

МОДЕЛЮВАННЯ КЛАСІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ НА ОСНОВІ ОБМЕЖЕНЬ

Представлено підхід до опису технологічних проблем на основі множини змінних (технологічних параметрів) з введеними доменами (довірчими інтервалами) та введеними множинами та системами релевантних обмежень.

Представлен подход к описанию технологических проблем на основе множества переменных (технологических параметров) с введенными доменами (доверительными интервалами) и введенными множествами и системами релевантных ограничений.

Presented approach to the description of technological problems, based on the set of variables (process variables) with introduced domains (confidence intervals) and constructed sets and systems of relevant constraints.

Класичним підходам до проблеми представлення та задоволення обмежень (*CSP - Constraint satisfaction problems*), інформаційно-пошукових задач на основі обмежень присвячено ряд досліджень [1-6]. Особливому поширенню даної технології сприяла розробка уніфікованих алгоритмів логічного програмування, що дозволило побудувати розширення класичної теорії логічного програмування в формі логічного програмування в обмеженнях (*CLP - Constraint logic programming*). Суть підходу *CSP/CLP* полягає у виконанні декларативного опису проблеми на основі множини (системи, ієрархії) обмежень і пошуку її рішення шляхом використання спеціалізованих алгоритмів, що дозволяють виконувати оцінювання рішення в термінах задоволення множин (систем, ієрархій) обмежень. Більшість виконаних застосувань оперує із змінними з скінченними доменами. Технологія програмування в обмеженнях використовується для рішення ряду прикладних задач, таких як: складання часових планів, розкладів, виконання задач конфігурації, перевірки стану технічних засобів і систем та ін. Особливість підходу *CSP/CLP* полягає також в можливості опису неточних, нечітких, ймовірнісних, можливісних значень, а також значень з ваговими коефіцієнтами. Проте в загальному випадку твердження та судження представлені людиною-експертом не можливо описати тільки на основі жорстких обмежень. Тому використовуються також м'які обмеження. Самі пошукові проблеми в залежності від кількості та якості обмежень поділяються на надобмежені, для яких не існує рішень, щоб задовольняли всі накладені обмеження і недообмеженні, для яких існує ряд невпорядкованих рішень. Багато пошукових проблем дозволяють виконувати пошук найкращого (оптимального) розв'язку на основі наперед заданих критеріїв оптимізації.

Виконаний огляд літературних джерел дозволяє визначити в якості **недослідженої** задачу введення та класифікації формальної структури технологічних проблем на основі обмежень (на прикладі процесу буріння).

Метою даної статті є моделювання класів технологічних проблем на основі обмежень для опису нештатних ситуацій, що виникають в процесі буріння свердловин на нафту і газ.

Означення 1. Технологічною проблемою на основі обмежень будемо вважати кортеж $TP = \{V; D; C^R; C^{UnR}\}$, де $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина змінних; $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ – множина доменів (областей визначення) кожної змінної; $C^R = \{c_1^1, c_2^1, \dots, c_n^1\}$ – множина релевантних обмежень; $C^{UnR} = \{c_1^2, c_2^2, \dots, c_n^2\}$ – множина нерелевантних обмежень. Обмеження розглядається як відношення, задане на підмножині змінних $\{v_{i_1}, \dots, v_{i_k}\}$ над їхніми доменами:

$$\{D_{i_1} \text{ r L r } D_{i_k}\} \text{K } c_i.$$

У випадку дослідження технологічних проблем (наприклад, прихоплень бурової колони), основне завдання полягає в контролі множини порушених та задоволених обмежень, де кожному обмеженню доцільно присвоїти певне оціночне значення, що задаватиме загальну преференцію обмежень.

Означення 2. Структуру оцінювання обмежень технологічних проблем будемо визначати кортежем $(Ev^{set}, \#_{TP}, f_c, T, \perp)$, де Ev^{set} – множина, елементи якої називається оцінками; $\#_{TP}$ – комутативна, асоціативна бінарна операція над Ev^{set} , яка задовольняє властивостям ідентичності та монотонності; f_c – відношення загального порядку над Ev^{set} ; T та \perp – максимальний та мінімальний елемент з Ev^{set} , що задається відношенням f_c .

