УДК 681.3+69.05.013

В.І. Доненко

Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя

МАТЕМАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ПЛАНУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ НА БАЗІ НЕЧІТКИХ ГРАФІВ

Розглянуто питання пов'язані з формуванням науково-прикладного інструментарію моделювання та планування операційної діяльності будівельної організації на ринку будівельних послуг в умовах кризових явищ, що притаманні економіці України, із застосуванням графоаналітичного апарату, який ґрунтується на класі нечітких орієнтованих графів для підвищення якості рішень еволюційно-генетичних алгоритмів. Запропоновано автентичний алгоритм вибору одного з двох нечітких чисел.

Ключові слова: еволюційно-генетичний алгоритм, календарне планування, нечіткі дані, якість рішення

Постановка проблеми

Календарне планування робіт - це одне з важливих і трудомістких завдань, з яким стикається менеджер проекту у своїй повсякденній діяльності. Виконанню робіт на об'єктах повинен передувати комплекс заходів і робіт з підготовки будівельного виробництва будівельною організацією, які забезпечують можливість здійснення будівництва згідно з умовами підлеглих контрактів і взаємозв'язану діяльність усіх його учасників. Така підготовка включає загальну організаційно-технічну підготовку, підготовку об'єкта будівництва, підготовку будівельної організації та підготовку будівельно-монтажних робіт.

Останніми роками безперервно розробляються нові методи пошуку оптимальних рішень [2] та широкого поширення набувають методи еволюційно-генетичного моделювання та теорії нечітких множин [3], як основні складові, що чинять істотний вплив на ефективність рішень, що приймаються.

Мета роботи – можливість застосування теорії нечітких множин для підвищення якості рішень, що приймаються на основі еволюційно-генетичних алгоритмів.

Виклад основного матеріалу досліджень

Нечітка оцінка тривалості виконання плану робіт. При плануванні будівельного проекту поширеною є проблемна ситуація, коли необхідно призначити виконавців для виконання певної множини будівельно-монтажних робіт, які в сукупності є проектом, забезпечивши найкращі значення критеріїв оптимальності рішення. При цьому початковими даними є відомі трудовитрати виконання завдань виконавцями, робочий графік виконавців, залежності завдань один від одного. Запропоновані еволюційно-генетичні алгоритми для генерування календарних планів робіт за проектом [1] в умовах обмеженої інформації необхідно розглядати з нечіткими вихідними даними, що суттєво ускладнює їх роботу.

У реальних умовах управління будівельною організацією початкові дані, якими оперують керівники для ухвалення рішень, характеризуються наявністю невизначення. Як показує досвід, найбільш значущою інформацією в початкових даних, яка містить невизначеність і істотно впливає на результат планування, є інформація про трудовитрати виконавців на виконання БМР.

У зв'язку з тим, що один і той же виконавець задіяний у виконанні множини БМР в ході будівельного проекту, зміна тривалості виконання однієї роботи може впливати не лише на час початку виконання інших завдань, але і на тривалість їх виконання, оскільки буде потрібна заміна призначених на них виконавців. Це означає, нечіткість трудовитрат виконавців при виконанні БМР, і як наслідок, нечіткість тривалості виконання завдань збільшує міру невизначеності проблеми, що вирішується. На практиці цим аспектом можна нехтувати, оскільки в процесі виконання робіт над проектом керівник постійно проводить актуалізацію (коригування) календарного плану робіт.

Значення трудовитрат задаються у вигляді нечітких чисел Гаусса. Вибір саме такої форми представлення пояснюється тим, що нечіткі множини, що виникають в роботах проекту, є по суті нормальними (максимальне значення функції приналежності дорівнює 1) та унімодальними (1 досягається в єдиній точці), а також простотою визначення арифметичних операцій.

Нечітке число $НЧ_Г$ називається Гаусовим, якщо його функція приналежності визначається наступним виразом:

$$П_{НЧ_Г}(\pi) = e^{-\frac{(\pi - П_{\max})^2}{\delta^2}}, \quad \pi \in R, \delta > 0. \quad (1)$$

Параметр $П_{max}$ визначає точку максимуму функції приналежності, що описує міру нечіткості числа, значення $П_{max} \pm \delta$ є точками перегину графіка функції приналежності. На рис. 1 зображений графік функції приналежності нечіткого числа Гаусса $НЧ_Г \cong 3$ з параметрами $нч = 3$, $\delta = 1$.

