

**Р. Б. Вовк**, к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна,  
[wolf@wolf.if.ua](mailto:wolf@wolf.if.ua)

## КЛАСИФІКАЦІЯ ФОРМАЛІЗОВАНИХ ОПИСІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ КОМПАРАТОРІВ

*В даному дослідженні виділені класи формальних представлень технологічних проблем буріння на основі м'яких обмежень з ваговими коефіцієнтами та лексикографічними представленнями, що дозволяє розглядати їх як клас пошукових задач з оцінками на основі побудови некоторого відношення між виділеними класами на основі м'яких обмежень і пошуковими задачами з оцінками в загальному випадку. В результаті, технологічні проблеми на основі м'яких обмежень з ваговими коефіцієнтами розглядаються як перший рівень ієрархії обмежень з компаратором «найкращий за суммою вагових коефіцієнтів». Достиження повноти такого зображення потребує повного упорядкування оціночних значень, що недостижимо в класі локальних технологічних проблем на основі м'яких обмежень і відповідуючих локальних компараторів, що визначає потребу в побудові глобальних уніфікованих компараторів.*

**Ключові слова:** технологічні обмеження, оціночні функції, ієрархії обмежень, вагові коефіцієнти, лексикографічні представлення, пошукові задачі на основі обмежень.

**Вступ.** Новітні технології буріння використовують механізми накопичення інформації в формі баз даних та баз знань щодо геологічних та геофізичних умов і особливостей процесу буріння. Рівень наповнення таких джерел даних залежить від етапу життєвого циклу родовища. Зокрема, в умовах пошукового буріння інтелектуальні автоматизовані системи та оператори технологічного процесу можуть спиратися на них незначною мірою, в зв'язку з їх початковою наповненістю, а також низьким рівнем структуризації та класифікованості входжень у формі даних та знань. Проте зі збільшенням кількості пробурених свердловин, зростанням рівня та якості виконуваних вимірювань і застосуванням процедур верифікації отриманих даних та знань відповідно збільшуватиметься рівень наповненості джерел даних та знань про родовище. Як показує досвід, ускладнення як певний вид порушення регламентованого перебігу технологічного процесу виникають навіть у найбільш новітніх та інтелектуалізованих системах автоматизації процесу керування бурінням.

Дослідження цієї проблеми [1, 2] показують, що причиною появи нештатної ситуації є виникнення певного виду невідповідності геологічних і геофізичних характеристик розрізу, опису та структуризації параметрів

технологічного процесу буріння, закладених на етапі проектування та складання технологічного регламенту. Нештатні ситуації призводять до часових та фінансових втрат і відповідно негативно впливають на техніко-економічні показники процесу буріння. Тому виявлення можливих причин нештатних ситуацій та опис їх у формі обмежень, що накладаються на технологічний процес буріння, є важливою задачею, вирішення якої дозволяє утворювати формалізовані структури технологічних обмежень у базах знань автоматизованих інтелектуальних систем керування та систем підтримки прийняття рішень.

У роботі [3] представлено механізм наповнення бази знань інтелектуальної системи на основі обмежень фактичними даними та знаннями предметної області, на основі спеціально створених інтерфейсних модулів, що в нашому випадку дозволятимуть додавати технологічні проблеми та їх стани.

У дослідженні [4] подано формальне обґрунтування означень технологічної проблеми з невизначеністю, що дозволяє оперувати з характеристиками ступеня задоволення та відношень впорядкування по вагових коефіцієнтах з накладеною ієрархією обмежень і контролем рівня недообмеженості та надобмеженості технологічних проблем.

Побудовані в [5] множини, системи та ієрархії обмежень для статичних і динамічних формулювань проблем з виділеними станами доцільно використати як механізм контролю порушення накладених обмежень на керовані параметри технологічного процесу.

В роботі [6] представлено метод оперування з ієрархіями обмежень на основі механізму локальних і глобальних компараторів, що дає можливість пошуку рішень проблем представлення та задоволення обмежень у просторі станів.

Проте **невирішеною** є задача побудови ефективної класифікації технологічних проблем на основі розвинутої методології систем підтримки прийняття рішень, які спиратимуться на формальну ідею узагальненого локального поширення як основи фреймворку для вирішення введених ієрархій обмежень для доступних формулювань технологічних проблем, що представляють нештатні ситуації в процесі буріння нафтових і газових свердловин.

Таким чином, **метою статті** є побудова формальних представлень компараторів як ефективної методології порівняння та класифікації технологічних проблем, сформульованих на основі підходу представлення та задоволення обмежень у формі їх множин, систем та ієрархій, що накладаються на керовані параметри процесу буріння.

Як показує аналіз літературних джерел [1-2] в галузі буріння нафтових і газових свердловин, цей технологічний процес характеризується виникненням ряду нештатних (аварійних, позапланових) ситуацій. Причиною виникнення цих нештатних ситуацій є вихід певних технологічних параметрів за встановлені граничні значення (домени). Опис такого процесу можна представити у вигляді задачі задоволення обмежень [7], якщо її змінні представляти технологічними параметрами контролю процесу буріння.

Оперування з конструкціями обмежень здійснюється на основі їх прив'язки до деякої виділеної поточної технологічної проблеми  $TP_j$  таким чином:

$$\begin{aligned} \text{ConstrHrch}_{TP_j} &= \bigcup_{i=1}^{k_{\max}} \text{ConstrSyst}_{TP_j} = \\ &= \bigcup_{i=1}^{k_{\max}} \{c_1, c_2, \dots, c_{n_i}\}_{n_i \in N} \end{aligned}$$

де  $\text{ConstrHrch}_{TP_j}$  – ієрархія технологічних обмежень, тобто впорядкований набір систем обмежень, наприклад по технологічних станах;  $\text{ConstrSyst}_{TP_j}$  – система технологічних обмежень, тобто впорядкована множина обмежень по певному коефіцієнту (релевантності, ймовірності, можливості тощо);  $c_1, \mathbf{K}, c_{n_i}$  – кортеж технологічних обмежень.

Виконаємо аналіз можливих способів побудови алгоритмів для вирішення ієрархії обмежень технологічних проблем.

Послідовність  $SQ = \langle c_1, \mathbf{K}, c_{k_{\max}} \rangle$  будемо вважати ієрархічним впорядкуванням для ієрархії  $\text{ConstrHrch}$ , з  $k_{\max}$  обмеженнями, якщо всі обмеження для  $SQ$  відсортовані по рівнях  $(c_{i_1} \in \text{ConstrSyst}_{k_1}, c_{i_2} \in \text{ConstrSyst}_{k_2}, k_1 < k_2 \Rightarrow i_1 < i_2)$  і згідно впорядкування  $\leq_{W^{set}}$  (для  $c_{i_1}, c_{i_2} \in \text{ConstrSyst}_{k_1}$  таких, що  $cw(c_{i_1}) <_{W^{set}} cw(c_{i_2}) \Rightarrow i_1 < i_2$ ). Послідовності  $\langle c_1, c_2, \mathbf{K}, c_i \rangle$  позначаються як  $SQ_i$  для  $i \leq k_{\max}$ ,  $SQ_i \subset SQ$ .

Нехай  $SQ = \langle c_1, \mathbf{K}, c_{k_{\max}} \rangle$  – ієрархічне впорядкування для ієрархії  $\text{ConstrHrch}$ . Рекурсивно визначену множину  $OS = OS_{k_{\max}}$  будемо вважати множиною впорядкування розв'язків для ієрархічного впорядкування  $SQ$ :  $OS_1 = \{y^1 | y^1 \in \text{присвоєнням для } SQ\}$ ,

$$\begin{aligned} OS_i &= \{y^1 | y^1 \in OS_{i-1} \wedge SF(c_i y^1) = \\ &= \max_{os \in OS_{i-1}} SF(c_i os)\} \text{ для } i \in 2\mathbf{K}k_{\max} \end{aligned}$$

Нехай  $SQ$  – ієрархічне впорядкування для  $\text{ConstrHrch}$ , а  $OS$  – множина впорядкування розв'язків для  $SQ$ . Тоді  $OS$  є множиною «краще впорядкованих» рішень. Відповідно процедуру пошуку рішення для ієрархії обмежень з компаратором «краще впорядкований» можна розділити на два кроки:

1. Сортування обмежень на кожному рівні  $\text{ConstrSyst}_i$  для ієрархії  $\langle OS_1, OS_2, \mathbf{K}, OS_{k_{\max}} \rangle$  з використанням вагових коефіцієнтів, що задаються функцією  $cw$  та їхнім впорядкуванням  $\leq_{W^{set}}$  для одержання послідовності обмежень  $OS_i$ .

2. Застосування впорядкування вхідних обмежень згідно послідовності  $\langle OS_1, OS_2, \mathbf{K}, OS_{k_{\max}} \rangle$ .

Введення глобальних компараторів дозволяє класифікувати технологічні проблеми згідно оцінних значень обмежень (вагових коефіцієнтів) та виконувати ініціалізацію компараторів «кращий по сумі вагових коефіцієнтів», «кращий по кількості незадоволених» та «лексикографічно кращий». У випадку компаратора «кращий по сумі вагових коефіцієнтів» розглянемо обмеження з міткою  $c:l$  з ієрархією обмежень  $ConstrHrch$ , з ваговим коефіцієнтом  $cw(c)$ , що визначена над множиною змінних  $(v_1, \mathbf{K}, v_k)$ . Тоді  $c$  відповідатиме м'якому обмеженню  $(rc, sc)$ , такому, що  $sc = (v_1, \mathbf{K}, v_k)$  і:

$$\forall y \equiv [v_1 = c_1^2, \mathbf{K}, v_k = c_k^2]: rc(c_1^2, \mathbf{K} c_k^2) = (\dots, cw(c^1) \times SF(c^1 y), \mathbf{K})$$

Компаратор «кращий по кількості незадоволених» можна розглядати як частковий випадок компаратора «кращий по сумі вагових коефіцієнтів», в якому вагові коефіцієнти всіх обмежень дорівнюють 1. Відповідний клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень з ваговими коефіцієнтами спрощує початкове формулювання м'якого обмеження до виду  $rc(c_1^2, \mathbf{K} c_k^2) = (\mathbf{K}, SF(c^1 y), \mathbf{K})$ , де  $SF(c^1 y) \in \{0, 1\}$  на  $l$ -й позиції для  $c:l$ .

Вихідною точкою для побудови класу технологічних проблем з м'якими обмеженнями для компаратора «кращий у найгіршому випадку» є виконання підстановки для випадку мультиплікативної операції, яка для кожного рівня ієрархії обмежень виконує пошук найменш задоволеного обмеження.

Розглянемо класичний випадок побудови ієрархії з трьох обмежень:

$$ConstrHrch = ConstrHrch_1 \cup ConstrHrch_2 = \{c_1, c_2\} \cup \{c_3\}$$

для якої справедлива нерівність  $cw(c_1)SF(c_1 y) \leq cw(c_2)SF(c_2 y)$ , що має місце для кожного присвоєння  $y$ . Відповідний клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень означимо як:

$$(ConstrSet, SC) = (\{(rc_i, sc_i) | c_i(rc_i, sc_i), i = 1, 2, 3\}, sc_1 \cup sc_2 \cup sc_3)$$

Такий клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень повинен задовольняти нерівність стосовно  $c_1$  та  $c_2$ . Оскільки обидва обмеження належать до того самого рівня ієрархії  $CH$ , то  $c_2$  є більш важливим, ніж  $c_1$  на основі припущення:

$$rc_1(k \downarrow_{sc_1}^{sc}) \leq_{OS} rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}). \quad (1)$$

Обмеження  $c_3$  належить до нижчого рівня ієрархії, ніж  $c_1$ , тому справедливо, що  $\forall k : rc_3(k \downarrow_{sc_3}^{sc}) \leq_{OS} rc_1(k \downarrow_{sc_1}^{sc})$ . Об'єднаємо обидві сторони нерівності із  $c_2$ , і на основі монотонності для  $\times$  над  $\leq_{OS}$  одержимо:

$$rc_3(k \downarrow_{sc_3}^{sc}) \times rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}) \leq_{OS} rc_1(k \downarrow_{sc_1}^{sc}) \times rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}) \quad (2)$$

Обмеження  $c_1$  та  $c_2$  знаходяться на одному рівні ієрархії, а  $c_2$  має більший ваговий коефіцієнт, ніж  $c_1$  згідно виразу (1). Оскільки компаратор «кращий у найгіршому випадку» повинен мати найгіршу поведінку на кожному рівні, то рівність  $rc_1(k \downarrow_{sc_1}^{sc}) \times rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}) =_s rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc})$  матиме місце для всіх кортежів  $k$ , означених над змінними в  $sc$  відносно рівності (1). Тому на основі (2) отримаємо:

$$rc_3(k \downarrow_{sc_3}^{sc}) \times rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}) \leq_s rc_2(k \downarrow_{sc_2}^{sc}).$$

Компаратор «лексикографічно кращий» можна розглядати як покращену версію компаратора «кращий у найгіршому випадку». З точки зору ієрархії обмежень, відповідне м'яке обмеження відрізняється означенням умов релевантності  $RC$  функції у випадку компаратора «кращий по вагових сумах»:

$$\forall y \equiv [v_1 = d_1, \mathbf{K}, v_k = d_k]: rc(d_1, \mathbf{K} d_k) = (\mathbf{K}, \{cw(c) \times SF(cy)\}, \mathbf{K})$$

де  $\{cw(c) \times SF(cy)\}$  – мультимножина.

Випадок «локального» компаратора є складнішим, оскільки він порівнює успішність кожного обмеження окремо і не виконує сумування по рівнях. Це відображається мультимножинами, заданими над непорівнюваними елементами. Кожна така мультимножина відповідає певному обмеженню. Основна ідея включення мультимножин замість звичайних

множин в класах технологічних задач з м'якими обмеженнями визначається властивостями введених операцій.

Для випадку компаратора «локально кращий» розглянемо ієрархію обмежень

$$ConstrHrch = \bigcup_{i=1}^{k_{max}} \{c_i, \mathbf{K}, c_{n_i}\}$$

та її обмеження з мітками  $c_i : l_i$  над множиною змінних  $(v_1, \mathbf{K}, v_k)$ . Тоді  $c_i$  відповідає м'якому обмеженню  $(rc_i, sc_i)$ , для якого  $sc_i = (v_1, \mathbf{K}, v_k)$ , а

$$\forall \mathbf{y} \equiv [v_1 = d_1, \mathbf{K}, v_k = d_k] : rc_i(d_1, \mathbf{K}, d_k) = \begin{cases} (\mathbf{K}, [\langle c_i^j \rangle_{j=1..n_i}], \mathbf{K}), & \text{якщо } \mathbf{y} \models c_i \\ \emptyset, & \text{якщо } \mathbf{y} \not\models c_i \end{cases}$$

Мультиплікативна операція відповідає об'єднанню мультимножин, розширених до кортежів. У випадку компаратора «локально метрично кращий» розглядається значення функції успішності та виконується порівняння успішності в окремих обмеженнях. Зокрема, у випадку м'якого обмеження отримаємо, що:

$$rc_i(d_1, \mathbf{K}, d_k) = (\mathbf{K}, \{SF(c_i \mathbf{y})[\langle c_i^j \rangle_{j=1..n_i}]\}, \mathbf{K})$$

при  $\mathbf{y} \models c_i$ .

Клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень (рис. 1) для компаратора «краще впорядкований» можна означити шляхом уточнення початкової ієрархії. Зокрема, для кожної ієрархії  $ConstrHrch$  з ваговою функцією  $sw$  можна виконати побудову деякої нової ієрархії шляхом уточнення початкової ієрархії  $ConstrHrch / sw$ . Клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень для уточнення ієрархії  $ConstrHrch / sw$  з «локально кращим» компаратором відповідатиме класу технологічних проблем на основі м'яких обмежень початкової ієрархії обмежень  $ConstrHrch$  з компаратором «краще впорядкований». У випадку технологічних проблем компаратори «доменно кращі» виконують порівняння присвоєнь, що не можуть бути порівнювані засобами локальних компараторів. Присвоєння можуть бути непорівнювані до певного рівня  $k-1$ , а на рівні  $k$  функції успішності обмежень порівнюються окремо.

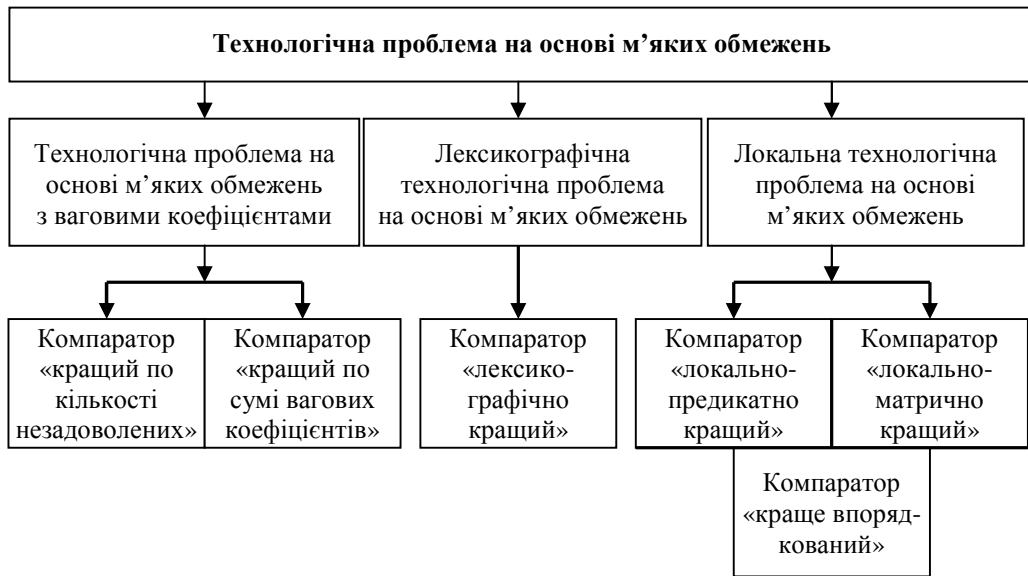


Рис. 1. Виділені компаратори для ієрархії обмежень

Таким чином, може бути введено означення технологічних проблем на основі м'яких обмежень для компараторів «лексикографічно кращий» у формі лексикографічних технологічних проблем на основі м'яких обмежень і компаратора «кращий по сумі вагових коефіцієнтів» у формі технологічних проблем на основі м'яких обмежень з коефіцієнтами та «локально кращі» компаратори у фор-

мі локальних технологічних проблем на основі м'яких обмежень відповідно. Для всіх визначених класів технологічних проблем можна побудувати відношення між цими класами і класичними пошуковими задачами на основі обмежень з ваговими коефіцієнтами. Зокрема можна показати, що компаратори «лексикографічно кращий» та «кращий по сумі вагових коефіцієнтів» є еквівалентними до пошукових

задач на основі обмежень з ваговими коефіцієнтами. Така еквівалентність базується на деякому поліноміальному перетворенні. Ієрархії обмежень з локальними компараторами належать до окремого класу задач, оскільки введені в них формальні метаструктурні множини є частково впорядкованими. Клас локальних технологічних проблем на основі м'яких обмежень може бути перетворений в клас пошукових задач на основі обмежень з ваго-

вими коефіцієнтами шляхом застосування процедури уточнення з поліноміальними характеристиками. Проте побудова зворотної процедури уточнення неможлива внаслідок часткової впорядкованості множини присвоєнь для ієрархії обмежень. На рис. 2 зображено відношення між базовими класами технологічних проблем на основі м'яких обмежень відносно їх властивостей.

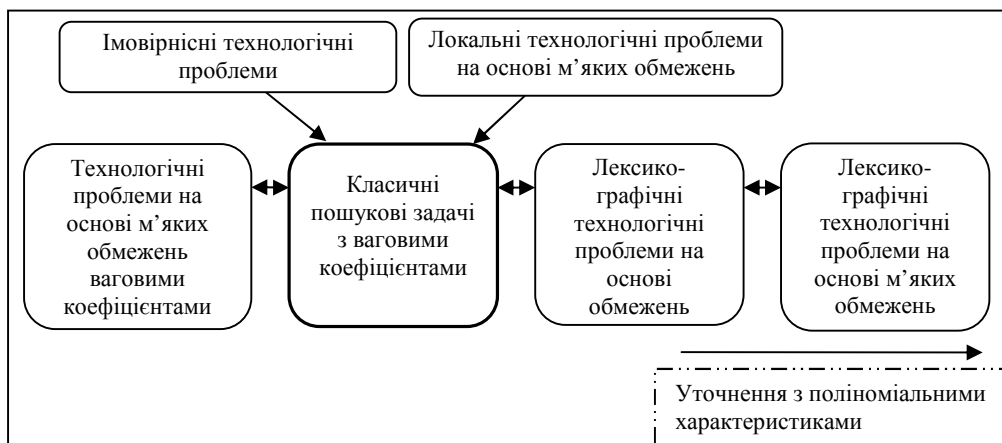


Рис. 2. Відношення між базовими класами технологічних проблем на основі м'яких обмежень

Проте така відповідність не буде повною, оскільки в пошукових задачах з оцінками вимагається виконання повного впорядкування оцінних значень. Проте ця властивість не задовольняється для класу локальних технологічних проблем на основі м'яких обмежень, тому неможливо означити клас пошукових задач з оцінками для ієрархії обмежень з будь-яким локальним компаратором.

Локальна технологічна проблема на основі м'яких обмежень може бути трансформована в задачу, яка є еквівалентною до пошукової задачі на основі обмежень з ваговими коефіцієнтами шляхом деякого уточнення з поліноміальними характеристиками. Локальна технологічна проблема на основі м'яких обмежень не може бути задана як уточнення лексикографічної технологічної проблеми на основі м'яких обмежень тому, що непорівнювані елементи метаструктури в локальній технологічній проблемі на основі м'яких обмежень повинні також бути непорівнюваними в класі технологічних проблем на основі м'яких обмежень для класичних пошукових задач з ваговими коефіцієнтами, для яких множина формальної метаструктури є повністю впорядкованою.

При розробці методики класифікації описів технологічних проблем було взято до уваги, що основними причинами (порушуваними обмеженнями) виникнення нештатних ситуацій у процесі буріння нафтових і газових свердловин є складні гірничо-геологічні умови буріння в окремих горизонтах, невідповідність інформаційного забезпечення про гірничо-геологічні умови фактичних даним, невідповідність технічного проекту на буріння конструкції свердловини та гірничо-геологічним умовам буріння, а також організаційні фактори (несвоєчасне постачання інструментом, низька кваліфікація персоналу). Все це визначає також складність моделювання цієї задачі в термінах обмежень та побудови відповідних компараторів.

Застосування отриманих формальних конструкцій компараторів на множинах фактичних даних щодо аварійних нештатних ситуацій на родовищах Долинського, Надвірнянського й Охтирського нафтопромислових районів дозволило верифікувати емпіричну класифікацію наступного вигляду (рис. 3).



Рис. 3. Структуризація нештатних ситуацій, що виникають у процесі буріння

А саме: визначено особливості поглинання технологічних речовин, що інтерпретується в термінах повного або часткового задоволення системи технологічних обмежень щодо регламентної витрати промивної рідини. Поділ флюїдопроявів на газо-, нафто- і водопрояви здійснюється на основі ймовірнісних оцінок явищ переливу, викидів та фонтанування, що ймовірно матимуть відкриту або закриту форму. Порушення цілісності стінок свердловини описується м'якими обмеженнями щодо розширення або звуження ствола свердловини внаслідок оцінювання обсіпання чи обвалювання породи за принципом «у найгіршому випадку». Функція успішності усунення аварійної ситуації щодо прихоплення колони труб визначається ваговими коефіцієнтами локальних і глобальних обмежень, порушення яких призводить до заклинювання колони стороннім предметом або через обсіпання та обвалювання породи, або внаслідок перепаду доменних градієнтів значень тиску.

**Висновки.** У статті виконано оцінку побудови можливих компараторів для домену формальних представлень технологічних проблем процесу буріння, що дозволило сформулювати детерміновану структуру побудови рішення для введеної ієрархії обмежень над отриманим простором станів. Для означеного компаратора «локально метрично кращий» розглядається значення функції успішності та виконується порівняння успішності для окремих технологічних обмежень. Виділено клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень для пар міток «умова релевантності – умова задоволення» з використанням компаратора «краще впорядкований» шляхом послідовного уточнення початкової ієрархії обмежень. В той же час для кожної ієрархії обмежень з ваговою функцією виконано побудову нової ієрархії обмежень шляхом уточнення початкової. Клас технологічних проблем на основі м'яких обмежень, що є уточненням початкової ієрархії з ваговою функцією та ком-

паратором «локально кращий», таким чином, відповідатиме класу технологічних проблем на основі м'яких обмежень початкової ієрархії обмежень з компаратором «краще впорядкований». У загальному випадку показано, що застосування компаратора «доменно кращий» для технологічних проблем дозволяє виконувати порівняння присвоєнь кортежів значень керованих змінних технологічного процесу, що не можуть бути порівнювані за допомогою локальних компараторів.

### Список літератури

1. Ясов В. Г. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин / В. Г. Ясов. – Ивано-Франковск: ИФД-ТУНГ, 2004. – 207 с.
2. Коцкулич Я. С. Буріння нафтових і газових свердловин / Я. С. Коцкулич, Я. М. Кочкодан. – Коломия: Вік, 1999. – 504 с.
3. Вовк Р. Б. Представлення даних та знань предметної області для тьюторної системи на основі обмежень / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010. – № 2. – С. 7–10.
4. Вовк Р. Б. Моделювання структури та функціональності технологічних проблем на основі обмежень / Р. Б. Вовк // Математичні машини та системи: наук.-техн. журн. – 2011. – № 2. – С. 153–161.
5. Вовк Р. Б. Формальний опис процесу контролю задоволення та порушення обмежень в інтелектуальних системах / Р. Б. Вовк, В. Р. Процюк, В. І. Шекета // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 694. – С. 189–199. – (Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології).
6. Hosobe, H., Matsuoka, S. and Yonezawa, A. (1996) Generalized local propagation: A framework for solving constraint hierarchies. In: Eugene C. Freuder (Ed.) Principles and

- Practice of Constraint Programming – CP96, pp. 237–251. Springer-Verlag LNCS1118 [Internet]. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.52.421&rep=rep1&type=pdf>
7. Tsang, E. (1993) Foundations of constraint satisfaction [Internet]. Available from: <http://www.bracil.net/edward/FCS.html>
4. Vovk, R. B. (2011) The modeling of structure and functionality for constraints-based technological problems. *Mathematical machines and systems: scient. journal*, (2), pp. 153-161.
5. Vovk, R. B., Protsiuk, V. R. and Sheketa, V. I. (2011). Formal description for the process of constraints satisfaction and violation control in intelligible systems. *Visnyk natsional'noho universitetu "Lvivs'ka Polytechnica". Computer Science and Information Technologies*, (694), pp. 189-199.

### References

1. Yasov, V. G. (2004). Complications and accidents while drilling oil and gas wells. Ivano-Frankivsk: IFSTUOG, 207 p.
2. Kotskulych, Ya. S. and Kochkodan, Ya. M. (1999). Drilling of oil and gas wells. Kolomyia: Vik, 504 p.
3. Vovk, R. B. and Sheketa, V. I. (2010) The presentation of data and knowledge for subject domain in the case of constraints-based tutor system. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, (2), pp. 7-10.
6. Hosobe, H., Matsuoka, S. and Yonezawa, A. (1996) Generalized local propagation: A framework for solving constraint hierarchies. In: Eugene C. Freuder (Ed.) Principles and Practice of Constraint Programming – CP96, pp. 237–251. Springer-Verlag LNCS1118 [Internet]. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.52.421&rep=rep1&type=pdf>
7. Tsang, E. (1993) Foundations of constraint satisfaction [Internet]. Available from: <http://www.bracil.net/edward/FCS.html>

*Стаття надійшла до редакції 23.01.2014.*

**R. B. Vovk**, *Ph.D., associate professor*  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Karpatska Str, 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine  
[wolf@wolf.if.ua](mailto:wolf@wolf.if.ua)

### THE CLASSIFICATION OF FORMALIZED DESCRIPTIONS OF DRILLING TECHNOLOGICAL PROBLEMS BY MEANS OF COMPARATORS INTRODUCTION

*The research is devoted to the newest technologies of drilling automation by means of intelligible system based on database and knowledgebase conception, which contains relevant technological data and knowledge with regards to the technological process flow. The author offers a new approach to the modeling of unscheduled situation in drilling based on their constraints-based formal description, where constraints are the one really imposed on the process schedule. The problem of construction of technological problems classification based on comparators which operates with sets, systems and hierarchies of imposed constraints, is singled out and solved. Formal description classes are selected for drilling technological problem based on soft constraints with weights and lexicographical inclusions, which allow to interpret all projected formal apparatus as a sample of constraints satisfaction problem with evaluation by means of constraints for some relation between selected classes based on soft constraints and constraints satisfaction problems with evaluation in general case.*

**Key words:** *technological constraints, evaluation functions, constraints hierarchies, weights, lexicographical representations, constraints satisfaction problems.*