Введення впорядкованої множини Ev^{set} необхідно для представлення різних рівнів порушення та задоволення обмежень. Спосіб побудови структури оцінювання визначає залежність оціночних значень від множин порушених та задоволених обмежень. Комутативність та асоціативність введеної операції дозволяє обчислювати сумарні значення оцінок для множин $ConstrSet$, систем $ConstrSyst$ та ієрархій $ConstrHrch$ порушених та задоволених обмежень. Для оціночної функції $evfO(Ev^{set}, \#_{TP}, f_c, T, \wedge)$ на основі властивостей монотонності матимемо, що

$$\begin{aligned} \text{Й} \\ \text{R} \\ \text{K} \\ \text{K} \\ \text{K} \\ \text{K} \\ \text{K} \end{aligned} \begin{aligned} evf(\psi) \text{K } ConstrSet \text{ Ю } evf(\psi) \text{K } ConstrSet', ConstrSet' \text{ M } ConstrSet \\ evf(\psi) \text{K } ConstrSyst \text{ Ю } evf(\psi) \text{K } ConstrSyst', ConstrSyst' \text{ M } ConstrSyst \\ evf(\psi) \text{K } ConstrHrch \text{ Ю } evf(\psi) \text{K } ConstrHrch', ConstrHrch' \text{ M } ConstrHrch \end{aligned} .$$

На основі введеної структури оцінювання обмежень можемо визначити очікувані класи технологічних проблем:

1. *Класичні технологічні проблеми на основі обмежень* – на формальному рівні задаються як $TP^{constr} = ([0,1], \text{Ц}, [0,1])$. Структура оцінювання, що використовується в даному випадку дозволяє отримати для кожного обмеження два види оцінок: 1 – якщо обмеження задовольняється, 0 – якщо обмеження порушується. Проте при побудові присвоєнь, як рішень технологічних проблем, складно очікувати ситуації повного задоволення всіх накладених обмежень. Тому згідно введеного розділення обмежень матимемо:

– для множин – $ConstrSet = ConstrSet^R \cup ConstrSet^{unR}$ (підмножини релевантних та нерелевантних обмежень); $ConstrSet^R = ConstrSet^S \cup ConstrSet^V$ (підмножини задоволених та порушених релевантних обмежень, оскільки порушення чи задоволення нерелевантних обмежень не розглядається системою при рішенні поточної технологічної проблеми);

– для систем – $ConstrSyst = ConstrSyst^R \cup ConstrSyst^{unR}$ (підсистеми релевантних та нерелевантних обмежень) ; $ConstrSyst^R = ConstrSyst^S \cup ConstrSyst^V$ (підсистеми задоволених та порушених релевантних обмежень);

– для ієрархій – $ConstrHrch = ConstrHrch^R \cup ConstrHrch^{unR}$ (субієрархії релевантних та нерелевантних обмежень); $ConstrHrch^R = ConstrHrch^S \cup ConstrHrch^V$ (субієрархії задоволених та порушених релевантних обмежень).

Доцільним буде також застосування додаткових оціночних функцій максимізації кількості задоволених обмежень і мінімізації кількості порушених, що відповідно дозволить контролювати якість рішення.

Оперування з конструкціями обмежень в подальшому викладі здійснюється на основі їх прив'язки до деякої виділеної поточної технологічної проблеми TP_j наступним чином:

$$ConstrHrch_{TP_j} = \bigcup_{i=1}^{k_{max}} ConstrSyst_{TP_j} = \bigcup_{i=1}^{k_{max}} \{c_1, c_2, \dots, c_{n_i}\}_{nON}.$$

2. Технологічні проблеми на основі обмежень з ваговими коефіцієнтами

– на формальному рівні можуть бути представлені як $TP^{weight} = (N, \#_{weight}, >, [0,1])$. Специфіка такого класу технологічних проблем полягатиме в обчисленні сум вагових коефіцієнтів для множин (систем, ієрархій) порушених та задоволених обмежень і вибору присвоєння з відповідно мінімальними та максимальними значеннями сум.

