

### КОНТРОЛЬ ПОШУКУ РІШЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ, ФОРМАЛІЗОВАНИХ НАКЛАДАННЯМ ІЄРАРХІЇ ОБМЕЖЕНЬ

**Р. Б. Вовк**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: wolf@wolf.if.ua

Приведено розширення базового формально-логічного апарату інформаційно-пошукових задач на основі обмежень у випадку побудови інтелектуальної системи на основі обмежень шляхом розділення та контролю множин задоволених і порушених обмежень для контролю пошуку рішень технологічних проблем в умовах невизначеності технологічного процесу буріння. В наведеному підході опис технологічних проблем здійснюється на основі множини змінних (технологічних параметрів) із уведеними доменами (довірчими інтервалами) та введеними множинами, системами та ієрархіями релевантних обмежень. Отримане таким чином формальне розширення базового формулювання пошукової задачі зберігає початкові означення для міток змінних та обмежень, розмірностей, графової інтерпретації простору розв'язків, механізму побудови присвоєнь. Запропонована інтерпретація процесів задоволення та порушення обмежень, дозволяє розглядати, зокрема, випадок часткового задоволення обмежень в термінах контролю процесу рішення пошукових задач шляхом виділення множин помилок (незадоволених, порушених обмежень), що відповідно дозволяє виділяти хибні знання та дії оператора технологічного процесу. Відповідно процес пошуку рішення технологічної проблеми розглядається у вигляді перебору на множині можливих присвоєнь, а сам процес кінцевого рішення контролюється рівнем недообмеженості або надобмеженості в ієрархії обмежень.

**Ключові слова:** технологічна проблема, обмеження, мітка, присвоєння, вагові коефіцієнти, переваги.

### КОНТРОЛЬ ПОИСКА РЕШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ, ФОРМАЛИЗОВАННЫХ НАЛОЖЕНИЕМ ИЕРАРХИИ ОГРАНИЧЕНИЙ

**Р. Б. Вовк**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
ул. Карпатская, 15, г. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: wolf@wolf.if.ua

Представлено розширення базового формально-логічного апарату інформаційно-пошукових задач на основі обмежень при побудові інтелектуальної системи на основі обмежень, шляхом розділення та контролю множин задоволених і порушених обмежень для контролю пошуку рішень технологічних проблем в умовах неопределенності технологічного процесу буріння. В наведеному підході опис технологічних проблем здійснюється на основі множини змінних (технологічних параметрів) з введеними доменами (довірчими інтервалами) та введеними множинами, системами та ієрархіями релевантних обмежень. Виведене таким чином формальне розширення базової формулювання пошукової задачі зберігає початкові означення для міток змінних та обмежень, розмірностей, графової інтерпретації простору рішень, механізму побудови присвоєнь. Предложена інтерпретація процесів задоволення та порушення обмежень дозволяє розглядати, в тому числі, і випадок часткового задоволення обмежень в рамках контролю процесу рішення пошукових задач шляхом виділення множин помилок (незадоволених, порушених обмежень), що відповідно дозволяє виділяти хибні знання та дії оператора технологічного процесу. Відповідно процес пошуку рішення технологічної проблеми розглядається в вигляді перебору на множині можливих присвоєнь, а сам процес побудови остаточного рішення контролюється рівнем недостаточності або надмірності обмеженості в ієрархії обмежень.

**Ключевые слова:** технологічна проблема, обмеження, мітка, присвоєння, вагові коефіцієнти, переваги.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Буріння нафтових і газових свердловин є складним нестационарним технологічним процесом, що розвивається в часі і супроводжується виникненням технологічних проблем у вигляді ускладнень, аварій та нештатних ситуацій, на ліквідацію яких витрачається значна кількість коштів і часу, що, в свою чергу, впливає на загальну вартість буріння свердловин у цілому. Типовими технологічними проблемами, що виникають у процесі буріння, є поглинання технологічних річовин, флюїдопрояви, порушення цілісності стінок свердловини, прихоплення колони труб і багато інших [1]. Існує низка підходів до формального моделювання та пошуку вирішення таких проблем, зокрема в роботі [2] запропоновано застосування методології формальних рішень на основі теорії представлення та задоволення обмежень. У даному дослідженні показано, що класи технологічних проблем

на основі обмежень можна звести до відповідних класів класичних пошукових задач, тому стверджується, що має місце відповідність між способом побудови рішення технологічної проблеми та способом рішення класичних пошукових задач, зокрема, що стосується методів роботи з простором рішень. Оскільки для інтелектуальної системи більш важливе значення має сам процес пошуку рішення в ході якого, шляхом аналізу порушених та задоволених обмежень, система вибирає та застосовує певну стратегію, то доцільним для аналізу є процес пошуку всіх розв'язків, виділених розв'язків, а також процес пошуку найкращого оптимального рішення відповідно до заданих критеріїв.

