mathbf{B7Z}_L, \mathbf{B8Z}_L, \mathbf{B9Z}_L, \mathbf{B10Z}_L)$; $\mathbf{B1Z}_L$ – логічна змінна, яка характеризує наявність i -го блоку у шляху;

$$\mathbf{AFE}_L = \overline{\overline{\overline{\mathbf{AF}_L \wedge \mathbf{BZ}_L \wedge \mathbf{AF}_L^t \vee \mathbf{E}_L}}}, \tag{8.8}$$

або

$$\mathbf{AFE}_L = \begin{matrix} F_1(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B6Z}_L) & & & \\ & F_2(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B7Z}_L) & & \\ & & F_3(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B8Z}_L) & \\ & & & F_4(\mathbf{BF}_L \vee \mathbf{B9Z}_L) \end{matrix}.$$

Перейдемо від матриці **AFE_L** логічного типу до матриці **AFE** алгебраїчно-го типу:

$$\mathbf{AFE} = \begin{matrix} & f_1(\mathbf{BF}_L + \mathbf{B6Z}_L) & & & \\ & & f_2(\mathbf{BF}_L + \mathbf{B7Z}_L) & & \\ & & & f_3(\mathbf{BF}_L + \mathbf{B8Z}_L) & \\ & & & & f_4(\mathbf{BF}_L + \mathbf{B9Z}_L) \end{matrix},$$

де $f_1 = x_1$; $f_2 = x_2(1 - x_1)$; $f_3 = x_3(1 - x_1)(1 - x_2)$; $f_4 = x_3(1 - x_1)(1 - x_2)(1 - x_3)$; x_1, x_2, x_3, x_4 – алгебраїчна форма відображення логічних функцій, комутаційних елементів; $\mathbf{BF} = \mathbf{B1Z} + \mathbf{B2Z} + \mathbf{B3Z} + \mathbf{B4Z} + \mathbf{B5Z} + \mathbf{B10Z}$ – алгебраїчна сума обсягу навчання, у кредитах, кожного з блоків дисциплін, які сформовані на першому етапі формування математичної моделі навчальної системи університету; $\mathbf{B6Z}, \mathbf{B7Z}, \mathbf{B8Z}, \mathbf{B9Z}$ – обсяги навчання для кожного з альтернативних блоків вільного вибору студентів (скалярна величина).

Загальний обсяг навчання \mathbf{ZO} – скалярна величина, за обраним блоком вільного вибору студентів розраховуємо за формулою

$$\mathbf{ZO} = \text{colon}^t(1, 1, 1, 1) \cdot \mathbf{AFE} \cdot \text{colon}(1, 1, 1, 1). \tag{8.9}$$

Рівняння (8.9) також можна використовувати при формуванні не тільки скалярної величини \mathbf{ZO} , але й при переході до формування блочної матриці **P** з окремих блоків **PI**. Так, для сформованого блоку дисциплін “Мови” запишемо матрицю **PI** та матрицю **BIZ**(*i*,1):

$$\mathbf{PI}(12, 15) = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{matrix} \begin{matrix} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline \color{red}{1} & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline & \color{red}{1} & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline & & \color{red}{1} & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline & & & \color{red}{1} & & & & & & & & & & & & & \\ \hline & & & & \color{red}{1} & & & & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & \color{red}{1} & & & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & \color{red}{1} & & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & \color{red}{1} & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & \color{red}{1} & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & \color{red}{1} & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & & \color{red}{1} & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & & & \color{red}{1} & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & & & & \color{red}{1} & & & & \\ \hline & & & & & & & & & & & & & \color{red}{1} & & & \\ \hline & & & & & & & & & & & & & & \color{red}{1} & & \\ \hline & & & & & & & & & & & & & & & \color{red}{1} & \\ \hline & & & & & & & & & & & & & & & & \color{red}{1} \\ \hline \end{array} \end{matrix};$$

$$\mathbf{BIZ}(i, 1) = \text{colon}(1,5; 2,5; 2,5; 1,25; 2,5; 2,5; 1,25; 2,0; 1,5; 1,0; 2,0; 2,0; 1,5; 2,0; 1,0),$$

де 15 – кількість модулів у блоці дисциплін за назвою “Мови”; 12 – кількість триместрів за 4 роки навчання.

Матриця $P1$ і є матричною моделлю структури блоку дисциплін “Мови”.
Значення $B1Z$ можна розрахувати за формулою

$$B1Z = \text{colon}'(1, 1, \dots, 1) \cdot P1 \cdot B1Z(i, 1),$$

де $P1B(12) = P1 \cdot B1Z(i, 1)$ – вектор стовпців, який визначає навантаження на кожний триместр дисциплінами блоку “Мови”, у кредитах; $B1Z = 27,5$ кр.

Спробуємо перейти тепер від матричної форми опису структури блоку дисциплін “Мови” до її графічної форми опису графа системи. При цьому виникають, на перший погляд, труднощі, які пов’язані з тим, що кожний елемент, тобто у стовпці матриці $P1(12, 15)$, описується не парою одиниць (вхід-вихід чи початок-кінець), а лише однією одиницею.

З урахуванням того, що блок дисциплін “Мови” має відповідні входи та виходи, тобто зв’язки з довузівською та післявузівською підготовками, можемо записати повну структурну матрицю $P1_0$:

	УМ	АМ1					АМ 2		ДІМ				
0	1												
1		1											
2			1	1									
3				1	1								
4					1	1							
5						1	1						
6								1	1	1	1		
7									1	1	1		
8										1	1		
9											1	1	
10												1	
11													
12													
13													

де 0 – визначає рівень довузівської підготовки; 13 – визначає рівень підготовки після чотирирічної програми бакалаврату.

Повна матриця структури графа системи може бути записана у вигляді двох матриць

$$P1_0 = P1_0^П - P1_0^K,$$

де $P1_0^П$ – матриця, яка враховує лише початок чи вихід кожного з елементів; $P1_0^K$ – матриця, яка враховує лише кінець чи вхід кожного з елементів;

“ - ” – знак мінус, якщо елементи структури відображують орієнтований граф, інакше слід використовувати знак “+”.