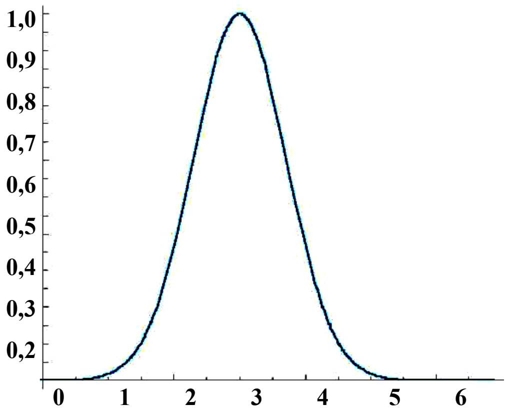

Рис. 1. Функція приналежності $НЧ_Г$

Операція складання для гаусових чисел проводиться таким чином: нехай число $НЧ_Г$ задається параметрами ($нч$, δ), а число $КНЧ_Г$ — параметрами ($нч^L$, φ). Тоді сумою $НЧ_Г$ + $КНЧ_Г$ буде нечітке число Гаусса з параметрами ($нч + нч^L$, $\delta + \varphi$). Відстань між цими нечіткими числами $НЧ_Г$ і $КНЧ_Г$ визначається за наступною формулою:

$$d^2(НЧ_Г; КНЧ_Г) = (нч - нч^L)^2 + (\delta - \varphi)^2 / 2 \quad (2)$$

На практиці міра нечіткості трудовитрат залежить від типу роботи, виконавця, що призначається та інших чинників.

Для роботи еволюційно-генетичних алгоритмів, що можна використовувати при плануванні проекту необхідно:

1) визначити тривалість роботи за проектом у вигляді нечіткого числа Гаусса;

2) визначити бінарну операцію на нечітких числах, що виконує вибір найкращого рішення.

Для математичного інструментарію, що розробляється зручним засобом є представлення нечітких даних у вигляді нечітких чисел Гаусса, як з точки зору розрахунків, так і комфорту роботи користувачів програмного комплексу, що буде створений на базі цього інструментарію.

Відповідно до способу представлення нечітких даних визначаються бінарні операції складання і вибору одного з двох нечітких чисел, що використовуються в моделі.

Особливості застосування еволюційно-генетичних алгоритмів при календарному плануванні обумовлюють модернізацію способу представлення проекту у вигляді орієнтованого графа, використання нової операції вибору «найбільшого» нечіткого числа та запропонованих науково-теоретичних засад для нечіткої оцінки тривалості робіт за проектом.

План робіт над проектом можна представити у вигляді орієнтованого ациклічного графа, вершини якого означають початок і закінчення робіт над завданнями проекту (рис. 2). При цьому існує дві фіктивні вершини, що відповідають початку та закінченню будівельного проекту.

Дуги графа можуть бути двох видів:

1) дуга, що визначає виконання завдання. Напрям дуги - від вершини початку завдання до вершини її закінчення. Вага дуги - це довжина виконання завдання;

2) дуга, що означає залежність завдань. Напрям дуги - від вершини закінчення завдання до вершини початку залежного від неї завдання. Вага дуги - тривалість простою між виконанням завдань.

Вершини початку завдань, які не залежать від інших, з'єднуються з вершиною початку проекту дугами 2-го виду. Їх вага дорівнює тривалості затримки від початку проекту до старту виконання завдання. Вершини закінчення завдань, від яких не залежать інші, з'єднуються з вершиною закінчення проекту дугами 2-го виду з нульовою вагою.

Щоб отримати тривалість роботи над проектом досить знайти довжину критичного шляху в описаному графові. Далі приводиться алгоритмічний етап знаходження критичного шляху, який враховує специфіку орієнтованого графа.

Нехай вершини пронумеровані так, що дуга (ξ_i , ξ_j) завжди орієнтована від вершини ξ_i до вершини ξ_j, що має більший номер, як показано на рис. 2. Для ациклічного графа така нумерація завжди можлива і отримується використанням будь-який із існуючих методик. При цьому початкова вершина отримує номер 1 а кінцева - номер n. Присвоюючи вершині ξ_j позначку $\psi(\xi_j)$, рівну довжині щонайдовшого шляху від 1, до ξ_j, використовуємо для цього співвідношення:

$$\psi(\xi_j) = \max_{\xi_i \in U^-(\xi_j)} [\psi(\xi_i) + \nu_{ij}], \quad (3)$$

де v_{ij} - вага дуги від вершини ξ_i до ξ_j, $U^-(\xi_j)$ - множина дуг, що передують ξ_j.

