

11. Luh J.Y.S. Optimum Path Planning for Mechanical Manipulators. / J.Y.S.Luh, C.S. Lin // Transactions of ASME. Dynamic Systems, Measurement and Control. – 1981. – V. 102. – P.142-151.
12. Paul R.P. Manipulator Cartesian Path Control. / R.P. Paul //IEEE Transactions. Systems, Manual Cybernetics/ SMC – 9.– 1979. – No. 11. – P.702 – 711.
13. Taylor R.H. Planning and Execution of Straight Line Manipulator Trajectories. / R.H. Taylor // IBM J. Res Devel. – 1973. – V.23. – No. 4. – P. 424 – 436.
14. Lin C.S. Formulation and Optimization of Cubic Polynomial Joint Trajectories for Industrial Robots. / C.S. Lin, P.R. Chang, J.Y.S. Luh //IEEE Transactions on Automatic Control. – 1983. – Vol. AC – 28. – No. 12. – P. 1066-1073.
15. Paul R.P. Modeling, Trajectory Calculation and Servoing of a Computer Controlled Arm./ R.P. Paul. – Memo AIM – 177; Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Palo Alto, Calif. 1972.

УДК 621.3.07

Вітюк М.В., Матоліков Д.П., Немчук О.О.¹

МЕТОД АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИВОДІВ ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ НА ОСНОВІ МІР СХОЖОСТІ

Анотація. У статті досліджується вживаність мір схожості до рішення задач аналізу і оптимізації систем підйомно-транспортних машин на прикладі системи автоматизації приводу механізму пересування. Пропонується алгоритм обробки експериментальних даних, підібрані міри схожості, які дозволяють отримати найефективніші рішення поставлених задач. Міра схожості являє собою функцію, що ставить у відповідність кожній парі об'єктів деяке число, що характеризує ступінь їх схожості між собою. Таким чином, міра схожості виступає інструментом угрупування, вимірювання зв'язку і автоматичної класифікації.

Ключові слова: привід перевантажувачів, система автоматизації, міри схожості, коефіцієнти подібності, аналіз, оптимізація.

Аннотация. В статье исследуется применяемость мер сходства к решению задач анализа и оптимизации систем подъемно-транспортных машин на примере системы автоматизации привода механизма передвижения. Предлагается алгоритм обработки экспериментальных данных, подобраны меры сходства, позволяющие получить наиболее эффективные решения поставленных задач. Мера сходства представляет собой функцию, ставящую в соответствие каждой паре объектов некоторое число, характеризующее степень их сходства между собой. Таким образом, мера сходства выступает инструментом группировки, измерения связи и автоматической классификации.

Ключевые слова: привод перегружателей, система автоматизации, меры сходства, коэффициенты подобия, анализ, оптимизация.

Annotation. In this article we investigate the applicability of similarity measures to solving problems of analysis and optimization of lifting-transporting machines systems on the example of the movement mechanism drive automation system. We propose an algorithm data processing, chosen measure of similarity, which give the most effective solution of tasks. Similarity measure is a function associating with each pair of objects a certain number that characterizes the degree of similarity between them. Thus, similarity measure is the instrument of groupment, measuring of communication and automatic classification.

Keywords: drive of cranes, system of automation, similarity measures, similarity coefficients, analysis, optimization.

Вступ. Для рішення сучасних технічних завдань залучається велика кількість факторів: інженерних, технологічних, економічних, а також людський фактор. Для забезпечення комплексного підходу необхідно використовувати нові методи, що оперують багатоозначковим простором. Найбільш суттєвою в даному випадку є парадигма мір схожості: «подібні за структурою об'єкти

володіють подібними характеристиками». Міра схожості являє собою функцію, яка ставить у відповідність кожній парі об'єктів деяке число, що характеризує ступінь їх схожості між собою. Аналіз дослідів та публікацій показав, що міри схожості використовуються в дослідженні технічних систем, як інструмент угрупування, вимірювання зв'язку і автоматичної класифікації. Розробка ав-

¹ Вітюк М.В., к.ф.-м.н, професор; Матоліков Д.П., асистент; Немчук О.О., к.т.н., доцент Одеський національний морський університет.