Таким чином, враховуючи наведене узагальнене як ефективний метод побудови та рішення технологічних проблем на основі обмежень є застосування методики логічного програмування в обме-

женнях [3]. Таке потенційне застосування складатиметься з кількох частин: перша частина міститиме визначення всіх змінних технологічної проблеми (керованих параметрів процесу буріння) з їхніми доменами (діапазонами зміни параметрів). Відповідно домені змінних звужуватимуться за рахунок обмежень, які будуть встановлюватися на наступних кроках. Такий метод пошуку в просторі рішень описуватиметься через введення маркування *Labeling* для множини змінних або через введення перерахування для процесів генерації значень для окремих змінних доменів. У даному випадку дерево пошуку описуватиметься на основі евристики впорядкування значень та змінних, що застосовується до початку присвоєння значень шляхом виклику процедур поширення обмежень [4]. Процедура маркування може також бути використана для пошуку розв'язків оптимізаційної проблеми з введеною цільовою функцією [5].

Метод бінаризації обмежень [6] при його застосуванні як стратегії рішення технологічних проблем на основі обмежень, очікувано призводитиме до збільшення простору рішень, тому ефективність процедури пошуку рішення, в даному випадку, знижуватиметься. Для усунення такого недоліку в даній ситуації доцільним є використання спеціальних алгоритмів поширення обмежень для розв'язання виділених підпроблем описаних на певній підмножині змінних за допомогою введення глобальних обмежень [7]. Моделювання проблеми через відповідні глобальні обмеження є однією з основних ідей логічного програмування в обмеженнях [3] із точки зору обчислювальної ефективності та контролю пошуку рішення в умовах накладання ієрархії обмежень.

Таким чином, метою даної статті є побудова формального механізму контролю пошуку рішення технологічних проблем на прикладі застосування глобальних обмежень, які виражають умови, що повинні бути необхідно задоволені для усунення нештатних ситуацій в процесі буріння свердловин.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Синтез розв'язків [8] розглядається як пошуковий алгоритм, який опрацьовує декілька гілок дерева пошуку одночасно. Також його можна інтерпретувати як метод звуження задачі, що задає обмеження на всю множину змінних (тобто,  $n$ -обмежень для технологічної проблеми з кількістю змінних  $n$ ), яке звужується до такого, що обмежує простір можливих міток настільки, що він міститиме тільки короткі розв'язки.

В нашому випадку при  $n=6$ ,  $V=(v_1, \dots, v_6)$  як вхідний набір технологічних параметрів розглядаються наступні змінні:  $v_1$  – осьове зусилля на долото  $F(t)$ ;  $v_2$  – швидкість обертання долота  $n(t)$ ;  $v_3$  – витрата промивної рідини  $Q(t)$ ;  $v_4$  – густина промивної рідини;  $v_5$  – в'язкість промивної рідини;  $v_6$  – вміст піску в промивній рідині. Згідно з формулюванням інформаційно-пошукової задачі на основі обмежень (CSP – *constraints satisfaction problem*) на множину введених змінних накладаються обмеження та інтелектуальна система, прототип якої описаний в [9] здійснює контроль пошуку рішення шляхом формування кортежів присвоєнь, які відповідно повністю або частково задовольнятимуть множини накладених обмежень в чіткій, нечіткій та імовірнісних формах (рис. 1).

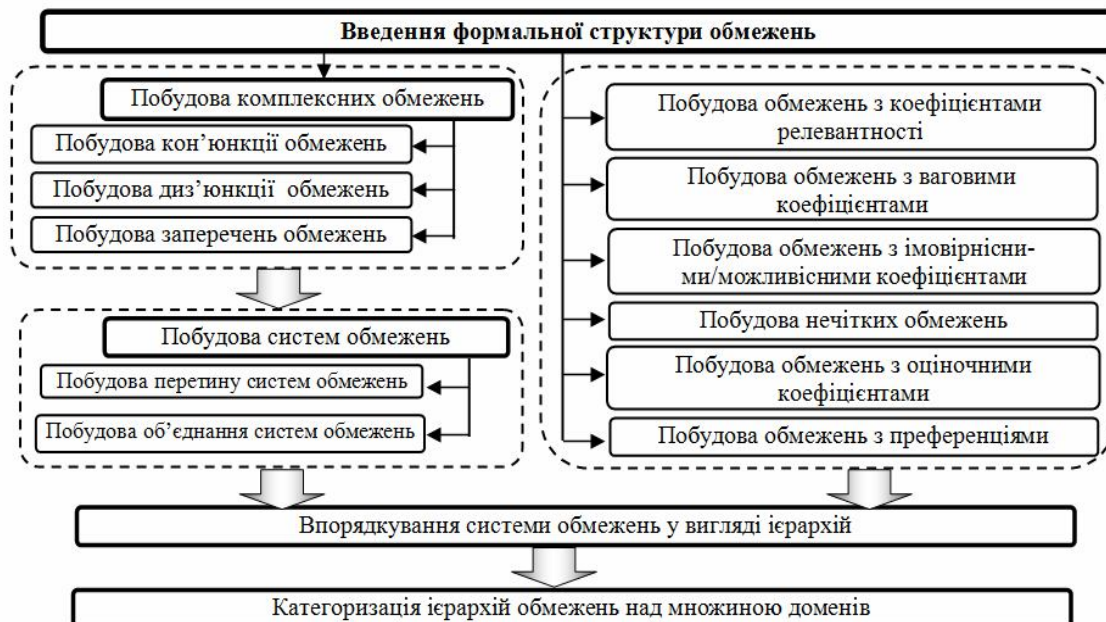


Рисунок 1 – Класифікація та структуризація обмежень технологічних проблем

При пошуку рішення технологічної проблеми (фактичного усунення нештатної ситуації в процесі буріння) тільки один частковий розв'язок (який є частковим присвоєнням) розглядається в кожен момент часу. Часткове присвоєння розширюється шля-

хом задіяння нової змінної до того часу, поки не буде знайдено розв'язок, або поки не будуть перевірені всі часткові присвоєння. Основною ідеєю підходу є контроль множин усіх часткових присвоєнь, що не порушують обмежень, для зростаючої мно-

жини змінних. Для забезпечення коректності алгоритму виконується видалення часткових присвоєнь, які на певному кроці алгоритму порушують певне обмеження. Також для забезпечення повноти алгоритму виконується контроль видалення множини часткових присвоєнь, що не порушують обмеження.

Створена система може оперувати з одиничними обмеженнями (відповідно з ваговими або оціночними значеннями), *системами обмежень CS (constraints system)*, ієрархіями обмежень *CH (constraints hierarchy)* із заданою кількістю рівнів. В ієрархії виділяють обов'язкові рівні (обмеження на цьому рівні повинні задовольнятися) і не обов'язкові (задоволення обмежень є преференційним). Обмеження можуть задовольнятися повністю або частково з певним ступенем задоволення *sd – satisfaction degree*. На множині введених обмежень можна будувати комплексні обмеження на основі об'єднання та перетину існуючих множин та систем обмежень, а також на основі кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення одиничних обмежень. Обмеження згідно області застосування (рівня активності) поділяються на локальні, доменні та глобальні.

Під технологічною проблемою *TP* процесу буріння в створеній інтелектуальній системі розуміють саме вид нештатної ситуації, тобто перебіг технологічного процесу, що не відповідає регламенту. Тому, зрозуміло, що в такій інтерпретації дана проблема вимагає рішення яке, в найпростішому випадку, зводиться до переведення контрольованих параметрів в регламентні діапазони, тобто згідно вище представленій формалізації пошуку відповідного присвоєння значень, що належить простору рішень технологічної проблеми. В той же час, може скластися враження, що для уникнення нештатної ситуації технологічного процесу достатньо тільки утримання контрольованих параметрів в регламентних діапазонах. Це безумовно правильно, але складність процесу буріння полягає в тому, що контролюється тільки частина із можливого переліку технологічних параметрів, а інші відповідно розглядаються як неконтрольовані, збурюючі фактори. Крім, того як показує досвід фактичного буріння, вплив кожного з контрольованих параметрів на перебіг технологічного процесу залежить від встановлених значень інших параметрів.

Цільовою функцією *OF (objective function)*, в загальному випадку, вважають деяку функцію задану на впорядкованій множині  $W^{set}$  над множиною введених змінних  $V$ . На множині  $W^{set}$  вводиться деяке впорядкування  $\leq_{W^{set}}$ . У нашому випадку елементи множини  $W^{set}$  розглядаються як коефіцієнти преференцій обмежень.

Процес пошуку оптимального рішення технологічної проблеми *TP* (задача оптимізації, тобто пошук таких значень контрольованих вхідних параметрів, за яких вихідні параметри досягають відповідно максимуму чи мінімуму) розглядається як процес задоволення (порушення) накладеної множини (системи, ієрархії) обмежень з введеною цільовою функцією *OF*.

В процесі пошуку оптимального рішення  $Sol^{opt}$  технологічної проблеми *TP* у формі присвоєння

$\psi = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ , де  $n$  – кількість введених змінних, кожне таке присвоєння розглядається як більш прийнятне відносно до присвоєння  $\psi^1$  тоді, коли значення цільової функції для нього менше ніж для присвоєння  $\psi^1$ , тобто  $OF(\psi) < OF(\psi^1)$ .

Оптимальним рішенням технологічної проблеми на основі обмежень вважається таке присвоєння  $\psi$ , яке є найбільш прийнятним (преференційним) із усіх можливих.