3. Технологічні проблеми на основі обмежень з ймовірнісними коефіцієнтами – можуть представлятися формальними структурами виду $TP^{prb} = ([0,1], D_{prb}, <, 0,1)$. В даному випадку ймовірнісний коефіцієнт визначатиме ймовірність релевантності обмеження фактичній технологічній проблемі TPF , оскільки при побудові присвоєнь важливим є порушення чи задоволення тільки релевантних обмежень. Для функції оцінювання присвоєнь $evf(\psi)$ та для деякого присвоєння ψ , $\psi \in \Psi_V$ із припущення про незалежність обмежень в множині (системі, ієрархії) можемо отримати оціночне значення для присвоєння ψ у вигляді $evf_{TP^{prb}}(\psi) = \prod_{(c_i \in ConstrSet^R) \cap \psi \cap \{c_i \in ConstrSet^{unR}\}} (1 - prb(c_i))$, де $prb(c_i)$ - ймовірність релевантності обмеження c_i , $c_i \in ConstrSet^R$ фактичній технологічній проблемі TPF^{prb} . Для заданої множини (системи, ієрархії) обмежень слід обчислити сумарне значення ймовірнісних оцінок і в якості рішення технологічної проблеми $Sol(TPF^{prb})$ вибрати присвоєння з максимальним оці-

ночним значенням ймовірнісної релевантності, оскільки саме таке рішення максимально відповідатиме очікуванням автоматизованої інтелектуальної системи.

4. *Технологічні проблеми на основі обмежень з можливісними коефіцієнтами* – можуть представлятися формальною структурою $TP^{posbl.} = (\mathbb{Q}, 1c, max, >, 1, 0)$. Дана формальна структура дозволяє виконувати оцінювання можливісної необхідності задоволення чи порушення множини (системи, ієрархії) накладених обмежень при побудові присвоєнь в процесі пошуку рішення технологічної проблеми. Пошук оптимального присвоєння з введеною функцією мінімізації по сумарних значеннях переваг множини порушених обмежень та введеною функцією максимізації по сумарних значеннях переваг множини задоволених обмежень розглядається як основна складова процесу пошуку рішень. Введення переваг в даному випадку дозволяє виконати ранжування множини релевантних обмежень $ConstrSet^R$ по ступеню важливості. Введена класифікація відображена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація технологічних проблем з обмеженнями

Введення оцінювань для змінних поряд з оцінюванням обмежень дозволяє вводити множини переваг і досліджувати їх вплив на процес задоволення та порушення обмежень в ході вирішення технологічних проблем. Крім того введення вагових значень змінних дозволяє будувати часткові присвоєння з введеними мінімаксними функціями для сумарних вагових значень задоволених та порушених обмежень, що відповідно дозволить сформулювати формальну структуру рішення з можливими помилками які будуть оцінюватись системою.

Для формального опису процесу задоволення обмежень з перевагами у випадку технологічних проблем введемо представлення деякої формальної метаструктури. Вибір конкретного виду ініціалізації залежить від складності технологічної проблеми та вибраного способу структуризації множини (системи, ієрархії) обмежень [6]. В загальному випадку введення формальної метаструктури є необхідним для вибору певного способу специфікації значень які повинні асоціюватися з кортежами значень в доменах змінних при виконанні присвоєнь. Крім того для вибраної метаструктури слід ввести формальні операції, що дозволятимуть оперувати з обмеженнями.

Означення 3. В якості формальної метаструктури будемо розглядати кортеж $(MS, E, D, 0, 1)$, де MS - множина метаструктури; $0, 1 \in MS$; E, D - введені операції з властивостями комутативності, асоціативності та дистрибутивності.

Означення 4. Системою обмежень будемо вважати кортеж $CS = (MS, D, V)$, де MS - формальна метаструктура, D - домен змінних, V - множина змінних.

Означення 5. Для заданої формальної метаструктури $FMS = (MS, \oplus, \otimes, 0, 1)$ і системи обмежень $CS^{MS} = (MS, D, V)$, в якості обмеження будемо розглядати пару (RC, SC) , де $SC \subseteq V$ та $RC : D^{SC} \rightarrow MS$.

Інтерпретація кортежу (RC, SC) відповідає парам значень $\langle \{умова_релевантності_i\}_i, \{умова_задоволення_i\}_i \rangle$. Обмеження визначатиме множини змінних в sc і присвоюватиме кожному кортежу значень елементи з формальної метаструктури.