томатизованих систем підтримки прийняття рішень з використанням елементів штучного інтелекту вимагає надійних систем аналізу та порівняння інформації баз даних. Подібні системи створюються для різних областей: транспорт [1], енергетика [2], нафтохімія, машинобудування [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. В розглянутих роботах для пошуку в базі даних найближчого за описом об'єкту (прецеденту) використовуються деякі з мір схожості. Ці дослідження показують доцільність та ефективність такого методу для порівняння даних, що складаються з формалізованого опису стану об'єкту у багатовимірному ознаковому просторі.

Мета дослідження. В даному дослідженні ми також звертаємось до мір схожості. Метою дослідження був пошук достатньо практичних з точки зору розрахунків засобів вирішення задач не тільки аналізу, але й оптимізації параметрів систем підйомно-транспортних машин. Отримані результати повинні мати можливість наглядного відображення для безпосереднього візуального розуміння та полегшення прийняття рішень. Саме для демонстрації вирішення задачі оптимізації у якості об'єкту дослідження була обрана система автоматизації синхронізації руху візків механізму пересування перевантажувача для стабілізації перекосу його конструкції.

Проводилися комп'ютерні експерименти з використанням імітаційної моделі системи. Актуальність застосування імітаційного моделювання в дослідженні складної системи такого роду зумовлена рядом особливостей цього підходу. В даному дослідженні найважливішими з них були можливість контролювати умови експерименту та швидкість отримання даних.

Була створена імітаційна модель пересування перевантажувача з запрограмованою різницею швидкості опор; в модель вмонтовано блок імітації роботи системи синхронізації руху опор. Досліджена імітаційна модель має високий рівень деталізації усіх процесів, що засновується на програмуванні технічних даних реальних компонентів системи (датчиків, логічних контролерів, приводів візків механізму пересування).

Автоматична система синхронізації руху, що досліджується, складається із запрограмованого контролеру, що отримує сигнали від органів управління пересуванням перевантажувача та системи лазерних далекомірів. Лазерні далекомі-

ри встановлюються на опорах перевантажувача та визначають відстань до спільного фіксованого рівня. Система отримує показання датчиків, порівнює їх значення, обчислює значення перекосу. Потім розраховується поправка по швидкості перевантажувача, яка необхідна для збільшення інтенсивності усунення перекосу на малих швидкостях руху. Обчислюється поправочний коефіцієнт, значення якого залежать від значень перекосу. Контролер корегує завдання швидкості для кожної опори окремо за допомогою частотного керування. Система визначає випереджаючу опору та подає сигнал для її гальмування; швидкість опори знижується пропорційно поправочному коефіцієнту. Завдане значення швидкості опори, що відстає, залишається без зміни і дорівнює заданій кранівником швидкості руху перевантажувача. Швидкість випереджаючої опори задається заниженою відносно швидкості, заданої кранівником, на значення поправочного коефіцієнту (відносно максимального значення в одиницю). Поправочний коефіцієнт швидкості руху опор K нелінійно змінюється в залежності від кількох параметрів: коефіцієнту впливу корегування на систему K_{KOR} , що зберігає постійне значення під час роботи системи але може задаватися попередньо у межах від 0 до 1; заданої кранівником швидкості руху перевантажувача V (Рис. 1.); значення перекосу крану dL (відносного відставання опор) (Рис. 1.). Емпіричним шляхом поправочний коефіцієнт K ми обмежили значенням 0,9. Найбільший вплив на поведінку системи має зміна значення коефіцієнту впливу корегування на систему K_{KOR} . Комп'ютерний експеримент полягав в отриманні параметрів коливань величини перекосу при зміні коефіцієнту впливу K_{KOR} в алгоритмі регулювання (Рис. 2.). Кожен експеримент проводився при однаковому значенні початкового перекосу конструкції перевантажувача на трьох рівнях швидкості руху виконавчих механізмів та при зміні коефіцієнту впливу з встановленим шагом від мінімального (0,2) до максимального (0,9). Під час експерименту фіксувалися параметри коливання значення перекосу до затухання коливань. Додатково проводилися експерименти для отримання параметрів коливань при проміжних значеннях коефіцієнту впливу ($K_{KOR} = 0,37$ та $K_{KOR} = 0,63$).

