

## **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМ ПРОЦЕСОМ ВНЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ**

***Анотація.** Розглядається імітаційне моделювання системи управління навчальним процесом вищого навчального закладу (ВНЗ), що базується на об'єктно-орієнтованій технології (ООТ). Використання мереж Петрі з часовими затримками для представлення динаміки функціонування об'єктів дозволяє швидко конструювати алгоритм імітації складної системи. Модель реалізована засобами Java/J2SE. Дослідження моделі навчального процесу дозволяє відшукати оптимальні параметри управління.*

***Ключові слова:** імітаційне моделювання, система управління, навчальний процес, ООТ, мережа Петрі.*

***Аннотация.** Рассматривается имитационное моделирование системы управления учебным процессом вуза на основе объектно-ориентированного подхода (ООП). Использование временных сетей Петри для представления динамики функционирования объектов позволяет быстро конструировать алгоритм имитации сложной системы. Модель реализована средствами Java/J2SE. Исследование модели учебного процесса позволяет отыскать оптимальные параметры управления.*

***Ключевые слова:** имитационное моделирование, система управления, учебный процесс, ООП, сеть Петри.*

***Abstract.** The paper considers simulation of the control system of college educational process based on object-oriented methodology (OOM). Using timed Petri net for describing dynamics of objects allows for a quick construction of simulation algorithms of the complex system. The model is implemented in Java/J2SE. The study of this model allows us to find optimal control parameters of the educational process.*

***Keywords:** simulation modeling, control system, educational process, OOM, Petri net.*

### **1. Вступ**

Інформатизація процесів навчання та впровадження технологій дистанційного навчання створюють умови для розвитку інформаційних технологій контролю за навчальною діяльністю студентів вищих навчальних закладів. Перехід вищих навчальних закладів на навчання за Болонським процесом, впровадження інших нових способів організації навчального процесу вимагають від вищих навчальних закладів (ВНЗ) розробки нових ефективних методів управління навчальним процесом. У зв'язку з цим у багатьох ВНЗ проводиться робота з автоматизації процесів обробки інформації про успішність навчальної діяльності студентів. У Запорізькій державній інженерній академії впроваджена автоматизована система управління навчальним процесом, яка забезпечує керівників підрозділів ВНЗ інформацією для оперативного прийняття рішень у вигляді звітів про результати навчальної діяльності студентів (кількість заборгованостей, успішність навчання та ін.) [1]. В ЧДТУ за участю автора розробляється інформаційно-аналітична система контролю і оцінювання навчальної діяльності студентів, в якій, на відміну від інших подібних систем, поставлена задача розробки системи, що об'єднує засоби проведення контролю навчальної діяльності, засоби збору, обробки, аналізу даних та засоби прийняття управлінських рішень [2].

### **2. Постановка задачі**

Для моделювання навчальної діяльності використовуються аналітичні та імітаційні моделі. Імітаційні моделі, на відміну від аналітичних, дозволяють відтворити навчальний процес та управління навчальною діяльністю студентів з урахуванням таких деталей, як індивіду-

альні характеристики суб'єктів навчання (студентів та викладачів), навчання у відповідності з розкладом, контроль навчальної діяльності та прийняття рішень за результатами контролю. Існуючі моделі навчального процесу пропонують моделювання в межах навчального процесу однієї дисципліни [3], що доцільно для систем дистанційного (заочного) навчання, але не прийнятно для системи навчання ВНЗ. Навчальний процес ВНЗ включає десятки спеціальностей, сотні дисциплін, викладачів та студентів, взаємопов'язаних між собою, тому, виходячи з позицій системного підходу, необхідно розглядати систему в цілому, а не окремі її частини.

Ефективну систему управління складним об'єктом можна створити експериментуючи з цією системою або з її моделлю. Однак експериментування в галузі освіти призводить до наслідків, що впливають, і досить часто негативно, на людські долі. Тому доцільно створити модель системи управління навчальним процесом і дослідити її з метою визначення впливу процесів управління на навчальну діяльність студента ВНЗ, а також визначення характеристик навчального процесу при заданих значеннях параметрів управління. Модель може бути використана також для відшукування оптимальних параметрів управління.

### **3. Розробка моделі системи управління навчальним процесом ВНЗ**

Для формалізації моделі розглядалися об'єктно-орієнтований підхід та мережі Петрі. Об'єктно-орієнтований підхід забезпечує швидке конструювання великої кількості подібних елементів. Мережі Петрі забезпечують швидке конструювання алгоритму імітації об'єкта з великою кількістю подій. В результаті дослідження прийнято рішення використовувати комбінований підхід: представлення структури моделі у вигляді об'єктів і представлення функціонування об'єктів моделі засобами функціональних мереж Петрі з часовими затримками, конфліктними переходами та інформаційними зв'язками.