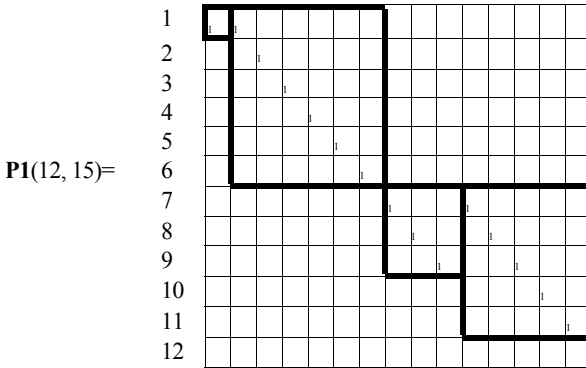
У розгорнутому вигляді матриця $P1^{\Pi}_0$ має вигляд

0	1																									
1		1																								
2			1																							
3				1																						
4					1																					
5						1																				
6							1																			
7								1																		
8									1																	
9										1																
10											1															
11												1														
12													1													
13														1												

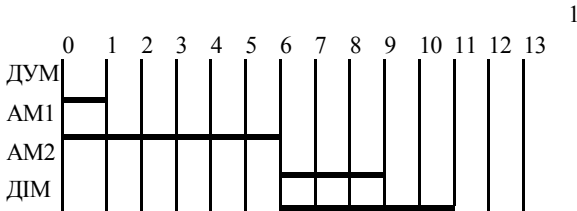
У розгорнутому вигляді матриця $P1^K_0$ має вигляд

0																											
1	1																										
2		1																									
3			1																								
4				1																							
5					1																						
6						1																					
7							1																				
8								1																			
9									1																		
10										1																	
11											1																
12												1															
13													1														

Переходячи від повної матриці структури графа системи блоку дисциплін “Мови” до основної матриці структури , запишемо:



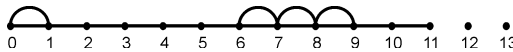
Графічна форма опису структури графа системи блоку дисциплін “Мови”, яка характеризується матрицею P_1 , має вигляд



У вигляді блочної матриці:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ДУМ	1													
АМ1	1													
АМ2	1													
ДІМ							1							

або у вигляді графа



Запишемо матричне рівняння (8.1) у вигляді

$$P(12, L) \cdot M(L, 1) = ZT(12, 1),$$

або

$$P(12, L) \cdot E(L, L) \cdot M(L, 1) = ZT(12, 1), \tag{8.10}$$

де $E(L, L)$ – одинична матриця, алгебраїчна.

Рівняння (8.10) дозволяє накреслити шлях, за яким слід сформувати таку матрицю трансформації структури навчальної системи $B(L, L)$, яка б дозволи-

ла формалізувати запис змінного складу та структури під час опису блоку дисциплін вільного вибору студентів

$$\mathbf{B}(L, L) = f(\mathbf{X}_L).$$

Тому рівняння (8.10) можна записати як

$$\mathbf{P}(12, L) \cdot \mathbf{B}(L, L) \cdot \mathbf{M}(L, 1) = \mathbf{ZT}(12, 1). \quad (8.11)$$

Перейдемо від матриці $\mathbf{ВГЕ}_L$ логічного типу до матриці $\mathbf{ВГЕ}$ алгебраїчно-ного типу. Це дозволяє записати розгорнуту ліву частину рівняння (8.11) у блочному вигляді та сформуванати рівняння (8.12):

1											
	1										
		1									
			1								
				1							
					1						
						1					
							1				
								1			
									1		
										1	
											1

•

B1Z
B2Z
B3Z
B4Z
B5Z
B6Z
B7Z
B8Z
B9Z
B10Z

= $\mathbf{ZT}(12, 1)$

(8.12)

Можна перегрупувати рівняння (8.12) двома способами.

Першим способом можемо записати як

$$\mathbf{P}(12, L) \cdot \mathbf{BM}(L, 1) = \mathbf{ZT}(12, 1), \quad (8.13)$$

де $\mathbf{BM}(L, 1)$ – динамічна матриця блоків дисциплін, яка утворює модель навчальної системи бакалаврату зі змінним складом.

У блочному варіанті запису це виглядає так:

B1Z
B2Z
B3Z
B4Z
B5Z
f_1B6Z
f_2B7Z
f_3B8Z
f_4B9Z
B10Z

•

$$\mathbf{BM}(L, 1) = \mathbf{B}(L, L) \cdot \mathbf{M}(L, 1) = \quad (8.14)$$

Другим способом можемо записати як

$$\mathbf{PB}(12, L) \cdot \mathbf{M}(L, 1) = \mathbf{ZT}(12, 1), \quad (8.15)$$

де $\mathbf{PB}(12, L)$ – динамічна матриця, яка є матричною моделлю динамічної структури навчальної системи бакалаврату.

У блочному вигляді можемо записати

$$\begin{aligned} \mathbf{PB}(12, L) &= \mathbf{P}(12, L) \cdot \mathbf{B}(L, L) = \\ &= \|\mathbf{P1}, \mathbf{P2}, \mathbf{P3}, \mathbf{P4}, \mathbf{P5}, f_1 \cdot \mathbf{P6}, f_2 \cdot \mathbf{P7}, f_3 \cdot \mathbf{P8}, f_4 \cdot \mathbf{P9}, \mathbf{P10}\|. \end{aligned} \quad (8.16)$$

Матрична модель навчальної системи (8.1) за шестирічною програмою, яка включає навчання у бакалавраті, на спеціаліста та магістра може бути записана наступним чином:

$$\mathbf{P}(18, LP) \cdot \mathbf{B}(LP, LP) \cdot \mathbf{M}(LP, 1) = \mathbf{ZT}(18, 1), \quad (8.17)$$

де 18 – кількість триместрів навчання за шестирічною програмою; LP – кількість модулів дисциплін за шестирічною програмою навчання.

