

О. Л. Котляров, канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник
Інститут загальної енергетики НАН України

ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАФТОГАЗОВИХ ПРОМИСЛІВ

Запропоновано метод багатофакторного оцінювання альтернатив певної інноваційної технології (устаткування) для їх порівняння, ранжирування і вибору кращих в умовах, коли частина показників ефективності альтернатив (чи навіть всі) можуть бути нечіткими. Метод базується на лінійному програмуванні, показники ефективності впливають на результати розрахунків через цільову функцію та обмеження. Оптимальний варіант ранжирування альтернатив відшукується шляхом штучного створення та поступового посилення конкуренції між ними, в якій кожна альтернатива «аргументує» повним набором своїх показників. Сутність запропонованого методу пояснюється на прикладі альтернатив свердловинного насосного агрегату для відбору пластової рідини.

Розроблено математичну модель та її реалізацію в MS Excel, які дозволяють керівній особі, що приймає остаточне рішення, але не має спеціальних знань, стати провідним учасником процесу вибору кращих новітніх технологій і свідомо зробити свій власний вибір. Задача розв'язана аналітично, наведено розрахункові залежності для практичного застосування моделі, яке пояснюється конкретними прикладами.

Модель може застосовуватись для багатокритеріального порівняння і ранжирування будь-яких однакових за призначенням об'єктів з відомими показниками ефективності (корисності), зокрема, при виборі кращого варіанта інноваційно-інвестиційного проекту.

Ключові слова: інноваційні технології, багатофакторний вибір, математична модель, лінійне програмування

Вступ. Типовими для підготовчої стадії модернізації нафтогазовидобувного підприємства є питання визначення інвестиційної привабливості різних варіантів (альтернатив) сучасних інноваційних технологій чи устаткування для включення кращих із них в інноваційно-інвестиційні проекти, самих цих проектів, а також окремих родовищ. Інакше кажучи, виникає задача вибору кращих серед означених об'єктів за їхньою виробничою ефективністю. Традиційним (майже «нормативним») підходом в таких ситуаціях є порівняння та ранжирування альтернатив тільки за одним показником ефективності, який вважають головним, всі ж інші показники мають бути лише «не гірше, ніж...». Проте очевидно, що для найбільш економічного і технічно результативного вкладання інвестицій потрібний «тонкий» підхід, здатний комплексно врахувати повну сукупність показників ефективності порівнюваних об'єктів. Тут виникають специфічні проблеми загального характеру, на розв'язання яких націлені розроблені в даній роботі засоби підтримки прийняття рішень.

Сутність цих проблем розглянемо на прикладі вибору кращих альтернатив свердловинного насосного агрегату (НА). Виробнича ефективність НА характеризується багатьма показниками [1, 2]. Зокрема, основні технологічні показники – подача, глибина відбору нафти тощо – задаються своїми максимальними значеннями або ж інтервалами значень, а гідравлічна характеристика задається графічно. Важливою при виборі може бути і чисто якісна інформація, наприклад, щодо екологічності чи простоти та надійності агрегату.

Таким чином, узагальнюючи, можна сказати, що серед показників ефективності НА – техніко-технологічних, економічних, екологічних тощо – можуть бути чіткі числові дані, задані одним числом, нечіткі числові інтервальні чи графічні дані, а також якісні характеристики. Задача полягає в тому, щоб комплексно (багатокритеріально) порівняти і ранжувати альтернативи НА за всією сукупністю цих показників. Для цього можна використати різноманітні спеціальні методи (див., наприклад, [3 – 5]), пристосовані для розгляду ситуацій *суперечності показників*, коли за деякими показниками одні альтернативи є кращими, за іншими – інші, і тому комплексне ранжирування всіх альтернатив є невизначеним. Ця невизначеність є принциповою, і в таких ситуаціях потрібна додаткова інформація. Найчастіше вона зводиться до надання особою, що приймає рішення (ОПР), кожному із суперечливих показників певної відносної ваги (пріоритетності), яка відображає її суб'єктивні переваги.