Структура моделі системи управління навчальним процесом ВНЗ представляється такими об'єктами: Спеціальність, Група, Студент, Викладач, Навчальний план спеціальності, Робочий план семестру, Розклад, Дисципліна, Журнал, Деканат, Контроль відвідування, Контроль заборгованостей. Кожний об'єкт являється ініціатором подій, що відбуваються в системі. Наприклад, Дисципліна ініціює події навчання групи студентів на занятті; складання групою студентів модуля, заліку, іспиту, курсового проекту. Об'єкт Журнал призначений для формування відомостей про кількісні показники навчання одного студента з однієї дисципліни (кількість пропусків, зарахованих модулів, заборгованостей з модулів, перездач екзаменів та ін.).

Статика об'єктів задається полями і методами, які описують правила змінювання полів. Наприклад, об'єкт Дисципліна володіє методами „навчання на парі за розкладом”, „захист лабораторної роботи”, „захист модуля”, „екзамен”. Об'єкт Журнал володіє методами „збільшити кількість захищених (заборгованих) лабораторних робіт даного модуля”, „записати оцінку, отриману на екзамені”, „збільшити кількість заборгованостей з екзамену”. Об'єкт Деканат володіє методами „встановити допустиму кількість пропусків для дисципліни”, „прийняти рішення щодо студентів, які не пройшли успішно контроль відвідування”, „прийняти рішення щодо студентів із заборгованостями”, „допустити до екзамену”.

У навчальному процесі присутні процеси навчання колективні (заняття з групою студентів, екзамен) та індивідуальні (здача заборгованості, захист лабораторної роботи, захист модуля та ін.). До об'єкта Дисципліна віднесені колективні процеси навчання, до об'єкта Студент – індивідуальні процеси навчання, а до об'єкта Викладач – колективні та індивідуальні процеси навчання. Наприклад, метод „початок навчання на парі” об'єкта Дисципліна ініціює подію „навчання на парі” для кожного об'єкта Студент, що входить у групу студентів, та подію „проводить заняття” для об'єкта Викладач. Обмежитись тільки

об'єктом Дисципліна неможливо тому, що тоді немає змоги врахувати індивідуальні особливості студентів, які характеризують його успішність; неможливо врахувати навантаження студента та викладача з причини повторних захистів (лабораторних робіт, модулів, заліків, екзаменів).

Динаміка об'єктів представляється мережею Петрі з часовими затримками, конфліктними переходами та інформаційними зв'язками [4]. Важливу роль при відображенні процесів управління відіграють конфліктні переходи мережі Петрі, наявність яких ускладнює алгоритм імітації мережі Петрі. Відомі такі способи розв'язання конфліктів:

- пріоритетний (явний та неявний спосіб завдання пріоритету);
- ймовірнісний (з рівною та указаною ймовірністю).

Неявний спосіб завдання пріоритету означає, що алгоритм імітації мережі Петрі організований таким чином, що порядок запуску переходів визначається порядком їх перегляду в алгоритмі. Якщо дослідник не вказує спосіб розв'язування конфліктів при складанні мережі Петрі, то, за правилами функціонування мереж Петрі, конфліктні переходи запускаються з рівною ймовірністю. Якщо для переходів мережі Петрі указуються пріоритети та ймовірності запуску, то всі переходи сортуються спочатку за значенням пріоритету, а потім з усіх переходів з найвищим пріоритетом вибирається перехід з указаною ймовірністю.

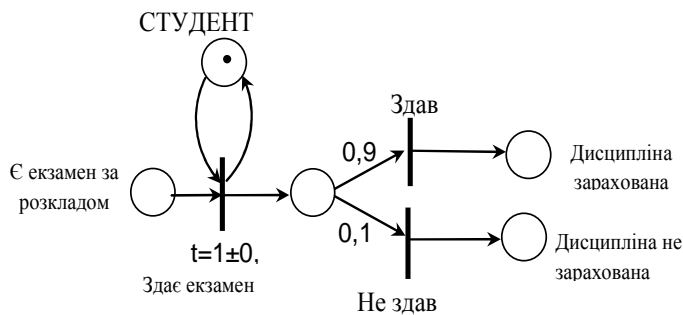


Рис. 1. Формалізація події Екзамен об'єкта Студент мережею Петрі

На рис. 1 представлений фрагмент мережі Петрі об'єкта Студент, що моделює подію Екзамен. Переходи „Здав екзамен” та „Не здав екзамен” являються конфліктними. Конфлікт розв'язується указанням ймовірності запуску переходу „Здав екзамен”.