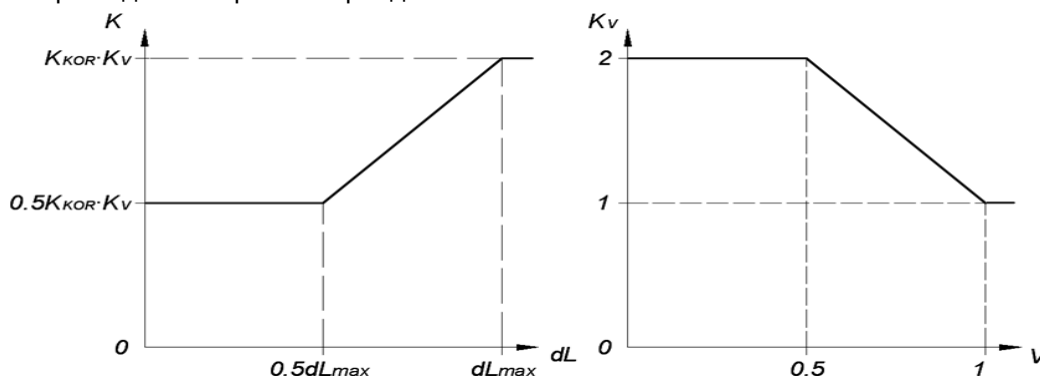
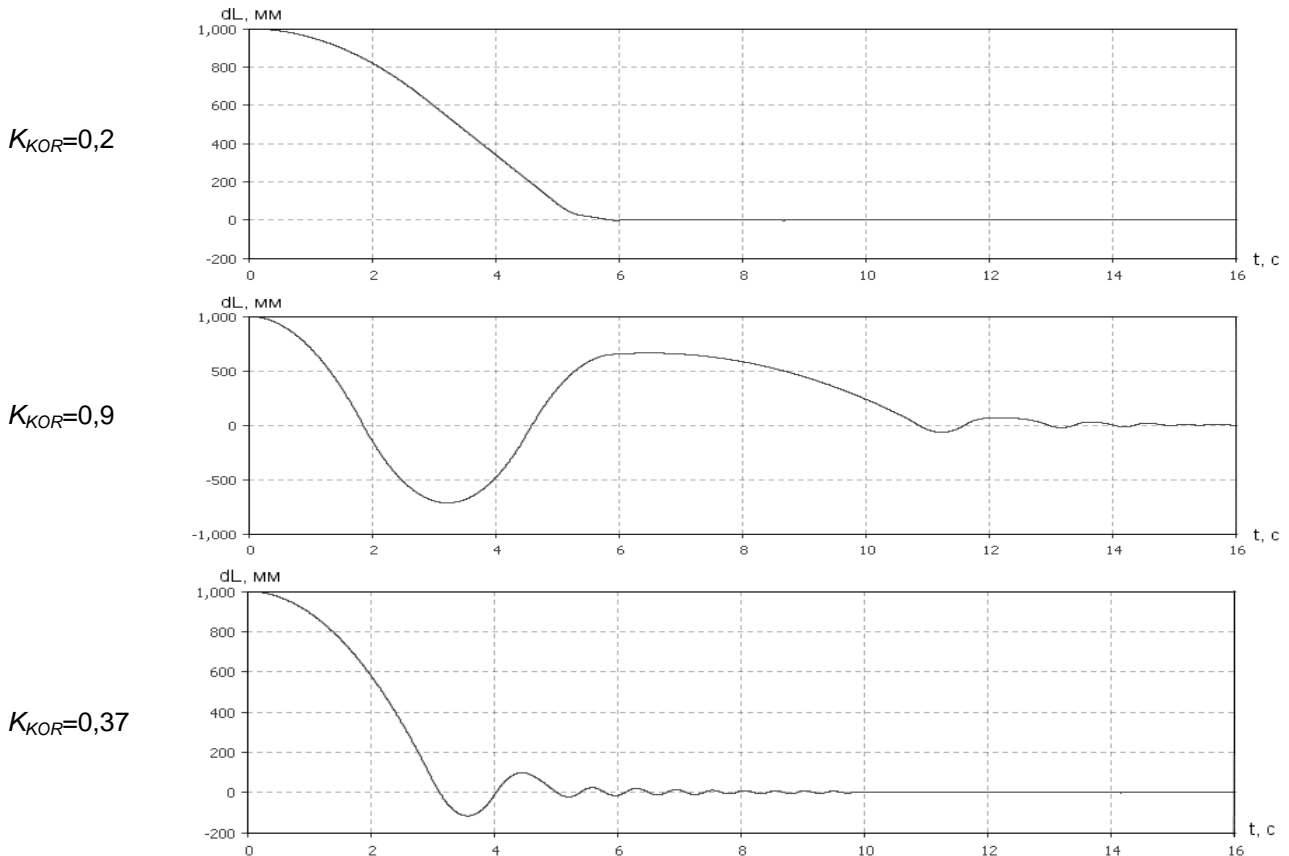