Проте в даній задачі є ще одна проблема, пов'язана з тим, що ОПР, як правило, не має вузьких спеціальних знань щодо конкретних технологій і тому не має певних орієнтирів при виборі кращих із них. З іншого боку, ОПР може мати власне глобальне бачення проблеми, а також несе всю відповідальність за остаточний вибір. Щоб допомогти ОПР самостійно зробити свій власний вибір після консультацій з

експертами, застосовуються різноманітні, переважно, інтерактивні методи підтримки прийняття рішень (див., наприклад, [4, 5]).

Постановка завдання. Доволі значна на даний час кількість таких методів пояснюється тим, що кожен із них має свої переваги й недоліки. Звідси випливає, що чим більшою є ця кількість, тим легше для кожної конкретної задачі підібрати найбільш адекватний метод. В роботі ставилась задача створення ще одного такого підходу для розв'язання означених вище питань модернізації нафтогазових промислів. Проте розроблені засоби мають загальний характер і можуть використовуватись, в принципі, для комплексного порівняння і ранжирування будь-яких однакових чи близьких за призначенням об'єктів із відомими показниками ефективності (корисності).

Далі вживаються терміни: *рейтинг* – ряд об'єктів різної величини або ж «якості», упорядкований в напрямі її зменшення; *ранг* – порядковий номер об'єкта у рейтингу.

Матеріали і результати досліджень. Математична модель має ієрархічну структуру і базується на комплексному оцінюванні альтернатив та створенні конкуренції між ними засобами лінійного програмування.

Розглянемо задачу лінійного програмування:

$$\sum_{n=1}^N C_n K_n \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$0 \leq K_n \leq K_{n\max}, \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^N K_n = 1. \quad (3)$$

Тут n – номер альтернативи; N – кількість альтернатив; коефіцієнти C_n в (1) та верхні межі $K_{n\max}$ в (2) – задані параметри кожної альтернативи; K_n – шукані безрозмірні величини.

Згідно (1) – (3) зі збільшенням параметрів C_n і $K_{n\max}$ певної альтернативи розрахункова величина K_n для неї теж зростає. Зробимо ці параметри залежними від показників ефективності альтернатив, і щоб із поліпшенням показників ці параметри зростали. За таких умов величина K_n для кожної альтернативи буде обрховуватись з огляду на повну сукупність її показників і зростати з поліпшенням кожного показника, тому K_n можна буде вважати *комплексною оцінкою* (за інтервальною шкалою) ефективності альтернативи за всіма її показниками, а ранжировані за їх величиною компоненти оптимального плану K_1, K_2, \dots, K_N – багатofакторним рейтингом альтернатив за ефективністю.

Верхні межі в (2) визначаємо залежностями:

$$K_{n\max} = m\gamma_n, \quad m \geq 1, \quad (4)$$

$$\gamma_n = \frac{C_n \beta_n}{\sum_n C_n \beta_n}; \quad \sum \gamma_n = 1, \quad (5)$$

в яких є два нові параметри: m і β_n . Їхнє призначення пояснюється далі.

Нехай A – чіткий числовий показник, який бажано максимізувати, а B – мінімізувати. За окремими показниками цих двох типів альтернативи оцінюємо частинними оцінками (критеріями), відповідно, A_n/A_{\max} та B_{\min}/B_n , де A_{\max} , B_{\min} – максимальне та мінімальне значення показника у групі альтернатив. Якщо ж показник є нечітким і має експертну оцінку k_n , то його частинною оцінкою є k_n/k_{\max} . Із поліпшенням окремих показників певної альтернативи відповідні частинні оцінки її зростають.

Далі всі показники ефективності розбиваємо на головні та другорядні. Припустимо, нам відомі відповідні комплексні оцінки $K_{Гн}$ і $K_{Дн}$ альтернатив за показниками кожної з цих двох груп. Тоді для коефіцієнтів C_n і параметрів β_n в (1), (5) приймаємо

$$C_n = K_{Гн}, \quad \beta_n = K_{Дн} \quad (6)$$

і отримуємо двокритеріальну задачу (1) – (6) із двома заданими комплексними критеріями C_n, β_n , в якій коефіцієнти C_n реалізують вплив головних, а параметри β_n – другорядних показників на комплексне ранжирування альтернатив за всіма показниками.

Якщо в кожній з означених двох груп показники між собою є приблизно рівнозначними, то комплексні оцінки $K_{Гн}$ і $K_{Дн}$ альтернатив знаходимо як добуток відповідних частинних оцінок. Якщо ж хоча б в одній групі показники між собою нерівнозначні, то відповідну комплексну оцінку отримуємо ієрархічним шляхом, який наводиться нижче.

Практичне застосування моделі здійснюється таким чином. Із групи альтернатив, що розглядається, спершу доцільно виділити множину Парето [3, 4] лише доміантних альтернатив із суперечливими показниками, після чого їхнє комплексне ранжирування визначити за їхніми оцінками K_n . Оптимальний варіант ранжирування ОПР шукає шляхом поступового збільшення параметра m в (4), візуалізації

залежностей оцінок K_n від m і аналізу та порівняння ходу кривих $K_n(m)$. Ці криві для задачі (1) – (6) можна отримати в MS Excel за допомогою процедури Solver. Проте точно встановити їхні загальні властивості при довільному N можна лише аналітичним шляхом, який показує таке.

Занумеруємо альтернативи в порядку зменшення коефіцієнтів C_n . Із (4), (5) випливає, що

$$\sum_{n=1}^N K_{nB} = m \geq 1, \quad (7)$$

тобто параметр m показує, у скільки разів сума всіх верхніх меж перевищує суму оцінок K_n , яка, згідно (3), дорівнює одиниці. При $m = 1$, коли за (3), (7) $\sum K_n = \sum K_{nB}$, всі альтернативи отримують свої максимальні для даного m оцінки ($K_n = K_{nB}$). Але при $m > 1$ мають бути альтернативи з $K_n < K_{nB}$, оскільки тут виконується нерівність $\sum K_n < \sum K_{nB}$, яка посилюється зі зростанням m . Через це зі зростанням m виникає і поступово посилюється конкуренція між альтернативами, в якій кожна альтернатива «аргументує» повним набором своїх показників.

Однак умова (1) надає перевагу конкурентам із більшими коефіцієнтами C_n , яка, згідно з (4), (5), додатково підсилюється залежністю верхніх меж від цих коефіцієнтів, що зростає зі збільшенням C_n і m . Можна показати, що при m трохи більшому за одиницю альтернатива N , яка має найменший C_n , отримує залишок від розподілу оцінок між «старшими» $N - 1$ альтернативами, і її оцінка K_N стає меншою від $m\gamma_N$ на величину $m - 1$, а оцінки «старших» альтернатив, як і раніше, дорівнюють їхнім верхнім межах $m\gamma_n$. Тому зі зростанням m оцінки «старших» альтернатив лінійно зростають, а оцінка «аутсайдера» N лінійно спадає і при деякому $m = m_{0N}$ стає рівною нулю. Після цього він вибуває з конкурентної боротьби, і розмірність задачі зменшується на 1. При $m > m_{0N}$ новим «аутсайдером» серед решти $N - 1$ конкурентів стає альтернатива $N - 1$ із найменшим C_n . Оцінка K_{N-1} цієї альтернативи в точці m_{0N} є максимальною, а далі зі зростанням m починає лінійно спадати, і все повторюється вже для цієї зменшеної сукупності альтернатив. Нарешті з усіх конкурентів лишається тільки перша альтернатива з оцінкою $K_1 = 1$ (див. нижче рис. 1, де $N = 5$).

Звідси видно, що до статусу «аутсайдера» послідовно переходять всі альтернативи, крім першої. Якщо лишилось s конкурентів, то $s - 1$ «старших» оцінюються за виразом (4), а «аутсайдер» має оцінку $K_s = 1 - m$

$\sum_{n=1}^{s-1} \gamma_n$, яка зі зростанням m зменшується за законом

$$K_s = 1 - m/m_{0s}, \quad m_{0s} = \left(\sum_{n=1}^{s-1} \gamma_n \right)^{-1} \quad (8)$$

і стає рівною нулю в точці m_{0s} . В загальному випадку криві $K_n(m)$, $n = \overline{2, N-1}$, є ламаними лініями, що включають лінію зростання за законом $K_n = m\gamma_n$ і з максимумом в точці $m_{n\max} = m_{0(n+1)}$ та лінію спадання за законом (8). Крива $K_N(m)$ має лише лінію спадання з $m_{N\max} = 1$, а крива $K_1(m)$ – лінію зростання і «полку» $K_1 = 1$ при $m \geq m_{02}$. Лінії зростання між собою не перетинаються, а точки перетину у них є лише із лініями спадання «аутсайдерів».

Отже, при довільному m альтернативи поділяються на «старших» із оцінкою $K_n = m\gamma_n$, «аутсайдера» з оцінкою (8) і «менших» з оцінкою $K_n(m) = 0$. Нехай R_{en} – ранг альтернативи n за її ефективністю. Для «менших» альтернатив він дорівнює номеру n альтернативи, тобто її рангу за величиною коефіцієнта C_n ; для «старших» він збігається з рангом альтернативи за величиною її верхньої межі, тобто, згідно (4), (5), за величиною добутку $C_n\beta_n$; для «аутсайдера» визначається його поточною оцінкою K_n .

Таким чином, при $m = 1$, коли для всіх альтернатив $K_n = \gamma_n$, вплив коефіцієнтів C_n (головних показників) та параметрів β_n (другорядних показників) на комплексне ранжирування є симетричним, тобто однаковим. При $m > 1$ це стосується лише «старших» альтернатив з $K_n = m\gamma_n$, причому зі зростанням m з'являється і далі поступово зростає частка альтернатив, ранги R_{en} яких дорівнюють їх рангу n за коефіцієнтом C_n і не залежать від другорядних показників. Нарешті, при m більшому за деяке межове значення, яке позначимо через m_c , такими стають всі альтернативи. Звідси випливає, що параметр m визначає відносну вагомість впливу головних показників на комплексне ранжирування, зростання якої виявляється у збільшенні частки альтернатив з $R_{en} = n$.

Дії ОПР пояснює приклад тестових розрахунків за формулами (4), (5), (8) при $N = 5$ і відомих значеннях C_n , β_n . Вихідні дані та основні отримані результати містить табл. 1, а хід кривих $K_n(m)$ ілюструє рис. 1. Межова точка m_c в загальному випадку є абсцисою точки перетину лінії зростання і лінії спадання. Для даних з табл. 1 це лінії $K_1 = m\gamma_1$ і $K_2 = 1 - m\gamma_1$. Звідси: $m_c = (2\gamma_1)^{-1} = 3,205$; $m_{02} = \gamma_1^{-1} = 2 m_c = 6,410$. Позначимо: δ_c – частка альтернатив із $R_{en} = n$; w_c – відносне (порівняно з початковою однакою вагомістю C_n і β_n при $m = 1$) зростання вагомості впливу коефіцієнтів C_n на комплексні оцінки K_n . Обидві величини залежать від m . Величина δ_c зростає стрибком на $1/(N - 1)$ в тих точках осі абсцис, де лінія чергового «аутсайдера» востаннє перетинає лінію,

що зростає. Для даного прикладу це абсиси точок перетину кривої 1 з кривими 5, 4, 3, 2 (див. рис. 1), і у кожній з них δ_c зростає на 1/4. Для величини w_c , яка є неперервною функцією m , приймемо, що в означених точках вона дорівнює $\delta_c(m + 0)$ і має значення, відповідно, 1/4, 1/2, 3/4 і 1, а у проміжках між сусідніми такими точками зростає рівномірно (лінійно). Виходячи з цього та зі свого розуміння переважної вагомості коефіцієнтів C_n , ОПР спочатку обирає відповідний проміжок, а далі всередині нього визначає свій оптимальний варіант комплексного ранжирування альтернатив за їх оцінками K_n .

Зауважимо, що результати розрахунків, подані на рис. 1, повністю збігаються із розв'язком задачі (1) – (5) за процедурою Solver, якщо його отримано за наведеними в табл. 1 характерними точками кривих, знайденими попередньо аналітичним шляхом. Якщо ж Solver застосовувати для розрахунків при довільних m , то розбіжність графіків $K_n(m)$, отриманих обома способами, може бути дуже помітною.

Таблиця 1 - Вихідні дані та результати розрахунків характерних точок кривих $K_n(m)$

№ _а	C_n/C_m _{ах}	β_n/β_m _{ах}	γ	m_{0n}	$m_{n \max}$	$K_{n\max}$
1	1,000	0,435	0,156	–	–	–
2	0,834	0,613	0,184	6,410	2,942	0,540
3	0,731	0,775	0,203	2,942	1,841	0,374
4	0,652	0,964	0,226	1,841	1,300	0,294
5	0,643	1,000	0,231	1,300	1,000	0,231

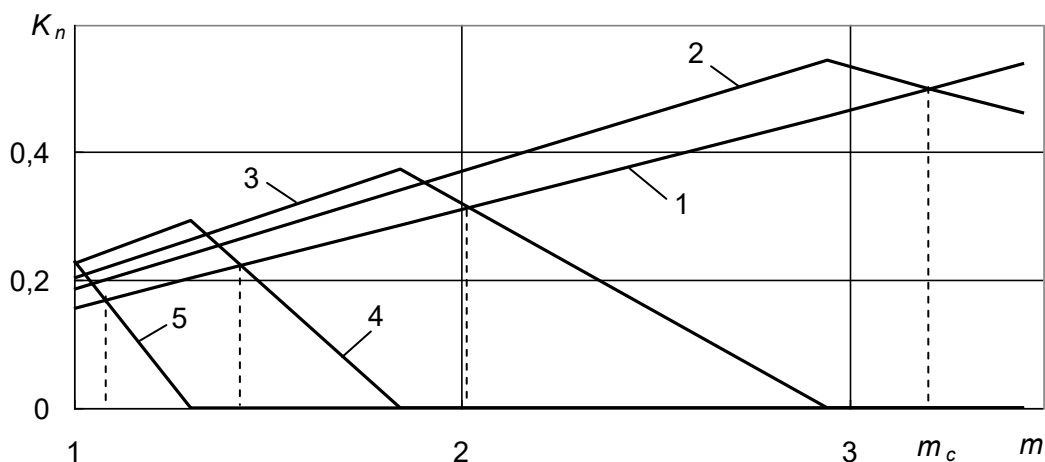


Рисунок 1– Залежність комплексних оцінок ефективності альтернатив від параметра m . Тут: номер кривої є номером альтернативи; пунктиром нанесені лінії проєкції, що визначають точки зростання величини δ_c .

Ієрархічний спосіб визначення параметрів C_n, β_n за (6) пояснимо на прикладі вибору кращих насосних агрегатів. Нехай головними показниками НА обрано максимальні значення подачі G і глибини відбору нафти H , а другорядними – пов'язані з даною альтернативою інвестиційні I та експлуатаційні V витрати. Нехай, також, серед головних більш пріоритетним є показник H , а обидва другорядні показники є приблизно рівнозначними, і тому у (6) оцінка $K_{дн} = I/I_{\max} V/V_{\max}$. Для визначення оцінок K_m переходимо на другий (нижчий) рівень ієрархії, де головним вважаємо показник H , другорядним – G , і потім для даного рівня знаходимо $K_{2гн} = H/H_{\max}$ і $K_{2дн} = G/G_{\max}$. Після цього на другому рівні застосовуємо наведену вище методику дій ОПР, приймаючи аналогічно (6) $C_{2n} = K_{2гн}, \beta_{2n} = K_{2дн}$, і отримуємо в результаті комплексні оцінки $K_{гн}$ основного рівня в (6).

Звичайно, в загальному випадку може виникнути необхідність переходу на більш низькі рівні ієрархії, але завжди ми вийдемо на якийсь нижній рівень, де в кожній групі показників буде або лише один показник, або кілька між собою рівнозначних, і тому із визначенням комплексних оцінок кожної групи тут проблем не буде. Після розв'язання задачі на цьому рівні стає визначеною і розв'язується задача комплексного оцінювання на наступному вищому рівні. Так поступово рухаємось вгору до основного рівня, як це було показано в наведеному вище прикладі.

Наведемо деякі властивості моделі (крім зазначених вище):

- якщо при порівнянні двох альтернатив одна домінує іншу за всіма показниками, то її оцінка K_n є більшою;

- якщо при порівнянні двох альтернатив одна домінує іншу за параметрами C_n , β_n , то її оцінка K_n є більшою;
- при змінах параметрів C_n , β_n (одного з них чи обох) окремої альтернативи її оцінка K_n змінюється у тому ж напрямі;
- якщо ці параметри пропорційно змінюються для всіх альтернатив, то всі оцінки K_n лишаються незмінними.

Висновки

Запропонована математична модель для надання можливості керівній особі, що приймає відповідальне рішення, але не має спеціальних знань, стати провідним учасником процесу вибору нових технологій чи устаткування для модернізації виробництва. Багатофакторне ранжирування альтернатив розглядається як задача лінійного програмування і досягається шляхом їх комплексного оцінювання за всіма показниками ефективності, частина яких (чи навіть всі) можуть бути нечіткими. Оптимальний варіант ранжирування альтернатив відшукується штучним створенням та поступовим посиленням конкуренції між ними, в якій кожна альтернатива «аргументує» повним набором своїх показників.

Задача комплексного оцінювання альтернатив розв'язана аналітично, наведено розрахункові залежності для практичного застосування моделі, яке пояснюється конкретними прикладами.

Модель може застосовуватись для багатокритеріального порівняння і ранжирування будь-яких однакових за призначенням об'єктів з відомими показниками ефективності (корисності).

Список літератури

1. Подбор установок погружных центробежных насосов к нефтяным скважинам [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.autotechnologist.com/d/method1.doc
2. Характеристика центробежного насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nasosinfo.ru/node/16>
3. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
4. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
5. Гольдштейн А. Л. Теория принятия решений. Задачи и методы исследования операций и принятия решений: Учебное пособие для вузов / Гольдштейн А. Л. – Пермь: ПГТУ, 2009. – 360 с.

O. L. Kotlyarov

Institute of General Energy of National Academy of Sciences of Ukraine

TOOLS OF DECISION MAKING SUPPORT FOR THE MODERNIZATION OF OIL FIELDS

In the paper, we propose a method for the multiple-criteria estimation of the alternatives of an innovative technology (equipment) for their comparison, ranking, and selection of the best under conditions when a part of the parameters of alternative efficiency may be fuzzy. The method is based on linear programming; and the parameters of efficiency influence the results of calculations through the objective function and certain limitations. One seeks for the best option of ranking of the alternatives by means of the artificial creation and gradual magnification of competition between them, where each "argues" by the complete set of its performance parameters. The essence of the proposed method is illustrated by the example of alternatives of a down hole pump unit for the rise of oil reservoir fluid.

We have developed the mathematical model and its implementation in MS Excel. These tools enable the decision-maker, who does not have the corresponding expertise, to become a leading participant in the process of selecting the best technologies and to make his own choice consciously. The model has a hierarchical structure. The problem is solved in an analytical way; we give the computational formulae for the practical application of our model, which is explained on some specific examples.

The model can be used for multiple-criteria comparison of any objects of the same purpose with known parameters of efficiency (utility), in particular, at selecting the best option for an innovation and investment project.

Keywords: innovative technologies, multiple-criteria selection, mathematical model, linear programming

References

1. Podbor ustanovok pogrzhnykh tsentrobezhnykh nasosov k neftyanym skvazhinam [Selection of submersible centrifugal pumps for oil wells]. Retrieved from: www.autotechnologist.com/d/method1.doc
2. Kharakteristika tsentrobezhnogo nasosa [Characteristics of a centrifugal pump]. Retrieved from: <http://www.nasosinfo.ru/node/16>
3. Venttsel' E. S. (1980). Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya [Operations research: objectives, principles, methodology]. Moscow: *Nauka* [in Russian].

4. Larichev O. I. (2002). Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe Khronika sobytiy v Volshebnykh stranakh [Theory and Methods of Decision Making, as well as Chronicle of Events in Fairy Lands]. Moscow: Logos [in Russian].

5. Gol'dshcheyn A. L. (2009). Teoriya prinyatiya resheniy. Zadachi i metody issledovaniya operatsiy i prinyatiya resheniy [Decision theory. Objectives and methods of operations research and decision-making]. Perm': PGTU [in Russian].

УДК 622.323:338.27:519.863

О. Л. Котляров, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Институт общей энергетики НАН Украины

СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛОВ

Предложен метод многофакторного оценивания альтернатив определенной инновационной технологии (оборудования) для их сравнения, ранжирования и выбора лучших в условиях, когда часть показателей эффективности альтернатив (или даже все) могут быть нечеткими. Метод базируется на линейном программировании, показатели эффективности влияют на результаты расчетов через целевую функцию и ограничения. Оптимальный вариант ранжирования альтернатив ищется путем искусственного создания и постепенного усиления конкуренции между ними, в которой каждая альтернатива «аргументирует» полным набором своих показателей. Сущность предложенного метода поясняется на примере альтернатив скважинного насосного агрегата для отбора пластовой жидкости.

Разработаны математическая модель и ее реализация в MS Excel, дающие возможность лицу, принимающему решение, но не имеющему специальных знаний, стать ведущим участником процесса выбора лучших технологий и сознательно сделать свой собственный выбор. Задача решена аналитически, приведены расчетные зависимости для практического применения модели, которое поясняется конкретными примерами.

Модель может применяться для многокритериального сравнения и ранжирования любых объектов одинакового назначения с известными показателями эффективности (полезности), в частности, при выборе лучшего варианта инновационно-инвестиционного проекта.

Ключевые слова: инновационные технологии, многофакторный выбор, математическая модель, линейное программирование

Надійшла 25.10.2015

Received 25.10.2015

УДК 621.311

Ковальчук А. М., к.т.н., доцент, **Сусюк Д. В.**

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ЗА РАХУНОК ГЕНЕРАТОРА ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО ГАЗУ

У статті розглянуто переваги та недоліки твердопаливних установок, обґрунтовано доцільність їх використання. Зокрема, звертається увага на тенденцію росту інтересу до твердого палива, як альтернативи природному газу. В контексті даного питання, розглядається можливість організації автономного енергозабезпечення об'єкту за допомогою установки, яка працює на твердому паливі. Метою цієї статті є відображення недосконалості сухого спалювання твердого палива, оцінка коефіцієнту корисної дії установок, та можливість їх модернізації за рахунок генератора воднево-кисневого газу для підвищення ефективності роботи установок. У роботі також пояснюється принцип роботи генератора та описується дослід, який наглядно показує значне підвищення усіх параметрів твердопаливної установки, вдосконаленої генератором воднево-кисневого газу.

Ключові слова: твердопаливні установки, тверде паливо, воднево-кисневий газ, генератор воднево-кисневого газу, підвищення ефективності твердопаливних установок.

© Ковальчук А. М., Сусюк Д. В., 2015