На рис. 2 представлений фрагмент мережі Петрі об'єкта Викладач. Переходи „Приймає заборгованості” та „Проводить заняття за розкладом” за умови наявності заборгованостей з дисциплін викладача являються конфліктними. Конфлікт у даному випадку розв'язується встановленням вищого пріоритету для переходу „Проводить заняття за розкладом”.

Інформаційні зв'язки між позицією та переходом дозволяють моделювати такі події, які здійснюються за певної умови, але при здійсненні їх умова не зникає. Наприклад, подія „Приймає заборгованості” об'єкта Викладач здійснюється за умови наявності заборгованостей з дисциплін викладача, що відповідає наявності принаймні одного маркера в позиції „Кількість заборгованостей з дисциплін, які веде викладач”. Подія „Приймає заборгованості” об'єкта Викладач ініціює подію „Здає екзамен” об'єктів Студент, які мають заборгованості, і тільки за результатом здачі екзамену Студентом здійснюється зменшення кількості заборгованостей. Якщо використати в даному випадку звичайний зв'язок, то ще до здійснення події „Здає екзамен” хоч одного об'єкта Студент кількість заборгованостей буде зменшена на одиницю об'єктом Викладач.

Інформаційні зв'язки між позицією та переходом дозволяють моделювати такі події, які здійснюються за певної умови, але при здійсненні їх умова не зникає. Наприклад, подія „Приймає заборгованості” об'єкта Викладач здійснюється за умови наявності заборгованостей з дисциплін викладача, що відповідає наявності принаймні одного маркера в позиції „Кількість заборгованостей з дисциплін, які веде викладач”. Подія „Приймає заборгованості” об'єкта Викладач ініціює подію „Здає екзамен” об'єктів Студент, які мають заборгованості, і тільки за результатом здачі екзамену Студентом здійснюється зменшення кількості заборгованостей. Якщо використати в даному випадку звичайний зв'язок, то ще до здійснення події „Здає екзамен” хоч одного об'єкта Студент кількість заборгованостей буде зменшена на одиницю об'єктом Викладач.

Подія „Екзамен” об'єкта Дисципліна здійснюється за умови, що вивчені усі модулі, передбачені робочим навчальним планом дисципліни, що викладач, який веде дисципліну, не зайнятий іншими дисциплінами, і у відповідності за графіком навчального процесу триває екзаменаційна сесія (рис. 3). Відповідний фрагмент мережі Петрі містить інформаційний зв'язок між позицією „Триває екзаменаційна сесія” об'єкта Розклад та переходом „Екзамен” об'єкта Дисципліна. Якщо використати звичайний зв'язок, то інші дисципліни не зможуть скористатись інформацією про те, що триває екзаменаційна сесія.

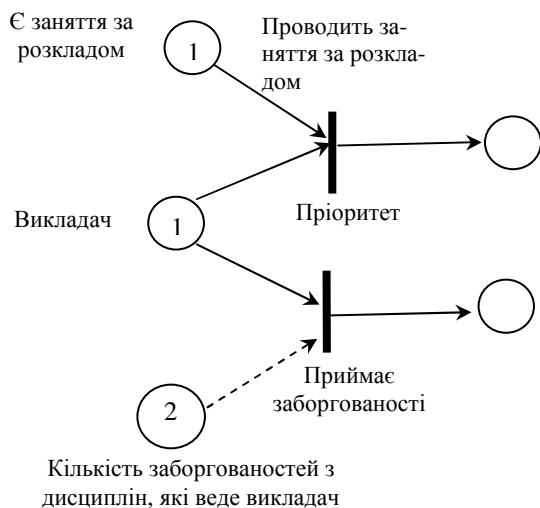


Рис. 2. Формалізація події. Приймає заборгованості об'єкта Викладач мережею Петрі

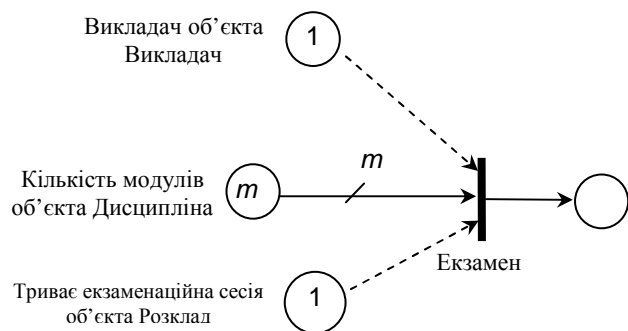


Рис. 3. Формалізація події. Екзамен об'єкта Дисципліна мережею Петрі

Для реалізації мережі Петрі з часовими затримками, багатоканальними переходами, розв'язанням конфліктів пріоритетним та ймовірнісним способами розроблений пакет Java-об'єктів PetriSim, діаграма класів якого представлена на рис. 4. Клас мережа Петрі (Petri\_net) агрегує класи Позиція (Petri\_P), Перехід (Petri\_T), Вхідний зв'язок (TieIn), Вихідний зв'язок (TieOut). Клас FunRand призначений для генерування випадкових чисел із заданим законом розподілу і використовується класом Перехід для створення часових затримок.