Структура альтернативної сукупності блоків дисциплін вільного вибору студентів може бути описана як

$$\mathbf{PBV} = \|f_1 \cdot \mathbf{P6}, f_2 \cdot \mathbf{P7}, f_3 \cdot \mathbf{P8}, f_4 \cdot \mathbf{P9}\|,$$

де $\mathbf{P6}, \mathbf{P7}, \mathbf{P8}, \mathbf{P9}$ – матриці структури кожного з альтернативних блоків дисциплін вільного вибору студентів.

8.2.7. Структура навчальної системи з урахуванням альтернативної сукупності блоків дисциплін вільного вибору студентами

Зазначена структура як приклад описується так:

$\mathbf{PB}(12, L) = \|\mathbf{P1}, \mathbf{P2}, \mathbf{P3}, \mathbf{P4}, \mathbf{P5}, f_1 \cdot \mathbf{P6}, f_2 \cdot \mathbf{P7}, f_3 \cdot \mathbf{P8}, f_4 \cdot \mathbf{P9}, \mathbf{P10}\|$,
в узагальненому вигляді –

$$\mathbf{PB}(12, L) = \mathbf{P}(12, L) \cdot \mathbf{B}(L, L).$$

8.2.8. Розподіл годин, які передбачені на вивчення дисциплін чи модулів дисциплін за формами навчання

Засвоєння кожної з дисциплін навчального плану забезпечується шляхом використання різних форм організації навчання:

- **з викладачами:** лекції; групові заняття; лабораторні заняття чи заняття з половиною студентської групи; індивідуальна форма;

- **самостійна робота:** під час тижнів теоретичних занять; на тижні самостійної роботи студентів; під час іспитової сесії; під час практики; під час курсової чи дипломної роботи.

Організація практики, курсової роботи, курсового проекту, кваліфікаційної роботи, дипломної роботи та дипломного проекту, магістерської дисертаційної роботи має певні особливості:

- орієнтовані на окремі дисципліни чи орієнтовані на блок дисциплін за спеціалізацією;
- спираються на аудиторні групові чи тільки індивідуальні консультації.

Кожна з дисциплін визначена у навчальному плані кількістю кредитів, тобто обсягом, та послідовністю передуючих та подальших дисциплін. Наступний етап технології формування навчального плану, моделі майбутнього фахівця, передбачає деталізацію кожної з дисциплін на форми занять, які забезпечують найбільш сприятливі умови для її опанування. Для кожної дисципліни, а також для кожного модуля дисциплін формується вектор-рядок:

Обсяг на модуль чи дисципліну у кредитах	Форми підсумкового контролю		Розподіл форм занять в годинах на тиждень										%
			Теоретичні заняття					CP	IC	PR	D	CAB = =A3/ B-54	
			Лек- ції	Гру- пові	Лабо- раторні	Індиві- дуаль- ні	Сам. робот а						
B	Залік	Іспит	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

Об'єднаємо усі вектори-рядки у матрицю

$$VD \text{ (KM, 13),}$$

де KM – загальна кількість дисциплін та модулів дисциплін у навчальному плані.

Загальні обсяги навчання визначаються у календарі навчального плану. Складемо наступні діагональні матриці:

- теоретичних занять – $T3 = \text{diag} (14, 13, 6, 14, 13, 6, 14, 13, 6, 14, 12, 0)$;
- самостійної роботи студентів – $CP = \text{diag} (1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0)$;
- тижнів іспитової сесії – $IC = \text{diag} (2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 0)$;
- тижнів практик – $PR = \text{diag} (0, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 2, 0, 2, 0)$;
- тижнів роботи над курсовою та дипломною роботами – $D = \text{diag} (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 5)$.

Згідно з [49, с. 66], атестація не враховується при підрахунках робочого часу студентів:

$$S_{\text{кр}} = (52 - 8) \cdot n - 4, \quad (8.18)$$

або

$$S_R = S_{\text{кр}} \cdot 54,$$

де $S_R, S_{\text{кр}}$ – робочий час студентів у годинах та кредитах відповідно; 54 – коефіцієнт переведення робочого часу студентів у кредитах $S_{\text{кр}}$ у години S ; n – кількість років навчання; 4 – максимальна кількість тижнів, які передбачені на атестацію; 8 – мінімальна кількість тижнів канікул на рік.

Запишемо матричне рівняння, за яким розраховуємо завантаження триместрів.

Загальне триместрове навантаження у кредитах –

$$\mathbf{TN}(i) = \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 1), \quad (8.19)$$

де i – змінна, яка характеризує номер триместру; j – змінна, яка характеризує номер дисципліни чи модуля дисципліни.

Загальна кількість заліків на триместр –

$$\mathbf{TZ}(i) = \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 2). \quad (8.20)$$

Загальна кількість іспитів на триместр –

$$\mathbf{TI}(i) = \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 3). \quad (8.21)$$

Загальна кількість лекцій на триместр –

$$\mathbf{TЛ}(i) = \mathbf{TЗ}(i, i) \cdot \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 4). \quad (8.22)$$

Загальна кількість групових, лабораторних та індивідуальних занять на триместр –

$$\mathbf{TГ}(i) = \mathbf{TЗ}(i, i) \cdot \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 5); \quad (8.23)$$

$$\mathbf{TЛР}(i) = \mathbf{TЗ}(i, i) \cdot \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 6); \quad (8.24)$$

$$\mathbf{TІЗ}(i) = \mathbf{TЗ}(i, i) \cdot \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 7). \quad (8.25)$$

Підрахувавши загальну кількість іспитів на триместр, переходимо до розрахунків кількості годин, які відведені для підготовки та складання іспитів на триместр для кожної з дисциплін:

$$\mathbf{VD}(j, 10) = \begin{cases} 54 / \mathbf{TI}(i), & \text{якщо } \mathbf{VD}(j, 3) = 1; \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (8.26)$$

де i – номер триместру; j – номер дисципліни чи модуля дисципліни у i -му триместрі, з якої передбачено скласти іспит.