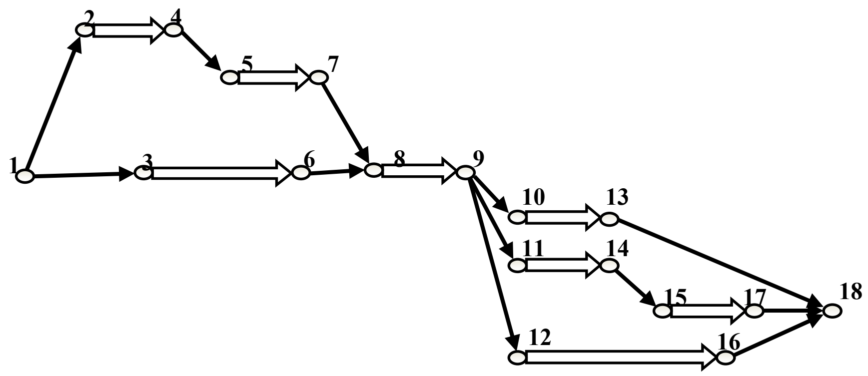

Рис. 2. Орієнтований ациклічний граф, що описує план робіт над проектом

Потім, знову застосовуючи вираз (3), призначається позначка вершині (ξ_j + **1**), і так до тих пір, поки остання вершина n не отримає позначку $\psi(\xi_n)$, як і в класичних алгоритмах, що використовують позначки вершин $\psi(\xi_1)=0$. Якщо вершина ξ_j має позначку, то позначки $\psi(\xi_i)$ відомі для усіх вершин $\xi_i \in U^{-}(\xi_i)$, оскільки відповідно до способу нумерації це означає, що $\xi_i < \xi_j$ і таким чином, що вершини ξ_i вже помічені в процесі застосування алгоритму.

Позначка $\psi(\xi_n)$ дорівнює довжині щонайдовшого шляху від **1** до n. Самі дуги, що утворюють шлях, можуть бути знайдені звичайним способом послідовного повернення. А саме дуга (ξ_i , ξ_j) належить шляху тоді і тільки тоді, коли $\psi(\xi_j)=\psi(\xi_i)+v_{ij}$. Починаючи з вершини ξ_j рівною n, вважаємо на кожному кроці ξ_j рівній такій вершині ξ_i (скажімо, ξ_i*), для якої виконується остання рівність, і так продовжуємо до тих пір, поки не буде досягнута початкова вершина (тобто доки не буде $\xi_i^* = 1$).

У запропонованому алгоритмі математичної моделі використовуються дві операції: складання ваги дуг і порівняння (для знаходження максимуму).

Перший підхід застосування цього алгоритму полягає в знаходженні критичного шляху, при роботі з чіткими числами, тобто використовуючи складову **нч** нечітких чисел. Потім по знайденому шляху за допомогою описаної вище операції складання чисел Гауса обчислюється нечітка довжина роботи над проектом.

У другому підході критичний шлях шукається із застосуванням нечіткої операції складання і операції вибору, визначеної на нечітких числах. Перший підхід потребує менше обчислювальних ресурсів у порівнянні з другим, але здатний привести до неточної оцінки тривалості роботи над проектом.

Операція вибору одного з двох нечітких чисел.

Для роботи алгоритму пошуку критичного шляху нечіткого графа і відбору рішень в генетичному алгоритмі необхідно визначити операцію, яка виконує вибір "найбільшого" з двох нечітких чисел Гаусса. Для цього не потрібно буде створювати нечітке бінарне відношення переваги, оскільки треба однозначно вибрати нечітке число, а нечітке відношення такого вибору не забезпечує. Розглянемо величину:

$$R(\pi)=\frac{\int_{\pi}^{\infty} \Pi_{НЧ}(\omega)d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} \Pi_{НЧ}(\omega)d\omega}, \tag{4}$$

де $\Pi_{НЧ}(\omega)=e^{-\frac{(\omega-\varpi)^2}{\theta^2}}$.

Цю величину можна інтерпретувати як вірогідність того, що число $\Pi_{НЧ}$ реалізується в чітке значення більше або рівне π. Введена величина $R(\chi)$ дорівнює відношенню площі, обмеженої ліворуч числом χ, знизу віссю абсцис і зверху функцією приналежності $\Pi_{НЧ}(\omega)$, до площі усієї області, що визначається віссю абсцис і функцією приналежності (рис. 3).