Основним об'єктом пакета є об'єкт Імітатор мережі Петрі (Petri\_Sim), який агрегує клас мережа Петрі (Petri\_net). Призначення класу Petri\_Sim – просування мережі Петрі, заданої в полі Net, в часі за принципом до найближчої події.

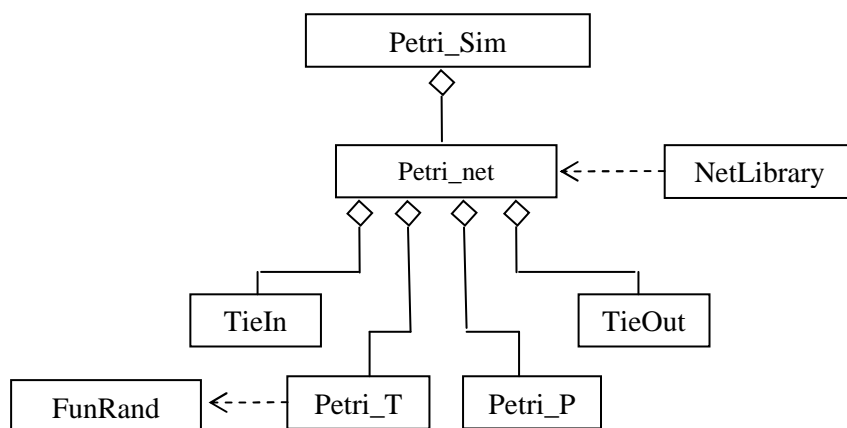


Рис. 4. Діаграма класів пакета PetriSim package

Основні поля та методи класу Petri\_Sim представлені на рис. 5. Метод Start() виконує запуск усіх можливих переходів, метод NextEvent() виконує поточну подію мережі Петрі, метод DoStatistica() відповідає за збирання та обробку статистичної інформації, метод Do\_T(ArrayList<Student\_Sim> st, Journal [][] jour)

включає дії, які відповідають запуску того чи іншого переходу, наприклад, запис в журнал відмітки про захист лабораторної роботи, модульної контрольної, здачу екзамену.

Petri_Sim
— Net: Petri_net
— timeModeling: double
+ Do_T(ArrayList<Student_Sim> st, Journal[][] jour)
+ Start()
+ NextEvent()
+ DoStatistica()

Рис. 5. Основні поля та методи класу Імітатор мережі Петрі

Клас NetLibrary призначений для створення мереж Петрі об'єктів моделювання того чи іншого призначення і використовує клас Petri\_net. У даному проєкті клас NetLibrary складається з таких статичних Java-функцій для створення мереж Петрі об'єктів моделювання навчального процесу Дисципліна, Викладач, Студент, Деканат, Контроль відвідування, Контроль заборгованостей. Після

того, як створена мережа Петрі об'єкта, створюється об'єкт моделювання як нащадок об'єкта Імітатор мережі Петрі (Petri\_Sim). Зв'язки об'єктів між собою здійснюються двома способами:

- за допомогою спільних позицій (з переходів різних об'єктів маркери передаються в спільну позицію);
- за допомогою ініціації події (з переходу об'єкта передаються маркери у відповідні позиції інших об'єктів).

Наприклад, об'єкт Дисципліна і об'єкт Викладач мають спільну позицію Викладач, яка відповідає за стан викладача (вільний або зайнятий). Об'єкти Студенти мають спільну позицію Кількість відрахованих студентів (рис. 6а). Об'єкт Дисципліна ініціює подію заняття за розкладом об'єктів Студент та Викладач за допомогою передачі маркерів у позиції „Є заняття за розкладом” відповідних об'єктів (рис. 6б).

