

М. М. Трипутень, канд.техн. наук
(Україна, Дніпро, Національний ТУ «Дніпровська політехніка»)
В. В. Кузнецов, канд.техн. наук, Є. В. Кузнецова
(Національна металургійна академія України)
М. М. Трипутень, А.В. Кузнецова
(Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара)

α -АЛГЕБРА В ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ, ПРАЦЮЮЧИХ В УМОВАХ НЕЯКІСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. Стаття присвячена актуальній проблемі вибору засобів захисту асинхронних двигунів, працюючих в цехових електричних мережах промислових підприємств з неякісною електроенергією. Відомо енергоекономічна модель асинхронного двигуна представлена у вигляді диз'юнкції предикатів, до якої можна застосувати алгоритм розпізнавання образів для прийняття рішень. Головне достоїнство предикатної моделі – відкритість і можливість накопичення знань про режими роботи електромеханічного обладнання.

Практична реалізація процедур навчання, адаптації, мінімізації предикатної моделі і пошук на її основі найкращого варіанту захисту асинхронного двигуна на алгоритмічних мовах високого рівня передбачає обробку великих об'ємів даних. Показано, що елементи предикатних рівнянь можна представити у вигляді реляційної моделі даних і використати операції α - алгебри для її перетворень. Процедури перетворення легко інтегруються в інформаційні і програмні структури АСК підприємством, які використовують СКБД, орієнтовані на реляційні моделі.

Ключові слова: якість електричної енергії, предикатна модель, асинхронний двигун, мережі промислових підприємств.

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме выбора средств защиты асинхронных двигателей (АД), работающих в цеховых электрических сетях промышленных предприятий с некачественной электроэнергией. Известная энергоэкономическая модель асинхронного двигателя представлена в виде дизъюнкции предикатов, к которой применим алгоритм распознавания образов для принятия решения. Главное достоинство предикатной модели - открытость и возможность накопления знаний о режимах работы электромеханического оборудования.

Практическая реализация процедур обучения, адаптации, минимизации предикатной модели и поиск на её основе наилучшего варианта защиты асинхронного двигателя на алгоритмических языках высокого уровня предполагает обработку больших объёмов данных. Показано, что элементы предикатных уравнений можно представить в виде реляционной модели данных и использовать операции α - алгебры для её преобразований. Процедуры преобразования легко интегрируются в информационные и программные структуры АСУ предприятием, которые используют СУБД, ориентированные на реляционные модели.

Ключевые слова: качество электрической энергии, предикатная модель, асинхронный двигатель, сети промышленных предприятий.

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of choosing the means of protection of asynchronous motors (AM) operating in the shop electric networks of industrial enterprises with low-quality electricity. The well-known energy-economic model of an induction motor is presented in the form of a predicate disjunction, to which we apply the pattern recognition algorithm for making decisions. The main advantage of the predicate model is openness and the possibility of accumulating knowledge about the operating modes of electromechanical equipment.

The practical implementation of training, adaptation, minimization of the predicate model and the search on its basis for the best option for protecting an asynchronous motor in high-level algorithmic languages involves the processing of large amounts of data. It is shown that elements of predicate equations can be represented as a relational data model and use operations - algebras for its transformations. The transformation procedures are easily integrated into the information and software structures of the automated enterprise management structure, which use database management systems oriented to relational models.

Keywords: power quality, predicate model, asynchronous motor, industrial enterprise networks.

Вступ. Основними шляхами зниження негативного впливу неякісної електроенергії на працездатність електродвигунів в виробничих умовах, а, значить, і на ефективність виробництва в цілому є: застосування «індивідуальних» LC-фільтрів для захисту особливо відповідальних електроприводів; застосування «групових» пристроїв компенсації впливу неякісної напруги живлення на рівні цеха; придушення спотворень напруги живлення в місцях їх виникнення. Допускається також відмова від прийняття будь-яких заходів, не рахуючись з істотним зменшенням ресурсу двигуна. Кожний із указаних варіантів характеризується деякою вартістю впровадження і очікуваним економічним ефектом [1].

В [2] запропонований підхід до визначення найкращого варіанту захисту асинхронних двигунів (АД) на основі відомого алгоритму розпізнавання образів, основним елементом якого є предикатна модель [3]. На даний час відомі процедури прискореного навчання, адаптації, оптимізації і скорочення зазначеної моделі [4-6].

Реалізація елементів алгоритму припускає накопичення, пошук, реорганізацію та відновлення великої кількості даних – елементів предикатної моделі. Втім виконання цих процедур на алгоритмічних мовах високого рівня малоефективне, оскільки більшість із них орієнтовані на обчислювальні операції, моделювання, опис рівнобіжних процесів, опрацювання символічної інформації тощо. Це приводить до ускладнення прикладних програм і їх залежності від способу уявлення та опису даних, що значно ускладнює впровадження алгоритму вибору найкращого варіанту захисту АД.

Постановка задачі. Визначити математичний апарат, який дозволив би структурувати предикатну модель, формалізувати процедури її утворення, корекції, прийняття оптимальних рішень з подальшою інтеграцією в існуючі інформаційні і програмні структури автоматизованих систем керування на підприємствах.

Мета роботи. Обґрунтувати можливість уявлення елементів предикатних рівнянь у вигляді реляційної моделі даних і опис відомих процедур алгоритму вибору найкращого варіанту захисту АД на основі α -алгебри (реляційної алгебри Кодда).

Матеріали дослідження. Прийняття рішення про економічну доцільність вибору конкретного варіанту захисту асинхронного двигуна (або відмову від нього) залежить від значень технічних і економічних (вхідних) величин: коефіцієнта спотворення синусоїдальності K_U , коефіцієнтів окремих гармонічних складових $K_{U(m)}$ ($m = 7$), коефіцієнта зворотної послідовності K_{2U} , коефіцієнта нульової послідовності K_{20} , вартостей технічних засобів захисту C_j ($i = \overline{1, r}$), где r – кількість різних типів пристроїв захисту).

Кожна вхідна величина має деякі відхилення, обумовлені або точністю виміру (для технічних величин), або економічною ситуацією (для економічних величин). Це дозволило представити енергоекономічну модель АД у вигляді суми предикатів (дискретному вигляді) [2]:

$$Z_{em} [\overline{X}, \overline{C}] = V_{p=1}^q V_l^{\lambda_p} Z_{p,l} [\overline{X}, \overline{C}], \quad (1)$$

тут

$$Z_{em} [\overline{X}, \overline{C}] = 2^{-n} \prod_{j=1}^n \left\{ 1 + \text{sgn} \left[(X_j - X_{j\min}^{pl})(X_{j\max}^{pl} - X_j) \right] \right\} + 2^{-r} \prod_{j=1}^r \left\{ 1 + \text{sgn} \left[(C_j - C_{j\min}^{pl})(C_{j\max}^{pl} - C_j) \right] \right\},$$

V - логічна операція диз'юнкції.

Тут: q - кількість класів (діапазонів) сумарного збитку від впровадження засобів захисту або їх комбінацій; λ_p - кількість предикатів, що визначають p - діапазон; n, r - кількість технічних і економічних величин відповідно; $X_{j\min}^{pl}, X_{j\max}^{pl}, C_{j\min}^{pl}, C_{j\max}^{pl}$ - константи моделі.

Формування параметрів предикатів і об'єднання їх в класи здійснюється на етапі навчання моделі по критерію мінімуму економічних втрат E_{em} від використання технічних засобів захисту АД (або їх відсутності):

$$E_{em} \rightarrow \min. \quad (2)$$

В процесі навчання розпізнаванню по елементам вибіркової сукупності вхідних величин задають різні значення критерію керування E_{em} в інтервалі $E_{em.\max} \div E_{em.\min}$, розбиваючи факторний простір на два: M_1 , якщо $E < E_{em}$ і M_2 , якщо $E > E_{em}$. Змінюючи значення E_{em} з інтервалом

$\Delta E_{em} = (E_{em,max} - E_{em,min}) / q$, отримують q гіперповерхонь, які розділяють класи. Гіперповерхні у відповідності з методикою аналітичного опису методом, що допускає розбиття факторного простору на елементарні підобласті, можуть бути задані у вигляді предикатних рівнянь (1). Тут: ΔE_{em} - допустимі відхилення економічних втрат від розрахованого значення.

Множина технологічних ситуацій, що задаються предикатами (1) об'єднуються в класи залежно від значень економічних втрат. Кожний клас визначається диз'юнкцією предикатів. Використання такої моделі припускає упорядкування її елементів у вигляді двомірної таблиці, в стовбцях якої слід розмістити. Причому в її стовбцях розміщуються значення; $X_{j,min}^{pl}, X_{j,max}^{pl}, C_{j,min}^{pl}, C_{j,max}^{pl}$, а рядок відповідає деякому предикату.

Неважно бачити, що стовпці таблиці мають різну назву й однорідні, усі рядки унікальні і мають ту саму структуру. Порядок проходження рядків не істотний і впливає тільки на швидкість доступу до кожної з них. Ураховуючи також, що інформація в стовбцях атомарна можна зробити висновок про те, що дана таблиця задовольняє умовам і обмеженням, які дозволяють вважати її відношенням – реляційною моделлю даних [7-8]. Порядковий номер кортежу відношення (рядка таблиці) однозначно ідентифікує об'єкт (економічну ситуацію). Сукупність атрибутів (стовпців таблиці) визначає схему відношення. Ясно, що множина відношень M_k , кожне з яких описує певний клас технологічних ситуацій, цілком визначають модель технологічного процесу. Тут $k = \overline{1, q}$, де q – кількість відношень.

Для спрощення подальших міркувань максимальні і мінімальні значення вхідних технічних і економічних величин позначимо через $x_{i,min}$ і $x_{i,max}$.

Операції над відношеннями визначаються α -алгеброю. Розглянемо застосування α -алгебри для реалізації процедур алгоритму [2]. Будемо вважати, що відношення M_k , які визначають класи технологічних ситуацій сумісні і мають схему $(x_{1,min}, x_{1,max}, x_{r,min}, x_{r,max}, x_{r+1,min}, x_{r+1,max}, \dots, x_{(r+n),min}, x_{(r+n),max})$. Значення атрибутів M_k розраховуються відповідно до виразів $x_{i,min} = x_i - \Delta x_i, x_{i,max} = x_i + \Delta x_i$. Тут Δx_i - точність виміру (розрахунку) технічного параметру або величина коливання вартості пристрою для захисту АД.

Процедура навчання припускає перевірку наявності поточної економічної ситуації в класі j (клас j визначається за значенням величини економічних втрат), що легко реалізується операцією фільтрації $R[x_{i,min} \leq x_i, x_i < x_{i,max}, x_{i,min} \in M_j, x_{i,max} \in M_j, x_i \in M_i, i = \overline{1, (n+r)}]$. Якщо потужність результуючого відношення дорівнює нулю (поточна ситуація не пізнана), то необхідно розширити відношення M_j , що досягається об'єднанням відношень $M_j \cup M_i$.

Для реалізації процедури оптимізації необхідно виконати операцію фільтрації, використовуючи за атрибути x_{r+1}, \dots, x_{r+n} , над усіма відношеннями M_i , починаючи відповідно до алгоритму, що відповідає найменшому значенню величини економічних втрат. Фільтрацію необхідно виконувати доти, поки не буде отримане результуюче відношення з потужністю відмінною від нуля. Над останнім відношенням необхідно виконати операцію проекції на атрибути, що визначають значення економічних параметрів $R[x_{1,min}, x_{1,max}, \dots, x_{r,min}, x_{r,max}]$. Всі кортежі отриманого відношення задають множину рівноцінних економічних втрат.

Реалізація процедури адаптації, крім приєднання поточної технологічної ситуації до заданого класу, припускає вилучення її з іншого класу. Вилучення кортежу з відношення досягається виконанням операції різниці $M_j \setminus M_i$.

Алгоритми мінімізації і прискореного навчання ґрунтуються на об'єднанні двох підобластей $D1$ і $D2$ у факторному просторі (рис.1).

Кортежі відношення, що визначають ці підобласті, відрізняються значенням двох атрибутів $x_{l,min}, x_{l,max}$ (x_l – ознакова вісь, у напрямку якої відбувається об'єднання). Виділення зазначених кортежів D_1 і D_2 досягається операцією фільтрації. Для одержання кортежу D_12 , який визначає об'єднану область D_12 , спочатку відношення D_1 розкладається на відношення D_1MX без атрибута

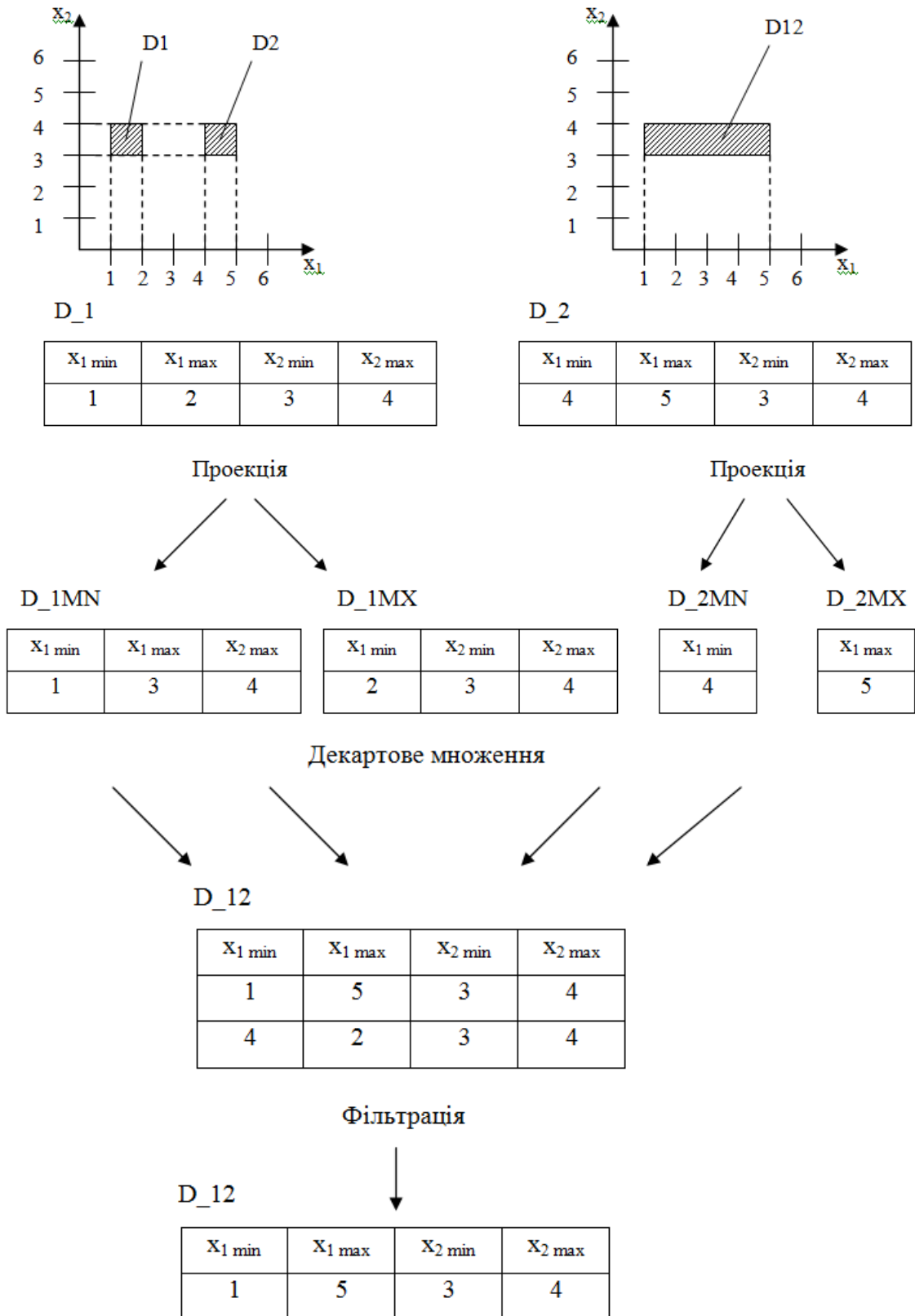


Рис. 1. Визначення кортежу, що задає об'єднану область

$x_{1\min}$ і відношення D_{1MN} без атрибута $x_{1\max}$, а відношення D_2 – на відношення D_{2MN} з єдиним атрибутом $x_{1\min}$ і відношення D_{2MX} з єдиним атрибутом $x_{1\max}$. Дане розкладання дося-

гається операцією проєкції. Потім виконанням операції декартового множення $D_1MX \otimes D_2MN$ і $D_1MN \otimes D_2MX$ формуються два кортежі відношення D_12 з повним набором атрибутів, із яких виділяється шуканий D_12 шляхом фільтрації за умови $x_{1\min} < x_{1\max}$.

Висновки.

Уявлення елементів предикатної моделі у вигляді реляційної моделі даних дозволило описати процедури навчання, оптимізації, адаптації і мінімізації на основі єдиного математичного апарата – α -алгебри. З огляду на те, що реляційні моделі даних підтримуються системами керування базами даних, зазначений підхід до визначення засобів захисту асинхронних двигунів може бути легко інтегрований в інформаційні та програмні структури діючих на підприємстві систем керування.

Список використаних джерел

1. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. О методике выбора экономически целесообразных средств защиты асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественной электроэнергии / Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. — Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково – виробничий журнал. — Кременчук: КДПУ, 2011. — Випуск 4/2011(16).- С.53-57.
2. Кузнецов В.В., Николенко А.В., Ивашенко В.П. Алгоритм распознавания в задачах повышения энергоэффективности асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественной электроэнергии / Кузнецов В.В., Николенко А.В., Ивашенко В.П., Трипутень Н.М. - Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт".- Харьков: НТУ, 2017. - Выпуск 27 (1249). С.95-99.
3. Воронов В.А. Метод описания технологических ситуаций и его использование при управлении процессами // – Обогащение руд. – 1982. - №2. – С. 31-35.
4. Трипутень Н.М., Коба А.С. Методика и результаты вычислительных исследований алгоритма идентификации предикатной модели // Гірнична електромеханіка та автоматика. –2000. –№64.-с. 106-108.
5. Качан Ю.Г. Адаптация образа в алгоритме распознавания производственных ситуаций //Механизация и автоматизация управления. - 1984. - №1. – С. 15-17.
6. Качан Ю. Г., Трипутень Н. М. Минимизация описания образов в задачах распознавания производственных ситуаций // Изв. вузов. гор. журн. - 1986. - N 7. - С. 119 - 122.
7. Дрибас В. П. Реляционные модели базы данных // Минск: БГУ – 1982 – 192 С.
8. Kuznetsov V., Nikolenko A/ The algorithm of identification in context of improvement energy efficiency of induction motors operating with low-quality electric power. Proceedings IV international conference “Advanced rail technologies”.- Warsaw. Jozefow, 2015.C.67-68.

Рекомендовано до друку к-том техн. наук, проф. Івановим О.Б.

УДК 622.647

В.И. Тарасов, канд. техн. наук

(Украина. Днепр. Национальный технический университет “Днепровская политехника”

**МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТЕ ГРУЗОВ
ЛЕНТОЧНЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ**

Анотація. Досліджено вплив реального вантажопотоку стрічкового конвейєра на питомі витрати енергії приводом. Запропоновано для конкретного вантажопотоку заміст будови конвейєрної лінії з типових конструкцій конвейєрів проектування конвейєрів з типових елементів (стрічка, ролики, барабани, двигуни і т.і.).

Ключові слова: стрічковий конвейєр, асинхронний двигун, питомі витрати енергії на транспортну роботу.

Аннотация. Исследовано влияние реального грузопотока ленточного конвейера на удельные затраты энергии приводом. Предложено для конкретного грузопотока вместо построения конвейерной линии из типовых конструкций конвейеров применить проектирование конвейеров из типовых элементов (лента, ролики, барабаны, редукторы, двигатели и т.п.).

Ключевые слова: ленточный конвейер, асинхронный двигатель, удельные затраты энергии на транспортную работу.