Кількість годин, які відведені для навчання під час тижня самостійної роботи студентів на опанування кожної з дисциплін, складає:

$$\mathbf{VD}(j, 9) = 54 / [\mathbf{TI}(i) + \mathbf{TZ}(i)]. \quad (8.27)$$

Для кожної з j -ї дисципліни задаються елементи вектора \mathbf{VD} : $\mathbf{VD}(j, 4)$ – кількість годин лекцій на тиждень; $\mathbf{VD}(j, 5)$ – кількість годин групових занять на тиждень; $\mathbf{VD}(j, 6)$ – кількість годин лабораторних занять на тиждень; $\mathbf{VD}(j, 7)$ – кількість годин індивідуальних занять на тиждень; $\mathbf{VD}(j, 11)$ – кількість годин на практику; $\mathbf{VD}(j, 12)$ – кількість годин на курсову чи дипломну роботу.

Залишається розрахувати лише кількість годин, які відведені для самостійної роботи студентів під час тижнів теоретичних занять за формулою

$$\begin{aligned} \mathbf{VD}(j, 8) = & [\mathbf{VD}(j, 1) \cdot 54 - \mathbf{VD}(j, 9) \cdot \mathbf{CP}(i, i) - \\ & - \mathbf{VD}(j, 10) \cdot \mathbf{IC}(i, i) - \mathbf{VD}(j, 11) \cdot \mathbf{PR}(i, i) - \\ & - \mathbf{VD}(j, 12) \cdot \mathbf{D}(i, i)] / \mathbf{T3}(i, i) - \mathbf{PB}(i, j) \times \\ & \times [\mathbf{VD}(j, 4) + \mathbf{VD}(j, 5) + \mathbf{VD}(j, 6) + \mathbf{VD}(j, 7)], \end{aligned} \quad (8.28)$$

де i – номер триместру; j – номер дисциплін чи модуля дисципліни у i -му триместрі.

Виконавши цей етап технології формування навчального плану, доцільно сформулювати обмеження та встановити критерії відповідності прийнятих рішень зазначеним обмеженням.

8.2.9. Обмеження по формуванню навчального плану

Загальна кількість підсумкових контролів на триместр повинна не перевищувати 7 при триместровій формі організації навчального календаря, у тому числі не більше 4 іспитів.

Тобто

$$\mathbf{TI}(i) \leq 4 \quad (8.29)$$

та

$$\mathbf{TI}(i) + \mathbf{TZ}(i) \leq 7. \quad (8.30)$$

Загальне навчальне навантаження S повинно бути не більше ніж $S_{кр}$, яке знаходимо за формулою (8.18) або (8.2) – S_{MB} . Сформуємо діагональну матрицю навчального щотриместрового навантаження \mathbf{SR} :

$$\mathbf{SR} = \mathbf{TZ} + \mathbf{CP} + \mathbf{IC} + \mathbf{PR} + \mathbf{D}. \quad (8.31)$$

Можемо записати

$$S = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1) \cdot \text{diag } \mathbf{SR} \cdot \text{colon}(1, 1, \dots, 1), \quad (8.32)$$

тоді зазначене обмеження можна записати як

$$S \leq S_{кр}. \quad (8.33)$$

Складемо діагональну матрицю канікул

$$\mathbf{TB} = \text{diag}(2, 1, 8, 2, 1, 6, 2, 1, 6, 2, 1, 8).$$

Оскільки на рік маємо 52 тижні, тоді перевіркою навчального календаря є такі умови:

На перший рік навчання – $\text{diag } \mathbf{SR}(i) = \text{diag}(17, 16, 8)$,

$$\text{colon}^t(1, 1, 1) \cdot (\text{diag } \mathbf{SR}(i) + \text{diag } \mathbf{TB}(i)) \cdot \text{colon}(1, 1, 1) = 52$$

для $1 \leq i \leq 3$.

На другий рік навчання – $\text{diag } \mathbf{SR}(i) = \text{diag}(17, 16, 10)$,

$$\text{colon}^t(1, 1, 1) \cdot (\text{diag } \mathbf{SR}(i) + \text{diag } \mathbf{TB}(i)) \cdot \text{colon}(1, 1, 1) = 52$$

для $4 \leq i \leq 6$.

На третій рік навчання – $\text{diag } \mathbf{SR}(i) = \text{diag}(17, 16, 10)$,

$$\text{colon}^t(1, 1, 1) \cdot (\text{diag } \mathbf{SR}(i) + \text{diag } \mathbf{TB}(i)) \cdot \text{colon}(1, 1, 1) = 52$$

для $7 \leq i \leq 9$.

На четвертий рік навчання – $\text{diag } \mathbf{SR}(i) = \text{diag}(17, 17, 5)$,

$$\text{colon}^t(1, 1, 1) \cdot (\text{diag } \mathbf{SR}(i) + \text{diag } \mathbf{TB}(i)) \cdot \text{colon}(1, 1, 1) = 52$$

для $10 \leq i \leq 12$.

Для спрощення процедури перевірки діагональні матриці запишемо у вигляді відповідних векторів стовпців та складемо зведену таблицю або матрицю:

Р оку	Номер триместру	Кількість тижнів за формами навчання					Ра зом <i>SR</i>	В	Т	<i>SR + A + TB</i>	Мах можл иве
		<i>T3</i>	<i>CP</i>	<i>IC</i>	<i>PR</i>	<i>D</i>					
I	1	14	1	2	0	0	17			41 + 11	52
	2	13	1	2	0	0	16		1		
	3	6	0	2	0	0	8		8		
II	4	14	1	2	0	0	17			43 + 9	52
	5	13	1	2	0	0	16		1		
	6	6	0	2	2	0	10		6		
II I	7	14	1	2	0	0	17			43 + 9	52
	8	13	1	2	0	0	16		1		
	9	6	0	2	2	0	10		6		
I V	10	14	1	2	0	0	17			41 + 11	52
	11	12	1	2	2	0	17		1		
	12	0	0	0	0	5	5		8		

Загальна кількість канікул на рік повинна бути не менше 8 тижнів. Тоді обмеження в кількості тижнів канікул має вигляд

$$\text{colon}^t(1, 1, 1) \cdot \text{diag } \mathbf{TB}(i) \cdot \text{colon}(1, 1, 1) \geq 8 \quad (8.34)$$

та відповідає для кожного з років навчання, тобто $1 \leq i \leq 3$; $4 \leq i \leq 6$; $7 \leq i \leq 9$; $10 \leq i \leq 12$.

Максимальна кількість аудиторних форм занять повинна бути не більше, ніж 36 годин. Це обмеження для кожного з триместрів запишемо у такому вигляді:

$$\mathbf{A3}(i) = \mathbf{PB}(i, j) \times$$

$$\times [\mathbf{VD}(j, 4) + \mathbf{VD}(j, 5) + \mathbf{VD}(j, 6) + \mathbf{VD}(j, 7)] \leq 36, \quad (8.35)$$

де i – номер триместра; j – номер дисципліни чи модуля дисципліни у i -му триместрі.

Загальна кількість годин навчання на тиждень теоретичних занять з урахуванням як аудиторних форм занять, так і самостійної роботи повинна не перевищувати 54 години. Це обмеження для кожного з триместрів, за умови максимального використання робочого часу студентів, запишемо у такому вигляді:

$$\mathbf{PB}(i, j) [\mathbf{VD}(j, 4) + \mathbf{VD}(j, 5) + \mathbf{VD}(j, 6) + \mathbf{VD}(j, 7) + \mathbf{VD}(j, 8)] = 54, \quad (8.36)$$

або

$$\mathbf{TГВ}(i) = [\mathbf{TЛ}(i) + \mathbf{TГ}(i) + \mathbf{TЛР}(i) + \mathbf{TІЗ}(i) + \mathbf{ТСР}(i)] = 54,$$

де $\mathbf{TГВ}(i)$ – загальна кількість годин навчання на тиждень теоретичних занять на триместр.

На даному етапі технології формування моделі навчального плану враховано усі кількісні обмеження.

Структурні обмеження на послідовність включення дисциплін до навчального плану доцільно організувати у межах кожного з введених блоків, які класифікують дисципліни за змістом. У цьому випадку можливо використовувати як процедуру аналізу підсистеми, тобто блоку дисциплін за змістом, на зв'язність, так і візуальну форму контролю. При цьому послідовність дисциплін чи модулів дисциплін у матрицях (таблицях) навчального плану повинна відповідати природному порядку читання алгоритму, тобто зверху до низу. Саме таке природне розташування послідовності вивчення дисциплін чи модулів забезпечує вигляд структурної матриці \mathbf{PB} . Тоді зазначена матриця \mathbf{PB} повинна мати форму трикутної, нижньої, тобто елементи над головною діагоналлю повинні бути нульовими, за виключенням модулів чи дисциплін, які вивчаються одноразово.

Такий візуальний спосіб контролю наочний та досить ефективний.

8.2.10. Нормативна та додаткова компоненти моделі освітньої системи

Освітньо-професійні програми визначають як нормативні, обов'язкові обсяги навчання за чотирирічною програмою бакалаврату – 139 кредитів.

Тому при формуванні нормативної компоненти навчального плану у матриці \mathbf{VD} (KM , 13) слід використовувати значення елементів матриці $\mathbf{VIM}(p, j)$. Тоді, використовуючи рівняння (8.19-8.28), розрахуємо відповідні нормативні значення векторів \mathbf{TN}_N , \mathbf{TZ}_N , \mathbf{TI}_N , $\mathbf{TЛ}_N$, $\mathbf{TГ}_N$, $\mathbf{TЛР}_N$, $\mathbf{ТІЗ}_N$.

Для перевірки досягнення встановленої норми навчального навантаження використовуємо рівняння

$$S_{\text{нор В}} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{TN}_N$$

та здійснюємо перевірку відношення

$$S_{\text{нор В}} = S_{NB} \text{ або } S_{\text{нор В}} = 139 \text{ кр.}$$

При формуванні додаткової компоненти навчального плану у матриці **VD** ($KM, 13$) слід використовувати значення елементів **VIDM** (k, j). Тоді, використовуючи рівняння (8.19-8.28), розраховуємо відповідно додаткові значення навчального навантаження у вигляді векторів **TN_D**, **TZ_D**, **TI_D**, **TL_D**, **TT_D**, **TLP_D**, **TIЗ_D**.

Для перевірки досягнення обсягу додаткових навчальних послуг використовуємо рівняння

$$S_{\text{дод В}} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{TN}_D$$

та здійснюємо перевірку відношення

$$S_{\text{дод В}} = S_{DB} \text{ або } S_{\text{дод В}} = 21 \text{ кредит.}$$

При формуванні зведеного навчального плану у матриці **VD** ($KM, 13$) слід використовувати значення елементів матриці **BIZM** (p, j). Застосовуючи рівняння (8.19-8.28), розраховуємо відповідні максимально можливі значення векторів **TN_Z**, **TZ_Z**, **TI_Z**, **TL_Z**, **TT_Z**, **TLP_Z**, **TIЗ_Z**.

Для перевірки досягнення максимального обсягу навчальних послуг використовуємо рівняння

$$S_{\text{max В}} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{TN}_Z$$

та здійснюємо перевірку відношення

$$S_{\text{max В}} = S_{MB} \text{ або } S_{\text{max В}} = 160 \text{ кредитів.}$$

Наведену процедуру розрахунків складових навчального плану доцільно організувати, якщо ввести наступні матриці:

VDR ($KM, 13, j$) – матриця модулів дисциплін, яка має три площини:

$j = 1$ – елементи матриці містять сумарні значення модулів дисциплін з урахуванням як нормативної компоненти, так і додаткових навчальних послуг;

$j = 2$ – елементи матриці містять значення модулів дисциплін виключно для нормативних вимог, тобто державна компонента;

$j = 3$ – елементи матриці містять значення модулів дисциплін, які введені як додаткові навчальні послуги;

TNR ($12, j$), **TZR** ($12, j$), **TIR** ($12, j$), **TLR** ($12, j$), **TGR** ($12, j$), **TLPR** ($12, j$), **TIЗR** ($12, j$) – матриці щотриместрового навантаження, які відрізняються від наведених вище лише тим, що, як і матриця **VDR**, мають складові: зведену ($j = 1$), нормативну ($j = 2$) та додаткову ($j = 3$).

8.3. Модель університетської системи для викладачів

8.3.1. Формування матриць вхідних даних та розрахунків кількості ставок за категоріями викладачів

Формування навчального плану в годинах для викладачів здійснюється з метою розрахунку навантаження для кожного викладача окремо, для кожної з кафедр, для факультетів, спеціальностей і для закладу в цілому.

Результати розрахунків дозволяють обґрунтувати норму навантаження для різних категорій викладачів: штатних та сумісників, докторів, кандидатів та викладачів без ступеня. При цьому інтегральним показником відповідності навчального плану існуючим вимогам виступає співвідношення кількості студентів до кількості викладачів, тобто 10 до 1.

Як вхідні дані потрібно сформувані діагональні матриці, які визначають кількість потоків, студентських груп та підгруп, студентів у кожному триместрі. Маємо наступні матриці, які характеризують: **КП** (12, 12) – кількість студентських потоків; **КГ** (12, 12) – кількість студентських груп; **КЛР** (12, 12) – кількість студентських підгруп; **КС** (12, 12) – кількість студентів по триместрах; **СК_L** (M , M) – загальний перелік студентів; M – загальна кількість студентів на факультеті за весь термін навчання.

Розрахунки виконуємо для окремого напрямку підготовки, тобто спираючись на спеціальність. Вхідна інформація про викладачів групується у вигляді табл. 8.1.

Оскільки необхідно розраховувати навантаження окремо для штатників та сумісників, докторів наук, кандидатів наук та викладачів без ступеню, тому введемо діагональну логічну матрицю викладачів

$$\mathbf{XB}_L(V, V), \quad (8.37)$$

де V – загальна кількість викладачів.

В залежності від завдання елементи діагональної матриці \mathbf{XB}_L будуть приймати значення *TRUE* або *FALSE*.

Для встановлення взаємозв'язку між кожним з L модулів дисциплін і кожним з V викладачів вводимо структурну матрицю

$$\mathbf{GM}_L(L, V). \quad (8.38)$$

Таблиця 8.1

	Прізвище, ім'я, по батькові	Штатний чи сумісник	Факультет	Кафедра	Науковий ступінь	Вчене звання	Стаж
	Тригуб П.М.	1	4	1	1	1	4
...		Ш	C	C ₁	ДН	ПР	5
		C	F	C ₂	КН	ДО	10
			E	F ₁	БС	СНС	15
			D	F ₂			20
			R	E ₁			
			L	E ₂			
			S	P ₁			
				P ₂			
				R ₁			
				R ₂			
				R ₃			
				L ₁			
				S ₁			

Для розрахунку щотриместрового навантаження за лекційною формою навантаження введемо матрицю

$$\mathbf{G4}_L(L, L) = \overline{\overline{\overline{\overline{\mathbf{GM4}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM4}'_L(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}}}}} \quad (8.39)$$

де $\mathbf{GM4}_L(L, V)$ – матриця, що визначає викладача, який має лекційне навантаження.

Перейдемо до алгебраїчної форми матриці $\mathbf{G4}(L, L)$.

Сформуємо тепер вектор лекційного щотриместрового навантаження

$$\begin{aligned} \mathbf{ГЛ}(12) &= \mathbf{ТЗ}(12, 12) \cdot \mathbf{КП}(12, 12) \times \\ &\times \mathbf{РВФ}(12, L, 2) \cdot \mathbf{G4}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 4). \end{aligned} \quad (8.40)$$

Якщо матриця \mathbf{XB}_L містить інформацію виключно про одного викладача, тоді рівняння (8.39) і (8.40) дозволяють сформулювати індивідуальне лекційне навантаження цього викладача.

Якщо матриця \mathbf{XB}_L містить інформацію про всіх докторів наук, то відповідно за рівняннями (8.39) та (8.40) вектор $\mathbf{ГЛ}(12)$ характеризує загальне щотриместрове навантаження усіх докторів.

Так само розраховуємо лекційне навантаження і для інших категорій викладачів.

У рівнянні (8.40) визначають: **G4** – наявність того чи іншого з викладачів або групи викладачів за обраною категорією; **PBF** (12, L, 2) – наявність лекційної форми навчання; **VD** – обсяг в годинах лекційної форми навчання L-го модуля дисциплін; **KП** – кількість студентських потоків, як правило – одинична; **T3** – кількість тижнів теоретичних занять щотриместрово.

Для розрахунків щотриместрового навантаження за груповою формою навчання введемо матрицю

$$\mathbf{G5}_L(L, L) = \overline{\overline{\mathbf{GM5}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM5}'_L(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}, \quad (8.41)$$

де $\mathbf{GM5}_L(V, L)$ – матриця, що визначає викладача, який має групі заняття.

Перейдемо до алгебраїчної форми матриці $\mathbf{G5}(L, L)$.

Сформуємо вектор щотриместрового навантаження за груповою формою занять:

$$\begin{aligned} \mathbf{ГГ}(12) &= \mathbf{T3}(12, 12) \cdot \mathbf{КГ}(12, 12) \times \\ &\times \mathbf{PBF}(12, L, 3) \cdot \mathbf{G5}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 5). \end{aligned} \quad (8.42)$$

Для лабораторних робіт можемо записати:

$$\mathbf{G6}_L(L, L) = \overline{\overline{\mathbf{GM6}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM6}'_L(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}; \quad (8.43)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{ГЛР}(12) &= \mathbf{T3}(12, 12) \cdot \mathbf{КЛР}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 4) \times \\ &\times \mathbf{G6}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 6). \end{aligned} \quad (8.44)$$

Для індивідуальної форми занять запишемо:

$$\mathbf{G7}_L(L, L) = \overline{\overline{\mathbf{GM7}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM7}'_L(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}; \quad (8.45)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{ГI3}(i) &= \mathbf{T3}(12, 12) \cdot \mathbf{КC}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 1) \times \\ &\times \mathbf{G7}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 7). \end{aligned} \quad (8.46)$$

Для врахування навантаження викладачів під час заліків та іспитів можна записати:

$$\mathbf{G2}_L(L, L) = \overline{\overline{\mathbf{GM2}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM2}_L^t(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}; \quad (8.47)$$

$$\mathbf{GZ} = \mathbf{KG}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 1) \cdot \mathbf{G2}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 2) \cdot 6 \text{ годин}; \quad (8.48)$$

$$\mathbf{G3}_L(L, L) = \overline{\overline{\mathbf{GM3}_L(L, V) \wedge \mathbf{XB}_L(V, V) \wedge \mathbf{GM3}_L^t(V, L) \vee \mathbf{E}_L}}; \quad (8.49)$$

$$\mathbf{GI}(12) = \mathbf{KG}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 1) \cdot \mathbf{G3}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 3) \cdot 8 \text{ годин}. \quad (8.50)$$

Для врахування навантаження викладачів під час практики, курсової та дипломної робіт можна записати:

$$\mathbf{XC}(V, V) = \text{diag}(\mathbf{GC}(V, M) \cdot \mathbf{CK}(M, M) \cdot \mathbf{GC}^t(M, V)), \quad (8.51)$$

де $\mathbf{GC}(V, M)$ – матриця, що визначає викладачів зі студентами, які мають навантаження з практики, курсової та дипломної робіт; M – загальна кількість студентів.

Діагональні елементи $\mathbf{XC}(V, V)$ визначають кількість студентів, які працюють з викладачем.

Сформуємо матриці:

$$\mathbf{XBC}(V, V) = \mathbf{XB}(V, V) \cdot \mathbf{XC}(V, V); \quad (8.52)$$

$$\mathbf{G11}(L, L) = \text{diag}(\mathbf{GM11}(L, V) \cdot \mathbf{XBC}(V, V) \cdot \mathbf{GM11}^t(V, L)), \quad (8.53)$$

де $\mathbf{GM11}(L, V)$ – матриця, що визначає викладачів, які мають навантаження з практики.

$$\mathbf{G12}(L, L) = \text{diag}(\mathbf{GM12}(L, V) \cdot \mathbf{XBC}(V, V) \cdot \mathbf{GM12}^t(V, L)), \quad (8.54)$$

де $\mathbf{GM12}(L, V)$ – матриця, що визначає викладачів, які мають навантаження з курсової та дипломної робіт.

Остаточно формуємо вектори щотриместрового навантаження під час практики:

$$\mathbf{GPR}(12) = \mathbf{PR}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 1) \cdot \mathbf{G11}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 11); \quad (8.55)$$

та під час курсової та дипломної робіт:

$$\mathbf{GD}(12) = \mathbf{D}(12, 12) \cdot \mathbf{PBF}(12, L, 1) \cdot \mathbf{G12}(L, L) \cdot \mathbf{VD}(L, 12). \quad (8.56)$$

Виконуючи розрахунки для кожної з категорій викладачів, можемо розрахувати сумарне навантаження з усіх форм занять. Наприклад, для докторів наук:

$$\mathbf{GDH} = \mathbf{GL}' + \mathbf{GG}' + \mathbf{GLP}' + \mathbf{GIZ}' + \mathbf{GZ}' + \mathbf{GI}' + \mathbf{GPR}' + \mathbf{GD}', \quad (8.57)$$

для кандидатів наук:

$$\mathbf{GKH} = \mathbf{GL}'' + \mathbf{GG}'' + \mathbf{GLP}'' + \mathbf{GIZ}'' + \mathbf{GZ}'' + \mathbf{GI}'' + \mathbf{GPR}'' + \mathbf{GD}'', \quad (8.58)$$

де матриці, які помічені одним штрихом характеризують навантаження для категорії докторів наук, а з двома штрихами – для категорії кандидатів наук і таке інше.

Увівши норми навантаження за категоріями викладачів, як наведено у табл. 8.2, можемо розрахувати кількість ставок для кожної з категорій.

Таблиця 8.2

Норми річного навчального навантаження викладачів

Посади	Годин на одиницю	
	штатника	сумісника
Професор, доктор наук	390	530
Професор, кандидат наук	420	560
Доцент, кандидат наук	490	660
Доцент	540	720
Старший викладач, кандидат наук	540	720
Старший викладач	600	820
Викладач-асистент	660	880
Викладач-асистент кафедри фізичного виховання	720	920

$$S_{DH} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{ГДН}; \quad (8.59)$$

$$S_{KH} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{ГКН}; \quad (8.60)$$

$$K_{\text{ставок } DH} = S_{DH} / N_{DH}; \quad (8.61)$$

$$K_{\text{ставок } KH} = S_{KH} / N_{KH}. \quad (8.62)$$

Підсумувавши усі частки ставок за категоріями викладачів, отримуємо загальну кількість ставок

$$K_{\text{ставок викл}} = K_{\text{ставок } DH} + K_{\text{ставок } KH} + \dots \quad (8.63)$$

Загальну кількість студентів знаходимо так:

$$K_{\text{студ}} = \text{colon}^t(1, 1, \dots, 1_{12}) \cdot \mathbf{КС} \cdot \text{colon}(1, 1, \dots, 1_{12}). \quad (8.64)$$

Відношення кількості студентів до кількості ставок викладачів виступає додатковим критерієм, який оцінює ефективність моделі навчального плану:

$$\frac{K_{\text{студ}}}{K_{\text{ставок викл}}} \approx \frac{10}{1}. \quad (8.65)$$

8.3.2. Визначення співвідношення аудиторних форм занять до загального обсягу

Наступним етапом у перевірці коректності моделі освітньої системи виступає розрахунок співвідношення аудиторних форм занять до загального обсягу, яке слід визначити для кожного модуля.

Для кожного j -го модуля дисципліни можна записати:

$$\mathbf{A3}(j) = \mathbf{T3}(i, i) \cdot \mathbf{PB}(i, j) [\mathbf{VD}(j, 4) + \mathbf{VD}(j, 5) + \mathbf{VD}(j, 6) + \mathbf{VD}(j, 7)]; \quad (8.66)$$

$$\mathbf{Bj}(j) = 54 \cdot \mathbf{PB}(i, j) \cdot \mathbf{VD}(j, 1),$$

де $\mathbf{A3}(j)$ – аудиторне завантаження для кожного j -го модуля дисципліни, в годинах; $\mathbf{Bj}(j)$ – загальний обсяг j -го модуля дисципліни, в годинах.

Тоді можемо розрахувати співвідношення

$$\mathbf{VD}(j, 13) = \mathbf{CAB}(j) = \mathbf{A3}(j) / \mathbf{Bj}(j) \cdot 100\%,$$

де $\mathbf{CAB}(j)$ – співвідношення аудиторних форм занять до загального обсягу модуля дисципліни, у відсотках.

Розрахувавши показник $\mathbf{CAB}(j)$, переходимо до перевірки вимог, які визначені в освітньо-професійних програмах у вигляді співвідношення (8.1) чи

$$1/3 \cdot \mathbf{BJ}(j) \leq \mathbf{CAB}(j) \leq 2/3 \cdot \mathbf{BJ}(j) \quad (8.67)$$

для кожного j -го модуля дисципліни або для дисципліни в цілому.

Так, для дисципліни “Англійська мова-1” в цілому співвідношення аудиторних форм занять до загального обсягу розраховуємо таким чином:

$$C_{AM1} = \sum_{j=1}^6 [\mathbf{VD}(j, 13) \cdot \mathbf{VD}(j, 1)] / \sum_{j=1}^6 \mathbf{VD}(j, 1)$$

або

$$C_{AM1} = \sum_{j=1}^6 [\mathbf{CAB}(j) \cdot \mathbf{B1M}(j+1) / \mathbf{B1}(2, 1)] .$$

Для дисципліни “Англійська мова-2” маємо:

$$C_{AM2} = \sum_{j=1}^6 [\mathbf{CAB}(j) \cdot \mathbf{B1MD}(j+1) / \mathbf{B1D}(2, 1)] .$$

Оскільки дисципліна “Англійська мова-2” входить до переліку дисциплін, які визначають додаткові навчальні послуги в освітній системі, тому параметр C_{AM2} може використовуватися в обґрунтуванні відсотка оплати студентами, які навчаються за державним замовленням витрат саме на надання зазначених додаткових послуг. Тобто студенти оплачують лише ті витрати, які пов’язані з аудиторними формами занять з дисциплін, які й утворюють доповнення до нормативного навчального плану.

Наведені матеріали характеризують математичне забезпечення технології формування навчальних планів вищого закладу освіти.

Реалізація математичного забезпечення утворює інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень при організації навчального процесу.

Споживачами цієї інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень виступають ректор, проректори, декани, завідувачі кафедрами, викладачі, навчальна та наукова частини, планово-фінансовий відділ і безумовно – студенти.

Ефективність запропонованої технології, яка ґрунтується на застосуванні інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, залежить від багатьох факторів і перш за все від організаційної культури закладу вищої освіти, від його корпоративної культури миру. Саме цей аспект і є домінуючою умовою на шляху стійкого розвитку особистості студентів та в цілому університетської системи освіти з невід’ємною компонентою – науковим забезпеченням її моделювання та організації функціонування.

Тобто в умовах трансформації суспільства з постіндустріального в інформаційне спостерігається зміна пріоритетів і перехід від моделювання технічних систем до моделювання систем з організаційно-економічної сфери. При цьому досягнення у технічній сфері з теорії формування математичного опису систем зі змінною структурою [15] знаходять подальший розвиток при формуванні математичних моделей систем з організаційно-економічної сфери, до якої належить університетська освітня система.

Єдність основних елементів теорії формування математичного опису систем зі змінною структурою слугує ще одним переконливим доказом єдності природи та загальних закономірностей функціонування та розвитку складних систем, до яких належать як технічні, так і організаційно-економічні системи. Все це дозволяє очікувати взаємне доповнення та збагачення технічними та педагогічними науками, формування загального балансу та гармонії на шляху стійкого розвитку сучасного динамічного суспільства для теперішнього покоління та для його нащадків.

Контрольні питання

1. Який вигляд має алгебраїчна форма опису, модель системи університетської освіти?
2. Який вигляд має матриця опису структурно-логічної схеми структури системи освіти?
3. Які матриці описують склад систем університетської освіти?
4. Яка матриця опису є динамічною структурою системи університетської освіти?
5. Які Ви знаєте обмеження по формуванню математичного опису системи університетської освіти?
6. Які вимоги до моделі системи університетської освіти?
7. Групи користувачів інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при дослідженні системи університетської освіти.
8. Які Ви знаєте типи навчальних планів?

9. В чому різниця між моделями систем університетської освіти для студентів і для викладачів?
10. Які кількісні показники характеризують навчальну дисципліну в моделі систем університетської освіти?