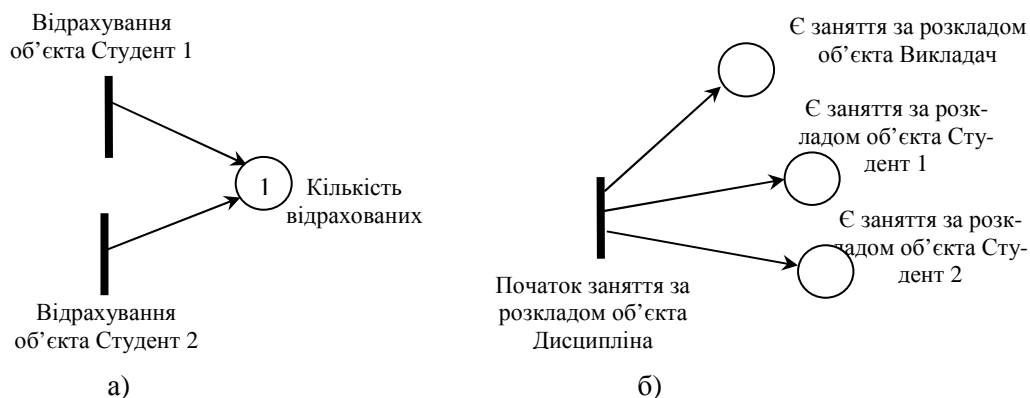


Рис. 6. Формування зв'язків між об'єктами:  
а) за допомогою спільних позицій; б) за допомогою ініціалізації подій

Зв'язки між об'єктами Розклад, Дисципліна, Викладач, Студент представлені на рис. 7. Об'єкти Дисципліни мають спільну позицію Група, яка забезпечує зайнятість групи в кожний поточний момент часу тільки однією дисципліною. Об'єкти Студенти мають спільні позиції Кількість відрахованих та Кількість рекомендованих на повторне навчання протягом часу моделювання. Об'єкт Розклад відповідає за проведення занять у відповідності з розкладом занять і містить мережу Петрі, яка ініціює початок та кінець заняття, а також початок та кінець семестру, початок та кінець екзаменаційної сесії. Передача маркера в позицію „Є лекція за розкладом” об'єкта Дисципліна здійснюється об'єктом Розклад і представляє зв'язок між об'єктом Розклад та об'єктом Дисципліна. Об'єкт Дисципліна передає маркери в позиції „Є пара за розкладом” об'єкту Викладач, який закріплений за дисципліною, та об'єктів Студенти, що вивчають дисципліну.