Рис. 1. Залежність поправочного коефіцієнту швидкості руху опор K .Рис. 2. Коливання значення перекосу перевантажувача під час роботи системи з різними значеннями коефіцієнту впливу корегування на систему K_{KOR} (швидкість руху максимальна).

Подальшою метою було знайти точні значення цих проміжних коефіцієнтів шляхом використання методів мір схожості в порівнянні параметрів систем.

Отримані експериментальні дані були проаналізовані з використанням різних мір схожості. Базовий перелік мір був позичений з джерела [10]. Були відібрані міри, що дають можливість найбільш точно визначити значення коефіцієнту впливу (тобто основної внутрішньої характеристики стану системи) під час порівняння параметрів коливань (тобто зовнішніх характеристик системи) при проміжних та встановлених значеннях.

Найчастіше на практиці використовуються три типи мір схожості [10]:

1. Коефіцієнти зв'язку (кореляції);
2. Показники відстані в метричному просторі;
3. Коефіцієнти подібності.

До аналізу були обрані такі параметри системи: кількість піків до затухання коливань, час затухання, амплітуди коливань, час досягнення піків та зміни знаку величини перекосу. Аналіз проводився по параметрам перших трьох повних коливань.

Аналіз параметрів коливань за допомогою коефіцієнту кореляції за Пірсоном виявляє абсолютну кореляцію величини першого пікового пе-

рекосу при максимальній швидкості руху від коефіцієнту впливу K_{KOR} (Рис. 3.).

Навіть при лінійній інтерполяції сусідніх значень цього графіку середня відносна похибка при визначенні коефіцієнтів впливу складає лише 2,4%.

Для проведення аналізу із використанням показників відстані та коефіцієнтів подібності усі експериментальні значення були подрібнені на деякі діапазони. На цих діапазонах складається багатовимірний ознаковий простір. Об'єкт характеризується даною ознакою, якщо задовольняє умові «значення даного параметру менше або дорівнює деякій величині у межах заданого діапазону». Ця умова перевіряється для кожного діапазону усіх параметрів. Надалі в розрахунках приймається до уваги лише наявність, або відсутність тієї чи іншої ознаки.

При порівнянні декількох підходів до виділення діапазонів був обраний підхід, при якому межі діапазонів співпадають із значенням параметру, що дробиться, при різних значеннях коефіцієнту впливу K_{KOR} .

Усі порівняння ведуться відносно системи з найменшим значенням коефіцієнту впливу $K_{KOR} = 0,2$. При значеннях коефіцієнту впливу менших за цей швидкодія системи суттєво знижується.

Показник відстані в метричному просторі за Хеммінгом дає середню відносну похибку в ме-

жах 5,3%. Відстань за Хеммінгом визначається, як сума модулів різниць відповідних ознак, що являє собою загальну кількість неспівпадаючих при порівнянні ознак [10, с 35].

