

УДК 681.518.52: 622.692.4

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ ВІДБОРІВ І ВИТІКАНЬ НАФТИ З МАГІСТРАЛЬНОГО НАФТОПРОВОДУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

© Семенцов Г.Н., Кучмистенко О.В., 2005

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Описаний метод моделювання процесів несанкціонованих відборів і витікань нафти з магістрального нафтопроводу за допомогою нечіткої моделі Мамдані, що дозволяє враховувати якісні характеристики об'єкта контролю і підвищити точність визначення часу початку і місця відбору або витікання нафти та зменшити час на прийняття рішення

Визначення місця несанкціонованих відборів і витікань нафти при експлуатації нафтопроводу при різних режимах перекачування пов'язане з прийняттям рішень в умовах нестаціонарності і нелінійності змін основних характеристик перекачування – тиску і масової витрати, з відсутністю достатньо повних апріорних даних, а також з необхідністю застосування методів і засобів, які зменшують ступінь невизначеності вхідної інформації. Ступінь невизначеності вхідної інформації суттєво залежить від інтенсивності нестаціонарних збурювальних впливів, точні кількісні характеристики яких важко, а інколи неможливо вимірювати в реальному часі, від складності математичної формалізації об'єкта та системи контролю, від впливу людського фактора та суб'єктивності будь-яких оцінок і рішень оператора при управлінні процесом транспортування нафти в

аварійних режимах.

Тому найважливішим питанням підвищення якості контролю при визначенні часу і місця несанкціонованого відбору і витікання нафти є постійний моніторинг технічного стану нафтопроводу з метою виявлення цих відборів і витікань нафти, а у разі їх виявлення, скорочення часу на визначення місця відбору і прийняття рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1-4], в яких започатковано розв'язання даної проблеми, показує, що основною задачею диспетчера у цьому випадку є встановлення факту витікання нафти, часу і місця витікання на нафтопроводі.

Показники відомих систем контролю, а саме точність визначення часу і місця витікання змінюються в залежності від інтенсивності витікання нафти (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники систем контролю в залежності від інтенсивності витікань нафти

Інтенсивність витікання, % номінальної масової витрати	Час виявлення, хвилин	Точність визначення місця витікань, км
2	20	4
5	10	2
> 15	2	1

Використання відомих методів, що базуються на детермінованих моделях, не дозволяє ефективно здійснювати контроль раннього виявлення відборів або витікань нафти з нафтопроводів, оскільки такі випадки відбуваються при неоднакових умовах і без урахування зміни режимів роботи нафтопроводів.

Метою даної статті є моделювання процесів несанкціонованих відборів і витікань нафти з магістрального нафтопроводу за допомогою

нечіткої моделі Мамдані, що дозволяє урахувати якісні характеристики об'єкта контролю, підвищити точність виявлення місця відборів і витікань нафти через малі отвори і зменшити час на прийняття рішення.

Несанкціоновані відбори і витікання нафти через малі отвори можуть порушити режим роботи магістрального нафтопроводу (МН), тобто привести до зміни тиску і витрати в нафтотранспортній

системі (НТС). Для таких відборів і витікань (рис.1) нафти справедливі наступні залежності:

$$\left. \begin{aligned} M_1^* &= M_2^* + M_e^*; \\ P_1^* &= P_2^*, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $M_1^* = L \left\{ \frac{\Delta M_1}{M_{\text{вн}}} \right\}$, $M_2^* = L \left\{ \frac{\Delta M_2}{M_{\text{вн}}} \right\}$ - відповідно

зображення за Лапласом відносних змін масової витрати в нафтопроводі до і після отвору при витіканні; $P_1^* = L \left\{ \frac{\Delta P_1}{P_{\text{вн}}} \right\}$, $P_2^* = L \left\{ \frac{\Delta P_2}{P_{\text{вн}}} \right\}$ -

відповідно зображення за Лапласом відносних змін тиску в нафтопроводі до і після отвору; $P_{\text{вн}}, M_{\text{вн}}$ - номінальні значення масової витрати і тиску в точці нафтопроводу, де відбувається витікання нафти; $\Delta P_1, \Delta P_2$ - абсолютні зміни тиску в нафтопроводі до і після отвору; $\Delta M_1, \Delta M_2$ - абсолютні зміни масової витрати в нафтопроводі до і після отвору при витіканні; $M_e^* = L \left\{ \frac{\Delta M_e}{M_{\text{вн}}} \right\}$ - зображення за

Лапласом відносної зміни масової витрати через отвір при несанкціонованому витіканні нафти; ΔM_e - абсолютна зміна масової витрати через отвір при несанкціонованому витіканні нафти.