У випадку технологічних проблем процесу буріння, враховуючи його складність, нестационарність і недетермінованість порівняння рішень здійснюється на основі формального механізму компараторів, що згідно ієрархії звернень показано на рис. 2.

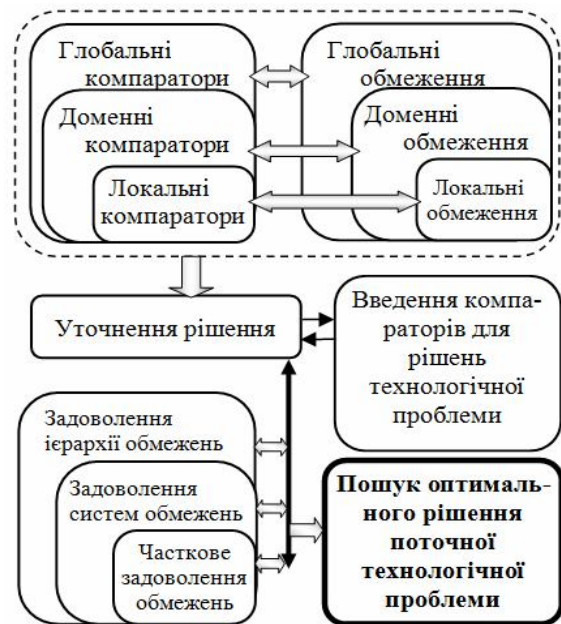


Рисунок 2 – Процедура пошуку оптимального рішення шляхом задоволення обмежень

Згідно зі способом побудови інтелектуальної системи, множини обмежень, можна поділити на дві підмножини: підмножину абсолютних обмежень і підмножину відносних (преференційних) обмежень. На множині оцінювання присвоєнь  $OF(\Psi_V)$  у випадку якщо деяке присвоєння  $\psi$  порушує одне з абсолютних обмежень, то воно відповідно буде виключатися з процесу пошуку оптимального рішення. В той же час порушення відносних преференційних обмежень не призводить до виключення поточного присвоєння, що їх порушує, а навпаки дозволяє оцінювати рішення (присвоєння) з точки зору його прийнятності і відповідно виконувати порівняння рішень присвоєнь за ступенем їх прийнятності. Преференції обмежень задаються за допомогою коефіцієнтів релевантності, вагового коефіцієнту, імовірнісного та ін.

Створена система інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі обмежень (СІППРО) дозволяє оператору процесу буріння отримати експертні поради щодо вирішення поточної технологічної проблеми. На рис. 3 розкрито функціональність



системи при вирішенні технологічної проблеми “Прихоплення через обсіпання та обвалювання породи” для поточного стану “втрата циркуляції та рухомості бурової колони на глибині 3323 м.” Система відображає порушені обмеження, а саме: 1 – вихід значення зенітного кута викривлення стовбура за 38 градусів; 2 – зниження питомої ваги бурового розчину до значення нижче “середнього”; 3 – порушення нормальної циркуляції бурового розчину. Система обчислює релевантність обмежень до стану проблеми, визначає ваговий коефіцієнт обмеження в формі значення ваги присвоєння кортежу рішення, обчислює ймовірність та можливість задоволення та порушення обмеження, а також рівень переважності (першочерговості) задоволення / порушення обмеження. Також система виводить обмеження ступінь порушення яких є невеликою, такою, що може бути знехтувана з вказанням ступеня його задоволення, а саме 4 – високий пластовий тиск і 5 – стабільність значення перерізу стовбура свердловини, які були порушені на 6 і 4 % відповідно, що в межах технологічного регламенту. В результаті на основі наявної бази знань про технологічний процес система видає експертні поради двох видів – базовий і детальний рівні, а також експертні поради до кожного порушеному обмеженню і до стану технологічної проблеми в цілому.



Рисунок 3 – Копія екрану обробки технологічних проблем інтелектуальною системою

Згідно класичного формулювання дві технологічні проблеми  $TP = (V, D, C)$  і  $TP' = (V', D', C')$  вважаються еквівалентними тоді і тільки тоді, коли в них однакові множини змінних і однакові множини розв'язків:

$$TP(V, D, C) \sim TP(V', D', C') \iff [V \equiv V'] \cap \cap [Sol^{set}(V, D, C) \Leftrightarrow Sol^{set}(V', D', C')]$$

Технологічну проблему  $TP = (V, D, C)$  будемо вважати звуженою по відношенню до технологічної проблеми  $TP' = (V', D', C')$  якщо:

- 1) проблеми  $TP$  та  $TP'$  еквівалентні;

2) домен кожної змінної  $D'_i$  є підмножиною домену  $D_i$ ,  $D'_i \subset D_i$ ;

3) множина обмежень  $C'$  в більшій, або такою ж мірою обмежує множину всіх можливих присвоєнь, як і множина  $C$ .

Оскільки обмеження фактично є множиною можливих присвоєнь, то під звуженням задачі задоволення обмежень можна розуміти видалення із обмеження тих присвоєнь, які не беруть участі в жодному із кортежів розв'язку.

Лишніми присвоєннями в обмеженні вважають обмеження, що не є проекцією жодного з кортежів розв'язків. Тобто, якщо:

$$(s_1, \dots, s_{n_i}) \in Sol_i, i \in N \text{ то } \exists \psi \in \Psi, p \downarrow_{\psi}^{Sol_i} \vdash p \in \Psi.$$

Лишнім значенням домену називається таке значення, яке не є частиною жодного з кортежів розв'язків:

$$redundant(d_{i_1} \in D_j) \vdash d_{i_1} \notin \forall Sol_i, i, i_1, j \in N.$$

Присвоєння та значення, що інтерпретуються як “лишні”, можуть бути видалені із технологічної проблеми таким чином, що це не вплине на множини розв'язків.

Отже, звуження технологічної проблеми означає її перетворення в іншу еквівалентну проблему, шляхом видалення лишніх значень з доменів змінних та лишніх присвоєнь із обмежень:

$$Narrow(TP) \vdash Del(\forall redundant(d_{i_1}), d_{i_1} \in D_{j_1}) \wedge \wedge Del(\forall redundant(\psi_{i_2}), \psi_{i_2} \in C_{j_2}, C_{j_2} \in ConstrHrch)$$

Якщо домен будь-якої змінної або будь-яке обмеження шляхом звуження перетворюються в порожню множину, то робиться висновок про те, що проблема не має розв'язків в загальному випадку. Відповідно звуження проблеми зменшуватиме кількість потенційних розв'язків і відповідно проблема буде простішою з точки зору пошуку можливих рішень.

Відповідно, технологічну проблему будемо вважати мінімальною, якщо жоден з її доменів не містить лишніх значень, а жодне обмеження не містить лишніх присвоєнь. У загальному випадку процес мінімізації технологічної проблеми може продовжуватись до тих пір, поки множина всіх можливих присвоєнь не звужиться до множини кортежів розв'язків. Даний результат можна досягнути шляхом створення простих обмежень для всіх потрібних комбінацій змінних і звуження кожного обмеження до множини присвоєнь які задовольняють кожне обмеження. В результаті залишиться тільки обмеження  $C_V$ , яке містить в собі всю множину змінних  $V$ , а множина всіх присвоєнь цього обмеження буде множиною всіх можливих кортежів розв'язків. Тому більшість алгоритмів застосовують звуження задачі тільки в тому випадку, якщо існують зайві присвоєння або змінні, пошук яких не є складним. У деяких окремих випадках можна знайти розв'язок задачі задоволення обмежень, використовуючи тільки її звуження. Тому існує велика кількість алгоритмів,

які поєднують звуження задачі з методами пошуку [8].

Такі методи базуються на наданні значень певним змінним з подальшою перевіркою присвоєнь на сумісність з обмеженнями технологічної проблеми. Вибір такого значення не повинен бути випадковим, а має порівнюватись з присвоєннями виконаними до нього. Якщо виконується присвоєння значення першій змінній із множини, то відповідно необхідно виконувати перевірку кожного значення з її домену. Якщо виконане присвоєння порушує певні обмеження, то здійснюється вибір наступного значення для цієї змінної, якщо воно існує. Якщо не існує жодного значення для змінної, що не порушує жодного з обмежень, то здійснюється крок назад, і виконується переприсвоєння змінної, значення якій було надане до присвоєння поточної змінної. Цей процес продовжується до того часу, поки не буде

знайдено розв'язок, або доки всі комбінації присвоєнь змінних не будуть оцінені як помилкові. В такому випадку робиться висновок про несумісність технологічної проблеми (тобто її переобмеженість, що призводить до порожньої множини кортежів розв'язків).

Структурований на рис. 4 метод контролю рішення технологічної проблеми дозволяє зокрема зменшувати розмір доменів можливих значень, а також підсилювати строгість накладених обмежень, тобто підсилення обмежень допомагатиме звужувати простір пошуку на його кінцевих стадіях. Відповідно, метод звуження технологічної проблеми може бути застосований на будь-якому із етапів пошуку. В той же час, може бути використано ряд стратегій поєднання пошуку рішення зі звуженням технологічної проблеми [7].

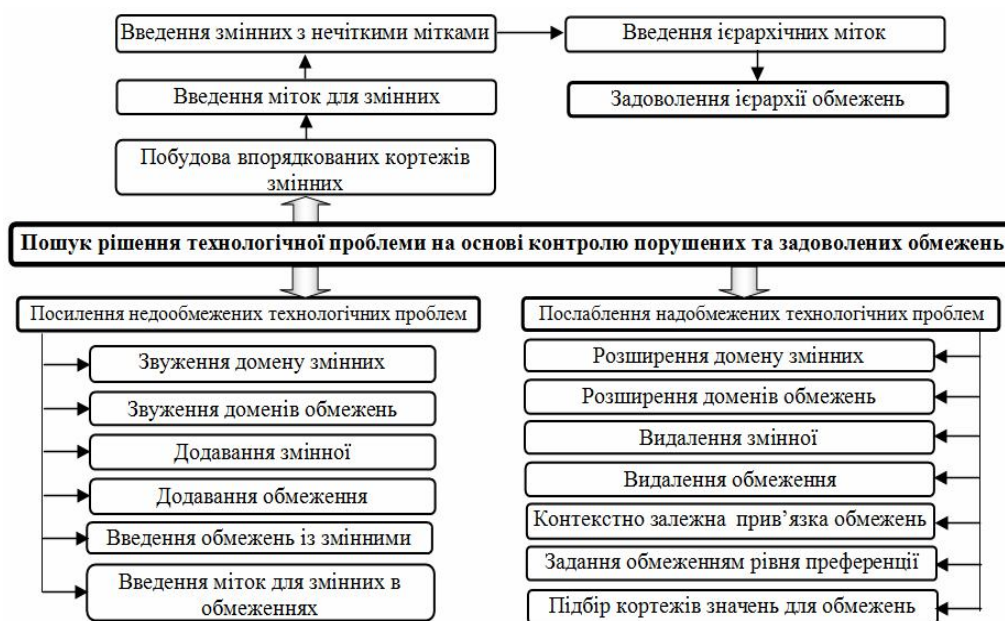


Рисунок 4 – Управління процесом пошуку рішення технологічної проблеми

В технології інформаційно-пошукових задач на основі обмежень важливим фактором процесу контролю рішень є використання міток (*labeling*) [10].

В нашому випадку мітки використовуються для обчислення розв'язків у надобмежених технологічних проблемах і при пошуку оптимального рішення для технологічної проблеми. Методи вибору рішення з множини всіх присвоєнь будуть відображають можливі семантики анотування змінних (задання змінним міток). Мітки визначають спосіб впорядкування змінних в рамках технологічних проблем на основі обмежень з преференціями і у випадку оптимізаційних проблем. Задання відображення міток на множини технологічних проблем із нечіткими обмеженнями і відображення на випадок ієрархії обмежень, дозволяє специфікувати процес пошуку рішення надобмежених проблем, базуючись на специфікаціях класичних формальних структур представлення та задоволення обмежень.

Мітки змінних можна поєднувати в процесі обчислення глобальних міток обмежень, а також в процесах визначення преференції для вибору рі-

шення на основі мінімаксної оптимізації або шляхом введеної цільової функції [11]. При роботі формалізованими представлення технологічних проблем процесу буріння найбільш доцільним способом інтерпретації міток, як показує отриманий досвід при створенні інтелектуальної системи на основі обмежень є саме їх інтерпретація на основі ієрархії обмежень. Початково така ієрархія будується над множиною міток обмежень з додатковим відношенням порядку, що накладається глобальними мітками обмежень в середині кожного рівня ієрархії. Оскільки ієрархічні мітки, можна розглядати як мітки змінних в більш широкому розумінні, то мітки на рівні ієрархії дозволятимуть більш повно представляти семантику міток в цілому. Слід взяти до уваги, більш повну стратегію рішень, що дозволяє показати відповідність між окремими множинами міток і окремими класами технологічних проблем на основі обмежень.

При додаванні обмеження до поточного стану технологічної проблеми процесу буріння експерт предметної області задає такі специфікації обме-

ження:

1) ваговий коефіцієнт обмеження, який визначає вагу кожного присвоєння змінним (керованим параметрам) відповідних значень;

2) імовірнісний коефіцієнт обмеження  $cpr$ , який задає імовірність задоволення (порушення) обмеження. Дана характеристика є статистичною. Імовірнісні значення задоволення і порушення обмеження зв'язуються формулою  $cpr^{sat.} = 1 - cpr^{viol.}$ ;

3) можливісний коефіцієнт обмеження  $cps$ , який виражає можливість задоволення (порушення) обмеження. Можливісні коефіцієнти розглядаються як різновид імовірнісних коефіцієнтів, проте вони базуються не на статистичній оцінці, а на оцінці на основі знань;

4) перевагу обмеження  $pfс$ , що виражає важливість першочерговості задоволення (порушення) обмеження при вирішенні технологічної проблеми. Очевидною тезою, є те що ступінь переваги обмеження повинен бути прямо пропорційною ступеню її релевантності, проте точний опис такої залежності визначатиметься вибраною стратегією;

5) ступінь релевантності  $rd$  обмеження стану технологічної проблеми;

6) лінгвістичне значення обмеження  $LV$ .

Преференції змінних (мітки) дозволяють виражати переваги користувача разом з його очікуваннями щодо складності присвоєння змінних. Застосування такої методики дозволяє усунути складності, що виникають при рішенні надобмежених проблем або проблем з великим простором рішень. Найбільш складні змінні є джерелом для процедури поширення обмежень, і їх початкова ініціалізація може дозволяти звуження простору рішення.

Для заданої системи обмежень з введеними мітками для змінних, впорядкування змінних обчислюється на основі глобальних міток змінних. Такий спосіб впорядкування змінних належить до класу статичного впорядкування. Кінцеве обчислення впорядкування залежить від вибору анотаційних триплетів. При виборі підстановки для анотаційного триплету необхідно розглядати всі властивості заданої проблеми. Якщо бажаним є чітке розрізнення окремих змінних, тоді найкращим рішенням є розгляд присвоєнь на кожному рівні. Доцільним є відображення за допомогою міток динамічної поведінки системи обмежень під час процедури оцінювання, тобто доменні змінні утворюються з констант шляхом присвоєння їм значень, тому задоволені обмеження у випадку надобмеженої проблеми можна видалити як частину процедури послаблення надобмежень. Приймаючи до уваги такі міркування доцільно здійснювати вибір змінної для присвоєння засобами динамічних глобальних міток змінних, що відповідають глобальним міткам змінних, які обчислюються після застосування поточного часткового присвоєння.

При додаванні обмеження до  $j$ -того стану технологічної проблеми  $TP^i$  ми отримаємо деяку множину міток згідно формули:

$$TP^i \cdot TPS^j \rightarrow C^j (cw^j, cpr^j, cps^j, pfc^j, rd^j).$$

Множину міток  $C^j$  будемо позначати як  $L_{set}^j$ . Вхідження множини міток отримуватиметься з мультимножини виду  $L_{set}^j : \{\{0 \dots 100\}, LV_k^j\}_{k=1 \dots 5}\}$ .

Наведені характеристики міток в залежності від вибору експерта чи групи експертів можуть задаватися у вигляді числових значень з діапазону [0–100], тобто у вигляді процентної характеристики або лінгвістичних значень, таких як ”швидше за все”, ”у більшості випадків” ”інколи”, ”майже завжди” та ін. Технологічно обидва види оцінок будуть переводитись в шкалу 0–1, що дозволяє уніфікувати процес виконання обчислень в механізмі висновку інтелектуальної системи.

**ВИСНОВКИ.** В даному дослідженні приведено формальну структуру контролю рішення технологічних проблем процесу буріння, що дозволяє виконувати оцінювання ймовірнісної необхідності задоволення чи порушення множин, систем та ієрархій накладених обмежень. Передбачено пошук оптимального присвоєння з уведеною функцією мінімізації за сумарними значеннями переваг множин порушених обмежень та введеною функцією максимізації по сумарних значеннях переваг множини задоволених обмежень, що розглядається як основна складова процесу пошуку рішень. Введення переваг в даному випадку виконує ранжування множини релевантних обмежень по ступеню важливості. Оцінювання для змінних як контрольованих технологічних параметрів дозволяє наводити множини переваг і виражати їх вплив на процес задоволення та порушення обмежень під час вирішення технологічних проблем.

Темою подальших досліджень буде побудова глобальних обмежень для випадку надобмежених технологічних проблем із введенням додаткових специфікаторів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ясов В.Г. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. – Ивано-Франковск: ИФДТУНГ, 2004. – 207 с.
2. 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.
3. Hentenryck, P.V. (1989), Constraint Satisfaction in Logic Programming, The MIT Press, 240 p.
4. Bessiere, C. (2006), Constraint Propagation, Technical Report LIRMM 06020 CNRS/University of Montpellier, 63 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.math.unipd.it/~frossi/bessiere>.
5. Hooker, J. N. (2001), Logic, Optimization and Constraint Programming, Graduate School of Industrial Administration Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA, 52 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wpweb2.tepper.cmu.edu/jnh/joc2.pdf>.
6. Fahiem Bacchus, Xinguang Chen, Peter van Beek, Toby Walsh (2002), Binary vs. Non-Binary Constraints, Department of Computer Science University of Toronto, Canada, 40 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.9500&rep=rep1&type=pdf>.

7. Jean-Charles Regin (2004), *Global constraints and filtering algorithms*, Kluwer Academic Publisher, 47 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.141.1505&rep=rep1&type=pdf>.

8. Kumar V. (1992), *Algorithms for Constraint-Satisfaction Problems*, *AI Magazine*, pp. 32–44. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aaai.org/ojs/index.php/ai-magazine/article/view/976/894>.

9. Вовк Р.Б. Реалізація інтерфейсних елементів інтелектуальної тьюторної системи на основі обмежень // Вісник Кременчуцького державного універ-

ситету імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 1/2010 (60), част. 1. – С. 39–43.

10. Tsang E.P.K. (1987), *The Consistent Labeling Problem in Temporal Reasoning*, *AAAI-87 Proceedings*, pp. 251–255. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aaai.org/Papers/AAAI/1987/AAAI87-045.pdf>.

11. Craig Boutilier, Relu Patrascu, Pascal Poupart, Dale Schuurmans (2003), *Constraint-based Optimization with the Minimax Decision Criterion*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 168–182. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cs.uwaterloo.ca/~ppoupart/publications/minimax-CP/minimax-CP.pdf>

## THE SOLUTION FINDING CONTROL FOR DRILLING TECHNOLOGICAL PROBLEMS FORMALIZED BY THE CONSTRAINTS HIERARCHIES IMPOSED

**R. Vovk**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
vul. Karpatska 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. E-mail: [wolf@wolf.if.ua](mailto:wolf@wolf.if.ua)

The author has proposed a new approach to forming a smart system of constraints-based strategy that allows easing or tightening the initial problem formulation accordingly to the level of operator knowing in the current technological problems solution. The new interpretation of drilling technological problems was introduced based on the method for control of the set of satisfied and violated constraints, what allows an assignment to each constraint of some evaluation label that would identify the general preference for this constraint in the subject domain field of the knowledge base of intelligible system. The relevant ordering for the evaluation set was defined, that allows describing the corresponding levels of violation and satisfying of constraints. It was shown the way of construction for evaluations from the violated or satisfied constraints entries on the level of the set, the system, and their full-fledged hierarchies. It was also defined and formally described the expected classes of the technological problem with the evaluation structure as a pair (true, false), or weight evaluation via summarizing the weights on the level of sets, systems and hierarchies, with consequent resolving of maximal and minimal sums. It was foreseen, too, the evaluation of probabilities, which defines the probability of relevancy of a constraint to the current technological problem, according to the initial setting of the system as for satisfaction or violation only for the relevant constraints. It was outlined the way to operate with probability evaluations for sets levels, systems and constraints hierarchies via summarizing the probability evaluations and choosing the corresponding solution of one of the assignments with maximal evaluation of probabilities relevance in a smart system.

**Key words:** technological problem, constraints, label, assignment, weights, preferences.

### REFERENCES

1. Yasov, V.G. (2004), *Oslozhneniya i avarii pri burenii nefiannykh skvazhin* [Complications and accidents while drilling oil and gas wells], IFSTUOG, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

2. Vovk, R.B., Sheketa, V.I., and Protsiuk, V.R. (2010), “Control of the drilling technological process states based on the theory of constraint satisfaction”, *Scientific journal of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, no. 3(25), pp. 138–144.

3. Hentenryck, P.V. (1989), *Constraint Satisfaction in Logic Programming*, The MIT Press.

4. Bessiere, C. (2006), “Constraint Propagation, Technical Report LIRMM 06020 CNRS”, University of Montpellier, available at: <http://www.math.unipd.it/~frossi/bessiere>.

5. Hooker, J.N. (2001), “Logic, Optimization and Constraint Programming”, Graduate School of Industrial Administration Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA, available at: <http://wpweb2.tepper.cmu.edu/jnh/joc2.pdf>.

6. Fahiem Bacchus, Xinguang Chen, Peter van Beek, Toby Walsh (2002), “Binary vs. Non-Binary Constraints”, Department of Computer Science University of Toronto, Canada, available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.9500&rep=rep1&type=pdf>.

7. Jean-Charles Regin (2004), “Global constraints and filtering algorithms”, Kluwer Academic Publisher, available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.141.1505&rep=rep1&type=pdf>.

8. Kumar V. (1992), “Algorithms for Constraint-Satisfaction Problems”, *AI Magazine*, pp. 32–44, available at: <http://www.aaai.org/ojs/index.php/ai-magazine/article/view/976/894>.

9. Vovk, R.B. (2010), “Interface elements implementation for intelligent tutoring system based on constraints”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State University*, vol. 1/2010 (60), part 1, pp. 39–43.

10. Tsang, E.P.K. (1987), “The Consistent Labeling Problem in Temporal Reasoning”, *AAAI-87 Proceedings*, pp. 251–255, available at: <http://www.aaai.org/Papers/AAAI/1987/AAAI87-045.pdf>.

11. Craig Boutilier, Relu Patrascu, Pascal Poupart, Dale Schuurmans (2003), “Constraint-based Optimization with the Minimax Decision Criterion”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 168–182, available at: <https://cs.uwaterloo.ca/~ppoupart/publications/minimax-CP/minimax-CP>.

Стаття надійшла 23.01.2014.