Найбільшою точністю відрізняються результати, отримані за коефіцієнтом Рао [1, с 33], (Рис. 4.). Середня відносна похибка при визначенні значень коефіцієнтів впливу цим методом складає 2,4%. Досить високу точність результатів (середня похибка 3,7%) дає коефіцієнт Дейка [10, с 33] (Рис. 5.). Загалом більшість коефіцієнтів, що ґрунтуються на кількості збігів наявності ознак в порівнюваних системах, дають досить точні результати. Наступним етапом дослідження було визначення оптимального коефіцієнту впливу, що надавав би системі найкраще збалансовані властивості (найменші амплітуди коливань та час їх гасіння). Для цього проводилося порівняння характеристик, отриманих експериментально, з ідеалізованими характеристиками з метою підібрати міру схожості, що визначала би значення коефіцієнту впливу, при якому усі параметри системи наближалися би до ідеальних.

У цьому випадку залежність лише одного параметру (наприклад, значення величини першого пікового перекосу при максимальній швидкості руху) від значення коефіцієнту впливу K_{KOR} (Рис. 3.) не дає можливості визначити параметри системи для мінімізації амплітуд коливань та часу їх гасіння.

Задача оптимізації є задачею аналізу багатовимірної системи, тому відповідно необхідно використовувати показники відстані в метричному просторі або коефіцієнти подібності. Але використання коефіцієнтів подібності Рао та Дейка, що показали найменші похибки в попередній задачі, дають два значення, що суттєво відрізняються. Коефіцієнт подібності Рао ідеальної системи відносно системи з мінімальним значенням коефіцієнту впливу ($K_{KOR} = 0,2$) дорівнює 0,32;

коефіцієнт Дейка – 0,59; відповідні значення коефіцієнту впливу отримані за допомогою залежностей (Рис. 4, Рис. 5) $K_{KOR} = 0,25$ та $K_{KOR} = 0,42$.

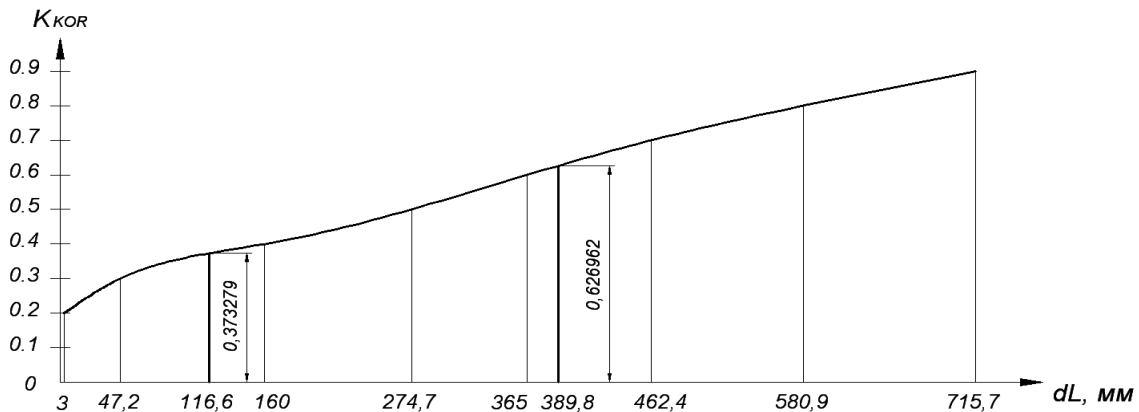


Рис. 3. Залежність величини першого пікового перекосу при максимальній швидкості руху від коефіцієнту впливу K_{KOR} .