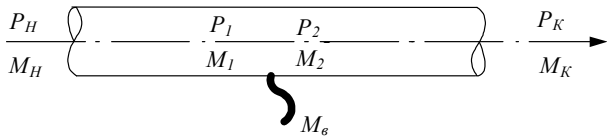


Рис.1. Умовне зображення витікання нафти з нафтопроводу

Масова витрата нафти через отвір визначається так [1]:

$$M_e = \xi_e F_e \sqrt{2\rho g(P_1 - P_{oc})}, \quad (2)$$

де ξ_e - коефіцієнт витрати; F_e - площа перерізу отвору в місці витікання; P_1, P_{oc} - абсолютні тиски в МН до отвору і в оточуючому середовищі відповідно; ρ - густина нафти; g - прискорення сили тяжіння.

Після лінеаризації рівняння (2) і переходу до відхилень отримаємо, що

$$M_e^* = K_e P_1^*, \quad (3)$$

де $P_1^* = L \left\{ \frac{\Delta P_e}{P_1} \right\}$ - зображення за Лапласом

відносної зміни тиску до отвору; $K_e = \left(\frac{\partial M_e^*(P_1^*)}{\partial P_1^*} \right)_0$ - коефіцієнт лінеаризації, який залежить від площі

перерізу отвору при витіканні F_e , густини нафти ρ , абсолютного тиску оточуючого середовища P_{oc} , коефіцієнту витрати ξ_e , температури та інших параметрів. Індекс "0" біля круглих дужок вказує, що часткові похідні беруться в точці $P_1 = (P_1)_0$. Оскільки відхилення $\Delta P_1 = P_1 - (P_1)_0$ малі, то нелінійними членами ряду Тейлора можна знехтувати і рівняння (3) вважати лінійним відносно ΔP_1 .

Підставивши значення M_e^* в рівняння (1), отримаємо, що

$$\left. \begin{aligned} M_1^* &= M_2^* + K_e P_1^*; \\ P_1^* &= P_2^*. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Математична модель (4) витікання нафти з МН дозволяє дослідити цей процес з урахуванням таких технологічних обмежень:

1) зміна тиску по довжині трубопроводу \bar{l} і в часі $P(\bar{l}, t)$ не повинна перевищувати максимальне значення тиску P_{max} , яке визначається міцністю труби нафтопроводу. Одночасно падіння тиску в пунктах відбору нафти підтримується не нижче мінімального значення P_{min} , яке визначається із умов надійності постачання нафти. Тому тиск в кожен момент часу обмежений такими умовами $P_{\text{min}} \leq P(\bar{l}, t) \leq P_{\text{max}}$;

2) для входу нафтоперекачувальної станції справедлива нерівність $P(0, t) \leq P_{\text{max}}$.

Звичайно спостерігається $P(0, t) \geq P(\bar{l}, t)$.

Одночасно витрата нафти $M(\bar{l}, t)$ може змінюватися лише в реальному діапазоні $M_{\text{min}} \leq M(\bar{l}, t) \leq M_{\text{max}}$. Мінімальне значення витрати визначається споживачами нафти.

Математична модель (4) може бути адекватною лише тоді, коли відомі площа перерізу отвору в місці витікання F_e і коефіцієнт витрати ξ_e . Крім того, розрахунки при визначенні місця і часу несанкціонованих відборів або витікань проводять на основі аналізу тисків нафти в різних місцях нафтопроводу. Тому для зручності при отриманні інформації про місце відбору або витікання нафти на основі рівняння (2) можна отримати такий вираз для тиску:

$$P_1 = \frac{M_e^2}{\xi_e^2 F_e^2 2\rho g} + P_{oc}, \quad (5)$$

який необхідно доповнити лінгвістичним описом процесу, що базується на досвіді експертів.

При цьому врахуємо, що одним із шляхів зниження інформаційної складності існуючих

алгоритмів контролю є використання спрощених апроксимаційних моделей. Сучасні методи побудови спрощених апроксимаційних моделей базується не тільки на класичних моделях, а й на моделях нечіткої логіки, які, на відміну від моделювання за допомогою диференціальних, інтегральних і різницевих рівнянь, дозволяють застосовувати переваги якісного опису природною мовою з високими апроксимаційними властивостями таких моделей [5].

З урахуванням аналізу підходів [1-4] до знаходження місць витікання нафти з МН було вибрано підхід для створення методу визначення місця відбору або витікання на базі нечітких апроксимаційних моделей, які дають змогу суттєво скоротити розрахунки та прискорити час на розв'язування задач апроксимації і, як результат, скоротити час на визначення місця несанкціонованого відбору або витікання нафти з МН.