Інтеграли, необхідні для обчислення $R(\chi)$, обчислюються шляхом зведення їх до відомої функції Лапласа:

$$FL(\chi)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{0}^{\chi}\exp\frac{-\tau^2}{2}d\tau \tag{5}$$

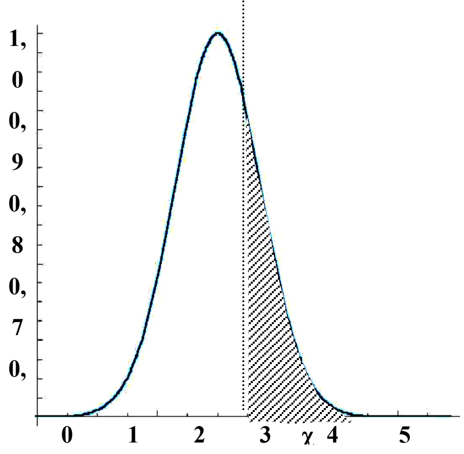

Рис. 3. Геометричний сенс величини $R(\chi)$

За допомогою заміни відношення $\dfrac{\tau}{\sqrt{2}}=\dfrac{\omega-\varpi}{\theta}$ для $\Pi_{НЧ}(\omega)$ перетвориться до виду:

$$R(\chi)=\frac{\int\limits_{\frac{\sqrt{2}(x)}{\theta}}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}=\frac{\int\limits_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}dt-\int\limits_{-\infty}^{\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}=$$

$$=\frac{\int\limits_{-\infty}^{0} e^{-\frac{\tau^2}{2}}dt+\int\limits_{0}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}dt-\left(\int\limits_{-\infty}^{0} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau+\int\limits_{-\infty}^{\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau\right)}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}=$$

$$=\frac{\int\limits_{0}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau-\int\limits_{0}^{\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\tau^2}{2}}d\tau}=\frac{1}{2}-FL\left(\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}\right)$$

В результаті вірогідність того, що реалізація нечіткого числа Гаусса буде більше або рівна χ, дорівнює

$$\frac{1}{2}-FL\left(\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}\right),\ \text{якщо}\ \chi\ge\varpi, \qquad (6)$$

$$\frac{1}{2}+FL\left(\frac{\sqrt{2}(\chi-\varpi)}{\theta}\right),\ \text{якщо}\ \chi<\varpi. \qquad (7)$$

Функція $R(\chi)$ є такою, що безперервно-диференційована та така, що спадає:

$$R(\varpi)=\frac{1}{2},\ \lim_{\chi\to-\infty}R(\chi)=1,\ \lim_{\chi\to+\infty}R(\chi)=0 \qquad (8)$$

Проблема вибору з двох нечітких чисел, що означають тривалість виконання одного завдання (чи проекту цілком), вирішується на основі логіки, якою часто користується керівник проекту (експерт). Перше завдання вважається менш прийнятним, чим друге, якщо існує певна вірогідність того, що перше завдання матиме більшу тривалість виконання.

У наших позначеннях це призводить до необхідності розв'язання двох рівнянь: $R^1(\chi)=Vir$ та и $R^2(\chi)=Vir$, де $R^1(\chi)$ та $R^2(\chi)$ - функції вірогідності для чисел Гаусса, що порівнюються, Vir - вірогідність, яка є параметром; що визначає рівень ризику. Перевага віддається тому нечіткому числу $НЧ_Г$, для якого корінь відповідного рівняння найменший.

Функція Лапласа $FL(\chi)$ не виражається через елементарні функції, тому для розв'язання цих рівнянь слід використовувати «класичні» чисельні методи.

Висновок

Застосування синтезу теорії нечітких оцінок та нечітких орієнтованих графів дозволяє якісно розширити об'єм та рівень вихідної інформації алгоритмів генерації можливих альтернатив розвитку операційної діяльності та окремих проектів будівельної організації, зокрема, календарних планів виконання робіт, ресурсних поставок тощо. Це забезпечує надходження вихідних даних щодо раціональних варіантів їх здійснення та відповідного розвитку ситуації та є науково-теоретичним підґрунтям для подальшої розробки систем інформаційного забезпечення діяльності та впровадження у практику ведення робіт організацій будівельної галузі.

Список літератури

1. Доненко В.І. Теоретичні основи оновлення існуючих еволюційних методів вирішення організаційно-технологічних питань у діяльності будівельних організацій / В. І. Доненко // Управління розвитком складних систем. – 2011. – Вип. 03 (03). – С. 18 – 24.

2. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

3. Cantu-Paz E. Efficient and accurate parallel genetic algorithms. – Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2001. – 162 p.

Стаття надійшла до редколегії 16.02.2011

Рецензент: д-р техн.наук, професор І.І. Назаренко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