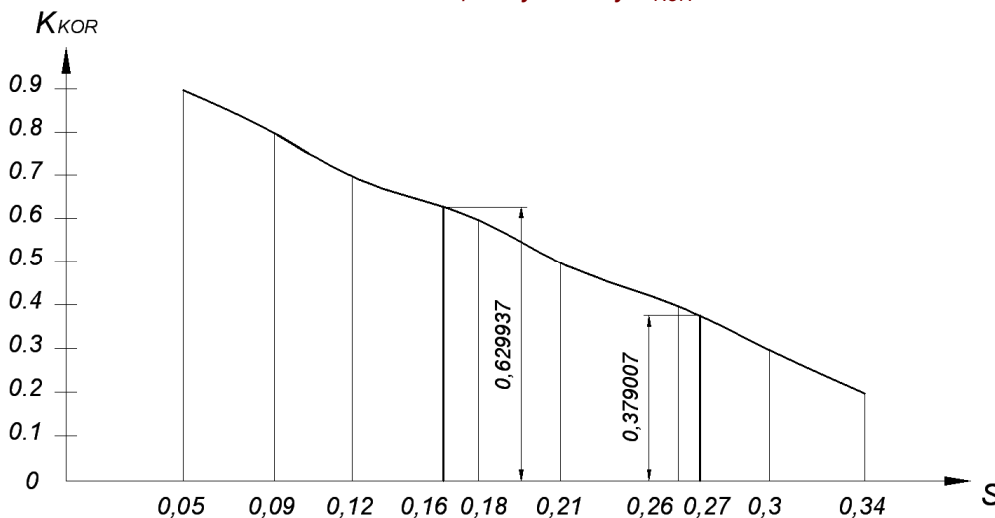


Рис. 4. Залежність коефіцієнту Рао від значення коефіцієнту впливу K_{KOR} .

Оптимальність отриманих параметрів була перевірена на імітаційній моделі системи. Отримані експериментальні дані зведені до табл. 1.

Перевірка показала, що система із значенням коефіцієнту впливу $K_{KOR} = 0,25$ веде себе найкраще на швидкостях руху близьких до максимальної, тоді як система із значенням $K_{KOR} =$

0,42 відрізняється високою швидкодією та майже не залежить від швидкостей руху. При цьому система із значенням коефіцієнту впливу $K_{KOR} = 0,42$ допускає набагато більші перекося конструкції. Приймаючи до уваги те, що високі швидкості руху переважають в робочому циклі перевантажува-

чів, робимо висновок про доцільність оптимізації параметрів такого роду автоматизованих систем за коефіцієнтом Рао. Подальше зниження значення коефіцієнту впливу призводить до значного зниження швидкодії системи і погіршення результатів синхронізації.

Таблиця 1.

Порівняння параметрів систем автоматизації, оптимізованих різними методами

Параметр	Система із $K_{KOR} = 0,25$	Система із $K_{KOR} = 0,42$
Швидкість максимальна $V = V_{max}$		
1. Кількість піків більших за 5 мм	2	6
2. Час затухання коливань до рівня нижче за 5 мм, с	5,3	8,3
3. Кількість піків більших за 80 мм	0	0
4. Час затухання коливань до рівня нижче за 80 мм, с	4,0	5,1
5. Найбільший пік коливань, мм	15,5	206,9
Швидкість $V = 0,7V_{max}$		
1. Кількість піків більших за 5 мм	3	5
2. Час затухання коливань до рівня нижче за 5 мм, с	5,3	7,7
3. Кількість піків більших за 80 мм	0	2
4. Час затухання коливань до рівня нижче за 80 мм, с	3,3	4,6
5. Найбільший пік коливань, мм	31,1	238,3
Швидкість $V = 0,1V_{max}$		
1. Кількість піків більших за 5 мм	0	0
2. Час затухання коливань до рівня нижче за 5 мм, с	12,6	6,9
3. Кількість піків більших за 80 мм	0	0
4. Час затухання коливань до рівня нижче за 80 мм, с	10,9	6,1
5. Найбільший пік коливань, мм	1,4	2,5

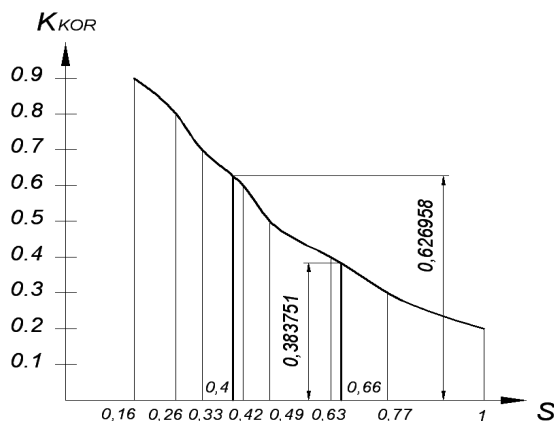


Рис. 5. Залежність коефіцієнту Дейка від значення коефіцієнту впливу K_{KOR} .