В загальному випадку [6] нечітка модель представляє собою множину лінгвістичних правил, кожне з яких визначається за допомогою кортежу $\langle X, T, U, Y, I, F \rangle$, де X – набір вхідних змінних, T – множина лінгвістичних термів, U – множина універсумів нечітких змінних, Y – набір вихідних

змінних, I – метод нечіткої імплікації, F – методи фаззифікації і дефаззифікації.

На основі аналізу робіт [5-9], присвячених дослідженням використання нечітких моделей в задачах апроксимації і прийняття рішень за експериментальними даними, обраний один із двох найбільш розповсюджених типів нечітких моделей – Мамдані, а також проаналізовані параметри лінгвістичних правил, необхідних для побудови нечіткої моделі: кількість терм – множин лінгвістичних змінних; вид і параметри функцій належності терм – множин лінгвістичних змінних; набір вхідних і вихідних змінних для кожного правила.

Система контролю повинна визначити відстань від диспетчерського пункту до місця несанкціонованого відбору або витікання нафти з МН з мінімальною абсолютною похибкою $\Delta l(h)$:

$$[\Delta l(h)] \xrightarrow{h \in S} \min,$$

$$\text{де } S = \{P_{\min} \leq P(\bar{l}, t) \leq P_{\max}; M_{\min} \leq M(\bar{l}, t) \leq M_{\max}\}.$$

Модуль нечіткого контролю, який повинен розв'язувати цю задачу, має структурну схему, яка зображена на рис. 2.

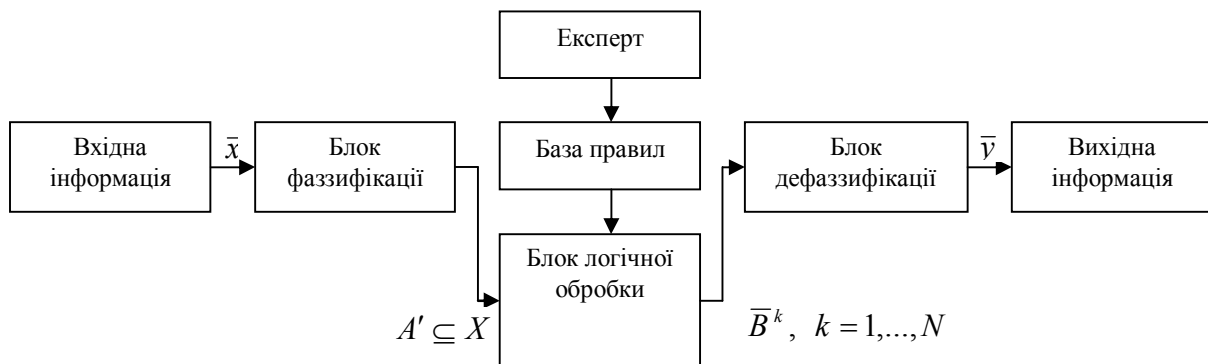


Рис. 2. Модуль контролю місця несанкціонованих витікань і відборів нафти через малі отвори в МН

Нечітка ситуація з визначення місця несанкціонованих відборів і витікань нафти з МН може бути ідентифікована і використана для оцінки відстані до місця відбору або витікання нафти і рівня аварійності стану трубопроводу за допомогою логічних правил в такому вигляді:

$$R: IF (A_1, \dots, A_n) THEN (B_1, \dots, B_n), \quad (6)$$

де A_1, \dots, A_n – перелік умов (антецедент); B_1, \dots, B_n – перелік дій (консеквент).

Кількість термів, за допомогою яких експерти

оцінюють зміни тиску в МН, з врахуванням розмаху цього параметру прийнята рівною 7: В – великий, С – середній, М – малий, ДМ – дуже малий, М, -, -' – малий, -, -', С, -, -' – середній, -, -', В, -, -' – великий, -, -'. Вимірювані параметри – це тиски у нафтопроводі до і після контрольних пунктів по ходу нафти і на виході нафто перекачувальних станцій. Показник, що визначається в процесі контролю – це рівень аварійності RA: “Н-норма”, ПА – передаварійний, АН – аварійно низький, АВ – аварійно високий.

Проведено лінгвістичний опис процесу відбору

нафти з МН на підставі висновків експертів і ретельного вивчення літератури [1-4, 10].

Лінгвістичний опис процесу витікання нафти з МН є початковою точкою для розробки відповідної бази правил Мамдані-типу у вигляді спеціальних евристичних правил, що випливають з лінгвістичних знань. Правила безпосередньо описують залежність рівня аварійності трубопроводу від змін тиску на окремих ділянках нафтопроводу. Загальна форма множини нечітких правил $R^{(k)}$, ($k=1, \dots, N$); є такою:

$$R^{(k)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^k \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^k) \\ \text{THEN } (y_1 \text{ is } B_1^k \text{ and } y_2 \text{ is } B_2^k \dots \text{ and } y_m \text{ is } B_m^k), (7)$$

де N – кількість нечітких правил; A_i^k – нечіткі множини $A_i^k \subseteq X_i \subset R$, $i=1, \dots, n$; B_j^k – нечіткі множини $B_j^k \subseteq Y_j \subset R$, $j=1, \dots, m$; x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні змінні лінгвістичної моделі, зокрема

$$(x_1, x_2, \dots, x_n)^T = x \in X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n; \quad (8)$$

y_1, y_2, \dots, y_m – вихідні змінні лінгвістичної моделі, зокрема

$$(y_1, y_2, \dots, y_m)^T = y \in Y_1 \cdot Y_2 \cdot \dots \cdot Y_m. \quad (9)$$

Символами X_i , $i=1, \dots, n$; та Y_j , $j=1, \dots, m$ позначені відповідно простори вхідних і вихідних змінних. Припустимо також, що кожен з просторів вхідних і вихідних змінних містить скінчену множину лінгвістичних термів із трикутною функцією належності класу t . Перевага трикутної функції належності класу t для побудови нечіткої моделі надана тому, що вона потребує лише три параметри для означення, а також тому, що обчислюється швидше інших видів функцій належності – гауссоподібних, трапецієподібних, сигмоїдальних.

Функції належності побудовані методом обробки експертної інформації в програмному середовищі MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox).

Для подальших міркувань будемо вважати, що конкретні правила $R^{(k)}$ ($k=1, \dots, N$) зв'язані між собою логічним оператором АБО. Крім того, врахуємо, що виходи y_1, y_2, \dots, y_m взаємно-незалежні. Тому будемо використовувати нечіткі правила із скалярним виходом у формі

$$R^{(k)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^k) \\ \text{THEN } (y \text{ is } B^k), \quad (13)$$

де $B^k \subseteq Y_j \subset R$ і $k=1, \dots, N$.

Отже лінгвістичну модель несанкціонованих витікань і відборів нафти треба шукати у вигляді набору лінгвістичних правил з усіма можливими

комбінаціями нечітких значень в антецеденті.

Для випадку контролю за витіканнями нафти з МН на основі двох вхідних змінних (рівні змін тиску на контрольному пункті до $KP_{i(\text{до})}$ і після $KP_{i(\text{після})}$ місця відбору) й однієї вихідної змінної (рівня аварійності РА) та обраних лінгвістичних термів $S_{KP}^i = \{B, C, M, DM, M, -, C, -, B, -\}$, ($i=1,2$), і $S_{PA} = \{H, PA, AH, AB\}$ сформульована лінгвістична модель із 16 правил [10]:

$$R_1 : \text{IF } KP_{i(\text{до})} \text{ is } DM \text{ and } KP_{i(\text{після})} \text{ is } DM \text{ THEN } RA \text{ is } H;$$

$$R_2 : \text{IF } KP_{i(\text{до})} \text{ is } M \text{ and } KP_{i(\text{після})} \text{ is } M \text{ THEN } RA \text{ is } PA;$$

$$R_3 : \text{IF } KP_{i(\text{до})} \text{ is } C \text{ and } KP_{i(\text{після})} \text{ is } C \text{ THEN } RA \text{ is } AH; \quad (14)$$

.....;

$$R_{16} : \text{IF } KP_{i(\text{до})} \text{ is } B \text{ and } KP_{i(\text{після})} \text{ is } C \text{ THEN } RA \text{ is } AH.$$

Антецеденти правил містять набір умов виникнення несанкціонованих відборів або витікань нафти, тоді як консеквенти містять висновки про рівень аварійності нафтопроводу.

При розробленні модуля нечіткого контролю за несанкціонованими витіканнями нафти з МНП була оцінена достатність кількості нечітких правил, їх непротиворечивість і наявність кореляції між окремими правилами.

Запропонована система контролю з нечіткою логікою оперує нечіткими множинами, тому конкретне значення \bar{x}_i вхідного сигналу модуля нечіткого контролю підлягає операції фаззифікації. В результаті такої операції йому буде співставлена нечітка множина $A' \in X = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$. Для цього застосували операцію фаззифікації типу синглетон:

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1, & \text{IF } x = \bar{x}, \\ 0, & \text{IF } x \neq \bar{x}. \end{cases} \quad (15)$$

Нечітка множина A' подається на вхід блоку виробки рішення (рис.2). На виході цього блоку буде N нечітких множин $\bar{B}^k \subseteq Y$ згідно з узагальненим нечітким правилом modus ponens.

Нечітка множина визначається комбінацією нечіткої множини A' і відношення $R^{(k)}$, тобто

$$\bar{B}^k = A' \circ (A^k \rightarrow B^k), \quad k=1, \dots, N, \quad (16)$$

де “ \circ ” – операція композиції.

На виході блоку виробки рішень формується одна нечітка множина B' з функцією належності $\mu_{B'}(y)$. Тому виникає задача відображення нечіткої множини B' в єдине значення $\bar{y} \in Y$, яке представляє собою результат контролю наявності несанкціонованого відбору або витікання нафти з

МН. Ця задача вирішується блоком дефазифікації (рис. 2).

Оскільки вихідне значення блоку виробки рішення представляє собою єдину нечітку множину V' , то значення \bar{y} можна визначити за методом центру ваги або максимуму функції належності $\mu_{V'}(y)$ за відомим методом [9].

Апробацію запропонованого підходу до створення системи контролю здійснено в умовах філії “Придніпровські магістральні нафтопроводи”, ВАТ “Укртранснафта”. Результати апробації показали, що вона дозволяє протягом 5 с визначити місце несанкціонованого витікання нафти з похибкою не більше 500 м.

1. Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.И. Динамика трубопроводных систем. – М.: Недра. – 1987. – 454 с. 2. Система обнаружения утечек на волне давления / Лосенков А.С., Русаков А.Н., Трефилов А.Г., Задорожный В.А. и др. // Трубопроводный транспорт нефти. – 1998. – №4. – С.27-30. 3. Параметрическая система обнаружения утечек для нефтепроводов с самотечными участками / Нагаев Р.З., Плотников В.Б., Лосенков А.С., Фирсов Ю.В. // Трубопроводный транспорт нефти. – 2002. – №3. – С.11-13. 4. Бабков А.В., Попадько В.Е. Системы обнаружения утечек

жидкости из магистральных нефтепроводов // Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности. – М.: ООО “ИРЦГазпром”, 2002. – С.4-31. 5. Бакуменко Н.С. Касьян О.В., Соколов А.Ю. Новый подход к построению нечетких моделей динамических объектов. // Открытые информационные технологии: Сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2002. – Вып. 13. – С. 98-105. 6. Ямпольський Л.С., Лавров О.Я. Штучний інтелект у плануванні і управлінні виробництвом. – К.: Вища школа, 1995. – 255 с. 7. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А. Методи синтезу нечітких контролерів для підвищення швидкодії та точності процесів формування управляючих сигналів // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв. – 2002. – Вип.1(379). – С. 121-129. 8. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: Радиоаматор. – 2003. – 512 с. 9. Рутковская Д., Пилинський М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком – 2004. – 452 с. 10. Семенцов Г.Н., Кучмистенко О.В. Фаззі-модель для імітаційного моделювання несанкціонованого витікання нафти з нафтопроводу // Академічний вестник. – Кривий Ріг. – 2004. – №13. – С. 84-86.

УДК 681.3.06+681.518.54.621.51

МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ БАЗОВИХ ЗНАЧЕНЬ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА ПРИРОДНОГО ГАЗУ

© Горбійчук М. І., Скріпка О. А., 2005

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Описаний метод обчислення базових значень діагностичних ознак відцентрового нагнітача з використанням нейромереж, який дає можливість з високою точністю апроксимувати зведені характеристики нагнітача і за поточними значеннями технологічних параметрів визначити відхилення діагностичних ознак від їх базових значень

У роботі [1] поставлена задача діагностування технічного стану газоперекачувального агрегату (ГПА) шляхом визначення відхилень поточних значень певних діагностичних показників від їх базових величин. Такими показниками були вибрані ступінь стиску газу ε , температура T_2 на виході нагнітача і внутрішня потужність ГПА N_i .

Для розрахунку базових значень показників ε^* , T_2^* та N_i^* користуються зведеними характеристиками, які отримані в заводських умовах і подані у вигляді графіків [2]. При автоматизованому

обчисленні базових значень графіки зведених характеристик необхідно певним чином апроксимувати. Тому метою даної роботи є вибір такого методу апроксимації зведених характеристик, який забезпечив би максимальну точність обчислення базових діагностичних показників ГПА.

Роботу нагнітача досить повно характеризують три показники: ступінь стискування ε , політропний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{пол}}$ і внутрішня потужність N_i , тобто [3]