Означення 6. Технологічною проблемою на основі м'яких обмежень TP^{soft} будемо вважати пару $(ConstrSet, SC)$ над системою обмежень $CS^{MS} = (MS, D, V)$, де $SC \subseteq V$, а $ConstrSet$ - множина обмежень для TP^{soft} .

Позначатимемо результат проєкції значень кортежу κ визначених на множині V^1 на значення кортежу над змінними в множині V^2 через $\kappa \downarrow_{V^2}^{V^1}$.

Означення 7. Для заданих обмежень $c_1 = (rc_1, sc_1)$ та $c_2 = (rc_2, sc_2)$ їх сполученням $c_1 \otimes c_2$ буде обмеження (rc^1, sc^1) в якому множина sc^1 буде являти собою об'єднання множин sc_1 і sc_2 : $sc^1 = sc_1 \cup sc_2$, а rc^1 буде визначатися наступним чином:

$$rc^1(\kappa) = rc_1(\kappa \downarrow_{sc_1}^{sc^1}) \times rc_2(\kappa \downarrow_{sc_2}^{sc^1}).$$

Для множини обмежень $ConstrSet = \{c_1, \dots, c_n\}$ введемо скорочення $\bigotimes_{i=1}^n c_i = \bigotimes ConstrSet$ для $c_1 \otimes \dots \otimes c_n$.

Згідно введеного означення сполучення двох обмежень означає побудову нового обмеження, що включає всі змінні початкових обмежень з прив'язкою до кожного кортежу значень над такими змінними певного елемента метаструктури MS , що отримується шляхом множення елементів, прив'язаних початковими обмеженнями відповідних субкортежів.

Означення 8. Для заданої множини обмежень $ConstrSet = (RC, SC)$ і підмножини $V_1 \subseteq V$, проєкцією $ConstrSet$ на V_1 (позначатимемо як $ConstrSet \downarrow V_1$), будемо називати обмеження (RC', SC') , де $SC' = SC \cap V_1$, і

$$RC'(\kappa') = \sum_{\kappa / [\kappa \downarrow_{SC'}^{SC}] = \kappa'} RC(\kappa).$$

В загальному випадку операція проєкції полягає у виключенні певних змінних, наприклад при послабленні надобмеженої проблеми TP^{over} . Це виконується шляхом прив'язки до кожного кортежу над множиною залишкових

змінних, елемента метаструктури, який є сумою елементів, прив'язаних початковим обмеженням до всіх розширень цього кортежу над множиною видалених змінних.

Означення 9. Рішенням технологічної проблеми на основі м'яких обмежень $TP^{soft} = (ConstrSet, SC)$ будемо вважати обмеження утворене в результаті проекції

$$Sol(TP^{soft}) = (\otimes ConstrSet) \Downarrow SC$$

Тобто, всі обмеження поєднуються і після чого проектується на множину змінних в SC . Таким чином, отримуємо обмеження над множиною SC , яке індукується всією формальною структурою технологічної проблеми на основі м'яких обмежень. В загальному для цього обмеження задається розподіл відносно оцінок його складової RC на кожному кортежі (присвоєнні), тобто формула може розглядатися як інтерпретація ступеня задоволення:

$$(\otimes ConstrSet) \Downarrow SC \vdash SD(ConstrSet),$$

де $SD(ConstrSet)$ – ступінь задоволення множини обмежень.

На формальному рівні, максимальне метаструктурне значення стосовно операції \prec_{MS} для кортежів в рішенні $Sol(TP^{soft})$ відповідає найкращому рівню послідовності рішення. Множину таких кортежів можна розглядати як множину оптимальних кортежів, які задовольнятимуть введеним формальним означенням.

Означення 10. Метаструктурне значення оптимального рішення будемо вважати найкращим рівнем послідовності рішення технологічної проблеми на основі м'яких обмежень і позначатимемо його як: $bl^{consist}(TP^{soft}) = Sol(TP^{soft}) \Downarrow \emptyset$.