Підсумком дослідження стало складання алгоритму аналізу та оптимізації параметрів систем автоматизації приводів перевантажувачів, який складається з наступних етапів:

1. Проводиться експериментальне дослідження параметрів системи при заданих її станах. Достатня кількість різних станів та досліджуваних параметрів системи забезпечують високу точність подальшого порівняння. Отримуються

значення параметрів системи в стані, який аналізується. Складається ідеалізований стан з ідеалізованими значеннями параметрів для проведення процедури оптимізації.

2. Кожне отримане значення параметру дробиться на діапазони, межі яких співпадають із значенням цього параметру при різних станах системи. На цих діапазонах складається багатовимірний ознаковий простір. Об'єкт характеризується даною ознакою, якщо задовольняє умові «значення даного параметру менше або дорівнює деякій величині у межах заданого діапазону». Ця умова перевіряється для кожного діапазону усіх параметрів. Надалі в розрахунках приймається до уваги лише наявність, або відсутність тієї чи іншої ознаки.

3. Проводиться розрахунок коефіцієнту подібності Рао усіх станів об'єкту відносно стану, що відповідає кращому вирішенню задачі. Для цього послідовно визначається відношення кількості збігів наявності ознак між парами досліджуваних станів до загальної кількості ознак порівняння.

4. Будується графічна залежність коефіцієнту подібності Рао від параметру, що найбільш вагомо впливає на стан системи. Визначення шу-

каних значень параметрів проводиться через ефіцієнту подібності Рао. графічну залежність за відомими значеннями ко-

Висновки

Встановлена придатність використання мір схожості для рішення задач аналізу і оптимізації систем підйомно-транспортних машин на прикладі системи автоматизації приводу механізму пересування. Пропонується алгоритм обробки експериментальних даних та використання підібраних мір схожості, який дозволяє отримати найефективніші рішення поставлених задач.

Література

1. Жернаков С.В. Базы знаний прецедентов активных экспертных систем для процесса мониторинга параметров авиационного двигателя // Автоматизация и современные технологии. – 2003.–№ 2.
2. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Изв. РАН. ТиСУ. – 2005. – № 1. – С.97-109.
3. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю. Использование прецедентов для обоснования мероприятий по предотвращению отказов механических систем // Тр. XI Национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием (КИИ-08). Дубна, 2008 г. – М.: Ленанд, 2008. – Т. 2. – С. 106-113.
4. Берман А.Ф., Бычков И.В., Николайчук О.А. Моделирование и информационные технологии исследования технического состояния уникальных механических систем // Тр. IV Междунар. Евразийского симп. по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата (EURASTRENCOLD-2008). Пленарные доклады. Якутск, 23-27 июня 2008 г. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 79-90.
5. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Прецедентный подход для обеспечения безопасности технических систем // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. "Интеллектуальные системы" (AIS'08) и "Интеллектуальные САПР" (CAD-2008). Дивноморское, 3-10 сентября 2008 г. – Науч. изд. в 4-х т. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 3. – С. 322-328.
6. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Прецедентный подход для определения причин изменения технического состояния машин (конструкций) // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (IEEE AIS'07) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2007), Дивноморское, 3-9 сентября, 2007 г. В 3 т. – М.: Физматлит, 2007. – Т.1. – С.265-270.
7. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при определении причин отказов и аварий в нефтехимической промышленности // Автоматизация в промышленности. – 2006, №6. – С.15-17.
8. Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии. – 2009, №5. – С.3-12.
9. Николайчук О.А. Обеспечение безопасности технических систем на основе прецедентного подхода // Тр. XVI Междунар. конф. "Проблемы управления безопасностью сложных систем". – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 15-17.
10. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов (Статистические методы классификации и измерения связей). – М.: Статистика, 1977. – 144 С.

УДК 53.03

Клапченко В.І., Пономаренко С.М.¹

КОРПУСКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ФЛУКТУАЦІЙ ФІЗИЧНОГО ВАКУУМУ

АНОТАЦІЯ. Продовжено розвиток корпускулярно-кінетичної моделі механічного руху. На основі найпростіших уявлень про фізичний вакуум розглянуто питання про спектр його флуктуацій. Показано, що спектр флуктуацій фізичного вакууму має вигляд спектру теплового випромінювання з відповідною флуктуаційною температурою.