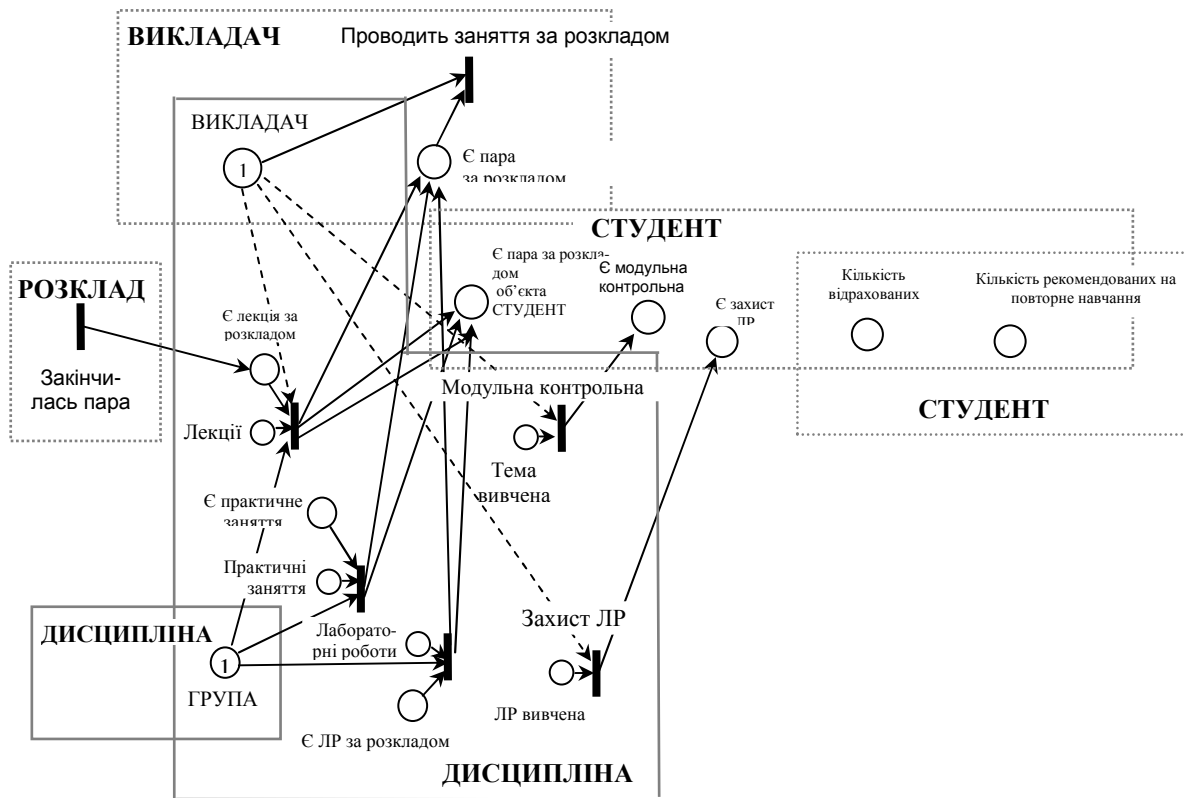


Рис. 7. Зв'язки між об'єктами Розклад, Дисципліна, Викладач, Студент

Процеси управління в моделі здійснюються об'єктом Деканат. Колективні процеси управління (допуск до захисту модуля за результатами контролю відвідування, допуск до екзамену за результатами контролю відвідування та контролю заборгованостей) являються процесами, які можуть бути автоматизовані. Але параметри цих процесів (періодичність контролю, обмеження на допустиму кількість пропусків занять, допустиму кількість заборгованостей) задаються керуючими відділами ВНЗ, тобто деканатом або навчальною частиною. Індивідуальні процеси управління (прийняття рішення про відрахування студента, прийняття рішення про недопуск до екзаменаційної сесії, дипломного проектування) являються процесами, які не можуть бути автоматизовані. Моделювання цих процесів здійснюється за допомогою таких параметрів, як імовірність прийняття позитивного рішення для студента, що звертається в деканат за дозволом на повторний захист модуля, повторний залік з дисципліни або за дозволом на перездачу екзамену. Зв'язки між об'єктами Деканат, Контроль відвідування, Контроль заборгованостей, Розклад, Дисципліна, Студент представлені на рис. 8.

Для реалізації конструктивних елементів системи управління навчального процесу розроблено пакет Java-об'єктів StudyProcess, діаграма класів якого представлена на рис. 9. Класи Дисципліна (Discipline\_Sim), Викладач (Teacher\_Sim), Студент (Student\_Sim), Розклад (Schedule\_Sim), Деканат (DeansOffice\_Sim), Контроль заборгованостей (ControlDebts\_Sim), Контроль відвідування (ControlVisit\_Sim) наслідують клас Імітатор мережі Петрі (Petri\_Sim). Клас Група (Group) агрегує об'єкти Студенти, клас План (Plan) агрегує об'єкти Дисципліна, а клас Розклад (Schedule\_Sim) агрегує об'єкти Заняття (Lesson). Клас Визначити час (DefineTime) призначений для виведення поточного номера тижня, поточного дня та поточної пари.

Алгоритм імітації побудований на основі подійно-орієнтованого підходу із просуванням часу до найближчої події. Оскільки всі об'єкти являються об'єктами-Імітаторами, то імітація здійснюється просуванням у часі об'єктів. Побудова імітаційної моделі з

об'єктів, функціонування яких налагоджено, забезпечує найменшу кількість помилок при складанні мережі Петрі великої системи і сприяє швидкому нарощуванню системи за рахунок додавання об'єктів Студент, об'єктів Дисципліна та об'єктів Спеціальність, Деканат, створюючи систему управління навчального процесу ВНЗ.

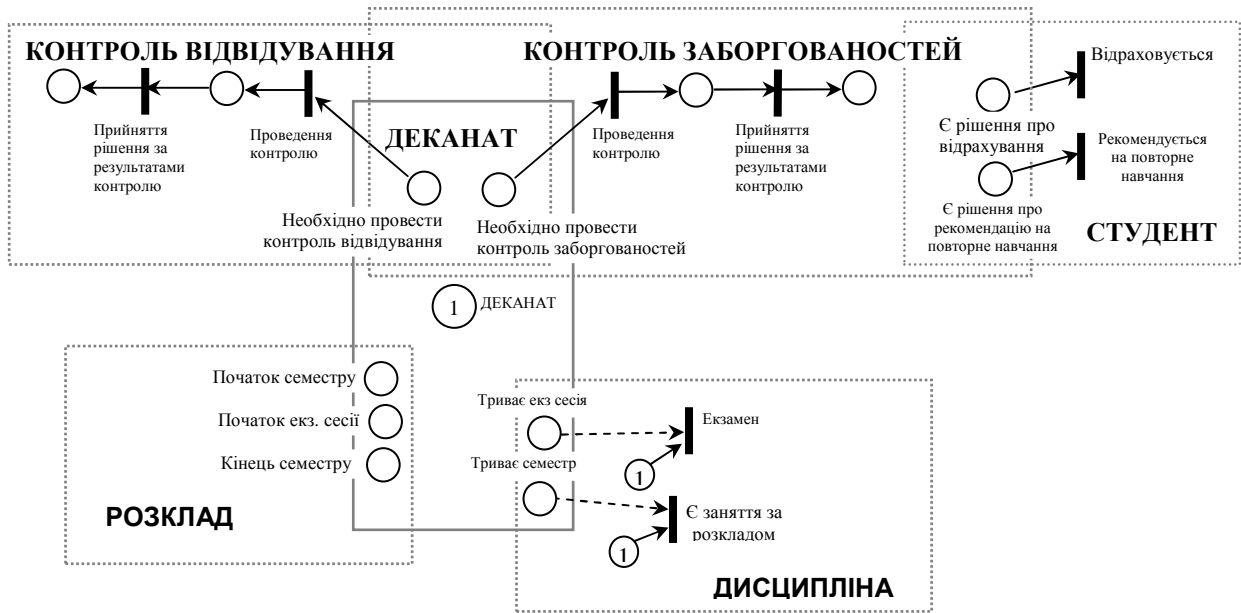


Рис. 8. Зв'язки між об'єктами Деканат, Контроль відвідування, Контроль заборгованостей, Розклад, Дисципліна, Студент

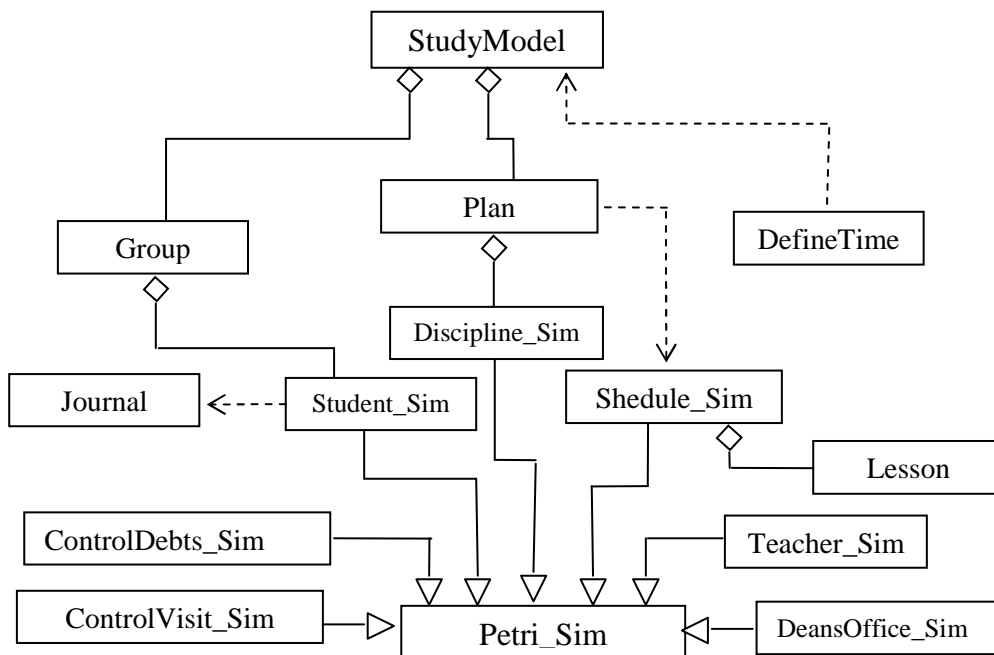


Рис. 9. Діаграма класів моделі системи управління навчальним процесом ВНЗ

Просування об'єктів у часі здійснюється таким чином. Відшукується найменший з усіх моментів найближчої події, що пам'ятає кожний об'єкт, і час просувається до знайденого найменшого значення. Для об'єктів, час найближчої події яких відповідає поточному моменту часу, відбувається вихід маркерів з переходів та, у той же момент часу, вхід мар-

керів у переходи. Для усіх інших об'єктів здійснюється просування часу та вхід маркерів у переходи. Якщо кілька об'єктів мають час найближчої події, рівний поточному моменту часу, то розв'язується конфлікт об'єктів рівноймовірнісним способом. Отже, найменшим елементом побудованої моделі системи управління навчальним процесом є перехід мережі Петрі, що моделює подію, а конструктивними елементами є об'єкти Навчальний план спеціальності, Дисципліна, Викладач, Студент, Деканат та ін.

Модель системи управління навчальним процесом ВНЗ реалізована засобами мови програмування Java (J2SE) та інтегрального середовища Netbeans IDE 6.5. За результатами експериментування з моделлю системи проведено дослідження впливу управляючих параметрів на вихідні характеристики моделі. Сформовані критерії вибору оптимальних параметрів управління. Для заданих вхідних змінних моделі визначені оптимальні значення таких управляючих параметрів: періодичність контролю відвідування, допустима кількість пропусків, рівень складності дисципліни.

#### 4. Дослідження моделі системи управління навчальним процесом ВНЗ

Модель системи управління навчальним процесом має на меті дослідження оптимальних параметрів управління. Наприклад, для дослідження оптимальної складної дисципліни сформульований критерій вибору складності дисципліни таким чином:

$$Y = D_1 - D_2 - D_3 - P - Z + C - 0,1 \cdot M - 0,1 \cdot Q \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $D_1$  – середня частка кількості студентів, які склали дисципліну,  $D_2$  – середня частка кількості студентів, які не склали дисципліну,  $D_3$  – середня частка кількості студентів, яким рекомендоване повторне навчання,  $P$  – значення допустимої частки кількості пропусків у відношенні до загальної кількості пропусків,  $Z$  – середнє завантаження деканату,  $C$  – показник складності дисципліни,  $M$  – середня частка кількості недопусків з причини невідвідування занять,  $Q$  – середня частка кількості нескладених протягом семестру екзаменів.

Складність дисципліни  $C$  визначається величиною:

$$C = C_1 + N_2 C_2 + N_3 C_3, \quad (2)$$

де  $C_1$  – ймовірність нескладання екзамену,  $C_2$  – ймовірність нескладання модульної контрольної,  $N_2$  – кількість модулів,  $C_3$  – ймовірність незахисту лабораторної роботи,  $N_3$  – кількість лабораторних робіт.

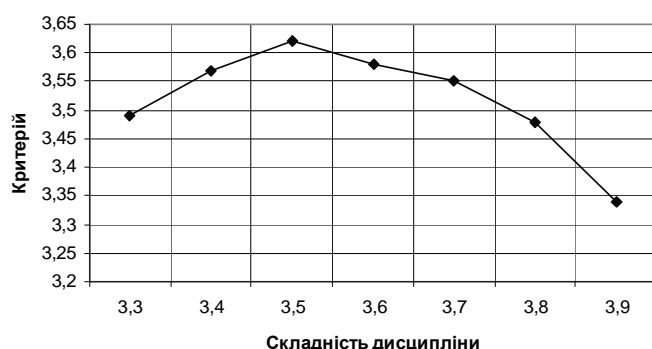


Рис. 10. Дослідження оптимальної складності дисципліни

Результати дослідження оптимальної складності дисципліни, що складається з 3 модулів, у кожному з яких 1 модульна контрольна та 4 лабораторних роботи, наведені на графіку (рис. 10). При фіксованих інших значеннях параметрів оптимальним виявилось значення складності дисципліни 3,5, яке відповідає рівню складності лабораторних робіт 0,2, рівню складності модульних контрольних 0,3 та рівню складності екзамену 0,2:

$$C = 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 4 \cdot 0,2 = 3,5.$$



## 5. Висновки

У результаті наукового дослідження:

- розроблена імітаційна модель процесів управління навчальним процесом ВНЗ з використанням об'єктно-орієнтованого підходу, яка враховує складні взаємозв'язки між усіма суб'єктами навчального процесу і являється ефективним інструментом для розробки та дослідження нових технологій управління навчальним процесом ВНЗ;
- запропонована технологія моделювання складних систем з представленням динаміки елементів системи засобами мереж Петрі, яка дозволяє створювати велику кількість однотипних елементів, бібліотеки елементів мереж Петрі, з яких потім складають великі системи;
- розроблені пакети Java-об'єктів для моделювання процесів управління навчальним процесом ВНЗ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Модель автоматизированной системы управления учебным процессом высшего учебного заведения / Е.Я. Швец, Г.П. Коломоец, Б.Ю. Базылев [и др.] // Вестник ХГТУ. Проблемы высшей школы. – 2002. – № 1 (14). – С. 495 – 499.
2. Нові підходи до створення системи контролю та оцінювання навчальних досягнень студентів ВНЗ / А.А. Тимченко, Ю.В. Триус, Л.П. Оксамитна [та ін.] // Інформаційні технології в освіті. – Херсон, 2009. – Вип. 4. – С. 111 – 123.
3. Дмитрик І.М. Моделювання процесу навчання студентів з використанням мереж Петрі / І.М. Дмитрик // Четверта наук.-практ. конф. з міжнар. участю „Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС2009. Тези доповідей”, (м. Київ, 22–26 червня 2009 р.). – Київ, 2009. – С. 209 – 212.
4. Стеценко І.В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі / І.В. Стеценко, О.В. Бойко // Математичні машини і системи. – 2009. – № 1. – С. 117 – 124.

*Стаття надійшла до редакції 05.07.2010*