Оскільки інтелектуальна система розглядатиме ряд технологічних проблем та множини їх рішень, то заслуговує уваги дослідження питання еквівалентності на множині технологічних проблем. Розглянемо випадок технологічних проблем з м'якими обмеженнями.

Означення 11. Розглянемо два обмеження виду $c_1 = (rc, sc_1)$ та $c_2 = (rc, sc_2)$ над (MS, D, V) . Введемо впорядкування обмежень Φ_{MS} на основі відношення часткового порядку. Будемо вважати, що $c_1 \Phi_{MS} c_2$ якщо $rc_1(\kappa) \leq_{MS} rc_2(\kappa)$ має місце для всіх кортежів κ , $\kappa \in D$. Також якщо $c_1 \Phi_{MS} c_2$ та $c_1 \times_{MS} c_2$, тоді $c_1 = c_2$.

Означення 12. Розглянемо дві технологічні проблеми на основі м'яких обмежень $TP_1^{soft} = (ConstrSet_1, SC)$ та $TP_2^{soft} = (ConstrSet_2, SC)$. Відповідно введемо відношення перевпорядкування технологічних проблем $\Phi_{TP^{soft}}$, таким чином, що якщо $TP_1^{soft} \Phi_{TP^{soft}} TP_2^{soft}$ тоді $Sol(TP_1^{soft}) \Phi_{MS} Sol(TP_2^{soft})$.

Якщо $TP_1^{soft} \Phi_{TP^{soft}} TP_2^{soft}$ та $TP_2^{soft} \Phi_{TP^{soft}} TP_1^{soft}$, тоді вони мають однакову множину рішень Sol^{Set} . В такому випадку ми можемо стверджувати, що TP_1^{soft} та TP_2^{soft} - є еквівалентними проблемами і позначатимемо даний факт як $TP_1^{soft} \equiv TP_2^{soft}$.

Розглянемо дві системи обмежень $CS^{MS} = (MS, D, V)$ та $CS^{MS'} = (MS', D, V)$, а також технологічні проблеми на основі м'яких обмежень $TP^{soft} = (ConstrSet, SC)$ та $TP'^{soft} = (ConstrSet', SC)$, що їм відповідають і, що мають відповідно рішення $Sol(TP^{soft}) = (RC, SC)$ та $Sol(TP'^{soft}) = (RC', SC)$.

Означення 13. Технологічну проблему на основі м'яких обмежень TP^{soft} будемо вважати *уточненням* технологічної проблеми TP'^{soft} якщо для довільної пари кортежів $\kappa^1 = (\kappa_1^1, \dots, \kappa_{|sc|}^1)$, $\kappa^2 = (\kappa_1^2, \dots, \kappa_{|sc|}^2)$, де $\kappa_i^1, \kappa_i^2 \in D$ таких, що якщо твердження $RC'(\kappa^1) <_{MS'} RC'(\kappa^2)$ має місце, то це означатиме наявність відношення повного впорядкування $RC(\kappa^1) <_{MS} RC(\kappa^2)$.

Означення 14. Технологічну проблему на основі м'яких обмежень TP^{soft} будемо вважати *сильним уточненням* TP'^{soft} , якщо основна властивість означення 13 матиме місце для всіх RC_1 та RC_2 , визначених як $(RC_1, SC_{\subseteq}) \in ConstrSet$ та $(RC_2, SC_{\subseteq}) \in ConstrSet'$, де $SC_{\subseteq} \subseteq SC$.

Суть означення полягає в тому, що якщо TP^{soft} є уточненням TP'^{soft} , тоді множина відповідних оптимальних кортежів з TP^{soft} включається в множину оптимальних кортежів з TP'^{soft} . Тому задача знаходження оптимальних кортежів для TP^{soft} може бути зведена до пошуку оптимальних кортежів у TP'^{soft} .

Формальна структура технологічних проблем на основі обмежень з оцінками, що є початковою базою введення процедури уточнення, не включиме жодного часткового впорядкування.

Твердження 1. Припустимо, що технологічна проблема на основі м'яких обмежень TP^{soft} є уточненням TP'^{soft} і розглянемо також пару кортежів $\kappa^1 = (\kappa_1^1, \dots, \kappa_{|sc|}^1)$ та $\kappa^2 = (\kappa_1^2, \dots, \kappa_{|sc|}^2)$, де $\kappa_i^1, \kappa_i^2 \in D$. Тоді якщо $RC(\kappa^1) \langle_{MS} RC(\kappa^2)$ то матиме також місце, що $RC'(\kappa^1) \langle_{MS'} RC'(\kappa^2)$

Означення 15. Дві технологічні проблеми на основі м'яких обмежень TP^{soft} та TP'^{soft} будемо вважати *сильно еквівалентними*, якщо кожен з них можна розглядати як сильне уточнення іншої.

Еквівалентні технологічні проблеми на основі м'яких обмежень визначають одне й те саме впорядкування над кортежами значень у множині V і мають однакові відповідні множини оптимальних кортежів та задача знаходження оптимальних кортежів буде еквівалентна для обох формулювань. Також для двох еквівалентних технологічних проблем на основі м'яких обмежень не вимагається наявність однакових значень в кортежах, а вимагається тільки однаковий спосіб їх впорядкування. Як наслідок попередніх означень можна бачити, якщо в одній з еквівалентних проблем є не порівнювані елементи, то вони також повинні бути у зв'язаній проблемі.

Щоб мати змогу порівняти класи технологічних проблем, що базуються на різних формальних метаструктурах, введемо поняття уточнення для метаструктур.

Означення 16. Для двох заданих метаструктур - MS та MS' *уточненням* із MS в MS' будемо вважати функцію σ , таку, що трансформує кожен техно-

логічну проблему на основі м'яких обмежень $TP'^{soft} = (ConstrSet', SC)$, з множиною обмежень $ConstrSet' = \bigcup_i (rc'_i, sc_i)$ над системою обмежень (MS', D, SC) в технологічну проблему $TP^{soft} = (ConstrSet, SC)$, де $ConstrSet = \bigcup_i (rc_i, sc_i)$ над множиною (MS, D, SC) , де $rc_i = \sigma \circ rc'_i$ є істинним для всіх i таких, що TP^{soft} є уточненням TP'^{soft} .

Якщо існує уточнення з MS' в MS , тоді кожна технологічна проблема на основі м'яких обмежень TP'^{soft} над MS' може бути вирішена шляхом застосування уточнення до TP^{soft} і наступного вирішення результуючої проблеми над MS , тобто проблеми, визначені над MS' не будуть складнішими за проблеми, визначені над MS .

Досліджуючи представлення формальних метаструктур можна вивести класи технологічних проблем на їх основі. Для цього необхідно встановити відповідність між технологічними проблемами на основі м'яких обмежень і технологічними проблемами на основі обмежень з оцінками. Виконання даної задачі дозволить отримати два нових класи технологічних проблем:

1. *Технологічні проблеми на основі нечітких обмежень TP^{fuzzy}* – даний клас можна отримати як наслідок застосування операцій поєднання і проекції. Для введеної формальної метаструктури її множина задається інтервалом $[0,1]$, де 1 це найкращий елемент, а 0 – найгірший. Введення максимального та мінімального елементів дозволить застосувати операцію кон'юнкції. Особливість даного типу технологічних проблем полягатиме у використанні лінгвістичних оціночних значень, таких як “в більшості випадків”, “швидше за все”, “інколи”, “деколи” та ін.

2. *Технологічні проблеми на основі лексикографічних обмежень*. Класичні пошукові задачі на основі лексикографічних обмежень розглядаються як вид розширення пошукових задач на основі нечітких обмежень. Таке розширення може бути також побудоване і для пошукових задач на основі обмежень з можливісними коефіцієнтами.

У випадку технологічних проблем на основі м'яких обмежень, побудова подібного розширення вимагатиме використання концепції мультимножин елементів над інтервалом $[0,1]$. Основні задачі які необхідно вирішити при введенні мультимножин полягатимуть у визначенні заборонених та дозволених кортежів значень, введення найкращого та найгіршого значення та переозначення операцій поєднання та проекції обмежень.

Розширена класифікація технологічних проблем на основі обмежень представлена на рис. 2.

Таким чином, базові види формальних структур для класів технологічних проблем на основі обмежень з ваговими, ймовірнісними, можливісними коефіцієнтами, а також з нечіткими та лексикографічними обмеженнями слід розглядати як окремі класи пошукових задач на основі обмежень з оцінками і з м'якими обмеженнями.

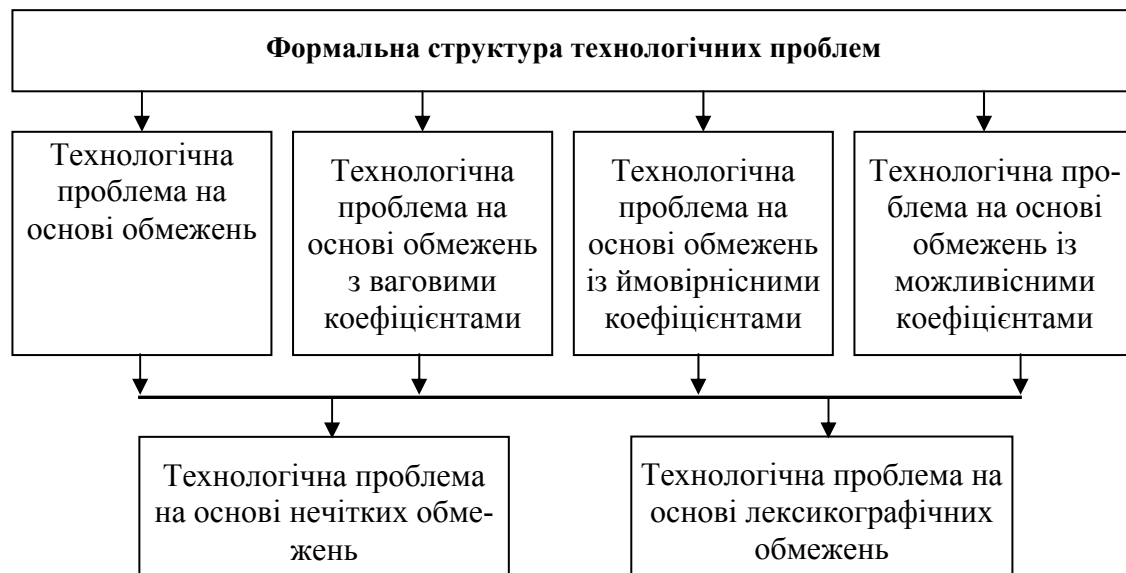


Рис. 2. Розширена класифікація технологічних проблем на основі обмежень

Висновки. Запропоновано інтерпретацію технологічних проблем на основі методу контролю множини порушених та задоволених обмежень, що дозволяє кожному обмеженню присвоїти оціночне значення, що задає загальну преференцію обмежень. Представлена інтерпретація процесів задоволення та порушення обмежень, неповного задоволення обмежень в термінах контролю процесу рішення пошукових задач, шляхом виділення множин помилок (незадоволених обмежень), що відповідно дозволяє виділяти хибні знання та дії оператора технологічного процесу. Відповідно процес пошуку рішення розглядається у вигляді присвоєнь, а самі інформаційно-пошукові задачі нафтогазової предметної області, з точки зору кількості рішень поділяються на недообмежені або надобмежені.

Список літератури

1. Dechter R. Constraint Processing. – Morgan Kaufmann Publishers. – 2003. – 480p.
2. Tsang E. [Foundations of Constraint Satisfaction](http://www.bracil.net/edward/FCS.html). – Academic Press. –1993. – 421p.– [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bracil.net/edward/FCS.html>.
3. Bartak R., Dechter R. Constraint Processing. – Morgan Kaufmann Publisher. – 2003. – 210p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ics.uci.edu/~dechter/books/index.html>.
4. Krzysztof R. Principles of constraint programming. – Cambridge University Press. –2003. – 407p. – [ISBN 0-521-82583-0](http://www.cambridge.org/9780521825830).
5. Bartak R. Constraint programming: a survey of solving technology. – AIROnews journal IV, n.4. – 1999. – P. 7 - 11.
6. Вовк Р.Б. Контроль станів технологічного процесу буріння на основі теорії задоволення обмежень / Р.Б. Вовк, В.І. Шекета, В.Р. Процюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – № 3 (25) - С. 138 – 144.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 30.05.11*