АННОТАЦИЯ. Продолжено развитие корпускулярно-кинетической модели механического движения. На основе самых простых представлений о физическом вакууме рассмотрен вопрос о спектре его флуктуаций. Показано, что спектр флуктуаций физического вакуума имеет вид спектра теплового излучения с соответствующей флуктуационной температурой.

ABSTRACT. Development of corpuscular-kinetic model of mechanical motion is continued. On the basis of the simplest ideas about a physical vacuum a question is considered about the spectrum of his fluctuations. It is shown that the spectrum of fluctuations of physical vacuum has the appearance of spectrum of thermal radiation with a corresponding fluctuation temperature.

Вступ. Ймовірна інтерпретація механічного руху [1,2] сформувала початкове уявлення про фізичний вакуум: це величезна (фактично необмежена) множина універсальних структурних елементів з певною масою m_{0el} та статистично визначеною швидкістю $V_{0el}=c_0$. При цьому кожна частинка речовини (електрон, протон, нейтрон і т.п.), світло (фотон), також складені з цих же універсальних елементів. Тобто, матеріальний світ є ідентичним за складом, але різним за структурною організацією, про яку ймовірна інтерпретація уявлення не дає.

В даній роботі продовжено формування корпускулярно-кінетичної моделі механічного руху. Конкретною задачею роботи є поглиблення уявлень про фізичний вакуум та можливі процеси в ньому, зокрема про флуктуації фізичного вакууму. Це питання має і самостійне значення для вирішення проблем квантової електродинаміки [3].

Про зв'язність універсальних елементів. Спробуємо отримати додаткові уявлення про структурну організацію універсальних елементів фізичного вакууму з допомогою наступних міркувань. В першу чергу, необхідно відмовитись від найпростішого уявлення про фізичний вакуум як аналога класичного ідеального газу, тобто, своєрідного газового хаосу фундаментальних структурних елементів. Воно підсвідомо формується тим, що швидкість структурних елементів c_0 визначена як статистична характеристика множини цих елементів. Нагадаємо, що і в МКТ уявлення про хаотичний тепловий рух молекул залишаються в силі, навіть якщо ми переходимо до конденсованих станів речовини, тобто, в умовах, коли виникає жорсткий зв'язок між молекулами.

Ми ще довго не матимемо можливості моделювати взаємодію між універсальними структурними елементами, але існує багато причин, що вказують на необхідність відмови від моделі незв'язних універсальних елементів. На це вказує стабільність мас спокою елементарних частинок, жорстка когерентність при розповсюдженні світла в вакуумі, та й, врешті решт, наші нинішні уявлення про фізичний вакуум: з точки зору квантової теорії поля фізичний вакуум є найнижчим енергетичним станом квантованих полів, зокрема електромагнітного [4]. Бо для моделі фізичного вакууму в вигляді незв'язних структур (фундаментального газу) повна енергія була б, фактично, нескінченною.

Дійсно, вона була б рівною величині $m_{0el}c_0^2$, помноженій на повну кількість елементів. Тобто, у всякому випадку, була б максимально можливою для тієї кількості структурних елементів, що утворюють фізичний вакуум. Крім того, на сьогодні ми допускаємо, що попри найнижчий енергетичний стан, фізичний вакуум здатний до флуктуацій. Зокрема до народження електронно-позитронних пар чи віртуальних фотонів. На цьому базується успішність застосування квантової електродинаміки [4]. Але що тоді представляли б собою флуктуації на фоні величезного хаосу?

Найпростіше явище, яке безпосередньо вказує на зв'язність універсальних елементів фізичного вакууму є формування та розповсюдження в ньому фотона. Для появи фотона в фізичному вакуумі необхідно внесення певної порції енергії. Це еквівалентно відхиленню стану фізичного вакууму від нульового (незбуреного), на величину

¹ Клапченко В.І., доцент; Пономаренко С.М., доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури.