

А.И. Михалёв, А.А. Стенин, В.П. Пасько,
А.С. Стенин, Ю.А. Тимошин

СИТУАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПЕРАТИВНАЯ КОРРЕКТИРОВКА МАРШРУТА АВТОНОМНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА (АРПА)

Аннотация. На базе ИСППР предложены два пути реализации оптимальных стратегий процесса принятия решений, основанных на математическом аппарате теории марковских и полумарковских процессов с использованием принципа оптимальности Беллмана.

Ключевые слова: подводный робот, выбор маршрута, ситуационная сеть, ИСППР, марковские и полумарковские процессы, оптимальные стратегии принятия решений

Введение

При оценке эффективности применения подводного робота (ПР) принципиальное значение имеет степень его информационной автономности, т.е. способности самостоятельно действовать в неизвестной или недостаточно определенной среде[1]. В настоящее время миссии (задания) для ПР формируются с использованием императивных методов программирования (как текстовых, так и графических), детально описывающих последовательность действий робота, которые нужно совершить для достижения требуемой цели. При этом представление о самой цели имеет только оператор ПР, который составляет миссию, например, доставки груза в целевую точку. Подобная технология эффективна, если миссия робота осуществляется в рамках априорного сценария. В остальных случаях она может либо вообще не выполняться, либо выполняться с большими нарушениями и угрозой безопасности аппарата. Поэтому для выполнения миссии при непредвиденных обстоятельствах исключительное значение имеет «интеллектуализация» системы управления ав-

тономного ПР, т.е. создание автономного роботизированного подводного аппарата (АРПА) с элементами искусственного интеллекта[2,3]. Интеллектуализация АРПА подразумевает способность системы управления осуществлять функции анализа сцен и общей обстановки, ориентирования в водной среде, сбора и накопления разнообразной информации. Использование традиционных методов планирования, в данном случае, невозможно из-за вероятного возникновения на маршруте непредвиденных ситуаций.

Отсюда, ситуационный подход в принятии решений при планировании маршрута АРПА весьма актуален и позволяет не только оценить возможную ситуацию на маршруте, но и определить управляющие решения для оперативной корректировки маршрута с использованием интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) Разработка моделей процесса маршрутизации основана на представлении ситуационной модели в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. Такое представление получило название нечеткой ситуационной сети (НСС) [4-7].

Постановка задачи

Рассмотрим задачу ситуационного планирования и оперативной корректировки маршрута АРПА для доставки груза в целевую точку при вероятном возникновении на маршруте «непредвиденных» ситуаций. Будем считать, что на АРПА бортовая вычислительная навигационная аппаратура, а также система технического зрения, что позволяет при наличии необходимой информации на базе ИСППР планировать маршрут и корректирующие управляющие решения (оперативное управление) при возникновении непредвиденных ситуаций.

Пусть ситуационный шаг управления представляется формулой:

$$S_{net} : S_j \xrightarrow{U_k} S_{1j}$$

где S_{net} – выполнение опорного (первоначального) плана; S_j – текущая ситуация (узел W_j); S_{1j} – новая ситуация (узел W_j корректировка опорного плана); U_k – выбор маршрута в «непредвиденной» ситуации (выбор модели доставки). Задачи оперативного управления выбора маршрута дос-

тавки требуют привлечения дополнительных методов, среди которых хорошо себя зарекомендовали методы, основанные на представлении совокупности типовых состояний системы в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. Ситуационная сеть S_{net} представлена в виде ориентированного графа $S_{net}=(W,A)$, где W -множество узлов(состояний), а A – множество дуг-переходов между состояниями графа, т.е.

$$S_{net} = (W, A);$$

$$W = (w_i | i=1, \dots, N);$$

$$A = (a_{ij} | i=1, \dots, N; j=1, \dots, N)$$

Необходимо разработать оптимальные стратегии принятия решений реализации опорного маршрута и, в случае возникновения «непредвиденной ситуации», соответствующее ей множество управляющих решений, для достижения целей планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки, для чего необходимо определить возможные последствия управляющих решений на несколько шагов вперед.

Реализация оптимальных стратегий принятия решений

Принятие решений в общем виде можно рассматривать как ветвящийся процесс образования и преобразования иерархических структур, реализуемый двумя способами, отображающими характер изменения этих структур от исходной к заданной [3]. При первом способе исходная ситуация является начальной $S(\tau_0)$ и выбирается такая цепочка последовательного выполнения операций R_{jk} ($k=1, 2, \dots, T-\tau_0$), которая ведет к заданной ситуации $ST=S(T)$. Указанный процесс можно представить следующей последовательностью:

$$S(\tau_0)R_{j_1}S(\tau_0+1)R_{j_2} \dots S(T-\tau_0)R_{j_{T-\tau_0}}S(T) \quad (1)$$

Указанная последовательность может быть определена триадой $S(\tau_0)RS(T)$, т.е. по $S(\tau_0)$ и $S(T)$ отыскивается R . В этом случае процесс нахождения R может быть представлен индуктивной цепочкой последовательного нахождения состояний $S(\tau_0+k)$.

При втором способе используется так называемое попятное движение. В качестве начальной ситуации $S(\tau_0)$ выступает заданная ситуация $S(T)$, а в качестве цели $S(T)$ - исходная ситуация $S(\tau_0)$. Так же как и при

первом способе отыскивается цепочка операций R_{jk} , переводящая $S(\tau_0)=S(T)$ в $S(T)=S(\tau_0)$, т.е. реализуется последовательность (1), но в обратном порядке. При определении общего преобразования R последовательность операций, так же как и в первом случае, сократится до триады. Здесь также имеется схема индуктивного решения, однако процесс нахождения R_{jk} носит дедуктивный характер, т.е. по $S(T)$ отыскивается $S(T-\tau_0)$ и т.д.

В обоих способах процесс решения предполагает исключения из рассмотрения запрещенных ситуаций. При этом обычно используется прошлый опыт. Таким образом, задача определения оптимальной стратегии процесса принятия решений заключается в определении таких составляющих r_{ij}^k матрицы выигрышей R^k , которые для некоторых стратегий k принесут максимальный выигрыш. При этом, как в первом, так и во втором случае на практике возможны два пути оптимизации принимаемых оператором решений.

Первый путь заключается в выборе решений из сравнительно небольшого набора возможных вариантов, а критерием служит отклонение от оптимального способа решения, т.е. ошибки. Ограничением здесь выступает время принятия решений.

Второй путь соответствует режиму работы, при котором основное внимание обращается на недопустимость ошибок. Время принятия решения изменяется при этом в широких пределах, а критерием оптимальности принятых решений является время, за которое найдены наилучшие решения.

Рассмотрим первый из упомянутых путей оптимизации.

Для управляемой системы с N возможными состояниями $i=1, \dots, N$. В каждом состоянии i оператор может принять Λ_i возможных решений (стратегий), совокупность которых для всех состояний системы в рассматриваемый интервал времени составляет политику оператора. Стратегия оператора может быть выражена как матрица переходных вероятностей $p_{ij} = ||p_{ijk}||$ от состояния i к состоянию j . Приведем ей в соответствие матрицу выигрышей $R_k = ||r_{ijk}||$, получаемых от реализации каждого решения оператора.

Если проводится анализ поиска оптимальной стратегии на конечном интервале времени, то может быть оценен общий выигрыш от той или иной политики оператора.

При этом очевидно, что система управления переходит из одного состояния в другое через равные интервалы времени. Считая, что последствие отсутствует, процесс принятия решений можно описать аппаратом теории марковских процессов.

Кроме того, для анализа стратегий работы оператора на конечном интервале времени, когда имеется набор возможных вариантов решений, для получения эталонной оптимальной стратегии предлагается использовать стандартную процедуру метода динамического программирования [8].

В этом случае полный ожидаемый выигрыш за n шагов будет равен:

$$v_i(n) = \sum_{j=1}^N p_{ij} [r_{ij} + v_j(n-1)] = \sum_{j=1}^N p_{ij} r_{ij} + \sum_{j=1}^N p_{ij} v_j(n-1) \quad (2)$$

или
$$v_i(n) = q_i + \sum_{j=1}^N p_{ij} v_j(n-1),$$

где $q_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} r_{ij}$ – минимальный ожидаемый выигрыш, а оптимальная стратегия будет соответствовать критерию оптимальности $(n+1)$ -го решения:

$$v_i(n+1) = \max_k \{q_i + \sum_{j=1}^N p_{ij} v_j(n)\}, k = 1, \dots, \Delta_i, i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

При неограниченном времени протекания оцениваемой деятельности оператора суммарный выигрыш системы также растет неограниченно, поэтому политику оператора можно оценивать по среднему ожидаемому доходу от реализации одного решения.

В этом случае задачу поиска оптимальной стратегии можно рассматривать по отдельным актам принятия решений вне зависимости от интервалов времени, в которые они реализуются.

Для нахождения такой политики можно воспользоваться итеративным процессом. Если политика оператора фиксирована, то поиск оптимальной стратегии сводится к решению системы уравнений:

$$q + v_i = g_i + \sum_{j=1}^N p_{ij} v_j \quad (4)$$

с использованием критерия

$$q^k = \max_k \{g_i^k + \sum_{j=1}^N p_{ij}^k v_j - v_i\} \quad (5)$$

Общая процедура поиска оптимальной стратегии принятия решений при фиксированных v_i сводится к следующему. При фиксированной политике A решается система уравнений (4), причем в ней v_j при $j=N$ полагается равным нулю (поскольку нам важны разности $v_i - v_j$ относительных весов, а не их абсолютные значения). Затем найденные веса v_i^A подставляются в формулу (5), и для каждого i находится максимальное значение критерия, и набор стратегий, на котором достигается максимальное среднее значение критерия, принимается за новую политику A_1 .

При втором пути реализации процесса принятия решений время принятия отдельных решений колеблется в широких пределах за счет достижения точного решения. В этом случае для реализации эталонных стратегий принятия решений предлагается использовать аппарат теории полумарковских процессов. При этом система управления перед тем как перейти из состояния i в состояние j , находится в состоянии i случайное время $\tau_{ij}=m$ с плотностью распределения $f_{ij}(\tau_{ij} = m) = N(\tau_{ij} = m)$. Значением $f_{ij}(m)$ определяется вероятность того, что система в состоянии i проводит ровно m единиц времени, прежде чем перейти в j . Если политика решений оператором описывается как полумарковский процесс [9], то оптимальная стратегия k в состоянии i может быть выбрана на основании анализа переходных вероятностей p_{ij}^k , плотности распределения $h_{ij}^k(m)$, а также системных выигрышей типа $y_{ij}^k(l)$ и $b_{ij}^k(m)$. Здесь $b_{ij}^k(m)$ – системный выигрыш от перехода системы, находившейся в течение времени m в состоянии i из состояния i в состояние j при k -й оптималь-

ной стратегии оператора, $y_{ij}^k(l)$ - выигрыш от пребывания системы в данном состоянии i в течении временного интервала $(l-1, l)$, пропорциональный некоторой норме выигрыша за единицу времени при k -й оптимальной стратегии.

При таких допущениях задача может быть сформулирована как задача максимизации одношагового выигрыша, либо как задача максимизации полного ожидаемого дохода.

Как и при марковских процессах будем рассматривать полумарковские процессы конечной и бесконечной длительности [9]. В первом случае задача состоит в определении политики, максимизирующей полный ожидаемый выигрыш от процесса, до конца функционирования которого осталось n единиц времени. В случае процессов бесконечной длительности задача может быть сформулирована либо как задача максимизации одношагового выигрыша (аналогично задаче для марковских процессов бесконечной длительности), либо как задача максимизации полного ожидаемого дохода. В общем виде можно оперировать критерием, получаемым в соответствие с принципом оптимальности Беллмана [8]:

$$v_i(n) = \max_k \left\{ \sum_{j=1}^N p_{ij}^k \sum_{m=n+1}^{\infty} f_{ij}^k(m) \left[\sum_{l=1}^{n-1} y_{ij}^k(l) + v_i(0) \right] + \sum_{j=1}^N p_{ij}^k \sum_{m=0}^n f_{ij}^k(m) \left[\sum_{l=0}^{m-1} y_{ij}^k(l) + r_{ij}^k(m) + v_j(n-m) \right] \right\} \quad (6)$$

где $i = \overline{1, N}, n = 1, 2, 3, \dots$

Средний ожидаемый доход r_i от пребывания системы в состоянии i и ухода из этого состояния при длительном функционировании процесса будет:

$$r_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} \sum_{m=0}^{\infty} h_{ij}(m) \left[\sum_{l=0}^{m-1} y_{ij}(l) + b_{ij}(m) \right]. \quad (7)$$

Следует заметить, что для процессов с одним эргодическим классом, когда предельная вероятность j -го состояния не зависит от начального состояния, прибыль одинакова для всех состояний процесса.

Политику, оптимальную в смысле максимизации одношаговой прибыли процесса, т. е. среднего ожидаемого дохода за единицу времени, можно найти с помощью итеративного процесса, описанного выше и использующего критерий

$$q^k = q_i^k + \frac{1}{\tau_i^k} [\sum_{j=1}^N p_{ij} v_j - v_i] \rightarrow \max_k \quad (8)$$

Заключение

Таким образом, в работе предложены два пути реализации оптимальных стратегий процесса принятия решений, основанных на математическом аппарате теории марковских и полумарковских процессов с использованием принципа оптимальности Беллмана.

Рассмотренные пути реализации оптимальных стратегий процесса принятия решений касаются стратегии на непродолжительном конечном интервале времени реализации доставки груза, что наиболее часто встречается на практике, и длительном интервале доставки груза относительно всей задачи в целом. Кроме того, в работе рассматриваются пути нахождения оптимальных стратегий, когда время принятия единичных решений фиксировано и когда время перевода реализуется ИСППР случайным образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В., Молоков Ю.Г., Никифоров В.В., Рылов Н.И. Автоматические подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1981. – 223 с.
2. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / под общ. ред. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005. – 400 с.
3. Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В. Создание интеллектуальных АНПА и проблемы интеграции научных исследований // Подводные исследования и робототехника. – 2006. – № 1. – С. 6-17.
4. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с
6. Прикладные нечеткие системы/ Под ред. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно. М.: Мир, 1993. – 368 с.
7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.

8. J. Casti , “The linear quadratic control problem: some recent results and outstanding problems,” SIAM Rev., 22 (4), 1980, pp.459–485

9. Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов. -М.: Физматлит,2005, 403с.

REFERENCES

1. Ageev M. D., Kasatkin B. A., Kiselev L. V., Molokov, Y. G., Nikiforov V. V., Rylov N. I. Avtomaticheskie podvodnie apparaty. - L.: Sudostroenie, 1981. - 223 s.

2. Ageev M. D., Kiselev L. V., Matvienko Yu. V. Avtonomnie podvodnie roboty. Systemy i technology / pod obshei redakciey M. D. Ageev. - Moskva: Nauka, 2005. - 400 s.

3. Kiselev L. V., Inzartsev A.V., Matvienko Yu. V. Sozdanie intellectualnih ANPA i problemy integracii nauchnih issledovaniy // Podvodnie issledovaniya i robototekhnika. - 2006. - № 1. – ss. 6-17.

4. Melikhov A. N., Berstein L. S., Korovin S. Ya. Situatsionie sovetujshie systemy s nechetkoy logikoy. M.: Nauka, 1990. - 272 s.

5. Pospelov D. A. Situatsionoe upravlenie: Teorya s praktika – M.: Nauka, 1986. - 288 s.

6. Prikladny nechetky systemy /Pod red. Terano T., Asai K., Sugeno. M.: Mir, 1993. - 368 s.

7. Trahtengerts E. A. Computernaya poddergka prinyatsya resheniy. M.: SINTEG, 1998. - 376 s.

8. J. Casti,” The linear quadratic control problem: some recent results and outstanding problems, " SIAM Rev., 22 (4), 1980, pp.459-485.

9. Bulinsky A.V., Shiryaev A. N. Teorya sluchaynih processov. - M.: Fizmatlit, 2005, 403s.

**ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ
ДВОХ ВАРІАНТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ДУПЛЕКСНОЇ
СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРІВ ПО СТАНАМ З
ВІДНОВЛЕННЯМ**

Анотація. Робота присвячена порівнянню двох варіантів роботи дуплексної структури контролерів для розроблених методів оцінки надійності та відмовостійкості багатоканальних управляючих систем безпеки і систем аварійного захисту з несумісними станами і різноманітністю можливих варіантів послідовностей виникнення явних і прихованих відмов з розрахунком ймовірностей перебування цих системи в працездатному стані, у стані помилкового спрацювання на заданому інтервалі часу.

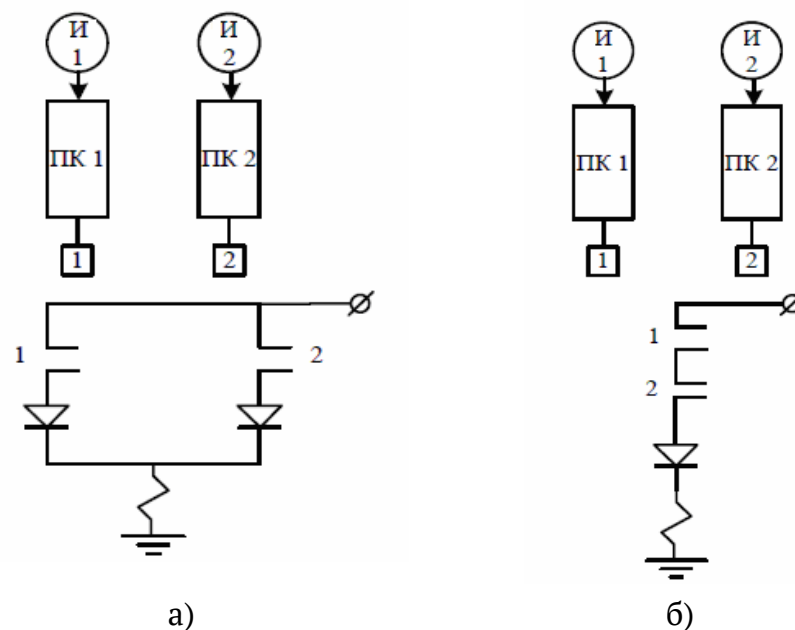
Ключові слова: системи аварійного захисту, надійності, дуплексні структури контролерів.

Проблема забезпечення надійності інформаційно-управляючих систем є складною комплексною проблемою особливо для потенційно небезпечних технічних комплексів. Управляючі системи безпеки (УСБ) при виникненні аварійної ситуації на об'єкті управління призводять в дію відповідні захисні, локалізують і забезпечують системи безпеки і координують їх роботу з метою запобігання аварій і катастроф. До управляючих систем безпеки пред'являються надзвичайно високі вимоги по надійності. Аналогічні вимоги пред'являються і до систем аварійного захисту (САЗ) агрегатів і об'єктів, що відносяться до функціональних комплексів технічних засобів забезпечення населеності і боротьби за живучість, зокрема до систем пожежогасіння, аварійного водовідливу та іншим.

Цілі і завдання роботи. Для розробленої математичної моделі оцінки надійності та відмовостійкості багатоканальних управляючих систем безпеки і аварійного захисту як систем з елементами з трьома несумісними станами: перебування системи в працездатному стані, у стані

помилкового (надмірного) спрацьовування на заданому інтервалі часу, необхідно порівняти два варіанти роботи дуплексної структури контролерів. Контролери працюють за схемою Master-Slave.

Розглянемо найпростіші дуплексні структури для отримання аналітичних рішень по оцінці надійностних властивостей САЗ і УСБ, для яких необхідно врахувати як два види відмов каналів (тобто розглядати елементи не бінарні, а елементи з трьома несумісними станами), так і всі можливі послідовності та/або порядок їх слідування в часі (рисунок 1).



И - це джерела інформації; ПК 1, ПК 2-програмовані контролери;
1,2 - обмотки і контакти вихідних управляючих реле

Рисунок 1 - Дуплексні структури САЗ, які працюють за схемами вибору рішень
«1 з 2-х» (а) і «2 з 2-х» (б)

Отримання кінцевих виразів (підкреслимо - в буквеному вигляді) саме для цих «найпростіших» дуплексних структур є важливим при вирішенні задач аналізу УСБ і САЗ.

Перша структура зберігає працездатність при виникненні «прихованої» відмови одного з каналів, друга - при виникненні «явної» відмови одного з каналів.

Кожен окремий канал будемо розглядати як єдиний, який характеризується ймовірністю відмови $q(t)$ на інтервалі $(0, t)$. При цьому бу-

демо розглядати важливий для систем безпеки і аварійного захисту випадок, коли кожен з каналів може мати два види відмов - відмова типу «явна відмова» і типу «прихована відмова», тобто

$$p(t) + q_a(t) + q_c(t) = 1, \quad (1)$$

де $p(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи каналу; $q_a(t)$ - ймовірність «явної» відмови, $q_c(t)$ - ймовірність «прихованої» відмови.

Виникнення «явної» відмови одного з каналів призводить, природно до помилкового або зайвого спрацьовування САЗ; виникнення ж «прихованої» відмови каналу призводить до переходу його в «неспостережимий» стан непрацездатності та, як наслідок неспрацьовування каналу під час вступу заявки на спрацьовування аварійного захисту. Зрозуміло, що як «явну» відмову з «хибним» спрацьовуванням, так і неспрацьовування САЗ призводить до різних наслідків, які для кожного конкретного об'єкта захисту повинні бути уточнені. А отже, визначальний вплив на ступінь небезпеки буде грати співвідношення між потоками «явних» і «прихованих» відмов, для чого в припущенні експоненціального закону напрацювання каналів до відмови з інтенсивністю λ , тобто $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, де $\lambda = \lambda_a + \lambda_c$.

Під відмовою системи будемо розуміти знаходження системи або в стані «помилкового» спрацьовування або в стані перебування в «прихованої» відмови. Крім того, з огляду на істотну відмінність в ступені небезпеки відмов САЗ типу «хибне» спрацьовування і типу неспрацьовування, необхідно дати оцінки ймовірності і «помилкового» спрацьовування, і ймовірності знаходження системи в стані «прихованої» відмови. Результаті моделювання представлено в попередній роботі [1].

Порівняємо два варіанти роботи дуплексної структури контролерів. Контролери працюють за схемою Master-Slave.

Hot StandBy базується на вбудованому контролі в кожен програмований контролер. Залежно від результату контролю здійснюється передача управління з одного контролера на інший.

SA&C заснований на порівнянні роботи першого і другого контролерів, що програмується, з подальшим переведенням системи в без-

печний стан «зупинка», якщо самоконтроль не визначив програмований контролер, який відмовив.

Розглянемо структуру Hot StandBy з відновленням.

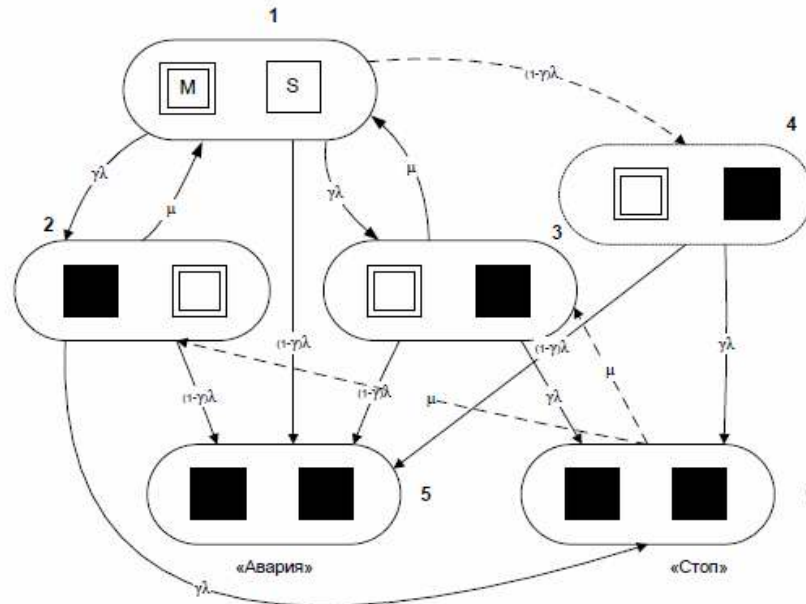


Рисунок 2 - Граф переходів зі стану в стан системи Hot StandBy

Побудуємо по графу в просторі станів систему рівнянь А.Н. Колмогорова для випадку, коли система з відновленням. Відновлення позначено пунктиром:

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -2\gamma\lambda P_1 + \mu P_2 + \mu P_3 - (1-\gamma)\lambda P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \gamma\lambda P_1 - (\mu + \gamma\lambda)P_2 - (1-\gamma)\lambda P_2 + \mu P_6; \\ \frac{dP_3}{dt} = \gamma\lambda P_1 - (\mu + \gamma\lambda)P_3 - (1-\gamma)\lambda P_3 + \mu P_6; \\ \frac{dP_4}{dt} = (1-\gamma)\lambda P_1 - \lambda\gamma P_4 - (1-\gamma)\lambda P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} = (1-\gamma)\lambda(P_1 + P_2 + P_3 + P_4); \\ \frac{dP_6}{dt} = \gamma\lambda(P_2 + P_3 + P_4) - 2\mu P_6. \end{cases}$$

Розглянемо структуру SA&C з відновленням.

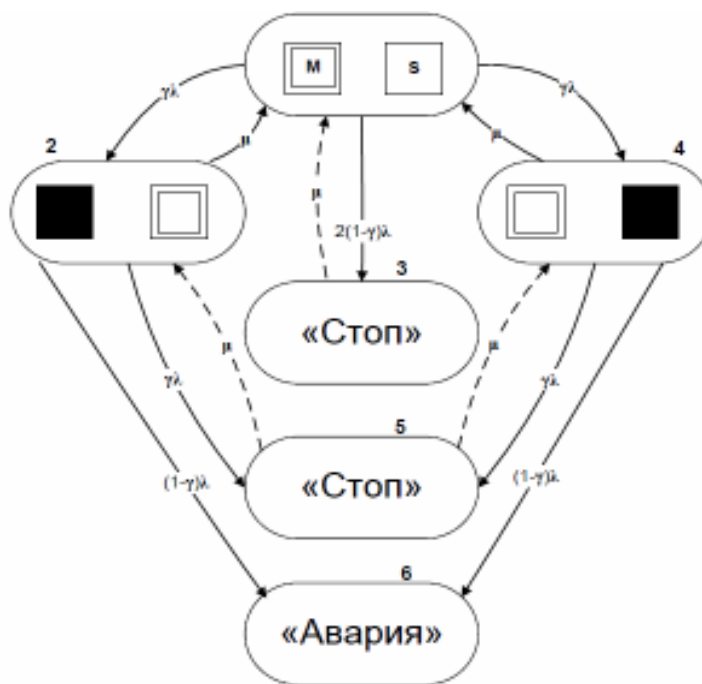


Рисунок 3 - Граф переходів зі стану в стан системи SA & C

Побудуємо по графу в просторі станів систему рівнянь А.Н. Колмогорова для випадку, коли система з відновленням. Відновлення позначено пунктиром (рисунок 3):

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -2\gamma\lambda P_1 + \mu(P_2 + P_4) - 2(1-\gamma)\lambda P_1 + \mu P_3; \\ \frac{dP_2}{dt} = \gamma\lambda P_1 - \mu P_2 - \gamma\lambda P_5 - (1-\gamma)\lambda P_6 + \mu P_5; \\ \frac{dP_3}{dt} = 2(1-\gamma)\lambda P_1 - \mu P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} = \gamma\lambda P_1 - \mu P_4 - \gamma\lambda P_4 - (1-\gamma)\lambda P_4 + \mu P_5; \\ \frac{dP_5}{dt} = \gamma\lambda(P_2 + P_4) - 2\mu P_5; \\ \frac{dP_6}{dt} = (1-\gamma)\lambda(P_2 + P_4). \end{cases}$$

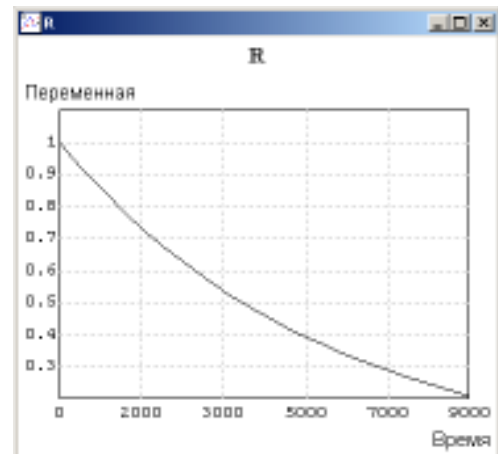
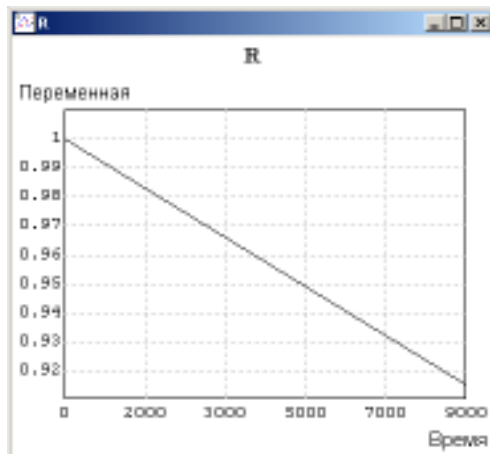
Використовуємо пакет MATLAB для моделювання отриманих рівнянь. Розрахунки будемо виконувати з кроком 0.001 в якості мінімального значення приймаємо 0.00001 і в якості максимального - 1. Інтервал, на якому будемо проводити розрахунок - [0; 8600] годин.

На рисунку 4 представлено графіки, отримані при розрахунку значень основних показників за двома варіантами організації роботи дуплексної структури контролерів: Hot StandBy та SA&C.

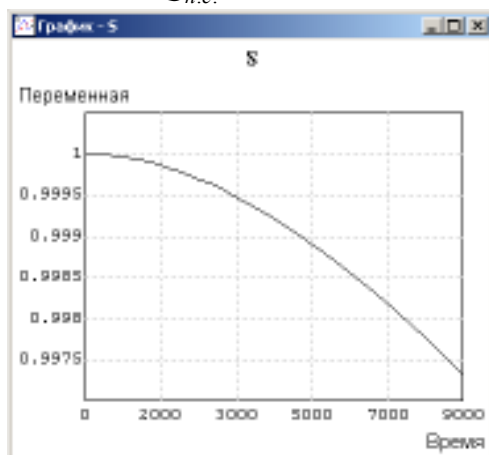
Hot StandBy $\gamma = 0,9$

SA&C $\gamma = 0,9$

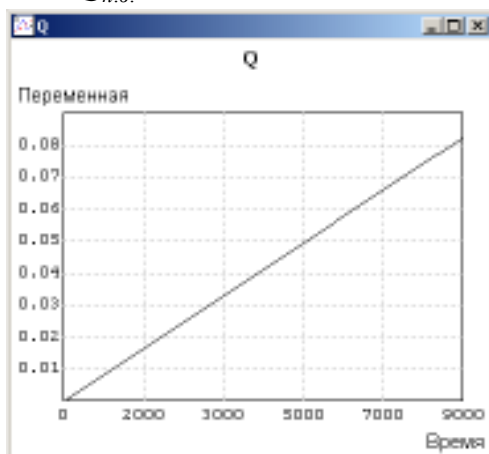
$R(t)$ - ймовірність знаходження системи в працездатному стані



$Q_{n.c.}$ - ймовірності помилкового спрацювання САЗ



$Q_{n.v.}$ - ймовірність знаходження САЗ в стані прихованої відмови



Рисунк 4 - Графіки порівняння між Hot StandBy і SA&C систем з відновленням

Виходячи з отриманих результатів, системи SA&C з відновленням є кращим варіантом у порівнянні з системою Hot StandBy з відновленням.

Отримані результати будуть в подальших дослідженнях використані для отримання залежностей для значно складніших структур систем автоматичного захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитрієва І.С. Аналіз властивостей надійності дуплексних структур систем аварійного захисту з постійним резервуванням / І.С.Дмитрієва, В.К.Лігвінов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових робіт. - Вип. 5(118). - Дніпро, 2018 – с. 41-47.

2. Белецкий В.В. Теория и практические методы резервирования радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1977. – 360 с.

REFERENCES

1. Dmytriieva I.S. An analysis of properties of reliability of full-duplex structures of the systems of emergency defence is with the permanent backuping / I.S.Dmytriieva, V.K.Lihvinov // System technologies. Regional interuniversity compendium of scientific works. - Issue 5(118). - Dnipro, 2018 – p. 41-47.

2. Beleckij B. B. Theory and practical methods of reserving of electronic equipment. - M.: Energy, 1977. - 360 p.

ANALYSIS OF CONNECTION METHODS OF TELEGRAM ROBOTS WITH SERVER PART

Abstract. In the paper methods of interaction of robots applications with Telegram servers are analyzed. Standard method of polling (Long Polling) and Webhook both from the viewpoint of the interaction rate of the application with the end-user, and the complexity of debugging from the developer's point of view are compared.

Keywords: Telegram, Polling, Webhook, pyTelegramBotAPI, Python.

Formulation of the problem

Sooner or later, any software developer faces the problem of expanding his product, as well as writing software code for telegram bots, and this direction is no exception. In the transition from testing the program to a full product developer, the developer may face the effect of the "narrow bottle neck," which role is played by the method of Telegram-bot and telegram servers' communication called "Long Polling", which queues the requests of the application users, since the process of Telegram-bot and Telegram servers' communication is periodic in the survey of servers for the incoming messages [1]. This system is suitable for use in unloaded applications or applications with a small number of users (no more than 1000 simultaneous interactions) [2], as well as for debugging and testing the program. In this paper, the mechanism of Telegram-bot with Telegram servers interaction with support of Webhook will be considered, which significantly raises the overall program performance, saving the user's request time and increasing fault tolerance. In this paper, we shall consider these methods in more detail on specific examples and draw conclusions for how the use of these methods affects the work of applications.

Analysis of recent research

Webhook is a way to deliver real-time application data. Unlike traditional APIs, where you often need data to get real-time information, Webhook sends data immediately. Webhook is a kind of analogue of push messages on your mobile phone. Instead of burning the battery on your phone, extracting information (polling) from applications to receive updates, Webhook sends data automatically based on events triggers. Like push messages, Webhook is less resource-intensive.

Webhook is much more effective than polls in terms of resources and communication. Zapier conducted a study of 30 million requests for surveys done through their service, and found that 98.5% of the polls were wasted and they spent 66 times more resources on the poll [3].

Always fresh data. The very nature of Webhook and the fact that they are usually triggered by events means that they provide you with information in real-time. In this regard, if you want the information to be as close as possible to the real time, you should choose the use of Webhook instead of the survey (Long Polling) [4].

Webhooks surpass the survey in terms of data relevance, communication efficiency, and infrastructure costs.

Formulating the goals of the article

The purpose of the study is to compare the methods of interaction of the application Telegram work written in the language Python, as well as the implementation of these methods in practice, in order to identify the complexity of writing the two solutions.

Main part

In the course of work, both methods of trying the robot program to use the Telegram servers: Long Polling and Webhook - were used, the basic schema of which is shown in Figure 1.

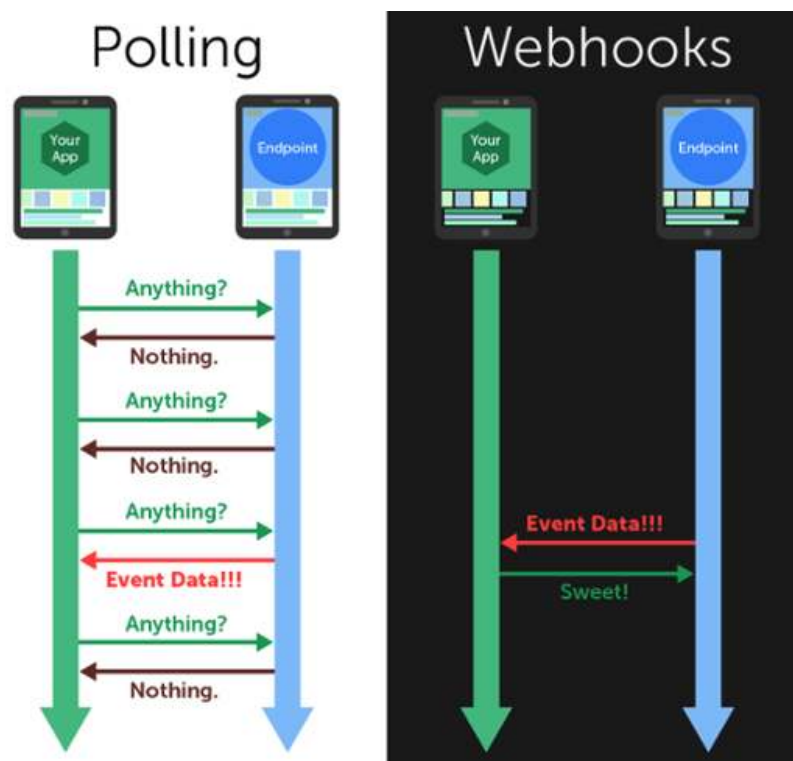


Figure 1 - Schematic diagram of Long Polling and Webhook.k

The paper considers two of the most common variants of communication between the robot and the Telegram server. The first and easiest option is to periodically poll Telegram servers for the availability of new information. All this is done through Long Polling, that is, the connection is opened for a short time and all updates are immediately flown by the bot. It is simple, but not very reliable. First, Telegram servers periodically begin to return the 504 (Gateway Timeout) error, which makes some bots stingy that even the pyTelegramBotAPI library created to write telegrams in Python can not always survive the following [5].

Second, if several bots are running at the same time, the probability of encountering errors increases. It's a shame if the bots themselves are not used very often [5].

Webhook works a bit differently. By installing Webhook, you would say to Telegram servers: "If anyone sends me write here - (link)". There is no need to periodically poll servers themselves, thus, the unpleasant reason for the fall of search engines' spamming disappears. However, for this you have to install a full web server on the machine on which it is planned to launch Telegram

robots. What's even unpleasant, you need to have your own SSL certificate, because Webhook in Telegram works only on HTTPS [6] Fortunately, on one glorious day, support for self-signed certificates has appeared.

The ultimate goal of any API integration is to effectively exchange data between the application and the server in order to provide more performance for your users. To speed up the program's work, integration should provide a method for detecting changes as well as events occurring in the user's application. Currently, two of the most popular event management tools are the Long Polling (Web Polling) and web hooks (Webhook). Let's consider these two methods in more detail, on the example of the simple application of the telegrams "Schedule of classes", which is based on the reference to the MySQL database, written in Python, using the interface of the Telegram program by the end user. During the writing of the bot, the standard method of interviewing Telegram servers using the API was used, but during the testing of the program, immediately revealed the negative aspects of such interaction between the program and servers, namely, the rate of response of the program to the end-user request, and with increasing number of requests and users (testers of the application), the response rate for incoming requests was significantly reduced, thereby forcing the search field to be a productive method of communicating with the servers; it became a method called Webhook [7]. Trend of increased speed of the application on a user's query is shown in figure 1.

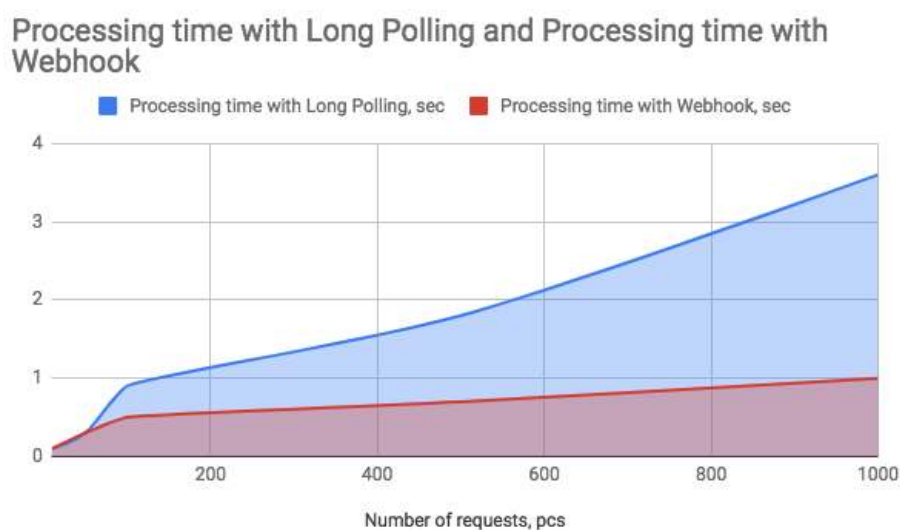


Chart 1 - The trend of increasing the response rate of the application to the user's request

To study this particular questioning of the servers, ten testers of the Schedule of Occupations application were used, during the testing, the data was collected without using and using Webhook. The essence of the test was the simultaneous loading created by the testers in addition which had artificially removed the mechanisms of protection against DDoS attacks, namely, the limits of access to the same requests set in a certain unit of time were removed. After the experiment, the results of measurements were put in Table 1, then the data from Table 1 was plotted 1.

Table 1

Measurement of the peak load created by the testers in addition to the
«Schedule of occupations»

Number of requests, pcs	10	50	100	500	1000
Processing time with Long Polling, sec	0,1	0,3	0,9	1,8	3,6
Processing time with Webhook, sec	0,1	0,3	0,5	0,7	1

Conclusions

In this paper, an alternative version of the robot application and Telegram servers' communicating with the help of Webhook was suggested. In the process of changing the method of data exchange from the standard poll (Long Polling) to Webhook was proved its undeniable advantage in loaded applications, namely on the number of inquiries more than a thousand, Webhook showed three times more performance than the standard poll (Long Polling) This undoubtedly justifies its more labor-intensive debugging process (SSL certificates, etc.).

REFERENCES

1. Downey, Allen B. (May 2012). Think Python: How to Think Like a Computer Scientist (Version 1.6.6 ed.). ISBN 978-0-521-72596-5.
2. "RFC6202 - Known Issues and Best Practices for the Use of Long Polling and Streaming in Bidirectional HTTP".
3. Server-Push Documents (HTML & XHTML: The Definitive Guide) Archived 2008-04-17 at the Wayback Machine. O'Reilly book explaining server-push.
4. "What is push notifications & How do push notifications work?". www.pushmaze.com. Retrieved 2018-10-25.
5. M. Thomson, E. Damaggio and B. Raymor (October 22, 2016). "Generic Event Delivery Using HTTP Push". Internet Draft. Internet Engineering Task Force. Retrieved October 28, 2016.
6. Lutz, Mark (2013). Learning Python (5th ed.). O'Reilly Media. ISBN 978-0-596-15806-4.
7. Pilgrim, Mark (2009). Dive Into Python 3. Apress. ISBN 978-1-4302-2415-0. Archived from the original on 2011-10-17.

Т.В. Селівьорстова, В.Ю. Селівьорстов, К.А. Соколов

АЛГОРИТМ ДЕТЕКТУВАННЯ МІРИ СКРУГЛЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. В статті описаний запропонований алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень. Згідно запропонованого алгоритму об'єкт на зображенні – неметалеве включення вважається близьким до круглої форми, якщо відношення довжини окружності рівної по площі неметалевому включенню до довжини контуру включення наближається до одиниці. Проведені дослідження на тестових зображеннях показали дієвість запропонованого підходу.

Ключові слова: алгоритм, округлення, довжина, контур, коло, площа, зображення, неметалеві включення, рекурсивна заливка, програмна реалізація, C++ Builder.

Постановка проблеми

Відомо, що чутливість до окрихчування (зокрема водневого) значно залежить від якості сталі. Тому часто спостерігається різна схильність до водневого окрихчування сталей, близьких за хімічним складом. Дуже важлива форма неметалевих включень в сталі, особливо сульфідів. При звичайній виплавці сталі сульфіди мають пластинчасту форму, при додатковій обробці синтетичним шлаком - округлу, еліпсоподібну. Наприклад, випробування трубної сталі з однаковим вмістом сірки показують, що шкідливий вплив водню на сталь з еліпсоподібними сульфідами на 10-40% нижчий, ніж на сталь з пластинчастими сульфідами.

В металургії та ливарному виробництві для аналізу макроструктури темплетів металу використовуються, в тому числі, сірчані відбитки, при цьому робиться, насамперед, якісна оцінка отриманого зображення у відповідності до прийнятої шкали бальності. Саме тому задача розробки спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу оцифрованих зображень сірчаних відбитків і оцінки міри скруглення контуру є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До специфічних особливостей цифрових зображень сірчаних відбитків можна віднести:

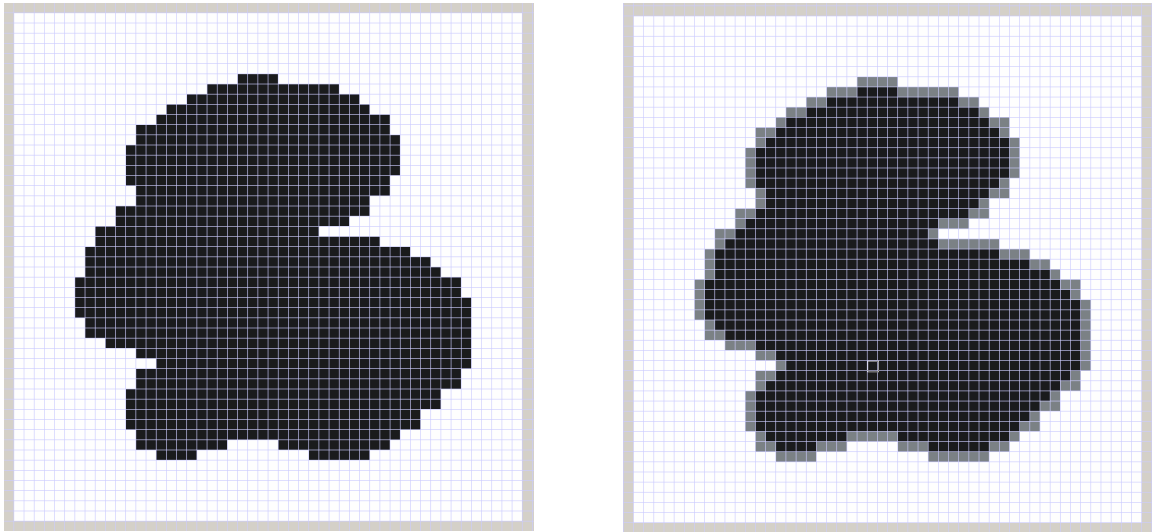
- кольорову градацію зображення (відтінки сірого);
- нерегулярну форму областей зниженої яскравості, що відповідають сульфідним включенням;
- випадковий характер прояву областей зі зниженою яскравістю;
- випадковий розмір областей зі зниженою яскравістю;
- необмежений розмір зображення.

Зазначені особливості перешкоджають використанню найпоширеніших технологій аналізу цифрових зображень, заснованих на класифікації й порівнянні із шаблоном. Також важко застосовувати нейромереві методи аналізу та ідентифікації зображень, оскільки неможливо передбачити необхідний обсяг і зміст навчальної вибірки для охоплення повного набору можливого розташування й форм областей зниженої яскравості, що відповідають сульфідним включенням [1 – 3].

Мета дослідження полягає у розробці алгоритму та спеціалізованого програмного забезпечення для дослідження зображень макроструктур, отримання кількісних характеристик міри округлості неметалевих включень.

Алгоритм детектування міри скруглення для дослідження зображень макроструктур

Алгоритм детектування міри округлості для зображення неметалевого включення є досить простим і базується на визначенні відношення довжини контуру включення до довжини окружності тієї ж самої площі. На рисунку 1, наведено зображення неметалевого включення з відділеним контуром.



а)

а) неметалеве включення;

б)

б) границя неметалевого включення

Рисунок 1 – Фрагмент зображення із неметалевим включенням

Для детектування округлостей контуру неметалевого включення запропоновано використовувати наступний підхід:

1) обчислюється площа включення в пікс (алгоритм рекурсивної заливки [4]) S_{pix}, pix^2 ;

2) обчислюється довжина контуру включення в пікс (модифікація алгоритму рекурсивної заливки) L_{pix}, pix ;

3) обчислюється довжина кола L_{circle}, pix описаного біля окружності площею S_{pix}, pix^2 ;

4) обчислюється відношення довжин кола та контуру включення L_{circle}/L_{pix} . Чим ближче значення до одиниці тим більш подібним до кола є форма неметалевого включення.

Площа включення в пікс $S_{pix} = \pi R_{pix}^2$.

Радіус кола площею S_{pix} $R_{pix} = \sqrt{\pi/S_{pix}}$, де довжина кола радіусу R_{pix} $L_{circle} = 2\pi R_{pix}$.

Алгоритм рекурсивного заливки можливо використовувати для визначення площі зафарбованої області. В цьому випадку, кожен раз при перефарбуванні пікселя збільшується лічильник кількості пікселів, що входять до зафарбованої області.

При необхідності даний алгоритм можливо модифікувати для визначення довжини контуру зафарбованої області. Для цього на кожній ітерації проводиться перевірка наявності білого пікселя поряд із зафарбованим, у разі виконання даної умови, збільшується лічильник кількості пікселів, що входять до контуру зафарбованої області.

Для дослідження роботи алгоритму детектування ступеню округлості форми неметалевого включення було обрано ряд тестових зображень, які містять лише одне включення. В таблиці 1 наведені результати обробки зображення із включенням круглої (рисунок 2) та овальної (рисунок 3) форми. Значення S_{pix}, pix^2 і L_{pix}, pix отримані із додатку, решта обчислень виконана за допомогою Excel.

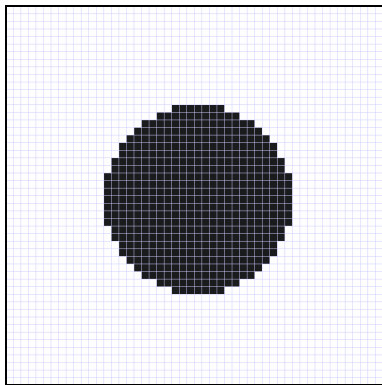


Рисунок 2 – Тестове зображення 1

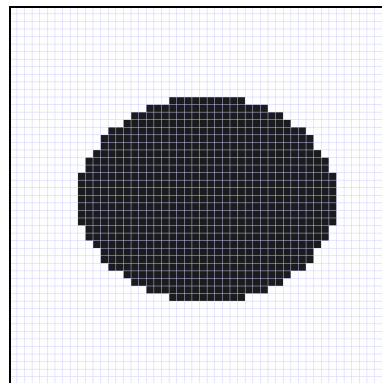


Рисунок 3 – Тестове зображення 2

Таблиця 1

Дослідження макроструктур із включеннями правильної форми

	S_{pix}, pix^2	L_{pix}, pix	L_{circle}, pix	L_{circle}/L_{pix}
Рисунок 2	489	96	78.37	0.82
Рисунок 3	726	124	95.49	0.77

Для плями круглої форми відношення $L_{\text{circle}}/L_{\text{pix}}$ дорівнює 0.82, при цьому для овалу дане відношення дорівнює 0.77. Більш кругліші плями мають значення $L_{\text{circle}}/L_{\text{pix}}$ ближче до одиниці. Але значення відношення $L_{\text{circle}}/L_{\text{pix}}$ залежить від розміру зображення.

В таблиці 2 наведені результати обробки зображення із включенням неправильної форми (рисунок 4, 5, 6).

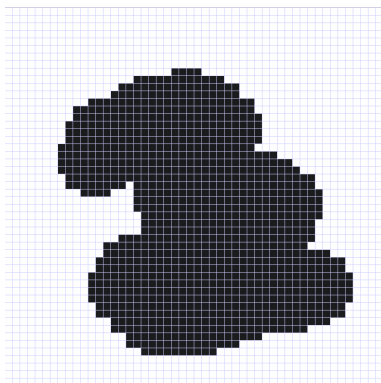


Рисунок 3 – Тестове зображення 3

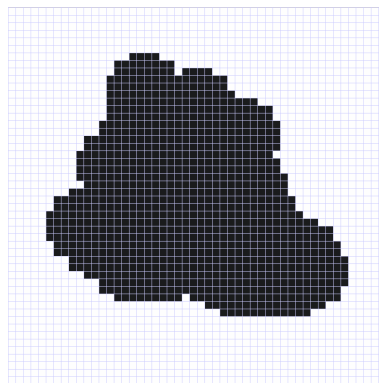


Рисунок 4 – Тестове зображення 4

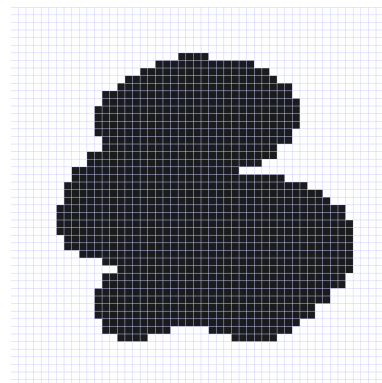


Рисунок 5 – Тестове зображення 5

Таблиця 2

Дослідження макроструктур із включеннями неправильної форми

	$S_{\text{pix}}, \text{pix}^2$	$L_{\text{pix}}, \text{pix}$	$L_{\text{circle}}, \text{pix}$	$L_{\text{circle}}/L_{\text{pix}}$
Рисунок 3	983	174	111.11	0.64
Рисунок 4	918	155	107.38	0.69
Рисунок 5	1052	178	114.95	0.65

З таблиці 2 можна зробити висновок, що чим складніше контур, тим менше значення $L_{\text{circle}}/L_{\text{pix}}$. Для порівняння обирали зображення однакового розміру.

В таблиці 3 наведені результати обробки зображення із декількома включеннями неправильної форми (рисунок 6, 7).

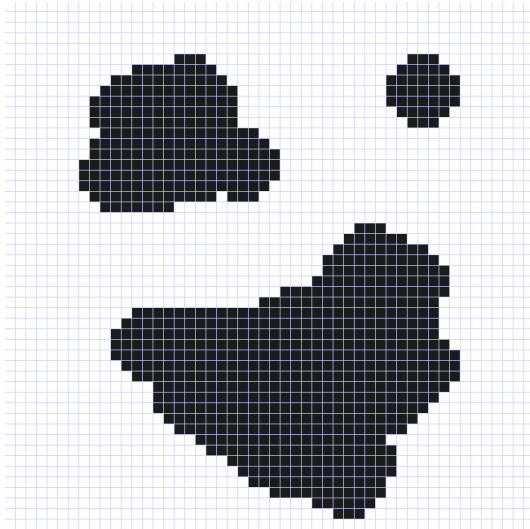


Рисунок 6 – Тестове зображення 6

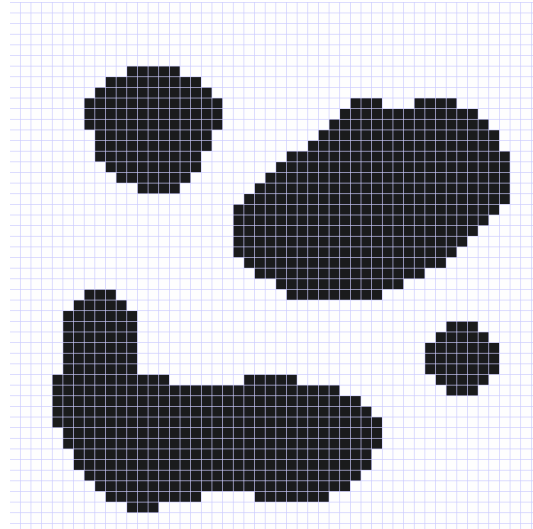


Рисунок 7 – Тестове зображення 7

Таблиця 3

Дослідження макроструктур із декількома включеннями

	S_{pix}, pix^2	L_{pix}, pix	L_{circle}, pix	L_{circle}/L_{pix}
Рисунок 6	37	16	21.56	0.90
	205	48	50.74	0.75
	352	84	81.74	0.66
Рисунок 7	37	16	21.56	0.90
	116	32	38.17	0.83
	356	59	66.87	0.76
	368	80	67.99	0.65

Програмний засіб «Детектування детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень» відображає статистику в порядку зростання площі включення.

Висновки

Дослідження роботи розробленого алгоритму детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень показало близькість до одиниці відношення L_{circle}/L_{pix} для компактних включень у порівнянні із включеннями зі складним контуром. Програмний засіб «Детектування детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень» розроблений у середовищі C++Builder.

ЛІТЕРАТУРА

1. Логунова О.С., Девятков Д.Х., Нуров Х.Х. Оценка качества непрерывно литой заготовки статистическими методами с использованием программных средств // Черная металлургия. – № 9. – 2005. – С. 54 – 58.
2. Логунова О.С., Макарычев П.П. Алгоритмы и программное обеспечение распознавания низкоконтрастных изображений при оценке качества стали // Программные продукты и системы. – № 3. – 2008. – С. 79–81.
3. Логунова О.С., Павлов В.В., Нуров Х.Х. Оценка статистическими методами серного отпечатка поперечного темплета непрерывной литой заготовки // Электрометаллургия. – № 5. – 2004. – С. 18 – 24.
4. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 512 с.

REFERENCES

1. Logunova O.S., Devyatov D.H., Nurov H.H. Otsenka kachestva nepreryivno litoy zagotovki statisticheskimi metodami s ispolzovaniem programmnykh sredstv // Chernaya metallurgiya. – # 9. – 2005. – S. 54 – 58.
2. Logunova O.S., Makaryichev P.P. Algoritmy i programmnoe obespechenie raspoznavaniya nizkokontrastnykh izobrazheniy pri otsenke kachestva stali // Programmnyye produkty i sistemy. – # 3. – 2008. – S. 79–81.
3. Logunova O.S., Pavlov V.V., Nurov H.H. Otsenka statisticheskimi metodami sernogo otpechatka poperechnogo templeta nepreryivnoy litoy zagotovki // Elektrometallurgiya. – # 5. – 2004. – S. 18 – 24.
4. Rodzhers D. Algoritmicheskie osnovy mashinnoy grafiki. Per. s angl. M.: Mir, 1989. 512 s.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГНОЗУ ПРИ ВАРІАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ ЛІНГВІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Анотація. В статті розглянуто результати проведені під час обчислювальних експериментів, була доведена якість прогнозування часових рядів різноманітної природи при різних параметрах. Експериментальним шляхом виявлені оптимальні параметри алгоритму. Алгоритм було застосовано до різноманітних часових рядів (соціальних, медичних, фінансових та економічних), вираховані статистичні показники точності прогнозу. Експерименти показали, що алгоритм стабільно виконує прогноз значень ряду на 3-4 кроки вперед та прогноз зміни тренду на 3-5 кроків.

Ключові слова: прогнозування, гібридна лінгвістична модель, лінгвістичне моделювання.

Постановка проблеми

Стоїть задача використання гібридного лінгвістичного підходу для моделювання числових образів у вигляді часових рядів з використанням ймовірнісних граматики на основі прихованих часових рядів та імплементувати інформаційну технологію для побудови множин лінгвістичних моделей та їх гібридів, які описують динаміку обраних часових рядів процесів різної природи.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Лінгвістичний (структурний, синтаксичний) підхід відомий ще за роботами американського науковця китайського походження Кінг Сунь Фу [1,2]. Саме він висловив можливість використання ймовірнісних формальних граматики для опису складних образів.

Елементи лінгвістичного підходу були викладені в роботах Соколова [3], Сенкевича [4], Дрождина [5], Сулимовой [6], Oscar Cordón та Francisco Herrera [7], Gui-Wu Wei [8]. Гібридний лінгвістичний підхід запропонований у роботах Баклана [9, 10, 11]. Практичні аспекти використання лінгвістичного моделювання приведені в [12].

Мета дослідження

Метою чинного дослідження є емпіричне доведення придатності використання гібридного лінгвістичного підходу для прогнозування часових рядів.

Основна частина

Лінгвістичне моделювання – комплекс методів, методик та алгоритмів, які використовують процес перетворення числових масивів інформації до лінгвістичних послідовностей, на основі яких відновлюється формальна граматики.

Лінгвістична модель динамічного процесу складається з наступних елементів: $\langle D, I, L, G \rangle$ де D — сукупність часових рядів динамічного процесу та рядів, похідних від вхідних даних, I — спосіб та правила інтервалізації, L — морфізм відображення інтервального представлення ряду на певний алфавіт, G — відновлена граматики динамічного процесу.

Кроки (підзадачі) побудови лінгвістичної моделі на основі чисельного часового ряду динамічного процесу:

- підзадача отримання різницевих рядів;
- підзадача інтервалізації;
- підзадача лінгвістизації;
- підзадача відновлення формальної граматики.

Детальні особливості застосування гібридного лінгвістичного моделювання [12].

На розробленому програмному забезпеченні були проведені чисельні експерименти щодо прогнозування часових рядів на різних типах інтервалізації (розподілах ймовірностей), було досліджено якість прогнозу часового ряду на різних потужностях алфавіту (кількості інтервалів).

Для експериментів були використані часові ряди [13]:

1. Авіа перельоти (airline-passengers) - соціальний
2. Вимірювання рівня глюкози в крові (glucose measurement) - медичний
3. Ціни Скандинавського ринку електроенергії (nordpool_svet) - економічний

4. Ціни природного газу на NYMEX (prices_natural_gas_usd) - економічний

На рисунках 1-5 порівнюється прогноз часового ряду авіаперельотів в США.

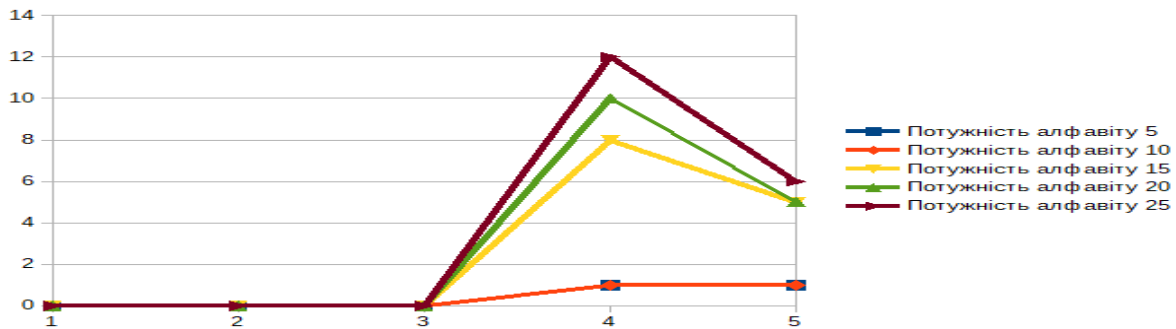


Рисунок 1 - Результати прогнозу по кроках для рівномірного розподілу

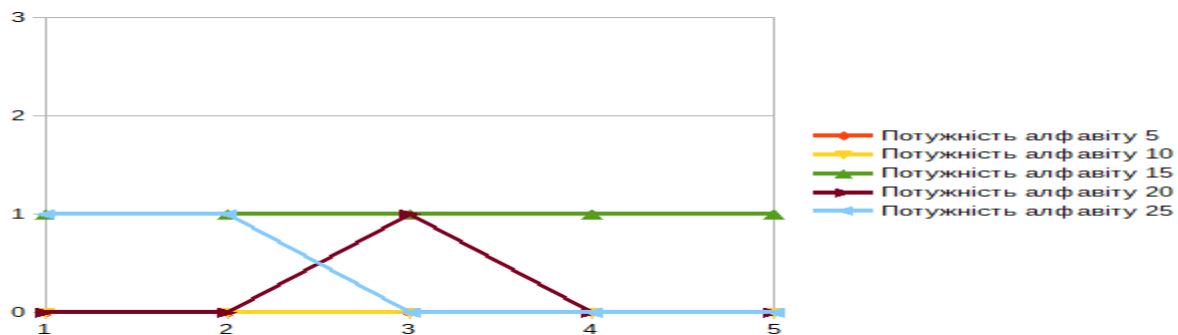


Рисунок 2 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Лапласа

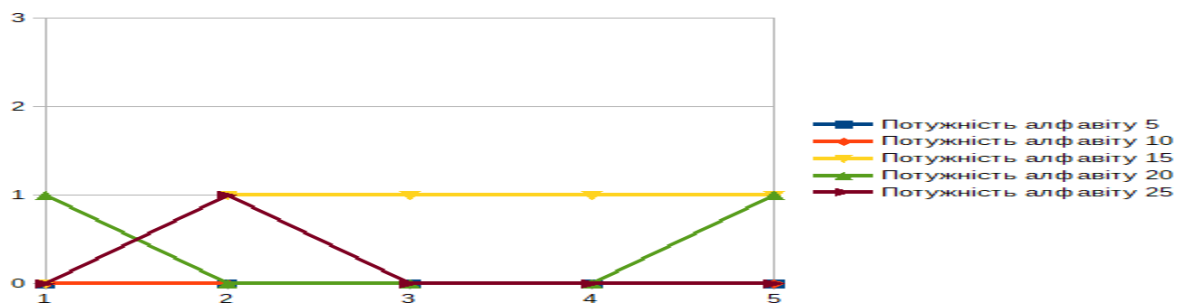


Рисунок 3 - Результати прогнозу по кроках для нормального розподілу

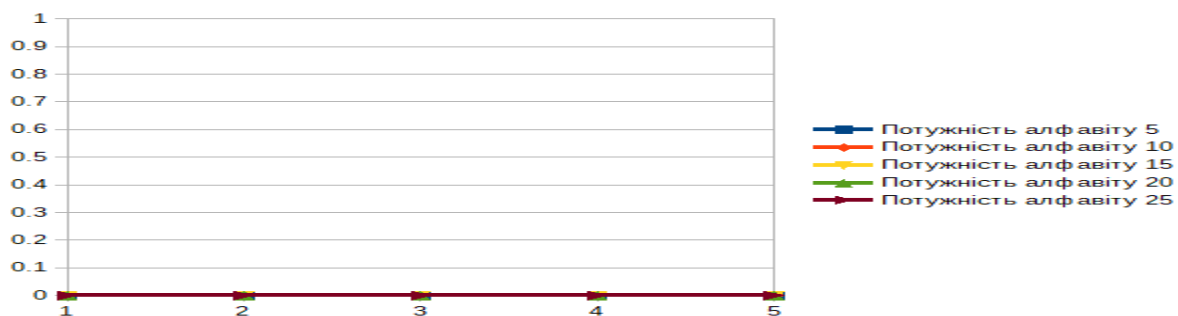


Рисунок 4- Результати прогнозу по кроках для Бета розподілу

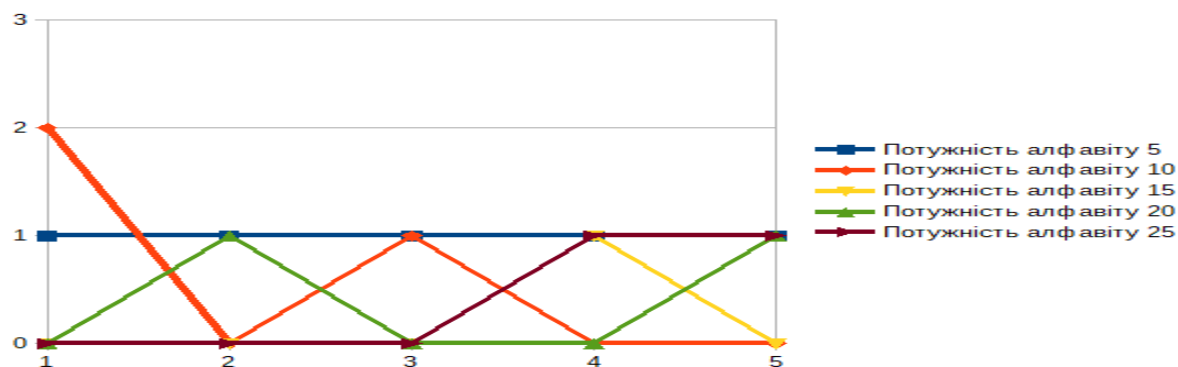


Рисунок 5 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Ст'юдента

На рисунках 6-10 порівнюється прогноз по часовому ряду вимірювання рівня глюкози в крові.

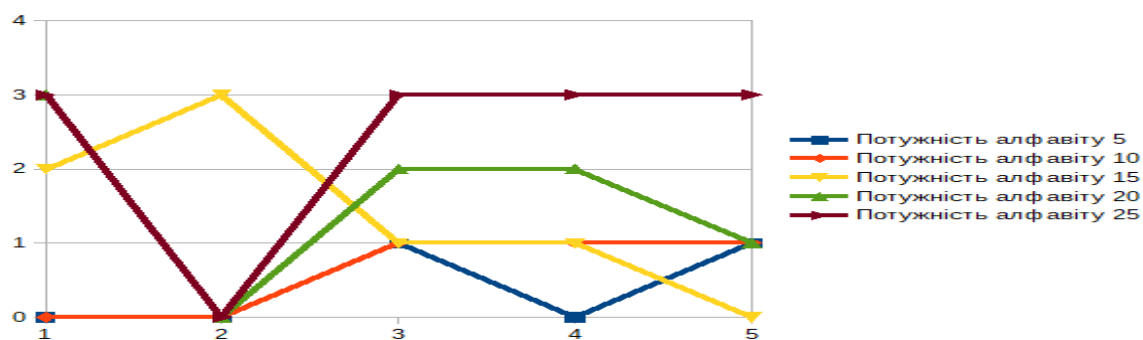


Рисунок 6 - Результати прогнозу по кроках для рівномірного розподілу

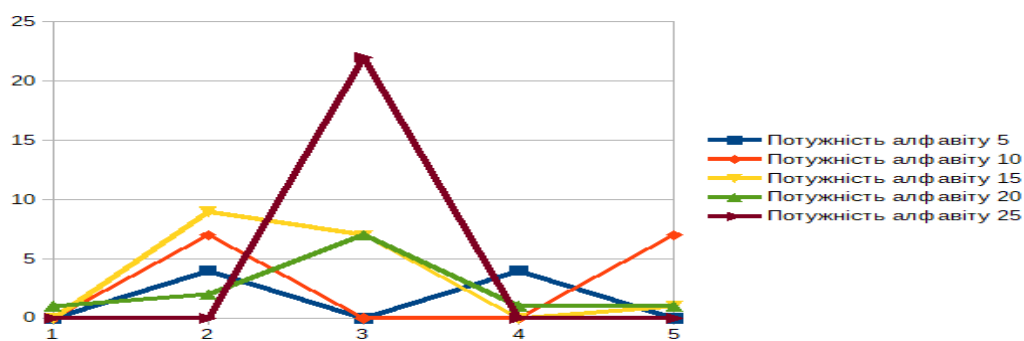


Рисунок 7 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Лапласа

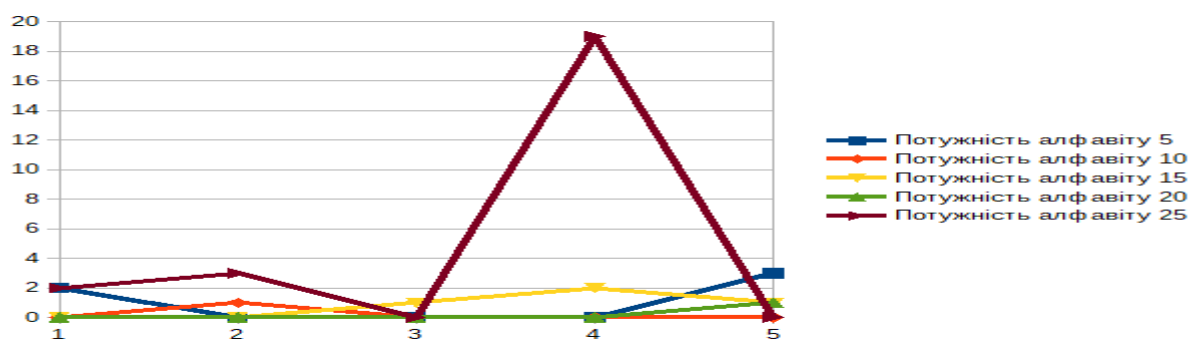


Рисунок 8 - Результати прогнозу по кроках для нормального розподілу

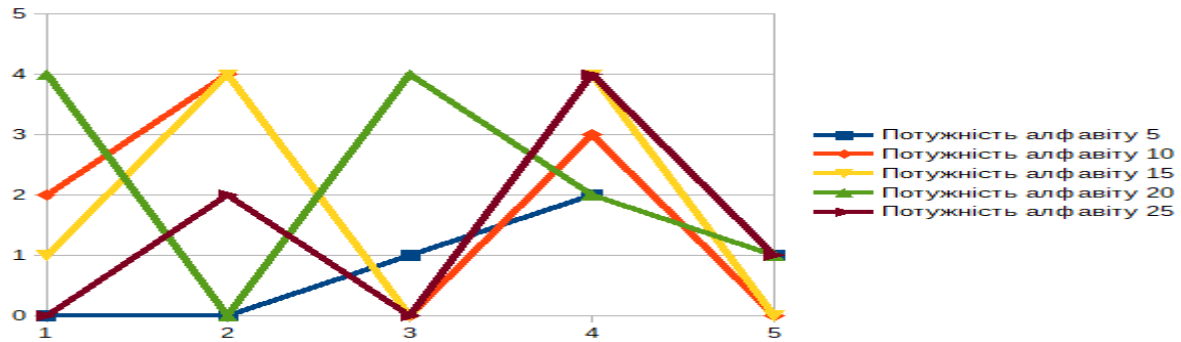


Рисунок 9- Результати прогнозу по кроках для Бета розподілу

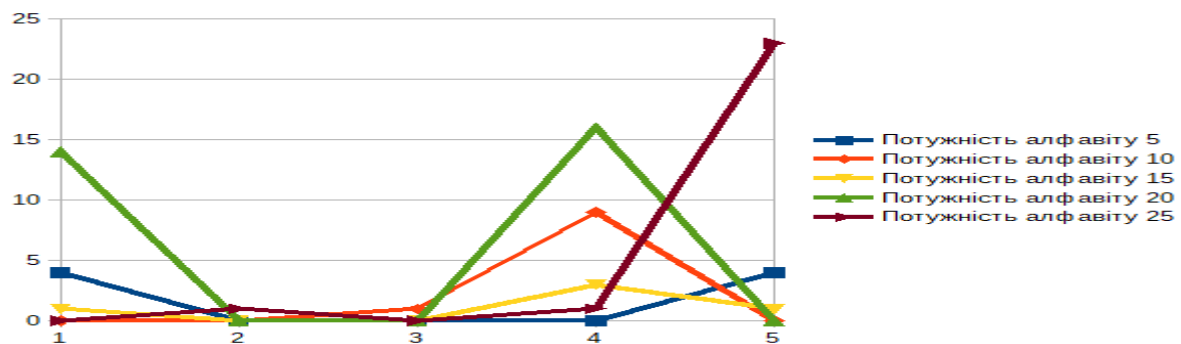


Рисунок 10 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Ст'юдента

На рисунках 11-15 порівнюється прогноз по часовому ряду ціни Скандинавського ринку електроенергії.

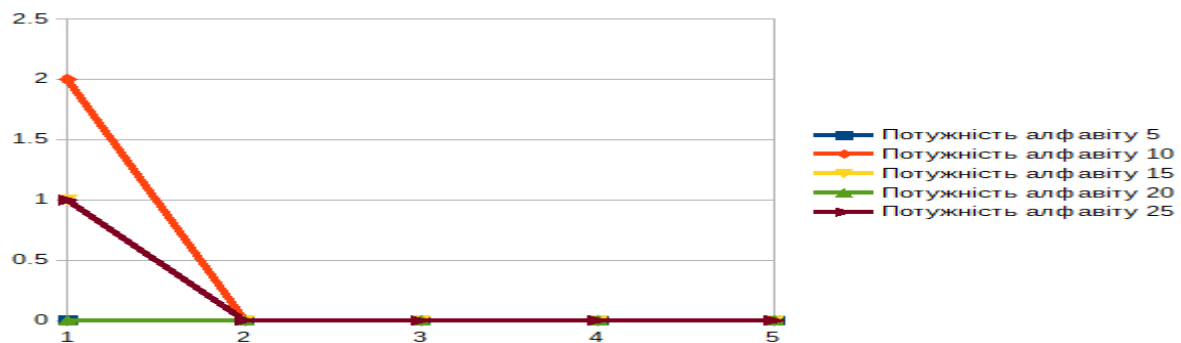


Рисунок 11 - Результати прогнозу по кроках для рівномірного розподілу

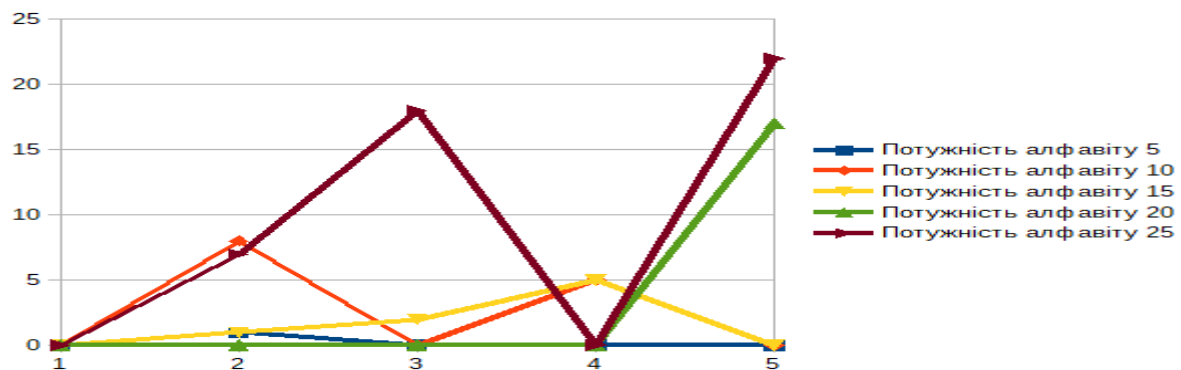


Рисунок 12 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Лапласа

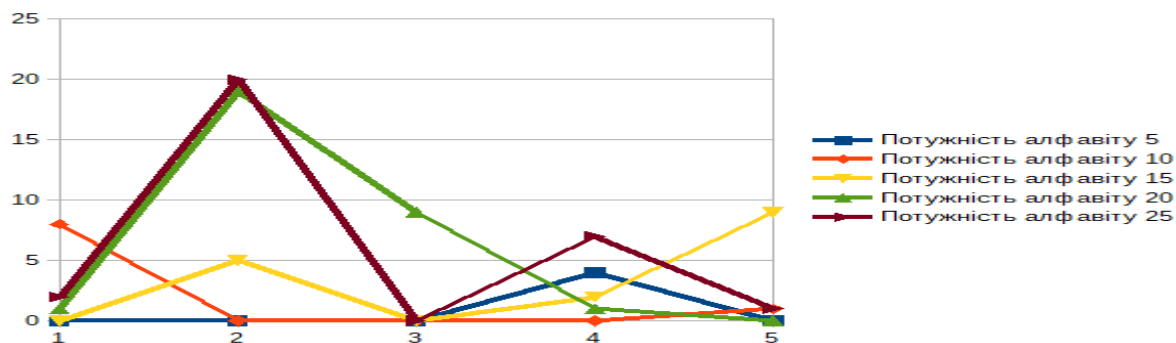


Рисунок 13 - Результаты прогнозу по шагам для нормального распределения

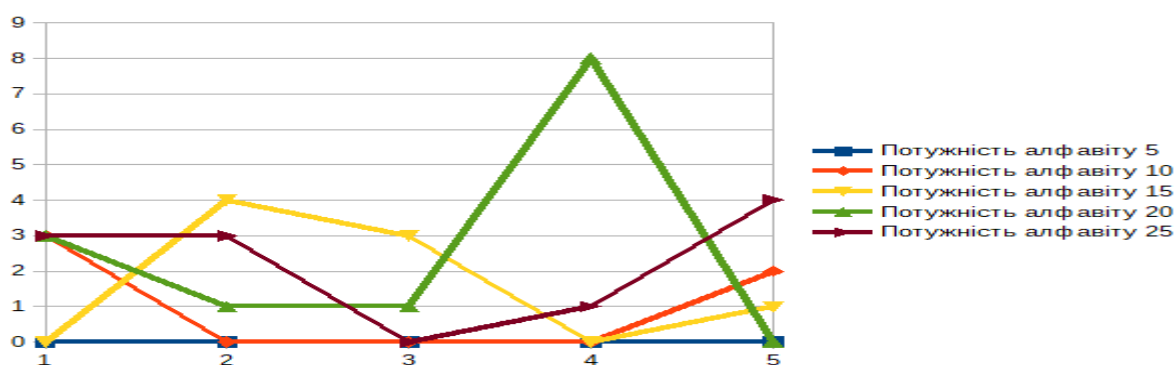


Рисунок 14- Результаты прогнозу по шагам для Бета распределения

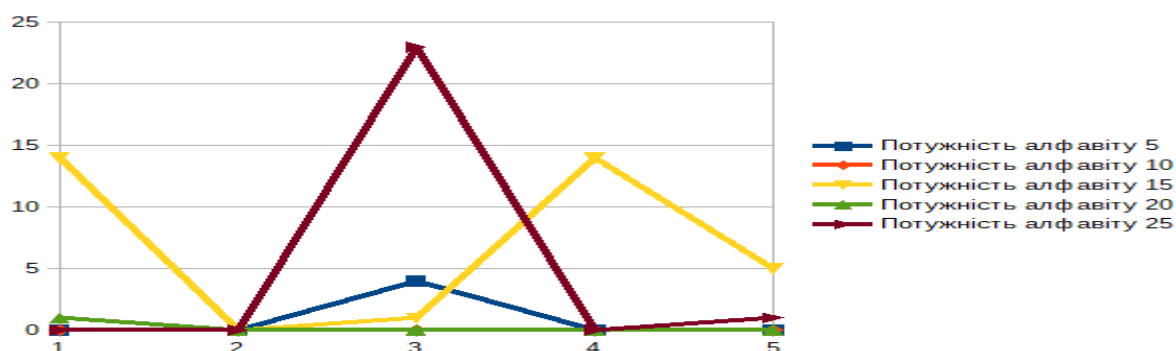


Рисунок 15 - Результаты прогнозу по шагам для распределения Ст'юдента

На рисунках 16-20 порівнюється прогноз по часовому ряду ціни природного газу на NYMEX.

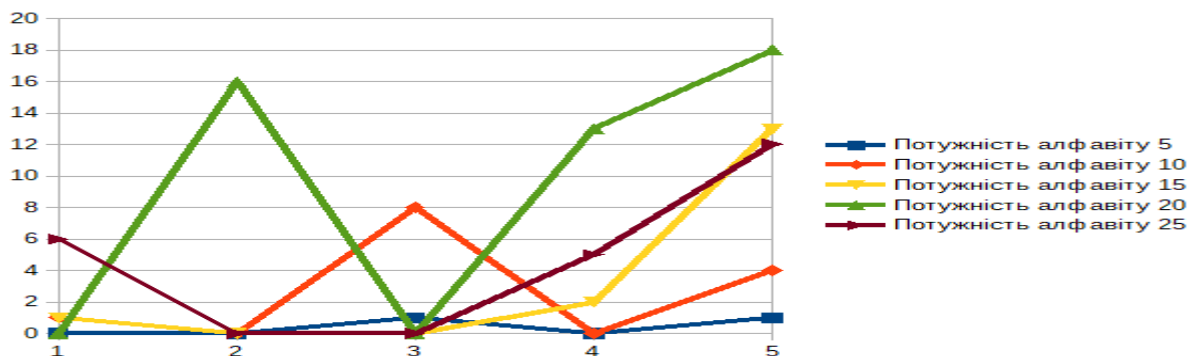


Рисунок 16 - Результаты прогнозу по шагам для равномерного распределения

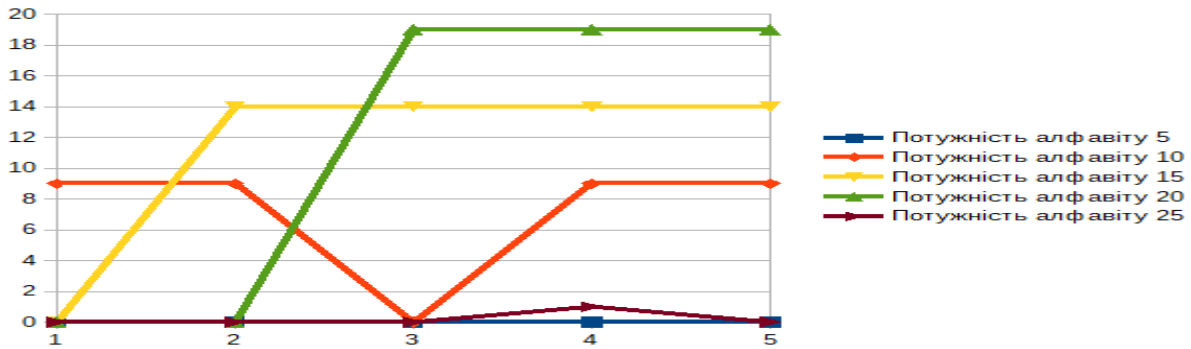


Рисунок 17 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Лапласа

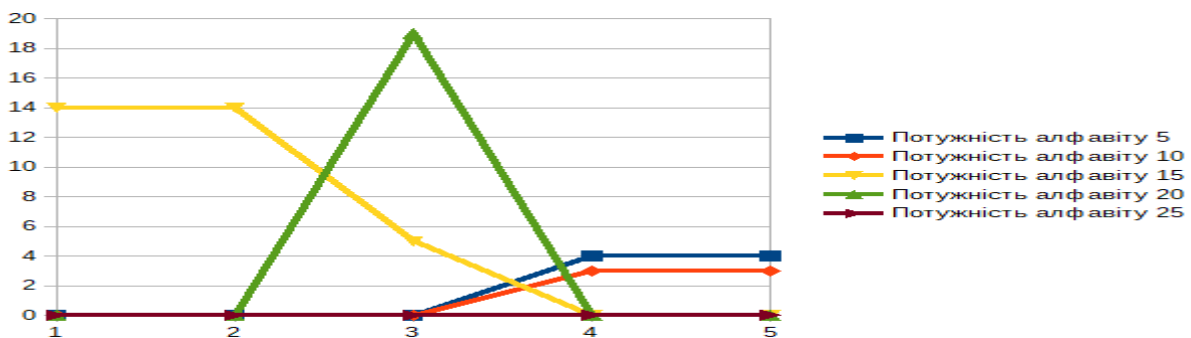


Рисунок 18 - Результати прогнозу по кроках для нормального розподілу

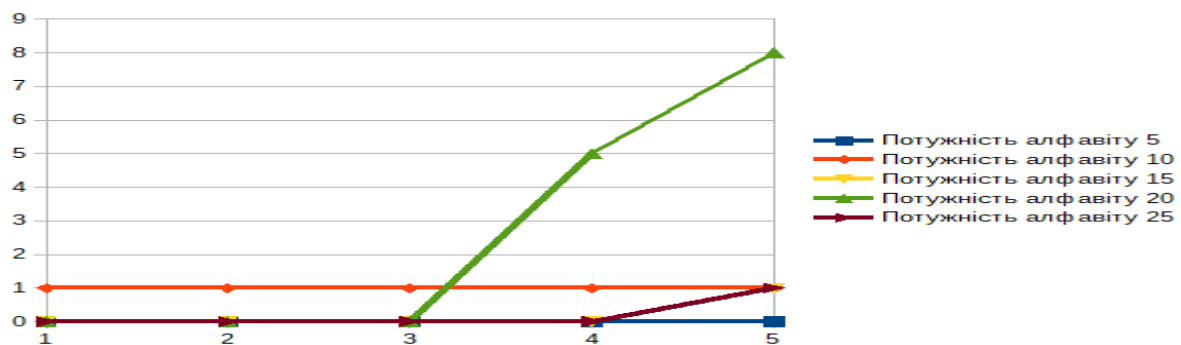


Рисунок 19- Результати прогнозу по кроках для Бета розподілу

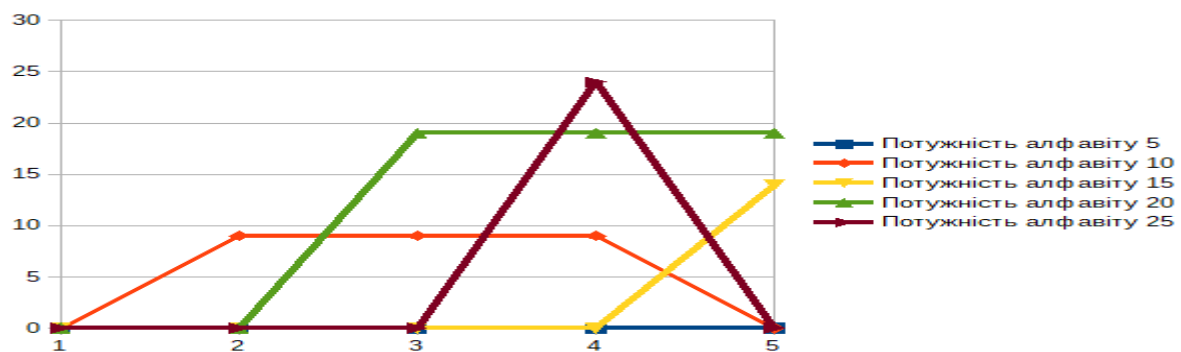


Рисунок 20 - Результати прогнозу по кроках для розподілу Ст'юдента

Робота проводилася у рамках теми “Інтелектуальні методи програмування, моделювання і прогнозування з використанням ймовірніс-

ного і лінгвістичних підходів”. Державний реєстраційний номер 0117U000926.

Висновки

Експериментальним шляхом виявлені оптимальні параметри алгоритму. Алгоритм було застосовано до різноманітних часових рядів (соціальних, медичних, фінансових та економічних), вираховані статистичні показники точності прогнозу. Експерименти показали, що алгоритм стабільно виконує прогноз значень ряду на 3-4 кроки вперед та прогноз зміни тренду на 3-5 кроків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фу К. Структурные методы в распознавании образов; [пер. с англ. З.В. Завалишина, С.В. Петрова, Р.Л. Шейнина; под ред. М.А. Айзермана]. М.: Мир, 1977. 319 с.
2. Fu K.S. Structural Methods in Pattern Recognition. Academic Press, 1969, 227 p.
3. Соколов О.Ю. Алгебраїчні моделі та методи аналізу і синтезу систем керування слабо формалізованими процесами : Дис... д-ра наук: 05.13.03 [Місце захисту: Національний аерокосмічний університ ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”]. м. Харків - 2002. - 393 с.
4. Сенкевич Ю. И. Теоретические основы разработки автоматизированных инструментальных средств для телемедицинских систем полярных зон : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.01 / Сенкевич Юрий Игоревич; [Место защиты: Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН].- Санкт-Петербург, 2008.- 271 с.
5. Дрождин В.В., Баканов А.Б. Грамматика описания домена фамилий // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Электронная вычислительная техника. 2007. Вып. 1. С. 77–82.
6. Моттль В.В., Сулимова В.В., Татарчук А.И. Автоматический выбор наиболее информативных фрагментов в задачах распознавания сигналов разной длительности. Таврический вестник математики и информатики – No 1, 2006, стр. 109-115.
7. Córdón O., Herrera F. A Proposal for Improving the Accuracy of Linguistic Modeling // IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 8, NO. – Spane, Granada, University of Granada. 3, JUNE 2000. - P.335-344.

8. G.-W. Wei. Uncertain Linguistic Hybrid Geometric Mean Operator and Its Application to Group Decision Making Under Uncertain Linguistic Environment // International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. Vol. 17, No. 2 (2009) 251–267.

9. Баклан И.В. Лингвистическое моделирование: основы, методы, некоторые прикладные аспекты // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (74). – Днепропетровск, 2011. – С.10 – 19.

10. Баклан І.В. Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (86). – Днепропетровск, 2013. - С.3-8.

11. Баклан І.В. Лінгвістичне моделювання часових рядів різної природи з фрактальними властивостями // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (104). – Днепропетровск, 2016. - С.110-118.

12. Гібридний лінгвістичний підхід до моделювання часових рядів / І.В.Баклан, Т.В.Шулькевич // Прикладні питання математичного моделювання. - №2 (2018). - С.192-202.

13. Електронний ресурс
<http://www-eio.upc.edu/~pau/cms/rdata/datasets.html>.

REFERENCES

1. Fu K. Strukturnye metody v raspoznavanyy obrazov; [per. s anhl. Z.V. Zavalysyna, S.V. Petrova, R.L. Sheinyna; pod red. M.A. Aizermana]. M.: Myr, 1977. 319 s.

2. Fu K.S. Structural Methods in Pattern Recognition. Academic Press, 1969, 227 p.

3. Sokolov O.Iu. Alhebraichni modeli ta metody analizu i syntezy system keruvannia slabo formalizovanyh protsesamy : Dys... d-ra nauk: 05.13.03 [Mistse zakhystu: Natsionalnyi aerokosmichnyi universyt im. M.Ie. Zhukovskoho “Kharkivskiy aviatsiyniy instytut”]. m. Kharkiv - 2002. - 393 s.

4. Senkevych Yu. Y. Teoretycheskiye osnovy razrabotky avtomatyzirovannykh ynstrumentalnykh sredstv dlia telemedytynskykh system poliarnykh zon : dySSERTatsiya ... doktora tekhnicheskyykh nauk : 05.13.01 / Senkevych Yuriy Yhorevych; [Mesto zashchyty: Sankt-Peterburhskiy ynstitut ynformatyky y avtomatyzatsyy RAN].- Sankt-Peterburh, 2008.- 271 s.

5. Drozhdyn V.V., Bakanov A.B. Hrammatyka opysanyia domena famylyi // Voprosy radioelektronyky. Ser.: Elektronnaia vychyslytelnaia tekhnika. 2007. Выр. 1. S. 77–82.
6. Mottl V.V., Sulymova V.V., Tatarchuk A.Y. Avtomatycheskyi vybor naybole ynfomatyvnykh frahmentov v zadachakh raspoznavanyia syhnalov raznoi dlytelnosti. Tavrycheskyi vestnyk matematyky y ynfomatyky – No 1, 2006, str. 109-115.
7. Cordon O., Herrera F. A Proposal for Improving the Accuracy of Linguistic Modeling // IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 8, NO. – Spane, Granada, University of Granada. 3, JUNE 2000. - P.335-344.
8. G.-W. Wei. Uncertain Linguistic Hybrid Geometric Mean Operator and Its Application to Group Decision Making Under Uncertain Linguistic Environment // International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. Vol. 17, No. 2 (2009) 251–267.
9. Baklan Y.V. Lynhvystycheskoe modelyrovanye: osnovy, metody, nekotorye prykladnye aspekty // Systemnye tekhnolohyy. Rehyonalnyi mezhvuzovskiy sbornyk nauchnykh rabot. – Выпуск 3 (74). – Dnepropetrovsk, 2011. – S.10 – 19.
10. Baklan I.V. Intervalnyi pidkhid do pobudovy lnhvistychnoi modeli // Systemnye tekhnolohyy. Rehyonalnyi mezhvuzovskiy sbornyk nauchnykh rabot. – Выпуск 3 (86). – Dnepropetrovsk, 2013. - S.3-8.
11. Baklan I.V. Lnhvistychne modeliuвання chasovykh riadiv riznoi pryrody z fraktalnymi vlastyvostiamy // Systemnye tekhnolohyy. Rehyonalnyi mezhvuzovskiy sbornyk nauchnykh rabot. – Выпуск 3 (104). – Dnepropetrovsk, 2016. - S.110-118.
12. Hibrydnyi lnhvistychnyi pidkhid do modeliuвання chasovykh riadiv / I.V.Baklan, T.V.Shulkevych // Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання. - №2 (2018). - S.192-202.
13. Elektronnyi resurs
<http://www-eio.upc.edu/~pau/cms/rdata/datasets.html>.

Р.В. Кирия, Г.И. Ларионов, Н.Г. Ларионов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕНТЫ С ГРУЗОМ ТРУБЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Аннотация. В статье разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния ленты трубчатого конвейера, заполненной сыпучим грузом. При этом лента рассматривается как тонкая упругая нерастяжимая цилиндрическая оболочка, а сыпучий груз в ленте находится в предельном состоянии. Получена система дифференциальных уравнений равновесия трубчатой ленты с сыпучим грузом относительно усилий и изгибающих моментов в ленте, которая при упрощении свелась к дифференциальному уравнению четвертого порядка относительно прогибов ленты. На основе этой математической модели получены и проанализированы аналитические зависимости прогибов ленты трубчатого конвейера от параметров конвейера, радиуса и свойств ленты, а также свойств сыпучего груза. В результате определено максимальное допустимое расстояние между роlikоопорами трубчатого конвейера. При этом установлено, что допустимое расстояние между роlikоопорами прямо пропорционально натяжению ленты и обратно пропорционально квадрату радиуса ленты и объемному весу груза. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании трубчатых ленточных конвейеров, транспортирующих сыпучие грузы.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сыпучий груз, трубчатый ленточный конвейер, трубчатая лента, роlikоопоры, изгибающие моменты.

Введение

Трубчатые ленточные конвейеры в настоящее время получили широкое применение в различных отраслях промышленности: горной, металлургической, строительной и химической. Основными преимуще-

ством трубчатых конвейеров, в отличие от обыкновенных ленточных конвейеров с желобчатой лентой, являются экологичность и возможность транспортирования сыпучих грузов по криволинейным трассам без перегрузочных узлов. Однако их эффективное использование в промышленности сдерживается отсутствием научно обоснованных методов расчета основных параметров трубчатого конвейера. В частности, не существует расчета максимально допустимого расстояния между роlikоопорами трубчатого конвейера в зависимости от параметров конвейера, упругих свойств ленты, а также физико-механических свойств сыпучего груза.

Для решения этой задачи необходимо, прежде всего, разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния заполненной сыпучим грузом ленты при ее движении по роlikоопорам трубчатого конвейера.

Вопросами создания математической модели напряженно-деформированного состояния ленты, заполненной сыпучим грузом, занимались В. Г. Дмитриев, Е. Е. Шешко, В. М. Гушин, А. В. Дьяченко, Д. С. Кулагин [1–3], а также В. Д. Черненко [4]. В этих работах исследованы нормальные распределенные силы распора сыпучего груза, действующие на ленту со стороны сыпучего груза при ее движении по роlikоопорам конвейера. При этом сыпучий груз на ленте конвейера находился в предельном равновесии.

В результате получены аналитические зависимости распределения этих сил от угловой координаты нормального сечения ленты. При этом деформация ленты не учитывалась.

В работе В. Д. Черненко разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния трубчатой ленты, заполненной сыпучим грузом, основанная на общей теории упругих оболочек и предельного состояния сыпучей среды. В результате получены сложные системы уравнений в частных производных, определяющие напряжения деформации в оболочке и сыпучей среде, которые для частных случаев решались численным методом.

В данной работе разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния ленты трубчатого конвейера, заполненной сыпучим грузом, основанная на теории тонких упругих цилиндрических оболочек С. П. Тимошенко. При этом предполагалось, что оболочка нерастяжима, а деформации ее малы. В результате получены аналитические зависимости прогиба ленты от параметров конвейера, упругих свойств ленты, а также физико-математических свойств сыпучего груза. Эта зависимость дала возможность определить максимально допустимые расстояния между роlikоопорами ленточного трубчатого конвейера.

Представим участок ленты трубчатого конвейера, расположенный между роlikоопорами, как тонкую упругую цилиндрическую оболочку, защемленную между роlikоопорами (рис. 1).

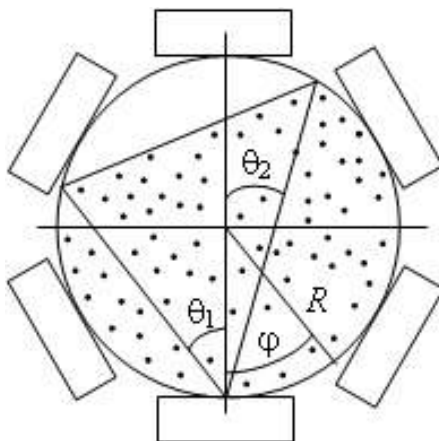


Рисунок 1 – Нормальное сечение ленты трубчатого конвейера

На рис. 1 обозначено: φ – текущая угловая координата, рад; θ_1 и θ_2 – угловые координаты пересечения поверхности трубчатого сечения ленты сыпучим грузом, рад.

Согласно теории тонких упругих цилиндрических оболочек [5, 6] на элемент срединной поверхности оболочки при ее деформировании действуют силы и моменты, причем деформации оболочки считают существенно малыми в сравнении с ее радиусом R (м).

В этом случае с учетом упрощений системы уравнений равновесия [5] после исключения соответствующих составляющих уравнений система будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} R \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi} = 0; \\ \frac{\partial N_\varphi}{\partial \varphi} + RN_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + R \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x} - Q_\varphi + \tau R = 0; \\ R \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_\varphi}{\partial \varphi} + RN_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_\varphi + qR = 0; \\ R \frac{\partial M_{x\varphi}}{\partial x} - \frac{\partial M_\varphi}{\partial \varphi} + RQ_\varphi = 0; \\ \frac{\partial M_{\varphi x}}{\partial \varphi} + R \frac{\partial M_x}{\partial x} - RQ_x = 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Как и в [5], принято: ось z направлена по нормали к деформированной срединной поверхности ленты конвейера, ось x направлена по касательной к срединной поверхности, ось y направлена перпендикулярно к плоскости xz ; N_x – интенсивность мембранных растягивающих усилий вдоль координатной оси x , Н/м; N_φ – интенсивность мембранных усилий в сечении по координате φ , Н/м; $N_{x\varphi}$ – интенсивность касательных мембранных усилий, Н/м; Q_x – интенсивность перерезывающих сил в направлении оси x , Н/м; Q_φ – интенсивность перерезывающих сил в направлении координаты φ , Н/м; M_φ , M_x , $M_{x\varphi}$, $M_{\varphi x}$ – интенсивности изгибающих и крутящих моментов нормальных сечений элемента цилиндрической оболочки, Н; q – нормальное распределенное усилие, действующее на ленту со стороны сыпучего груза, Н/м²; τ – касательное напряжение, действующее на ленту конвейера со стороны сыпучего груза, Н/м².

Считаем также малыми перемещения точек оболочки u (м), v (м) и w (м) соответственно вдоль оси симметрии x оболочки ленты, в окружном направлении φ , а также по нормали к поверхности z оболочки ленты.

Так как перемещения u , v , w малы, тогда согласно закону Гука силы изгиба и моменты определяются по формулам [5, 6]:

$$\begin{aligned} N_x &= \frac{Eh}{1-\nu_1^2} (\varepsilon_x + \nu_1 \varepsilon_\varphi); \quad N_\varphi = \frac{Eh}{1-\nu_1^2} (\varepsilon_\varphi + \nu_1 \varepsilon_x); \quad N_{x\varphi} = \frac{\gamma_{x\varphi} Eh}{2(1-\nu_1)}; \\ M_x &= -D(\chi_x + \nu_1 \chi_\varphi); \quad M_\varphi = -D(\chi_\varphi + \nu_1 \chi_x); \quad M_{x\varphi} = -M_{\varphi x} = D(1-\nu_1) \chi_{x\varphi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_\varphi = \frac{\partial v}{R \partial \varphi} - \frac{w}{R}; \quad \gamma_{x\varphi} = \frac{\partial u}{R \partial \varphi} + \frac{\partial v}{\partial x};$$

$$\chi_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \chi_\varphi = \frac{1}{R^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right); \quad \chi_{x\varphi} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \varphi} \right).$$

Здесь ε_x – деформация в направлении оси x ; ε_φ – деформация в направлении φ ; $\gamma_{x\varphi}$ – угловая деформация; χ_x – изменение кривизны в направлении оси x , м^{-1} ; χ_φ – изменение кривизны в направлении сечения φ , м^{-1} ; $\chi_{x\varphi}$ – изменение кривизны в направлении сечения $x\varphi$, м^{-1} ; D – цилиндрическая жесткость ленты, $\text{Н}\cdot\text{м}$; h – толщина ленты конвейера, м ; E – модуль упругости материала ленты, $\text{Н}/\text{м}^2$; ν_1 – коэффициент Пуассона ленты.

Цилиндрическая жесткость трубчатой ленты согласно [5] по формуле $D = Eh^3/12(1-\nu_1^2)$.

Учитывая тот факт, что продольные силы, т.е. силы натяжения ленты N_x многократно превышают поперечные силы N_φ , ими можно пренебречь, т.е. $N_\varphi = 0$. Так как силы скручивания ленты также отсутствуют, то моменты от этих сил соответственно равны нулю, т.е. $M_{x\varphi} = M_{\varphi x} = 0$. Кроме того, в нашем случае кроме сил натяжения N_x , действующих на ленту, необходимо учесть мембранные касательные силы, действующие в нормальном и продольном сечениях трубчатой ленты конвейера, т.е. $N_x \neq 0$; $N_{x\varphi} = N_{\varphi x} \neq 0$.

Так как $M_{x\varphi} = M_{\varphi x} = 0$, тогда из последних двух уравнений системы (1) имеют место равенства:

$$Q_\varphi = \frac{1}{R} \frac{\partial M_\varphi}{\partial \varphi}; \quad Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x}. \quad (3)$$

Подставив эти равенства во второе и третье уравнения (1), тогда система уравнений (1) примет вид:

$$\begin{cases} R \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi} = 0; \\ RN_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + R \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x} - \frac{1}{R} \frac{\partial M_\varphi}{\partial \varphi} + \tau R = 0; \\ R \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 M_\varphi}{\partial \varphi^2} + RN_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + qR = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Продифференцировав второе уравнение системы (4) по φ и подставив полученное равенство в третье уравнение этой системы с учетом первого уравнения и равенств (3), после преобразования получим:

$$R \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + RN_x \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial \varphi} - R^2 \frac{\partial^2 N_x}{\partial x^2} + RN_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + R \frac{\partial \tau}{\partial \varphi} + qR = 0. \quad (5)$$

Полагая, что лента вдоль оси x нерастяжима, поэтому растягивающая сила N_x не зависит от x и φ , т.е. $N_x = s = \text{const}$, тогда уравнение (5) после преобразования примет вид

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + s \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial \varphi} + s \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial \tau}{\partial \varphi} + q = 0, \quad (6)$$

где s – интенсивность растягивающих натяжений ($s = S_l/B$), Н/м; S_l – натяжение ленты, Н; B – ширина ленты конвейера ($B \approx 2\pi R$), м.

Согласно (2) имеем:

$$M_x = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{v_1}{R} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) \right]; \quad M_\varphi = -D \left[\frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) + v_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right].$$

Из последних соотношений получим

$$M_x = -D(1 - v_1^2) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + v_1 M_\varphi. \quad (7)$$

Продифференцируем равенство (7) дважды по x и подставим его в (6) с учетом того, что $M_\varphi = \text{const}$, т.е. предполагая, что продольные изгибающие моменты в ленте не зависят от координаты x , получим

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - s \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial \varphi} - s \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial \tau}{\partial \varphi} - q(\varphi) = 0. \quad (8)$$

где $D_1 = D(1 - v_1^2)$.

Предположим, что растягивающая деформация поперечного сечения ленты равна нулю, то есть $\varepsilon_\varphi = 0$. Тогда согласно (2) имеем

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\partial v}{R \partial \varphi} - \frac{w}{R} = 0.$$

Из последнего равенства имеем

$$\frac{\partial v}{\partial \varphi} = w. \quad (9)$$

Продифференцировав равенство (9) два раза по x и подставив его в (8), получим дифференциальное уравнение относительно прогиба ленты конвейера

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - 2s \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial \tau}{\partial \varphi} - q(\varphi) = 0. \quad (10)$$

Так как лента по предположению на роlikоопорах не деформируется в радиальном и окружном направлениях, т.е. зашцеplена, то граничные условия принимают вид:

$$w|_{x=0} = w|_{x=l_p} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x}\bigg|_{x=0} = \frac{\partial w}{\partial x}\bigg|_{x=l_p} = 0, \quad (11)$$

где l_p – расстояние между роlikоопорами, м.

Предполагая, что касательные напряжения, действующие на ленту со стороны сыпучего груза, подчиняются закону Амонта-Кулона, имеем

$$\tau = f_1 q. \quad (12)$$

где f_1 – коэффициент трения сыпучего груза о ленту конвейера.

Уравнение (10) с учетом (12) запишем в виде

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - 2s \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial \tau}{\partial \varphi} - q_1(\varphi) = 0, \quad (13)$$

где $q_1(\varphi) = f_1 \frac{dq}{d\varphi} + q(\varphi)$.

Согласно [2] при движении ленты по роlikоопорам трубчатого конвейера на ленту со стороны сыпучего груза действуют активная и пассивная нормальные распределенные нагрузки, равные:

$$\begin{aligned} q_a &= R\gamma(\cos^2 \varphi + m \sin^2 \varphi)(\cos 2\theta + \cos \varphi); \\ q_n &= R\gamma\left(\cos^2 \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{m}\right)(\cos 2\theta + \cos \varphi), \end{aligned} \quad (14)$$

где q_a – активная распределенная нагрузка на ленту конвейера, связанная с ее сжатием, Н/м²; q_n – пассивная распределенная нагрузка на ленту конвейера, связанная с ее развалом, Н/м²; φ – текущая угловая координата в поперечном сечении трубчатой ленты конвейера, рад; θ – угол, определяющий степень заполнения сыпучим грузом поперечного сечения контура ленты, рад (см. рис. 1); m – коэффициент подвижности сыпучего груза, $m = 1 + 2f^2 - 2f \cdot \sqrt{1 + f^2}$ [7]; f – коэффициент внутреннего трения сыпучего груза; γ – объемный вес сыпучего груза, Н/м³;

Средняя величина нормальной распределенной нагрузки на ленту со стороны сыпучего груза определяется по формуле

$$q = \frac{q_a + q_n}{2}. \quad (15)$$

В случае несимметричного расположения сыпучего груза в сечении ленты определим q по известным q_a и q_n отдельно для двух участков кругового сечения ленты – левого $0 \leq \varphi \leq \pi - 2\theta_1$ и правого $-(\pi - 2\theta_2) \leq \varphi \leq 0$, где θ_1 и θ_2 – степени заполнения левой и правой сторон сечения ленты, рад (см. рис. 1).

Подставляя (14) в (15) для левой и правой половин сечения ленты, получим средние значения распределенной нормальной нагрузки q на ленту конвейера со стороны сыпучего груза в виде:

$$q(\varphi) = \begin{cases} 0,5R\gamma(\cos 2\theta_1 + \cos \varphi) \left(2\cos^2 \varphi + \frac{m^2 + 1}{m} \sin^2 \varphi \right) & \text{при } 0 \leq \varphi \leq \varphi_1; \\ 0,5R\gamma(\cos 2\theta_2 + \cos \varphi) \left(2\cos^2 \varphi + \frac{m^2 + 1}{m} \sin^2 \varphi \right) & \text{при } \varphi_2 \leq \varphi \leq 0, \end{cases} \quad (16)$$

где $\varphi_1 = \pi - 2\theta_1$; $\varphi_2 = -(\pi - 2\theta_2)$.

В случае отсутствия сил трения ($\tau = 0$) касательные мембранные усилия в ленте равны нулю, то есть $N_{x\varphi} = N_{\varphi x} = 0$. В этом случае, проводя те же выкладки, что и выше, получим уравнение прогибов ленты в виде:

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - s \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - q(\varphi) = 0. \quad (17)$$

Решая уравнение (17) с учетом граничных условий (11), получим уравнение прогибов ленты трубчатого конвейера без учета сил трения сыпучего груза о ленту конвейера [5]:

$$w = \frac{ql_p^2}{4usthu} \cdot \left\{ \frac{\operatorname{ch} \left[u \left(1 - \frac{2x}{l_p} \right) \right]}{\operatorname{chu}} - 1 \right\} + \frac{q(l_p - x)x}{2s}, \quad (18)$$

где $u = \frac{l_p}{2} \sqrt{\frac{s}{D_1}}$; $s = \frac{S_n}{B}$; $D_1 = \frac{Eh^3}{12}$.

Аналогично решая уравнение (10) с учетом граничных условий (11), получим уравнение прогиба трубчатого конвейера с учетом сил трения сыпучего груза о ленту конвейера ($\tau \neq 0$):

$$w = \frac{q_1 l_p^2}{8u' \operatorname{sth}(u')} \left[\frac{\operatorname{ch} \left[u' \left(1 - \frac{2x}{l_p} \right) \right]}{\operatorname{ch}(u')} - 1 \right] + \frac{q_1 (l_p - x)x}{4s}, \quad (19)$$

где $u' = \frac{l_p}{2} \sqrt{\frac{2s}{D_1}}$.

Анализ формул (18) и (19) показал, что так как $S_n \gg D_1$ ($u \gg 1$, $u' \gg 1$), то первые слагаемые в этих формулах на порядок меньше вторых и ими можно пренебречь. В результате уравнения прогибов ленты примут вид:

– в случае отсутствия сил трения, т.е. $\tau = 0$:

$$w = \frac{q(l_p - x)xB}{2S_n}; \quad (20)$$

– в случае наличия сил трения, т.е. $\tau \neq 0$:

$$w = \frac{q_1(l_p - x)xB}{4S_n}. \quad (21)$$

Кроме того, если представить ленту с грузом трубчатого конвейера в виде гибкой нити, нагруженной распределенной нагрузкой, то ее прогиб определится по формуле [7]

$$w = \frac{q_0(l_p - x)x}{2S_n}, \quad (22)$$

где q_0 – максимальная погонная нагрузка на ленту конвейера ($q_0 = \pi R^2 \gamma$), Н/м.

Предположим, что трубчатая лента конвейера полностью загружена сыпучим грузом. Тогда $\theta_1 = \theta_2 = 0$, а прогиб в самой нижней точке трубчатой ленты при $\varphi = 0$ определяется по формуле (19), где $q = q_1 = 2R\gamma$.

Результаты и их обсуждение

Из анализа формул (20), (21) и (22) следует, что прогибы ленты трубчатого конвейера без учета сил трения в два раза больше прогибов ленты с учетом сил трения того же трубчатого конвейера, а прогибы ленты трубчатого конвейера с учетом сил трения в два раза больше прогибов гибкой нити, нагруженной такой же распределенной нагрузкой, как и трубчатая лента.

На рисунке 2 показаны графики зависимости прогиба ленты трубчатой ленты, максимально загруженной сыпучим грузом в случае отсутствия сил трения, т.е. $\tau = 0$ (кривая 1), и с учетом сил трения, т.е. $\tau \neq 0$ (кривая 2), и прогиба нити, нагруженной такой же распределенной нагрузкой, что и трубчатая лента (кривая 3), от координаты x ($0 \leq x \leq l_p$). При этом параметры ленты и свойства груза принимали следующие значения: $S_l = 20000 \text{ Н}$; $R = 0,25 \text{ м}$; $h = 0,01 \text{ м}$; $l_p = 1 \text{ м}$; $E = 2 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$; $\gamma \approx 10000 \text{ Н/м}^3$.

Из графиков видно (см. рис. 2), что максимальный прогиб трубчатой ленты и гибкой нити, нагруженной той же максимальной распределенной нагрузкой, находится посередине роlikоопоры, т.е. при $x = l_p/2$.

На основании полученных результатов аналитических исследований определим теперь допустимое расстояние между роlikоопорами трубчатого конвейера.

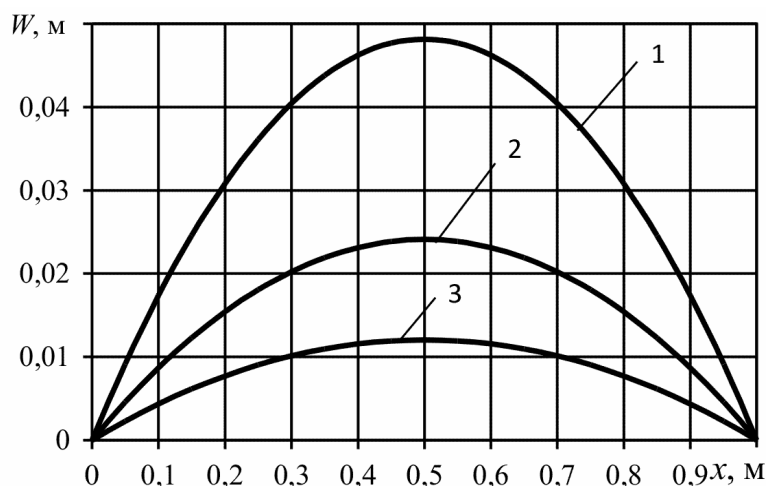


Рисунок 2 – График зависимости прогибов ленты от координаты x :

1 – трубчатая лента без учета сил трения; 2 – трубчатая лента с учетом сил трения; 3 – гибкая нить

Подставляя в (20)–(22) $x = l_p/2$, получим максимальные прогибы трубчатой ленты и гибкой нити, нагруженной той же самой распределенной нагрузкой, что и трубчатая лента:

– трубчатая лента без учета сил трения

$$w_{\max} = \frac{\pi R^2 \gamma l_p^2}{2 S_l}; \quad (23)$$

– трубчатая лента с учетом сил трения

$$w_{2\max} = \frac{\pi R^2 \gamma l_p^2}{4S_l}; \quad (24)$$

– гибкая нить

$$w_{3\max} = \frac{\pi R^2 \gamma l_p^2}{8S_l}. \quad (25)$$

Из формул (23)–(25) следует, что максимальный прогиб трубчатой ленты, полностью заполненной сыпучим грузом, в случае отсутствия сил трения сыпучего груза о ленту в два раза больше максимального прогиба трубчатой ленты с учетом сил трения и в четыре раза больше максимального прогиба гибкой нити, нагруженной той же распределенной максимальной погонной нагрузкой, что и лента трубчатого конвейера.

Согласно [8] допустимый максимальный прогиб ленты f_d находится в пределах $f_d = (0,0125 \div 0,025)l_p$ или

$$f_d = k_p l_p, \quad (26)$$

где $k_p = 0,0125 \div 0,025$.

Подставляя в формулы (23)–(25) вместо $w_{1\max}$, $w_{2\max}$, $w_{3\max}$ f_d из выражения (26) и определяя из полученных равенств l_p , получим максимальные допустимые расстояние между роlikоопорами для:

– трубчатой ленты без учета сил трения

$$l_{1\max} = \frac{2S_l k_p}{\pi R^2 \gamma}; \quad (27)$$

– трубчатой ленты с учетом сил трения

$$l_{2\max} = \frac{4S_l k_p}{\pi R^2 \gamma}; \quad (28)$$

– гибкой нити

$$l_{3\max} = \frac{8S_l k_p}{\pi R^2 \gamma}. \quad (29)$$

Полагая $S_l = 20000$ Н; $R = 0,25$ м; $\gamma \approx 10000$ Н/м³; $k_p = 0,025$, согласно формул (27)–(29) имеем

$$l_{1\max} \approx 0,5 \text{ м}; \quad l_{2\max} \approx 1,0 \text{ м}; \quad l_{3\max} \approx 2,1 \text{ м}.$$

Выводы

1. Разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния заполненной сыпучим грузом ленты при ее движении по роlikоопорам трубчатого конвейера. При этом лента представляет собой тонкую упругую цилиндрическую нерастяжимую оболочку, а сыпучий груз находится в предельном состоянии.

2. Получены аналитические зависимости прогибов ленты трубчатого конвейера от натяжения и радиуса ленты, ее упругих свойств, расстояния между роlikоопорами, а также физико-механических свойств сыпучего груза. При этом установлено, что максимальный прогиб трубчатой ленты, полностью заполненной сыпучим грузом, в случае отсутствия сил трения сыпучего груза о ленту в два раза больше максимального прогиба трубчатой ленты с учетом сил трения и в четыре раза больше максимального прогиба гибкой нити, нагруженной той же распределенной максимальной погонной нагрузкой, что и лента трубчатого конвейера.

3. На основании полученной зависимости определено максимально допустимое расстояние между роlikоопорами трубчатого конвейера. При этом установлено, что максимально допустимое расстояние между роlikоопорами пропорционально натяжению ленты, обратно пропорционально квадрату радиуса ленты и объемного веса транспортируемого груза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В. Г. Моделирование напряженного состояния конвейерной ленты трубчатого конвейера / В. Г. Дмитриев, Д. С. Кулагин // ГИАБ. – М.: МГТУ, 2004. – №7. – С. 283–286.

2. Шешко Е. Е. Крутонаклонный конвейер с лентой, имеющей форму глубокого желоба / Е. Е. Шешко, В. М. Гушин // Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта. – М.: Недра, 1973. – С. 120–125

3. Дмитриев В.Г. Методы анализа объемного напряженного состояния сыпучего груза в закрытом желобе трубчатого ленточного конвейера / В.Г. Дмитриев, А.В. Дьяченко // ГИАБ. – М.:МГТУ, 2004. –№12.– С.241–243.

4. Черненко В.Д. Теория и расчет крутонаклонных конвейеров / В. Д. Черненко. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. – 292 с.

5. Тимошенко, С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Физ.-мат. литература, 1963. – 635 с.
6. Власов В. З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике / В. З. Власов. – М.: Из-во Академии наук СССР, 1962. – Т.1. – 564 с.
7. Биргер И.А. Сопротивление материалов. Учебное пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат. лит., 1986.–560с.
8. Шахмейстер, Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

REFERENCES

1. Dmytryev V.H. Modelyrovanye napriazhennoho sostoiannya kon-veiernoi lenty trubchatoho konveiera / V.H. Dmytryev, D.S Kulahyn // НУАВ. – М.: МННУ, 2004. – №7. – S. 283–286.
2. Sheshko E.E. Krutonaklonnyi konveier s lentoi, ymeiushchei formu hlubokoho zheloba / E.E. Sheshko, V.M. Hushchyn // Razvytye y sovershenstvovanye shakhtnoho y karernoho transporta. – М.: Nedra, 1973. – S. 120–125.
3. Dmytryev V.H. Metody analiza ob'ємnoho napriazhennoho sostoiannya syrupcheho hruza v zakrytom zhelobe trubchatoho lentochnoho kon-veiera / V.H. Dmytryev, A.V. Diachenko // НУАВ. – М.: МННУ, 2004. – №12. – S. 241–243.
4. Chernenko V.D. Teoriya y raschet krutonaklonnykh konveierov / V.D. Chernenko. – L.: Yzd-vo LNU, 1985. – 292 s.
5. Tymoshenko, S.P. Plastyny y obolochky / S.P. Tymoshenko, S.Voinovskiy-Kryher. – М.: Fyz.-mat. lyteratura, 1963. – 635 s.
6. Vlasov V. Z. Obshchaia teoriya obolochek y ee prylozheniya v tekhnike / V. Z. Vlasov. – М.: Yz-vo Akademyy nauk SSSR, 1962. – Т.1. – 564 s.
7. Byrher Y.A. Soprotivlenye materyalov. Uchebnoe posobyе / Y. A. Byrher, R. R. Mavliutov. – М.: Nauka. Hl. red. fyz.-mat. lyt., 1986. – 560 s.
8. Shakhmeister, L.H. Teoriya y raschet lentochnykh konveierov / L.H. Shakhmeister, V.H. Dmytryev. – М.: Mashynostroenye, 1987. – 336 s.

THE COMPUTER SYSTEM FOR COULOSTATIC EXPERIMENTS. THE ADSORPTION MEASUREMENTS UNIT

Annotation. Mathematical model and corresponding computer application for determination of adsorption characteristics in coulостatic experiments on solid electrodes were developed. The model simulates coulостatic relaxation of the electrodes' potential while adsorption is considered as slow stage. Impact of the surface inhomogeneity on potential curves behavior is discussed.

Key words: relaxation, adsorption, simulation.

1. Introduction

Kinetic effects caused by adsorption phenomena at the electrode/electrolyte interface make it possible to control the rate of the electrochemical processes as well as properties and structure of metal deposits. That is why studies on kinetics of electrochemical reactions taking place under adsorption of electrochemically inactive organic surfactants attract continuing interest despite the results already achieved. One of the most important tasks in this research direction is determination of quantitative relations between the inhibition coefficient and the surface coverage with organic substance (θ). Conventional technique is based on measurement of the double layer capacitance within the framework of the two parallel capacitors model. The coulостatic relaxation technique seems to be very promising for application in this area. It is based on injection of electric charge of controlled value into electrode system following with potential registration while charging circuit is open.

However, in the case of solid crystalline electrodes the interface reacts rather like so called constant phase element (CPE) than like a capacitor. It was shown earlier ([1]), that for adequate description of the relaxation process under coulостatic conditions one should replace the time derivative in corresponding equation with the functional

$$\frac{D^n E}{Dt^n} \equiv \frac{1}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{dE(\tau) / d\tau}{(t-\tau)^n} d\tau \quad (1)$$

where n is a dimensionless parameter varying within interval from 0.5 to 1; Γ – Euler's gamma-function.

2. The problem

Kinetic and adsorption parameters of the electrode reactions under investigation were determined with use of an automated measuring system [2]. If the impedance of the electrode corresponds to the Ersler – Randles model then the relation between time and relaxation potential is described by

$$C_d \frac{dE}{dt} = - \frac{E}{R_F} \quad (2)$$

where R_F is the faradaic resistance; C_d is the double layer capacitance. Solution of (2) can be obtained easily:

$$E(t) = E_0 \exp(-t/R_F C_d) \quad (3)$$

E_0 is the initial potential of the relaxation.

The double layer capacitance can be used for determination of θ being represented as sum of capacitance for pure metal surface and that of covered with organic substance one (two capacitors joined in parallel). Then:

$$\theta = (C_d^0 - C_d^\theta) / (C_d^0 - C_d^1) \quad (4)$$

where C_d^0 , C_d^θ and C_d^1 are the values of C_d at coverages 0, θ and 1, respectively. C_d^0 , C_d^θ can be found from (3) directly; C_d^1 can be obtained by extrapolation from capacitance/ bulk concentration of organic substance diagram.

The fact that interface of solid electrodes with electrolytes does not behave like a capacitor in the most of cases changes the measurement routine radically; formal substitution of the time derivative in (2) by the functional (1) leads to the problem of n predetermination to arise. The old technique still works in the case of $n=1$ only. At $n<1$ the dissipation of the electric energy takes place even for very short injection pulses and goes on at relaxation stage. As it has been shown earlier [3], for $n<1$ the potential decreases slower in comparison with corresponding exponent of (3) type. Obviously, recording of relaxing potential must occur in wider time range and choice of its width set another problem for experimenter.

These problems can be solved on the basis of computer control of the coulometric experiment. That means that few relaxation curves in series should be registered only. 2-3 of them must be used for the time window determination, next 2-3 ones – for the coverage to be calculated.

To estimate the impact of the inhomogeneity on relaxation of the potential let's present corresponding equation in form

$$K_{\theta} (D^n E / Dt^n) + E / R_F = 0 \quad (5)$$

where

$$K_{\theta} = \theta K_{org} - (1-\theta) K_{pure} \quad (6)$$

indices at K_{org} , K_{pure} reflect that value of K corresponds to covered with organic substance or pure metal surface. Measurements at different θ allow to calculate θ , as usual:

$$\theta = (K_{pure} - K_{\theta}) / (K_{pure} - K_{org}) \quad (7)$$

Laplace transformation of (5) represents potential transform in the form

$$\bar{E}(s) = \frac{s^{n-1} \cdot E_0}{s^n + 1 / KR_F} \quad (8)$$

In general case it was shown [1] that time dependence of the potential can be expressed as linear combination of Mittag-Leffler's functions. Here we consider the case of maximal inhomogeneity of the surface: $n=0.5$. For this value (8) can be rewritten as

$$\bar{E}(s) = \frac{E_0}{s^{0.5} (s^{0.5} + 1 / KR_F)} \quad (9)$$

In time domain (9) transforms into

$$E(t) = E_0 \exp(a^2 t) \operatorname{erfc}(at^{0.5}) \quad (10)$$

where $a = 1 / KR_F$. Right part of (10) is well-known tabulated function. To register the same decrease of (10) as for (3) one must use time window two orders wider than that of exponent.

In general case $-0.5 < n < 1$ – calculation of θ includes an algorithm for reconstruction of electrochemical system's impedance in complex plane where $\operatorname{Re}(s) = 0$ with following application of available program packages to simulate alternative electrical circuits of the object under investigation.

The reconstruction of the impedance includes such steps.

1. Definition of a set of functions with next properties:
 - a) approximation of relaxation curves under the given error level;
 - b) the set must include functions describing the potential relaxation for simple models (for example, $n=0.5; 1$);
 - c) the set must make it possible to represent Laplace transforms as a linear combination of analytical functions.
2. Numerical filtration of registered signal with some LF filter.
3. Normalization of records to $E_0=1$.
4. Approximation with linear combination of probing functions.
5. Reconstruction of the impedance as linear combination of corresponding transforms.

Such approach allows to avoid improper integrals to be calculated; including additional probing functions to the set makes possible decrease of the approximation error to given restriction.

3. Results

Model's adequacy was checked by comparison of real experimental data with output of computer simulation. Routines described above were developed as procedures of specialized unit within computer system for coulometric measurements. Use of uniform data during the whole cycle of experiment series makes the simulation process more convenient for researcher and more effective with regard to time of calculation as well as reliability of results.

REFERENCES

1. Kapitonov A.G. Mathematical model of electrical charge relaxation on solid phase electrodes. Adequacy issues. //System technologies. –2 (67). – Dnepropetrovsk, 2010. – p. 96-99.
2. Obraztsov V., Kapitonov A., Parfyonov Yu., Danilov F. Automated system for coulometric measurements. // Elektrokimiya. - V.27. -№10.- 1991. - p. 1378-1380.
3. Kapitonov A.G. Specificity of computer processing of electrical charge relaxation curves at solid electrodes. //System technologies. –2 (73). – Dnepropetrovsk, 2011. – p. 32-35.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКСТУРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ КОЛЕКТОРНИХ ПЛАСТИН

Summary. The article discusses the theoretical foundations and methodologies for designing highly efficient resource-saving technological processes for finishing the collector plates of electrical machines, as well as the formation of a microrelief on the lateral surface of the collector plates in the area of the abrasive-air jet and the relationship between the factors and their degree of influence on the intensity. Formed a model for finishing the side surfaces of collector plates treated with silicon carbide (black).

Keywords: simulation, analysis, finishing, collector plate, abrasive particle, silicon carbide.

Колектори електромашин працюють при механічних навантаженнях і високих окружних швидкостях, схильні до динамічних впливів і тому набираються з профілю трапецеїдальної форми перерізу, кутові розміри якого повинні бути виконані з високою точністю. Виготовлення профілю звичайними способами не забезпечує необхідну точність. Найменші відхилення в розмірах від конструкторських в процесі складання колектора в арковому або клиновому з'єднаннях приводять до радіальних переміщень контактних поверхонь пластин в колекторі при динамічних навантаженнях.

Задачею роботи є підвищення монолітності конструкції колектора за рахунок збільшення мікрорельєфу контактних поверхонь методом струйно-абразивного текстурування, що в свою чергу сприятиме підвищенню технологічності й надійності ресурсу колектора.

Широкі технологічні можливості струйно-абразивної обробки залежать від встановлення технологічних параметрів (розмір абразивних часток, швидкості руху часток, концентрація, тиск стислого повітря, кут атаки, фізико-механічні властивості часток і оброблюваної поверхні) та вихідними параметрами процесу (шорсткість обробленої поверхні, вели-

чин знімання металу та наклепу). Що в свою чергу зумовлює необхідність оптимального вибору величин технологічних параметрів в умовах текстурування бокових поверхонь мідних ламелей. Основні закономірності можуть бути встановлені в результаті регресійного аналізу експериментальних даних. Проте використання отриманих закономірностей обмежується трудомісткістю процесу та порівняно вузькими областями зміни параметрів проведення експерименту.

Формулювання об'єкта статті. Метою роботи є визначення факторів, які визначають процес утворення мікрорельєфу в зоні дії струйно-абразивної обробки, взаємозв'язок між ними та ступінь їх впливу на інтенсивність формування мікрорельєфу; формування моделі текстурування поверхонь колекторних пластин, створення теоретичних основ і методології проектування високоефективних ресурсозберігаючих технологічних процесів виробництва колекторів вузлів електричних машин.

Аналіз публікацій за темою дослідження. Вагомий внесок у розвиток теорії моделювання струменево-абразивної обробки поверхні зробили такі науковці, як, зокрема, Проволоцький О.Є. [1], Денисюк В.Ю., Харчик М.М., Буць Б.П. [2], Андилахай А.А., Новиков Ф.В. [3], Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. та інші.

Основні підходи до теоретичного описання і дослідження процесів абразивно-струминного оброблення викладені в труді [1], де запропоновані залежності, які дають змогу наближено параметри оброблення; проведено імітаційне моделювання контактної взаємодії одиної частинки абразиву із оброблюваною поверхнею для дослідження зміни розмірів поверхні та шорсткості під часу абразивно-струминного оброблення.

Аналогічний підхід запропоновано авторами [4,5] для струйно-абразивної обробки поверхонь.

Основна частина. Найбільш універсальним підходом, заснованим на визначенні пошукових залежностей і рішенні задачі оптимізації технологічних параметрів процесу струйно-абразивної обробки в результаті статистичного імітаційного моделювання, а саме можли-

вість керування вхідними параметрами до початку роботи моделі чи у процесі роботи – одна із ключових переваг використання імітаційного моделювання для аналізу систем та процесів. Це дає можливість визначити оптимальні параметри, за яких досягається максимальна ефективність роботи процесів, визначити залежність між вхідними та вихідними параметрами.

Представлена модель розроблена для обчислення зміни і шорсткості оброблюваної поверхні при текстуруванні колекторних пластин, шляхом дії ударної ерозії на оброблювану поверхню унаслідок вживання як наповнювача струменя – карбіду кремнію.

Реальні технологічні особливості процесу фінішної обробки колекторних пластин, зокрема, дискретна природа потоку частинок, указують на необхідність виконання послідовно одиничних актів конкретної взаємодії на елементарній ділянці оброблюваної поверхні. При такому підході зміна шорсткості і оброблюваної поверхні може бути визначена як:

$$Ra_t(d, V) = \sum_{j=1}^N r(d, V) \rightarrow \max \quad (1)$$

де N – кількість одиничних актів контактної взаємодії на елементарній площадці;

r – величина лунки після одиничного акта контактної взаємодії;

d – величина абразивної частинки;

V – швидкість абразивного потоку.

При цьому знімання матеріалу, приймається як обмеження

$$G_t(d, V) \geq \min \quad (2)$$

При цьому величина r обумовлена технологічними параметрами процесу, шорсткістю поверхні і її властивостями.

Таким чином, в основу математичної моделі процесу взаємодії абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії, що дозволяє визначати величину r .

Якщо обмежити види даних поверхонь, що піддаються обробці, порівняно простими, що забезпечують досить однорідні умови обробки на всій поверхні (в даному випадку площини), то величина загальної шо-

рсткості зі всієї поверхні може бути визначена, якщо відомий час t , необхідний для обробки:

$$R_a = t * \sum_{i=1}^N (r)_i \quad (3)$$

де N - кількість одиничних актів контактної взаємодії в одиницю часу;

Кількість часток, що подаються на оброблювану поверхню в одиницю часу, знаходимо як частка від ділення секундної витрати U на масу однієї абразивної частки :

$$N_c = \frac{U}{m_i} = \frac{6 * U}{\pi * d_f^3 * \rho_f} \quad (4)$$

$$\text{Тут } U = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} m_i}{t} - \text{визначається експериментально як частка від ді-}$$

лення маси абразивного матеріалу $\sum_{i=1}^{N_c} m_i$ на час t , за яке ця маса викидається сопловим апаратом.

Зміна шорсткості поверхні в процесі обробки взаємозв'язана з обмеженням знімання матеріалу і повинна бути врахована при розробці математичної моделі.

Виходячи з викладеного, в основу математичної моделі процесу текстуровання обробки потоком абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії, що дозволяє визначити величину $(r)_i$.

Враховуючи складний характер процесів, що протікають при обробці потоком абразиву, доцільно відособити деякі сторони явища, що вивчаються, задавши, таким чином, певну структуру математичної моделі. В загальному випадку математична модель має в своєму складі взаємозв'язані елементи, що описують: оброблювану поверхню; потік абразивних часток; контактну взаємодію; зніманню шорсткості з оброблюваної поверхні.

Особливості шорсткої поверхні після струйно-абразивної обробки показані на (рис. 1).

Це дозволяє істотно спростити подальшу побудову моделі контактної взаємодії. Якщо розглядати гранні частині карбіду кремнію

(чорного), як частинку сферичної форми (радіус описаної окружності, рис. 2).



а



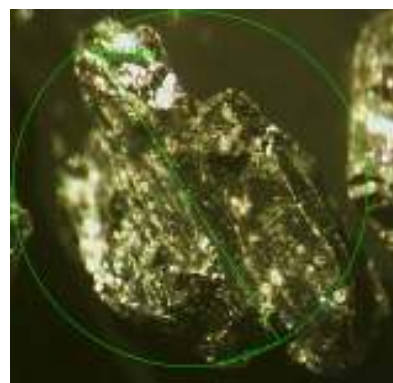
б

Рисунок 1 - Мікроструктура шорсткої поверхні колекторної пластини, обробленої абразивними частками карбіду кремнію (чорний); М1 а - х 20, б – х 40

Шорстка поверхня оброблюваного матеріалу моделювалася сукупністю сферичних западин, параметри яких підкоряються нормальному закону розподілу і визначаються в результаті аналізу профілограм поверхні. Профілограми знімаються (наприклад, за допомогою 3D профілометра) не менше, чим в п'яти характерних зонах поверхонь у взаємоперпендикулярних напрямках. Оптичний інтерференційний профілометр «Мікрон-альфа», який використовується до апаратурних засобів інтерференційної профілометрії, на підґрунті когерентного і некогерентного випромінювання (рис. 3).



а



б

Рисунок 2 - Мікроструктура абразивної частки карбіду кремнію (чорний); а - х 20, б – х 40

Дані засоби контролю дозволяють відновлювати мікротопографії поверхні методом обробки послідовності інтерференційних даних. При цьому точність і роздільна здатність визначаються довжиною хвилі випромінювання і є досить високими.

У результаті обробки профілограм отримуємо набори значень висот і розмірів основ (на рівні середньої лінії профілю) нерівностей.

Для кожної мікронерівності всіх профілограф визначається величина приведенного радіусу [3]:

$$r_{ij} = \frac{\gamma_{bj} * d_{ij}}{\gamma_{rj} * h_{ij}} \quad (5)$$

де γ_{bj} і γ_{rj} - коефіцієнти вертикального і горизонтального збільшення для j -тої профілографи, що аналізується; d_{ij} і h_{ij} - розміри основи на рівні середньої лінії профілю і висоти i - мікронерівності j -тої профілограми.

Для кожної профілографи обчислюються оцінки математичного чекання і дисперсії

$$R_j = \frac{1}{n_j} * \sum_{i=1}^{n_j} r_{ij} \quad (6)$$

$$D_j = \frac{1}{n_j - 1} * \sum_{i=1}^{n_j} (r_{ij} - R_j)^2 \quad (7)$$

де n_j - кількість значень розмірів основи і висот для j -тої профілограми.

Для кожної з п'яти зон поверхні, в якій збудовані профілограми у взаємноперпендикулярних напрямках, визначаються приведені оцінки математичного чекання і дисперсії радіусу:

$$R_k = \sqrt{R_{npj-1} * R_{nj}} \quad (8)$$

$$D_k = \sqrt{D_{npj-1} * D_{nj}} \quad (9)$$

де R_{npj-1} і R_{nj} - оцінка математичних чекань радіусів для профілограм (j -тої і $j-1$ - тої) у взаємноперпендикулярних напрямках.

Як параметри нормального закону розподілу вірогідності для радіусів сферичних сегментів моделі шорсткої поверхні застосовуються

середні значення оцінок математичних чекань і відповідних дисперсії для п'яти характерних зон поверхні:

$$R = \frac{1}{5} * \sum_{k=1}^5 R_k \quad (10)$$

$$D = \frac{1}{5} * \sum_{k=1}^5 D_k \quad (11)$$

Аналогічно, по формулах визначаються параметри закону розподілу для величини радіусу основи сегменту.

Всі сферичні западини моделі шорсткості поверхні в межах елементарного майданчика мають постійний радіус основи R_c , і різні радіуси сфер R_{ci} . У вибраній системі координат центри основ сегментів розташовуються з однаковим кроком у напрямі осей OX, OY, OZ (рис. 3).

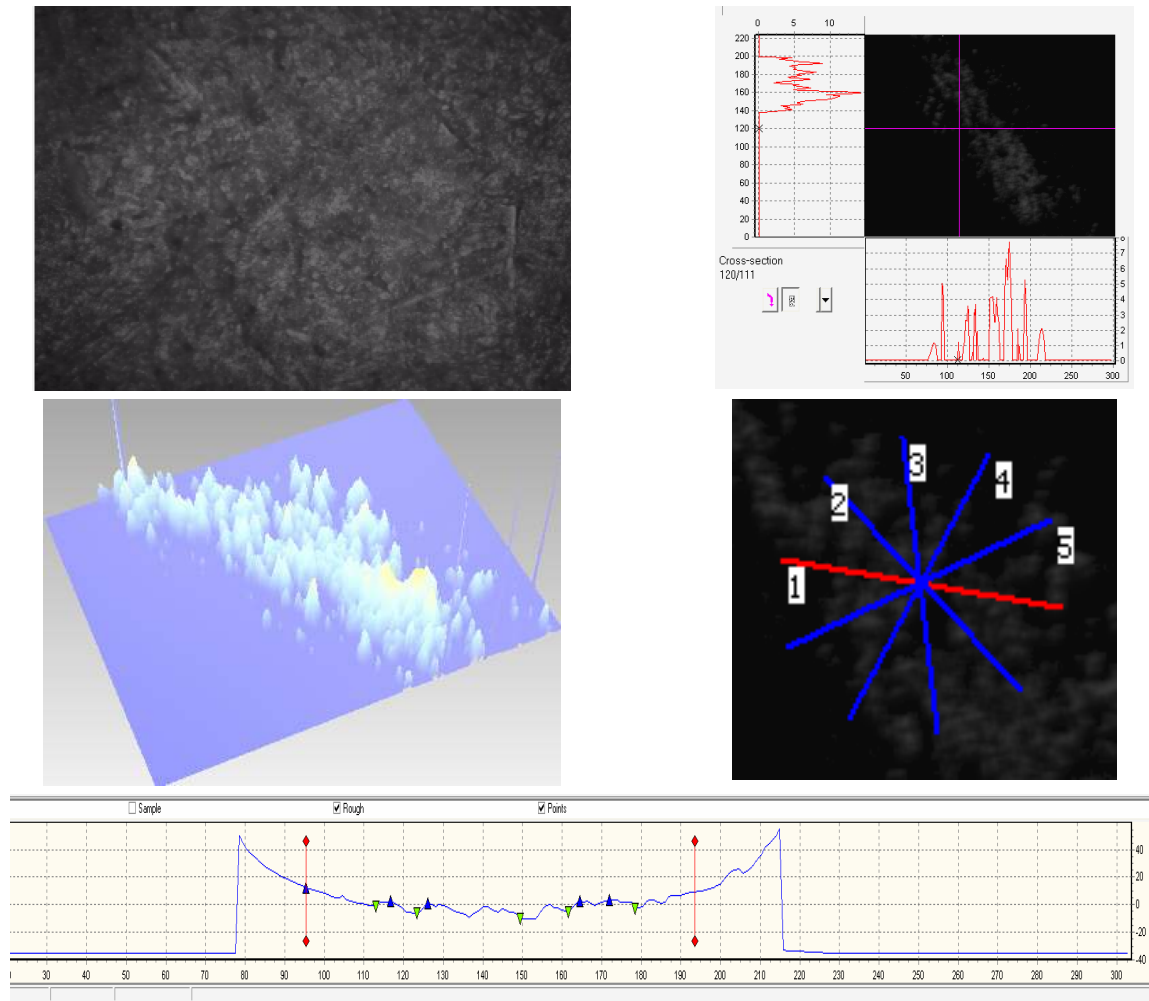


Рисунок 3 - Мікрорельєф шорсткої поверхні колекторної пластини, обробленої абразивними частками карбіду кремнію

Це дозволяє зберегти в пам'яті комп'ютера інформацію, що описує всі зміни з кожним сферичним сегментом при дії абразивних часток.

Тому після моделювання обробки (а також в процесі моделювання) можливо визначати результуючу (або поточну) шорсткість поверхні, обробивши наявні в пам'яті масиви даних про висоту «нерівностей» моделі шорсткої поверхні по стандартній методиці здобуття показників шорсткості по профілограмам.

Перевірка моделі шорсткої поверхні підтвердила можливість адекватного опису з її допомогою шорсткості реальних поверхонь.

Стандартний типорозмір абразивних матеріалів містить зазвичай 65% - основної, 30% - дрібної і 5% - крупної фракції.

Таким чином, величини процентного вмісту фракцій в абразивному матеріалі еквівалентні величинам вірогідності появи часток, відповідних даних фракції.

Реалізації розмірів часток потоку відтворюються прийомами статистичного моделювання [6] в два етапи.

На першому - по величині випадкового (точніше, псевдовипадкового) числа з рівномірним законом розподілу вірогідності, який відтворюється за допомогою стандартного генератора псевдовипадкових чисел математичного забезпечення комп'ютера, визначається тип фракції. На другому етапі встановлюється значення розміру діаметру сфери частки усередині діапазону, відповідного вибраній на першому етапі фракції:

$$d_{rj} = d_{k-1} + \frac{d_k - d_{k-1}}{P_k - P_{k-1}} * (\alpha - P_{k-1}) \quad (12)$$

де r - граничні значення радіусів, відповідні даних фракції часток; d_k - вірогідність появи $k-1$ -ої і k -тої фракції часток, відповідно: α - псевдовипадкове число з рівномірним (на інтервалі /0,1/) законом розподілу вірогідностей.

Показники фізико-механічних властивостей матеріалу абразивних часток (твердість, щільність, коефіцієнт Пуансона, модуль пружності, міцність на зріз) є випадковими величинами з нормальним законом розподілу вірогідності, які відтворюються за допомогою датчиків випадкових чисел. Параметри закону розподілу (математичне

чекання і дисперсія) встановлюються по відомих методиках і довідкових даних. По встановлених так само діаметру частки і щільності (ρ_p) матеріалу розраховується маса рухомої частки:

$$m_1 = \frac{\pi * d_p^3 * \rho_p}{6} \quad (13)$$

Подальше дослідження передбачається виконувати для абразивних часток, які рухаються з постійною швидкістю і кутом атаки (по відношенню до оброблюваної поверхні).

В результаті аналізу науково-технічної літератури [7,8] встановлено, що при використанні сопла Лавалю, газова течія є стаціонарним і одновимірним, тобто в будь-якій фіксованій точці сопла всі параметри потоку постійні в часі і змінюються тільки уздовж осі сопла, причому у всіх точках обраного поперечного перерізу параметри потоку однакові, а вектор швидкості газу всюди паралельний осі симетрії сопла, тобто швидкість часток на зрізі сопла можна прийняти рівній швидкості виділення стислого повітря через це сопло:

$$v_r = \sqrt{\left(2 * \frac{k}{k-1} * R * T_0\right) \left(1 - \frac{p}{p_0}^{\frac{k-1}{k}}\right)} \quad (14)$$

де k - показник адіабати, для повітря $k=1,4055$;

$R=287$ Дж/(кг*К) - питома газова постійна;

p_0 і T_0 - тиск і температура стислого повітря до попадання в сопло Лавалю;

$P=0,1$ МПа - тиск повітря на зрізі сопла, рівний атмосферному тиску.

При підстановці значень R , k , p і вважаючи, що $T_0=293$ К, вираження (14) спрощується й приймає вигляд:

$$v_r = 763,5 \sqrt{1 - \frac{0,1^{0,2}}{p_0}} \quad (15)$$

Величина кута атаки частки залежить від технологічних особливостей модельованого процесу обробки. Наприклад, в разі дослідження обробки потоком частинок, сформованим сопловим апаратом, приймаємо, що всі частки потоку мають однаковий кут атаки. При цьому величина кута може змінюватися в широких межах (практично від 0 до 180 град), але звичайно вибирається від 15° до 90°.

Довжина струменя встановлюється у взаємозв'язку з кутом атаки α і відстанню L' від торця сопла до оброблюваної поверхні:

$$L = \frac{L'}{\sin \alpha}, \quad (16)$$

Таким чином, довжина струменя, в даній моделі, безпосередньо не задається, а розраховується по вираженню (16). У нашому випадку, при $\alpha=90$, відстань від торця сопла до оброблюваної поверхні дорівнює довжині струменя).

Кількість відтворних при моделюванні абразивних часток, тобто кількість актів одиначної контактної взаємодії, обумовлена концентрацією абразивного матеріалу в потоці, величиною витрати в одиницю часу через зріз сопла також часом і маршрутом переміщення сопла по оброблюваній поверхні. Вважаючи, що абразивні частки рівномірно розподілені в потоці, моделюємо їх концентрацію як кількість часток, що знаходяться в одиниці об'єму. Потік абразивних часток, що викидаються сопловим апаратом, є усіченим корпусом, об'єм якого рівний:

$$V = \frac{\pi * L}{12} (d^3 + D^2 * d), \quad (17)$$

У свою чергу діаметр плями контакту D струменя абразивних часток залежно від діаметру на зрізі соплового апарату d і довжини струменя L знаходимо як:

$$D = d + zL * \operatorname{tg} \beta \quad (18)$$

де β - центральний кут розкриття сопла, який зазвичай вибирають в межах 6-8 градусів.

Після підстановки і перетворень вираження (17) набуває вигляду:

$$V = \frac{\pi * L}{12} * (3d^2 + 6d * L * \operatorname{tg} \beta + 4L^2 * \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (19)$$

Знаючи швидкість, з якої частки виходять з соплового апарату v_r (15) і вважаючи цю швидкість постійною, знаходимо час, протягом якого горизонтальний шар часток переміститься від зрізу соплового апарату до оброблюваної поверхні:

$$\Delta t = \frac{L}{V} \quad (20)$$

А, знаючи кількість часток, що викидаються сопловим апаратом в одиницю часу, можна знайти кількість часток, що знаходяться в об'ємі розглянутого вищу конуса:

$$N_e = N_c * \Delta t = N_c * \frac{L}{V} \quad (21)$$

Тоді кількість часток, що знаходяться в одиниці об'єму:

$$k = \frac{N_e}{V} = \frac{12 * N_c * \frac{L}{V}}{\pi * L * (3d^2 + 6d * L * \operatorname{tg} \beta + 4L^2 * \operatorname{tg}^2 \beta)} \quad (22)$$

Після перетворень отримуємо:

$$k = \frac{72 * U}{\pi^2 * d_f^2 * \rho_f * v_f (3d^2 + 6d * L * \operatorname{tg} \beta + 4L^2 * \operatorname{tg}^2 \beta)} \quad (23)$$

Де швидкість v_f знаходимо відповідно до формули (15). Значення показників фізико-механічних властивостей поверхневого шару та матеріалу (такі як твердість, міцність на зріз, щільність, коефіцієнт Пуассона, модель пружності) являються реалізаціями випадкових величин з нормальним законом розподілу, визначаються в результаті дослідження поверхні (наприклад, для твердості) чи по довідковій технічній літературі.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі вирішено важливо науково-технічну задачу, пов'язану з підвищенням якості поверхні, а також експлуатаційних властивостей мідних колекторних пластин, що полягає у формуванні оптимального мікрорельєфу шляхом застосування струйно-абразивної обробки. У результаті імітаційного моделювання процесу струйно-абразивного текстурювання бокових поверхонь мідних пластин встановлено, що необхідний довільний мікрорельєф поверхні для забезпечення нерухомості між мідними колекторними пластинами і пластинами слюдо пласти утворюється в результаті контактної взаємодії абразивних частинок з поверхнею без значного знімання матеріалу. Застосування розробленої моделі розрахунку для процесів текстурювання дозволяє прогнозувати властивості поверхневого шару колекторних пластин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проволоцкий А. Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А. Е. Проволоцкий. – К. : Техника, 1989. – 177 с.
2. Денисюк В. Ю. Аналіз існуючих технологій очищення поверхонь в сучасному машино- та приладобудуванні / В. Ю. Денисюк, М. М. Харчик, Б. П. Буць // Перспективні технології та прилади. - 2015. - Вип. 6. - С. 9-13. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2015_6_4
3. Андилахай А. А. Теоретические и экспериментальные исследования динамики струйно-абразивной обработки / А. А. Андилахай, Ф. В. Новиков // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер. Техн. науки. - 2010. - Вип. 20. - С. 206-212.
4. Имитационное моделирование процесса обработки потоком абразивных частиц / А.Э. Проволоцкий, А. Г. Ясев, В. С. Гришин, И. А. Маринченко // Изв. вузов. Машиностроение. – 1987. – № 4. – С. 112–116.
5. Иванов В.В. Компьютерное имитационное моделирование процесса гидроабразивного резания / В. В. Иванов, М. К. Решетников // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2015. – №2(79). – С. 46-49.
6. Проволоцкий А.Е., Лапшин П.С. Моделирование потока абразивных частиц. Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наук. пр. - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- Вип. 42. - с. 252-255.
7. Бойко А.В. Гідрогазодинаміка: підручник. Х.: НТУ"ХПІ", 2007.– 444 с.
8. Макаренко Р.О. Гідрогазомеханіка: навч. посіб. /Р.О. Макаренко, О.Д. Коваль, О.І. Хлистун. – К.: НАУ, 2016. – 220 с.

REFERENCES

1. Provolotskiy A. E. Struyno-abrazivnaya obrabotka detaley mashin / A. E. Provolotskiy. – K. : Tehnika, 1989. – 177 s.
2. Denysiuk V. Yu. Analiz isnuuiuchykh tekhnolohii ochyshchennia poverkhon v suchasnomu mashyno- ta pryladobuduvanni / V. Yu. Denysiuk, M. M. Kharchyk, B. P. Buts // Perspektyvni tekhnolohii ta prylady. - 2015. - Vyp. 6. - S. 9-13. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2015_6_4

3. Andilayah A. A. Teoreticheskie i eksperimentalnyie issledovaniya dinamiki struyno-abrazivnoy obrabotki / A. A. Andilayah, F. V. Novikov // VIsn. Priazov. derzh. tehn. un-tu. Ser. Tehn. nauki. - 2010. - Vip. 20. - S. 206-212.
4. Imitatsionnoe modelirovanie protsessa obrabotki potokom abrazivnyih chastits / A.E. Provolotskiy, A. G. Yasev, V. S. Grishin, I. A. Marinchenko // Izv. vuzov. Mashinostroenie. - 1987. - # 4. - S. 112-116.
5. Ivanov V.V. Kompyuternoe imitatsionnoe modelirovanie protsessa gidroabrazivnogo rezaniya / V. V. Ivanov, M. K. Reshetnikov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo univer-siteta. - 2015. - #2(79). - S. 46-49.
6. Provolotskiy A.E., Lapshin P.S. Modelirovanie potoka abrazivnih chastits. Progresivni tehnologii I sistemi mashinobuduvannya: Mizhnarodniy zb. nauk. pr. - Donetsk: DonNTU, 2011.- Vip. 42. - s. 252-255.
7. Boyko A.V. GIdrogazodinamika: pIdruchnik. H.: NTU"HPI", 2007. -444 s.
8. Makarenko R.O. GIdrogazomehanika: navch. posIb. /R.O. Makarenko, O.D. Koval, O.I. Hlistun. - K.: NAU, 2016. - 220 s.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена многокритериальная задача оптимизации конструкции загрузочных устройств ленточных конвейеров при нагружении их сыпным грузом. Решение задачи выполнялось в два этапа: оптимизация структурной схемы по критериям совершенства конструкции загрузочных устройств, при минимальной стоимости их изготовления и выбор наилучших вариантов решений с учетом критерия – разность скоростей груза и ленты в проекции на плоскость ее движения, при которой износ ленты и желоба будет минимальный. Установлено, что значение коэффициента совершенствования загрузочных устройств изменяется в пределах 0,86-0,88, а максимальный срок службы желоба в зависимости от типа загрузочного устройства и абразивности груза может изменяться в пределах от 8000 ч до 15000 ч.

Ключевые слова: конвейерная лента, загрузочное устройство, оптимизация, критерий, износ, горная масса.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы оптимизации параметров загрузочных устройств подробно изложены в [1,2,3], в которой приведены уравнения цели по критериям производительности, силе взаимодействия груза с лентой, углу загрузки груза на ленту, геометрическим параметрам, а также ограничения области варьируемых параметров. Решение задачи оптимизации загрузочных устройств выполнено методом случайного поиска наилучших решений, позволяющим с минимальными затратами определить множество Парето. Однако выполненные исследования не учитывают структурной надежности загрузочного устройства и износа желоба под действием сыпного груза.

Постановка задачи оптимизации загрузочных устройств ленточных конвейеров представлена в следующем виде: горная масса из бункера пластинчатым питателем перегружается на приемный ленточный

конвейер через загрузочное устройство, элементы которого, с точки зрения надежности, структурно соединены причинно-логическими связями (без резервирования, с резервированием, переключением и другие). Под воздействием насыпного груза желоб загрузочного устройства подвергается износу на пути трения.

Цель исследований: повысить эффективность работы ленточных конвейеров путем оптимизации срока службы конвейерной ленты при различных конструкциях загрузочных устройств и условий их эксплуатации.

Содержание основного материала. Решение поставленной многокритериальной задачи выполнялось в два этапа. На первом этапе для оптимизации структурной схемы привлекались критерии технического совершенства конструкции (наиболее близкое соответствие конвейера мировым и отечественным стандартам) и минимальной стоимости $C_{заг}$ изготовления загрузочного устройства.

$$K_{nc} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k \frac{A_i}{M_{эi}} \longrightarrow \max ; \quad (1)$$

$$C_{заг} \longrightarrow \min ,$$

где A_i , $M_{эi}$ – соответственно значения i -го показателя работоспособности загрузочного устройства и базового (достигнутый уровень),

$K = 1, 2, 3 \dots$ - количество принятых показателей для определения коэффициента совершенствования конструкции,

$C_{заг}$ – стоимость изготовления загрузочного устройства.

Стоимость загрузочных устройств ленточных конвейеров принимали как сумму капитальных и эксплуатационных затрат, приходящихся на один год:

$$C_{год} = K_{кап} + Э_{э}, \quad (2)$$

где $K_{кап} = C_{заг} K_{в} / K_{мс}$ – капитальные затраты;

$Э_{э} = C_{заг} / T_{заг}$ – эксплуатационные затраты, которые определялись с учетом износа элементов загрузочных устройств под воздействием насыпного груза:

$K_{в} = 0.15$ -коэффициента вложений;

$$T_{\text{заг}} = \frac{\delta_{\text{ж}} - [\delta_{\text{ж}}]}{3600JV_{\text{ср}}\psi} - \text{ресурс загрузочного устройства};$$

$\delta_{\text{ж}}$, $[\delta_{\text{ж}}]$ - соответственно номинальная и допустимая толщины желоба с учетом его прочности;

J - интенсивность линейного износа материала желоба;

$V_{\text{ср}}$ - средняя скорость движения груза по желобу;

ψ - коэффициент нагружения.

Ограничениями задачи оптимизации параметров загрузочного устройства являются:

$$\begin{aligned} Q_{\min} < Q_{\text{заг}} < Q_{\max}; \\ V_{\min} < V_{\text{гр}} < V_{\max}; \\ H_{\min} < H_{\text{гр}} < H_{\max}; \\ C_{\max} \leq C_{\text{заг}} \leq C_{\min} \\ D_{\min} \leq D \leq D_{\max} \\ A_{\min} < A_{\text{к}} < A_{\max}, \\ T_{\min} \leq T_{\text{заг}} \leq T_{\max} \end{aligned} \quad (3)$$

На рисунке 1 представлена структурная схема загрузочного устройства с различными причинно-логическими связями.

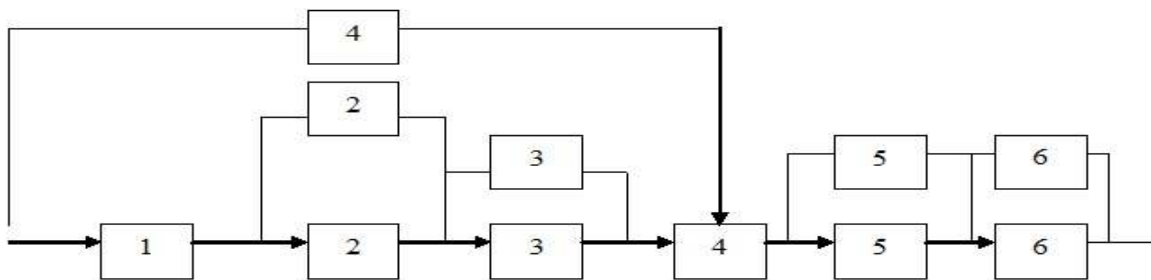


Рисунок 1 - Структурная схема загрузочного устройства. 1 – опорная металлоконструкция; 2 – упругие элементы, 3 – шарнирное закрепление, 4 – желоб, 5 – направляющие борта, 6 – резиновое ограждение

Варьируемыми параметрами принимались: Q_{\min} , Q_{\max} , V_{\min} , V_{\max} , H_{\min} , H_{\max} , C_{\max} , C_{\min} , D_{\min} , D_{\max} , T_{\min} , T_{\max} .

Значение коэффициента технического совершенства определяется с привлечением структурной схемы для $C_{\text{заг}} \rightarrow \min$ приведены на ри-

сунке 2 и в таблице 1 для коэффициента «трудности» эксплуатации 150 и 117 баллов [3].

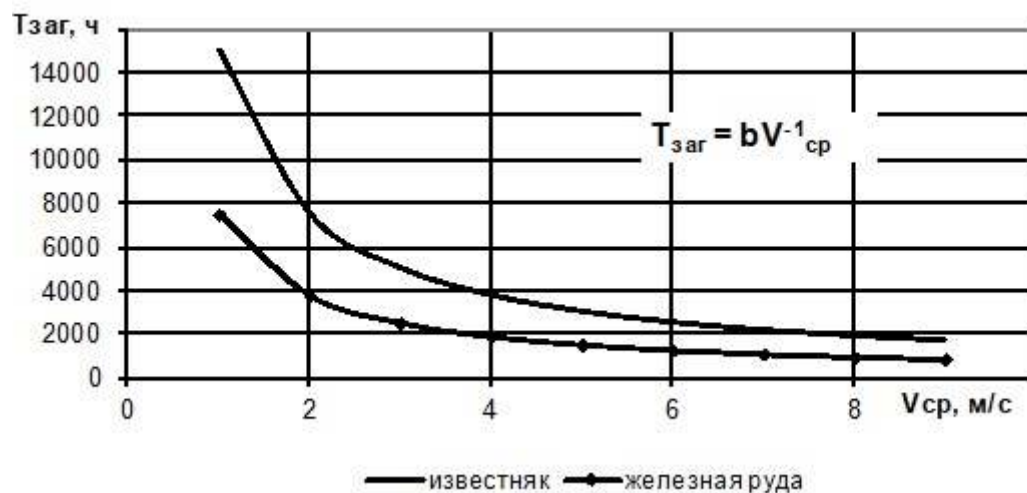


Рисунок 2 - Зависимости срока службы желоба загрузочного устройства от средней скорости движения насыпного груза

При этом для сравнительного анализа технического совершенства загрузочного устройства ленточных конвейеров отбирались следующие показатели надежности:

- наработка на отказ;
- вероятность безотказной работы в заданное время;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

Значения показателей надежности принимали по результатам исследований эксплуатационной надежности [1], а базовые их значения – по достигнутому уровню отечественного и зарубежного опыта конвейеростроения [5,6]. Анализ полученных результатов (таблица 1) показал, что загрузочные устройства имеют $K_{\text{тс}} = 0,86...0,88$.

Задача оптимизации эксплуатационных затрат на поддержание желоба загрузочного устройства в работоспособном состоянии сводится к минимизации износа желоба под действием насыпного груза, который, разгружаясь с полотна питателя, движется равномерно ускоренно (замедленно) по желобу, истирая его на пути трения. Выбор наилучших вариантов конструкции загрузочного устройства в пункте перегрузки ленточного конвейера выполнялся в зависимости от средней скорости дви-

жения груза по желобу и вида груза (рисунок 2). При этом варьировали форму поперечного сечения желоба (прямоугольная, прямолинейная) и грансостав груза. Максимальный ресурс загрузочного устройства, соответствующего минимальному износу желоба при средней скорости движения груза 1 м/с составляет 8000-15000 часов, в зависимости от вида груза и криволинейного профиля желоба.

Критерием выбора наилучших решений при оптимизации срока службы конвейерной ленты в зависимости от конструкции загрузочного устройства была принята разность скоростей груза и ленты в проекции на плоскость ее движения, экономически целесообразное значение которой обеспечит минимальный износ ленты конвейера и желоба загрузочного устройства.

Выводы. Решена многокритериальная задача оптимизации параметров конструкции загрузочных устройств, при которых достигается экономически целесообразный срок службы конвейерной ленты и желоба загрузочного устройства.

Таблица 1

Значения показателей надежности загрузочных устройств ленточных конвейеров, эксплуатируемых в различных условиях

Наименование конвейера	Коэффициент трудности эксплуатации, балл										K _{тс}
	155					117					
	$\lambda_i / \lambda_6 \cdot 10^{-4}$	H _i / H ₆	P _i / P ₆	K _{гi} / K _{г6}	m ₆ / m _i	$\lambda_i / \lambda_6 \cdot 10^{-4}$	H _i / H ₆	P _i / P ₆	K _{гi} / K _{г6}	m ₆ / m _i	
ГЛК-2 фабрика 12	$\frac{0,85}{0,98}$	$\frac{7350}{8930}$	$\frac{0,65}{0,8}$	$\frac{0,92}{0,97}$	$\frac{1,94}{2,2}$						0,88
2К-1 ИнГОК						$\frac{1,3}{1,61}$	$\frac{3600}{5600}$	$\frac{0,72}{0,8}$	$\frac{0,96}{0,98}$	$\frac{1,75}{1,94}$	0,86
РЛК 1 фабрика 12	$\frac{1,3}{1,58}$	$\frac{6950}{8930}$	$\frac{0,65}{0,75}$	$\frac{0,9}{0,96}$	$\frac{1,94}{2,2}$						0,89
К 3 ЦГОК						$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{3690}{5600}$	$\frac{0,65}{0,8}$	$\frac{0,96}{0,98}$	$\frac{1,75}{1,94}$	0,86

Примечание: λ_i , λ_6 – соответственно интенсивность отказов по данным эксплуатации и базовое значение;

H_i , H_6 – соответственно наработка на отказ по данным эксплуатации и базовое значение;

P_i , P_6 – соответственно вероятность безотказной работы по данным эксплуатации и базовое значение;

$K_{гi}$, $K_{гб}$ - соответствен коэффициент готовности по данным эксплуатации и базовое значение;

m_i , m_b - масса загрузочного устройства и базовое значение;

$K_{тс}$ – значение коэффициента совершенства конструкции ленточного конвейера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монастырский В.Ф. Разработка методов и средств управления надежностью мощных ленточных конвейеров: дис... д-ра техн. наук: 05.05.06/В.Ф. Монастырский.- Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины.1990.-345 с.

2. Кирия Р.В. Оптимизация параметров пассивных загрузочных узлов ленточных конвейеров горных предприятий: Дис.... канд. техн. наук: 05.05.06.- Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины.2004.-205 с.

3. Монастырский С.В. Научное обоснование показателей качества ленточных конвейеров для адаптации их к различным условиям эксплуатации. Дис...канд. техн. наук: 05.05.06 /С.В. Монастырский.- Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. 2007.-190 с.

4. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий /В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко [и др.].- М.: Из-во МГГУ, 2005.- 543 с.

5. Астафьев Н.П. Добыча полезных ископаемых за рубежом.- М.: Недра, 1993.- 237 с.

REFERENCE

1. Monastyrsky V.F. Development of methods and tools for managing the reliability of powerful belt conveyors: dis ... dr. Tech. Sciences: 05.05.06 / V.F. Monastyrsky.- Dnepropetrovsk: IGTM NAS of Ukraine. 1990.-345 p.

2. Kiria R.V. Optimization of parameters of passive boot nodes of belt conveyors of mining enterprises: Dis ... Cand. tech. Sciences: 05.05.06.- Dnepropetrovsk: IGTM NAS of Ukraine. 2002.-205 p.

3. Monastyrsky S.V. Scientific substantiation of quality indicators of belt conveyors to adapt them to different operating conditions. Dis ... Cand. tech. Sciences: 05.05.06 / S.V. Monastyrsky. - Dnepropetrovsk: IGTM NASU. 2007.-190 p.

4. Modern theory of belt conveyors of mining enterprises / V.I. Galkin, V.G. Dmitriev, V.P. Dyachenko [et al.] .- M .: From-to MGGU, 2005.-543 p.

5. Astafyev N.P. Mining operations abroad. - M .: Nedra, 1993.- 237 p.

GRAPHICAL AND ANALYTICAL METHODS FOR PROCESSING “BIG DATA” BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR PROPERTIES

Abstract. This paper addresses the subject of creating mathematical methods in order to optimize time and computing resources when processing “big data” by analyzing their structural properties. We derive certain properties for the given data structure known as “m-tuples based on ordered sets of arbitrary cardinality.” These properties are based on logical rules applicable to the formation of the analyzed data structure. We also describe mathematical methods based on the properties of “m-tuples” and show a graphic illustration of the Boolean graphs. The delineated vertices of the graph are determined using the derived analytical dependencies as Boolean elements which include the same common element. These Boolean elements do not require the execution of any algorithms and allow us to obtain the desired result from those properties.

Keywords: “big data,” data structure, ordered set of arbitrary cardinality, m-tuples, Boolean graph, minimization of time and computing resources.

Problem statement

At the present stage of information technology development, the task of processing, storing, analyzing and managing “big data” remains a serious problem. Recently, there have been many new and diverse “big data” generators such as social networks, web networks, cellular networks, multichamber video surveillance systems, distributed multi-level, multi-tasking and multi-user SCADA systems, etc. At the same time, important problematic aspects of the uses of “big data” are the methods and tools to analyze them [1].

Publication analysis regarding topic research

At the present time, the storage and processing of “big data” in systems specifically based on relational databases is not always highly efficient. In order to store data in a relational database, we need to perform several steps: develop a data storage structure, filter and convert data to the required

format, and load data into the database. Any of these stages can be a long and time-consuming process.

One of the ways of solving this problem is the creation of a new class of NoSQL (Not Only SQL) systems. The advantage of a NoSQL system is the flexibility of data models which include the use of horizontal scaling and parallel processing. Results from this system can be obtained rather quickly.

From the viewpoint of “big data” analysis, there have been other methods developed such as machine learning, artificial intelligence, distributed processing of streams and events, and visual data research technology.

Article [2] describes the models of interoperability and navigation through big data, allowing information to be extracted from large and complex collections of semi-structured data. The difference between the proposed models and the traditional relational data model is that the information about the structure of big data arrays is defined in terms of the domain identifier and business key. Using a domain/key mathematical model allows us to create a structure that can remove all restrictions, except for domain restrictions and key restrictions. However, the practical implementation of converting a collection of semi-structured data into a normal domain/key form remains an open question.

In article [3], the author considers mathematical methods and principles for constructing expert systems. The work describes such concepts as the system of alternatives, incompatibility modules, the module of the ban, implication modules, and production modules. It shows the implementation of the inference in the system of alternatives. According to the author, the method of alternative systems is designed to organize and process data when solving problems associated with the search for options. Another way of using this method is to create an expert system knowledge base in the form of a system of alternatives for solving recognition and classification problems. The paper also discusses methods for restoring regular and context-free languages. These methods are used by the author in the automated extraction of knowledge from the knowledge system of the expert system.

The principles of building an expert system for diagnosing an object by unstructured diagnostic features (UDF) are presented in article [4]. The paper

shows that the values of the UDF can be determined by a set of patterns. The main idea of the diagnostic method is to determine the similarity coefficient of the diagnostic object compared to its pattern. The knowledge base of the expert system is determined by the graph. The vertices of the graph are the set of UDFs and its arcs are the set of patterns defining the values of UDFs. After calculating the similarity coefficients of the diagnostic object compared to its pattern, their values are assigned to the arcs. After that, the author calculates the probability of establishing a connection between the initial vertex of the graph with its terminal vertices. The paper concludes that if the degree of diagnostic discernibility corresponds to a given value, then the diagnostic process is complete. Otherwise, the process continues on to the next UDF.

In article [5], the authors consider the diagnostic concept of how information systems (IS) work based on LV (Latent Variable) models. The system determines the process parameters that exceed established monitoring levels based on the array of archived data collected by SCADA. These parameters are associated with the operation of equipment, the behavior of the technological process or the disruption of operating modes. The approach is based on the ability of personnel to formulate an expert assessment of the trends in the technological process and equipment operation. Knowledge-based decision support systems can be applied to automate the process of forming an expert assessment. At the same time, LV models must be unique and interpretable. It also requires processing large arrays of missing data and monitoring their integrity within the LV area as established by the training set. Restrictions on the use of LV models built on the archival data of the system consist of limiting the space of latent variables determined by those archived data. LV models also cannot be used to extrapolate the modes of information system operation for which there are no monitoring statistics.

Formulation of the aim of the article

The aim of the research is to develop mathematical methods for processing “big data.” It is based on the system analysis of the data organizational and structural properties known as “ m -tuples based on ordered sets of arbitrary cardinality (OSAC).” The use of this data structure in the NoSQL database with the “key value” data model will allow optimizing the main charac-

teristics of the “big data” such as reducing the amount of stored and processed information, an increase in the speed of searching, processing and transmitting data while preserving their value and reliability.

Main part

The description of the basic terms and definitions, as well as some properties and mathematical methods to work with “ m -tuples based on OSAC” are given in the works [6 – 8].

In this paper, we consider mathematical methods for determining the truth of expression (1), whose operands are elements of Boolean 2^X , represented by “ m -tuples” based on an ordered basis set X of cardinality n .

$$\begin{cases} y_{m_1, j_1}^n \subset y_{m_2, j_2}^n \\ m_1 < m_2 \end{cases}, \quad (1)$$

where $y_{m, j}^n$ – m -tuple, Boolean element 2^X ; n – cardinality of ordered basis set X ; m_1, m_2 – tuple lengths; j_1, j_2 – indices (index numbers) of m -tuples in ordered sets $Y_{m_1}^n$ and $Y_{m_2}^n$.

As an example for our research, we can define a symbolic alphabetically ordered basis set X of cardinality $n = 8$. The decomposition of the Boolean 2^X into sets is given in Table 1.

Table 1

Representation of a Boolean 2^X by sets Y_m^n ($n = 8$)

m	Y_m^n	k_m^n
1	2	3
1	$Y_1^8 = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$	8
2	$Y_2^8 = \{(a, b), (a, c), (a, d), (a, e), (a, f), (a, g), (a, h), (b, c), (b, d), (b, e), (b, f), (b, g), (b, h), (c, d), (c, e), (c, f), (c, g), (c, h), (d, e), (d, f), (d, g), (d, h), (e, f), (e, g), (e, h), (f, g), (f, h), (g, h)\}$	28
3	$Y_3^8 = \{(a, b, c), (a, b, d), (a, b, e), (a, b, f), (a, b, g), (a, b, h), (a, c, d), (a, c, e), (a, c, f), (a, c, g), (a, c, h), (a, d, e), (a, d, f), (a, d, g), (a, d, h), (a, e, f), (a, e, g), (a, e, h), (a, f, g), (a, f, h), (a, g, h)\}$	56

1	2	3
	$(a, f, h), (a, g, h), (b, c, d), (b, c, e), (b, c, f), (b, c, g), (b, c, h), (b, d, e), (b, d, f), (b, d, g),$ $(b, d, h), (b, e, f), (b, e, g), (b, e, h), (b, f, g), (b, f, h), (b, g, h), (c, d, e), (c, d, f), (c, d, g),$ $(c, d, h), (c, e, f), (c, e, g), (c, e, h), (c, f, g), (c, f, h), (c, g, h), (d, e, f), (d, e, g), (d, e, h),$ $(d, f, g), (d, f, h), (d, g, h), (e, f, g), (e, f, h), (e, g, h), (f, g, h)\}$	
4	$Y_4^8 = \{(a, b, c, d), (a, b, c, e), (a, b, c, f), (a, b, c, g), (a, b, c, h), (a, b, d, e), (a, b, d, f),$ $(a, b, d, g), (a, b, d, h), (a, b, e, f), (a, b, e, g), (a, b, e, h), (a, b, f, g), (a, b, f, h), (a, b, g, h), (a, c, d, e),$ $(a, c, d, f), (a, c, d, g), (a, c, d, h), (a, c, e, f), (a, c, e, g), (a, c, e, h), (a, c, f, g), (a, c, f, h), (a, c, g, h),$ $(a, d, e, f), (a, d, e, g), (a, d, e, h), (a, d, f, g), (a, d, f, h), (a, d, g, h), (a, e, f, g), (a, e, f, h), (a, e, g, h),$ $(a, f, g, h), (b, c, d, e), (b, c, d, f), (b, c, d, g), (b, c, d, h), (b, c, e, f), (b, c, e, g), (b, c, e, h), (b, c, f, g),$ $(b, c, f, h), (b, c, g, h), (b, d, e, f), (b, d, e, g), (b, d, e, h), (b, d, f, g), (b, d, f, h), (b, d, g, h), (b, e, f, g),$ $(b, e, f, h), (b, e, g, h), (b, f, g, h), (c, d, e, f), (c, d, e, g), (c, d, e, h), (c, d, f, g), (c, d, f, h), (c, d, g, h),$ $(c, e, f, g), (c, e, f, h), (c, e, g, h), (c, f, g, h), (d, e, f, g), (d, e, f, h), (d, e, g, h), (d, f, g, h), (e, f, g, h)\}$	70
5	$Y_5^8 = \{(a, b, c, d, e), (a, b, c, d, f), (a, b, c, d, g), (a, b, c, d, h), (a, b, c, e, f), (a, b, c, e, g), (a, b, c, e, h),$ $(a, b, c, f, g), (a, b, c, f, h), (a, b, c, g, h), (a, b, d, e, f), (a, b, d, e, g), (a, b, d, e, h), (a, b, d, f, g),$ $(a, b, d, f, h), (a, b, d, g, h), (a, b, e, f, g), (a, b, e, f, h), (a, b, e, g, h), (a, b, f, g, h), (a, c, d, e, f),$ $(a, c, d, e, g), (a, c, d, e, h), (a, c, d, f, g), (a, c, d, f, h), (a, c, d, g, h), (a, c, e, f, g), (a, c, e, f, h),$ $(a, c, e, g, h), (a, c, f, g, h), (a, d, e, f, g), (a, d, e, f, h), (a, d, e, g, h), (a, d, f, g, h), (a, e, f, g, h),$ $(b, c, d, e, f), (b, c, d, e, g), (b, c, d, e, h), (b, c, d, f, g), (b, c, d, f, h), (b, c, d, g, h), (b, c, e, f, g),$ $(b, c, e, f, h), (b, c, e, g, h), (b, c, f, g, h), (b, d, e, f, g), (b, d, e, f, h), (b, d, e, g, h), (b, d, f, g, h),$ $(b, e, f, g, h), (c, d, e, f, g), (c, d, e, f, h), (c, d, e, g, h), (c, d, f, g, h), (c, e, f, g, h), (d, e, f, g, h)\}$	56
6	$Y_6^8 = \{(a, b, c, d, e, f), (a, b, c, d, e, g), (a, b, c, d, e, h), (a, b, c, d, f, g), (a, b, c, d, f, h),$ $(a, b, c, d, g, h), (a, b, c, e, f, g), (a, b, c, e, f, h), (a, b, c, e, g, h), (a, b, c, f, g, h), (a, b, d, e, f, g),$ $(a, b, d, e, f, h), (a, b, d, e, g, h), (a, b, d, f, g, h), (a, b, e, f, g, h), (a, c, d, e, f, g), (a, c, d, e, f, h),$ $(a, c, d, e, g, h), (a, c, d, f, g, h), (a, c, e, f, g, h), (a, d, e, f, g, h), (b, c, d, e, f, g), (b, c, d, e, f, h),$ $(b, c, d, e, g, h), (b, c, d, f, g, h), (b, c, e, f, g, h), (b, d, e, f, g, h), (c, d, e, f, g, h)\}$	28
7	$Y_7^8 = \{(a, b, c, d, e, f, g), (a, b, c, d, e, f, h), (a, b, c, d, e, g, h), (a, b, c, d, f, g, h),$ $(a, b, c, e, f, g, h), (a, b, d, e, f, g, h), (a, c, d, e, f, g, h), (b, c, d, e, f, g, h)\}$	8
8	$Y_8^8 = \{(a, b, c, d, e, f, g, h)\}$	1

where k_m^n – cardinality of set Y_m^n .

$$k_m^n = |Y_m^n| = \binom{n}{m} = \frac{n!}{(n-m)! \cdot m!}. \quad (2)$$

We can represent Boolean 2^X on the basis of an ordered basis set X of cardinality $n = 8$ in the form of a graph (see Fig. 1), where each vertex of the graph corresponds to an element $y_{m,j}^n$.

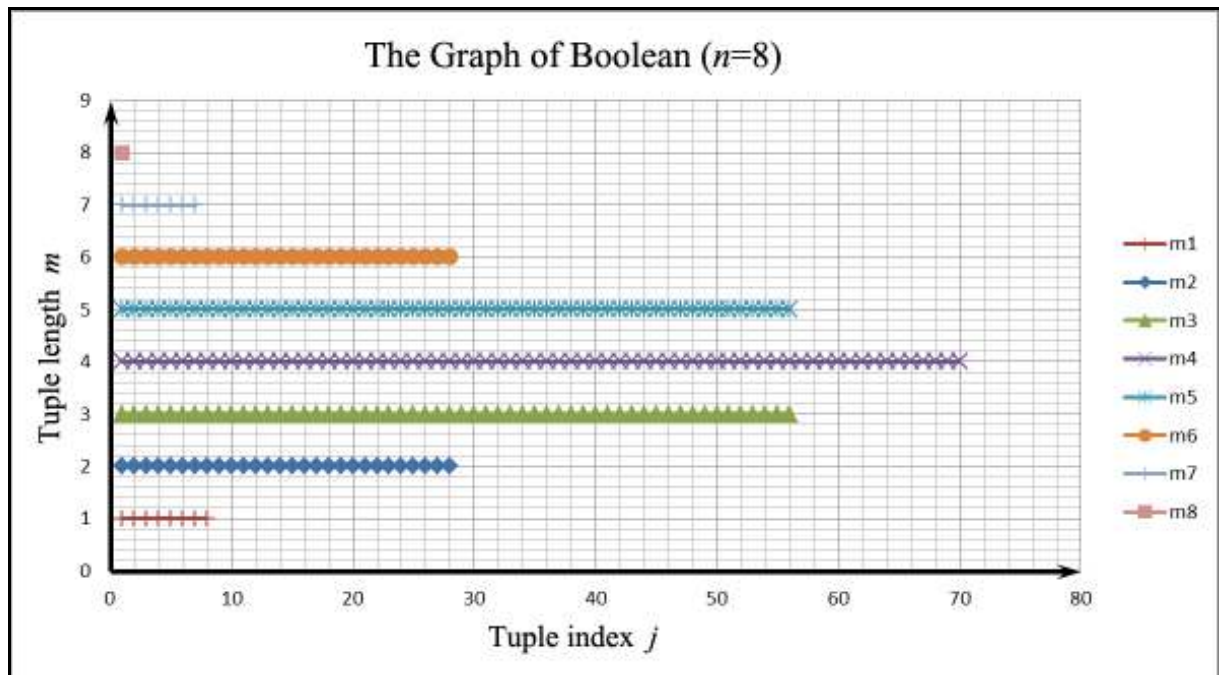


Figure 1 - The graph of Boolean 2^X when $n = 8$

where n – the number of parallel segments of the graph corresponding to the number of elements of basis set X ; m – the ordinal number of the segment that corresponds to the length of Boolean element $y_{m,j}^n$; j – the ordinal number of the graph vertex that corresponds to the ordinal number of Boolean element $y_{m,j}^n$ in ordered subset Y_m^n of Boolean elements of the same length; k_m^n – the number of vertices on the m^{th} segment of the graph, corresponding to the subset cardinality; (j, m) – coordinates of the graph vertex.

We define table 2 which shows if expression (1) is true for element $y_{m_1,j_1}^n = y_{1,1}^8 = a$. In other words, we define set $J_{m_2}^n = \{j_2\}$, where each of its elements j_2 unequivocally determines tuple y_{m_2,j_2}^n for which expression (1) is true.

Property of membership for Boolean elements 1. Expression (1) is true for $\binom{n-m_1}{m_2-m_1}$ elements of set $Y_{m_2}^n$.

Property of membership for Boolean elements 2. Expression (1) is true for $\sum_{m_2=m_1+1}^n \binom{n-m_1}{m_2-m_1}$ elements of Boolean 2^X .

Property of membership for Boolean elements 3. If $j_1 == 1$, then expression (1) is true for the first $\binom{n-m_1}{m_2-m_1}$ elements of set $Y_{m_2}^n$.

Table 2

Determination of set $J_{m_2}^8$ for Boolean element $y_{m_1, j_1}^n = y_{1,1}^8$

m_2	$J_{m_2}^8$	$nj_{2_{m_2}}(y_{m_1, j_1}^n) = \binom{n-m_1}{m_2-m_1}$
2	$J_{2_2}^8 = 1 \div 7$	$nj_{2_2}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{1} = 7$
3	$J_{2_3}^8 = 1 \div 21$	$nj_{2_3}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{2} = 21$
4	$J_{2_4}^8 = 1 \div 35$	$nj_{2_4}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{3} = 35$
5	$J_{2_5}^8 = 1 \div 35$	$nj_{2_5}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{4} = 35$
6	$J_{2_6}^8 = 1 \div 21$	$nj_{2_6}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{5} = 21$
7	$J_{2_7}^8 = 1 \div 7$	$nj_{2_7}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{6} = 7$
8	$J_{2_8}^8 = 1$	$nj_{2_8}(y_{1,1}^8) = \binom{7}{7} = 1$

where $nj_{2_{m_2}}(y_{m_1, j_1}^n)$ – cardinality of set $J_{m_2}^n$.

$$nj_{2_{m_2}}(y_{m_1, j_1}^n) = |J_{m_2}^n| = \binom{n-m_1}{m_2-m_1}. \quad (3)$$

Figure 2 shows the Boolean graph with the cardinality of the basis set $n = 8$. Closed polylines outline the sets of Boolean elements represented by tuples of length $m_2 > m_1$, for which each element $y_{m_1,1}^8$ is a subset of each set element $J_{m_2}^8$.

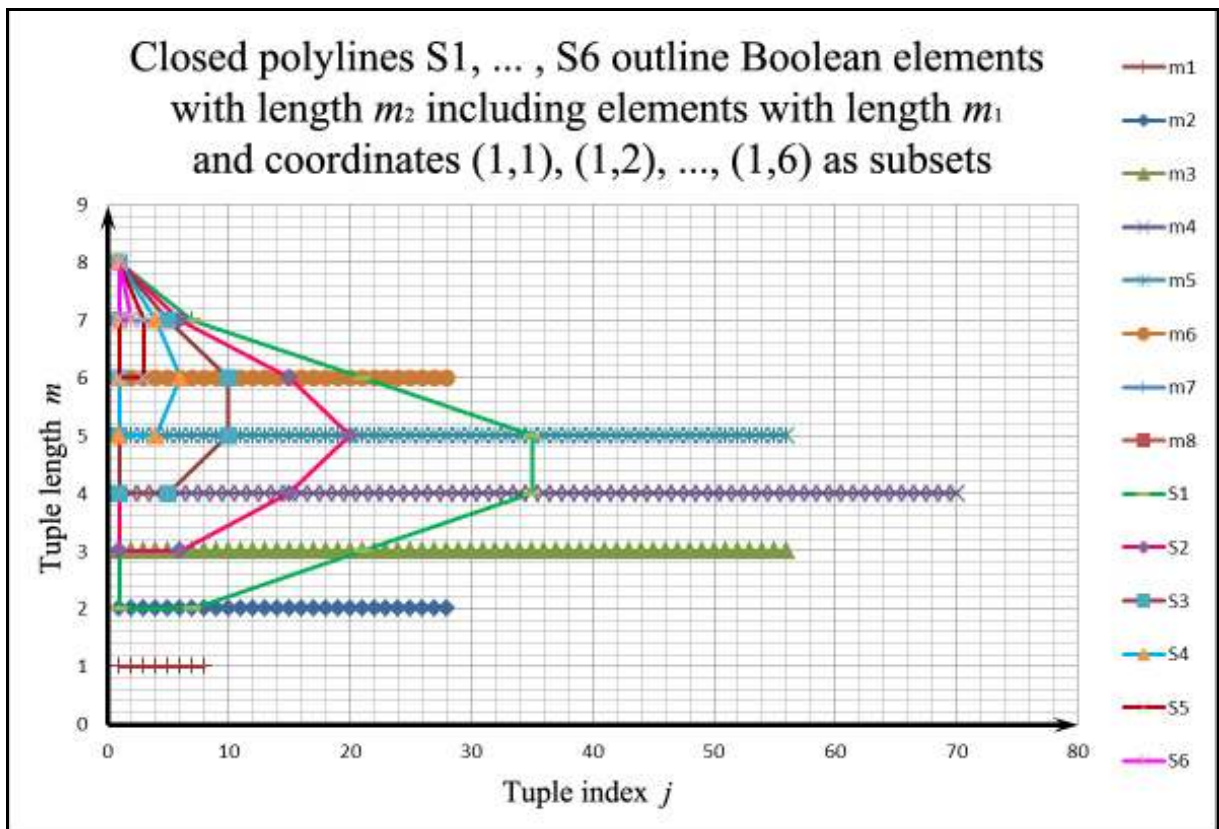


Figure 2 - Boolean graph with closed polylines for determining

sets $J_{m_2}^8$ to elements $y_{m_1,1}^8$

Example 1.

We have $n, m_1=1, j_1=1, m_2, j_2, m_1 < m_2$.

Required to determine if expression (1) is true for element y_{m_2, j_2}^n .

Decision:

$$nj2_{m_2} = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1}. \quad (4)$$

Answer:

Expression (1) is true for expression $1 \leq j_2 \leq nj2_{m_2}$.

We can define table 3 which shows if expression (1) is true for element $y_{m_1, j_1}^n = y_{1,2}^8 = b$.

Table 3

Determination of set $J^8_{m_2}$ for Boolean element $y^n_{m_1, j_1} = y^8_{1,2}$

m_2	η	$J^8_{m_2, \eta}$	$nj2_{m_2, \eta}(y^n_{m_1, j_1})$	$nj2_{m_2}(y^n_{m_1, j_1})$
2	2	1	1	7
	1	$8 \div 13$	6	
3	2	$1 \div 6$	6	21
	1	$22 \div 36$	15	
4	2	$1 \div 15$	15	35
	1	$36 \div 55$	20	
5	2	$1 \div 20$	20	35
	1	$36 \div 50$	15	
6	2	$1 \div 15$	15	21
	1	$22 \div 27$	6	
7	2	$1 \div 6$	6	7
	1	8	1	
8	2	1	1	1

where η – the ordinal number of element $y^n_{m_1, j_1}$ in tuple $y^n_{m_2, j_2}$; $J^8_{m_2, \eta}$ – set of indices j_2 , that unequivocally determines a set of elements $y^n_{m_2, j_2}$ for which expression (1) is true. At the same time, element $y^n_{m_1, j_1}$ is located in η in tuple $y^n_{m_2, j_2}$; $nj2_{m_2, \eta}$ – cardinality of set $J^8_{m_2, \eta}$.

Figure 3 shows the Boolean graph with the cardinality of the basis set $n = 8$. Closed polylines outline the sets of Boolean elements represented by tuples of length $m_2 > m_1$, for which element $y^8_{1,2}$ is a subset of each of the elements of set $J^8_{m_2}$.

On the basis of table 3, we can create table 4 which shows if expression (1) is true for element $y^n_{1,2}$ when n has any value possible.

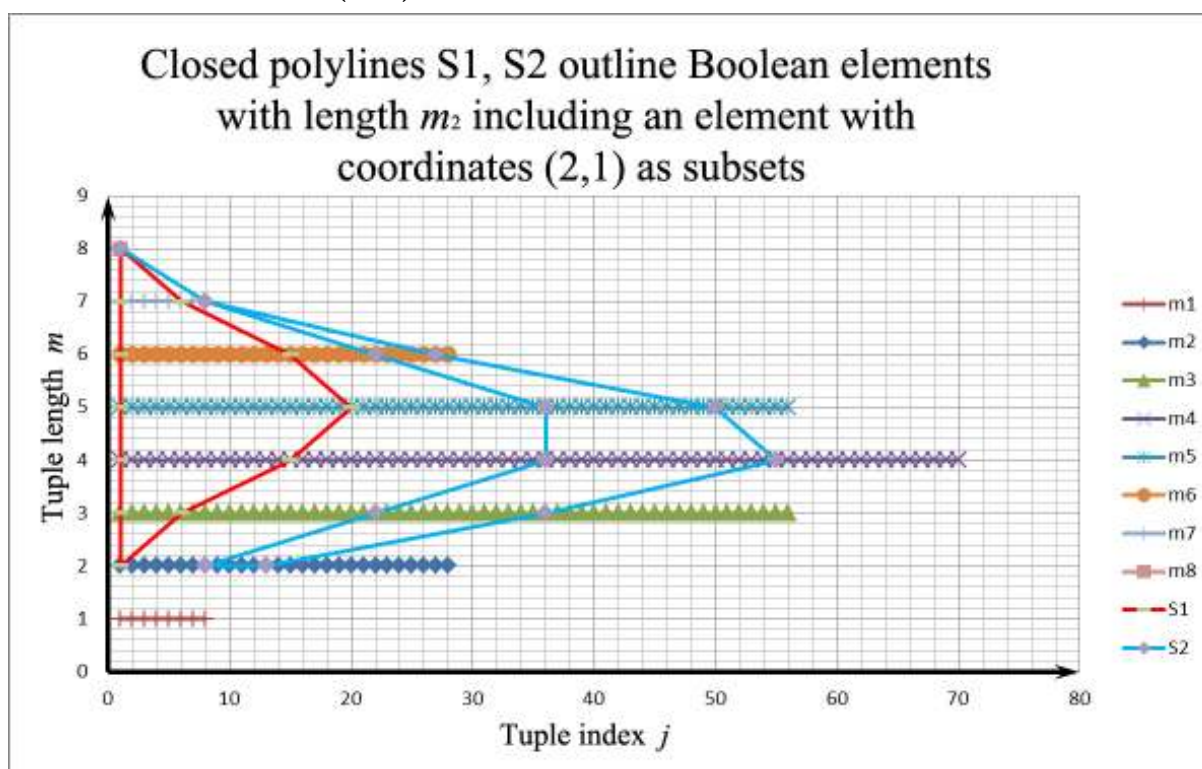


Figure 3 - Boolean graph with closed polylines for determining sets $J_{m_2}^8$ to element $y_{1,2}^8$

Table 4

Determination of set $J_{m_2}^n$ for Boolean element $y_{1,2}^n$

m_2	η	$J_{m_2, \eta}^n = \{j_{2, \eta, 1}, \dots, j_{2, \eta, last}\}$	$nj_{2, \eta}(y_{m_1, j_1}^n)$	$nj_{2, m_2}(y_{m_1, j_1}^n)$
2	2	$j_{2, 2, 1} = 1$ $j_{2, 2, last} = nj_{2, 2}$	$nj_{2, 2} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1 - (\eta - 1)}$ $= \binom{n - j_1}{0} = 1$	$nj_{2, 2} = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1} =$ $= \binom{n - 1}{2 - 1} = n - 1$
	1	$j_{2, 1, 1} = nj_{2, 2} + 1$ $j_{2, 1, last} = nj_{2, 2} + nj_{2, 1}$	$nj_{2, 1} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1 - (\eta - 1)} =$ $= n - j_1$	
3	2	$j_{2, 3, 1} = 1$ $j_{2, 3, last} = nj_{2, 3}$	$nj_{2, 3} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1 - (\eta - 1)} =$ $= \binom{n - j_1}{1} = n - j_1$	$nj_{2, 3} = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1} =$ $= \binom{n - 1}{3 - 1} =$ $= \binom{n - 1}{2}$
	1	$j_{2, 3, 1} = nj_{2, 3} + 1$ $j_{2, 3, last} = nj_{2, 3} + nj_{2, 3, 1}$	$nj_{2, 3, 1} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1 - (\eta - 1)} =$ $= \binom{n - j_1}{2}$	

m_2	η	$j2_{m_2,\eta}^n = \{j2_{m_2,\eta,1}, \dots, j2_{m_2,\eta,last}\}$	$nj2_{m_2,\eta}(y_{m_1,j_1}^n)$	$nj2_{m_2}(y_{m_1,j_1}^n)$
...
μ	2	$j2_{\mu,2,1} = 1$ $j2_{\mu,2,last} = nj2_{\mu,2}$	$nj2_{\mu,2} = \binom{n-j_1}{\mu-m_1-(\eta-1)}$	$nj2_{\mu} = \binom{n-m_1}{\mu-m_1}$
	1	$j2_{\mu,1,1} = nj2_{\mu} + 1$ $j2_{\mu,1,last} = nj2_{\mu} + nj2_{\mu,1}$	$nj2_{\mu,1} = \binom{n-j_1}{\mu-m_1-(\eta-1)}$	
...
$n-1$	2	$j2_{n-1,2,1} = 1$ $j2_{n-1,2,last} = nj2_{n-1,2} = n-2$	$nj2_{n-1,2} =$ $= \binom{n-j_1}{n-1-m_1-(\eta-1)} =$ $= \binom{n-2}{n-3} = n-2$	$nj2_{n-1} = \binom{n-m_1}{n-1-m_1} =$ $= \binom{n-1}{n-2} = n-1$
	1	$j2_{n-1,1,1} = nj2_{n-1} + 1 = n$ $j2_{n-1,1,last} = nj2_{n-1} + nj2_{n-1,1} = n$	$nj2_{n-1,1} = \binom{n-j_1}{n-1-m_1-(\eta-1)}$ $= \binom{n-2}{n-2} = 1$	
n	2	$j2_{n,2,1} = 1$ $j2_{n,2,2} = nj2_{n,2} = 1$	$nj2_{n,2} = \binom{n-j_1}{n-m_1-(\eta-1)} =$ $= \binom{n-2}{n-2} = 1$	$nj2_n = \binom{n-1}{n-1} = 1$

where $j2_{m_2,\eta,1}^n$ – the minimum sequence number j_2 of element y_{m_2,j_2}^n in set $Y_{m_2}^n$, for which expression (1) is true when element y_{m_1,j_1}^n is located in the η^{th} place in tuple y_{m_2,j_2}^n ; $j2_{m_2,\eta,last}^n$ – the maximum sequence number j_2 of element y_{m_2,j_2}^n in set $Y_{m_2}^n$, for which expression (1) is true when element y_{m_1,j_1}^n is located in the η^{th} place in tuple y_{m_2,j_2}^n .

Example 2.

We have $n, m_1=1, j_1=2, m_2, j_2, m_1 < m_2$.

Required to determine if expression (1) is true for element y_{m_2,j_2}^n .

Decision:

$$nj2_{m_2} = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1}, \quad (5)$$

$$nj2_{m_2, \eta=2} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1 - 1}, \quad (6)$$

$$nj2_{m_2, \eta=1} = \binom{n - j_1}{m_2 - m_1}, \quad (7)$$

$$j2_{m_2, \eta=2, 1} = 1, \quad (8)$$

$$j2_{m_2, \eta=2, last} = nj2_{m_2, \eta=2}, \quad (9)$$

$$j2_{m_2, \eta=1, 1} = nj2_{m_2} + 1, \quad (10)$$

$$j2_{m_2, \eta=1, last} = nj2_{m_2} + nj2_{m_2, \eta=1} \quad (11)$$

Answer:

Expression (1) is true for expression $(j2_{m_2, 2, 1} \leq j_2 \leq j2_{m_2, 2, last}) \vee (j2_{m_2, 1, 1} \leq j_2 \leq j2_{m_2, 1, last})$.

The algorithms considered in example 1 and example 2 relate to algorithms of linear execution time $O(n)$.

Conclusions

In this article, we considered certain properties of data structure “m-tuples based on ordered sets of arbitrary cardinality.” These properties follow the rules of logic when forming ordered ascending elements of the given data structure. It allows us to determine interdependencies between m-tuples by their location in the structure defined by a pair of indices (j, m) without executing computing algorithms. At the same time, there are certain operations for Boolean elements. These are the operation of intersection, union and membership. For these operations the functional dependency of the time estimation to obtain the results using the methods described changes from cubic $O(n^3)$ to linear $O(n)$ depending on cardinality n of basis set X. This approach allows us to speed up data processing time significantly and minimize the time and computing resources to real time.

REFERENCES

1. Min Chen. Big Data. Related Technologies, Challenges, and Future Prospects. / Min Chen, Shiwen Mao, Yin Zhang, Victor C.M. Leung // Springer. – 2014. – 100 pp.
2. Petrova S. Ju. The Problem of Navigation in Big Data. / S. Ju. Petrova // Experimental and Theoretical Studies in Modern Science: Proceedings of the IIIrd International Scientific Conference, Novosibirsk: SibAK. – 2017. – P. 5-8. (in Russian).
3. Soloviov S. Ju. Mathematical Methods and Principles of Building Automated Knowledge Engineering Systems. / S. Ju. Soloviov // Dissertation of Doctor of Technical Sciences. – 1996. – 272 pp. (in Russian).
4. Totsenko V.G. Expert Diagnostic System by Unstructured Features / V.G. Totsenko, E.A. Petrova, A.A. Chernyavskaya // Registration, Storage and Data Processing. – 2005. – Issue 7(2) . –P. 94-103. (in Russian).
5. MacGregor J. Monitoring, Fault Diagnosis, Fault-Tolerant Control and Optimization. / J. MacGregor, A. Cinar // Data Driven Methods. Computers & Chemical Engineering. – 2012. – Issue 47. – P. 111-120.
6. Syrotkina O. The Application of Specialized Data Structures for SCADA Diagnostics / O. Syrotkina // System Technologies. Regional Interuniversity Collection of Scientific Papers, Dnipropetrovsk – 2015. – Issue 4. – P. 72-81.
7. Syrotkina O. Evaluation to Determine the Efficiency for the Diagnosis Search Formation Method of Failures in Automated Systems / O. Syrotkina, M. Alekseyev, O. Aleksieiev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 9 (88). – P. 59-68.
8. Syrotkina O. Methods of Minimizing Computing Resources when Processing “Big Data”. / O. Syrotkina , I. Udovyyk , M. Alekseyev. // Fifth International Conference "High Performance Computing" HPC-UA 2018 (Ukraine, Kyiv, October 22-23, 2018). P. 151 – 157.

МЕТОДИКА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОРБИТ ОБСЛУЖИВАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аннотация. При планировании орбитальных сервисных операций возникает задача рационального разбиения множества орбит обслуживаемых космическим аппаратом на подмножества (кластеры) орбит. В данной статье предложена методика кластеризации орбит обслуживаемых космических аппаратов для проведения их сервисного обслуживания многоразовым сервисным космическим аппаратом с электрореактивным двигателем малой тяги. Методика базируется на методе k - средних. В качестве расстояния между любой парой орбит обслуживаемых космических аппаратов (метрики) метода k - средних предложено использовать характеристическую скорость межорбитального перехода между этими орбитами.

Ключевые слова: орбитальное сервисное обслуживание, космические аппараты, кластеризация, алгоритм k - средних.

Введение

Перспективным путём удовлетворения возрастающих требований к увеличению длительности сроков активного существования космических аппаратов, надежности их функционирования и снижению эксплуатационных расходов является внедрение технологии орбитального сервисного обслуживания (ОСО). ОСО является важным направлением повышения эффективности космической деятельности [1].

ОСО бывают плановыми и экстренными. Плановые ОСО проводятся в соответствии с заранее предусмотренным регламентом, а экстренные ОСО проводятся в случае непредвиденных и нештатных ситуаций.

ОСО могут проводиться либо путём непосредственной работы сервисного космического аппарата (СКА) с обслуживаемым космическим аппаратом (ОКА), либо путём его использования для транспортирования ОКА с его орбиты на орбитальную базу обслуживания, а после проведе-

ния обслуживания ОКА средствами платформы, доставки обратно на орбиту.

В настоящее время наиболее перспективными для выполнения операций ОСО считаются многоразовые СКА космического базирования с электрореактивными двигателями. Они могут обслуживать ОКА по челночной схеме или по схеме последовательного обхода. При челночной схеме, после каждой операции обслуживания осуществляется возврат СКА на базовую траекторию или орбитальную станцию базирования.

При схеме последовательного обхода нескольких ОКА возврат на базовую траекторию или орбитальную станцию базирования осуществляется после полного завершения обхода.

Постановка задачи

При планировании операций ОСО необходимо учитывать ограниченность энергетических возможностей СКА. В связи с этим возникает задача рационального разбиения множества орбит ОКА на подмножества (кластеры) орбит, обслуживаемых одним СКА. Каждая орбита ОКА должна принадлежать только одному кластеру. Принадлежащие кластеру орбиты должны быть близки по энергетическим затратам на орбитальный переход между ними.

Кластеризация орбит ОКА состоит из последовательного решения следующих задач: определение выборки орбит ОКА для последующей кластеризации; отбор набора переменных, с помощью которых будут оцениваться орбиты выборки; определение метрики; применение алгоритма кластерного анализа для разбиения выборки на кластеры, содержащие орбиты со сходными признаками.

К настоящему времени разработано достаточно большое число алгоритмов кластерного анализа: иерархические алгоритмы, неиерархические итеративные алгоритмы, графовые алгоритмы, алгоритмы нечеткой кластеризации, алгоритмы с использованием нейронных сетей, генетические алгоритмы [2] – [4].

Наибольшее применение в прикладных задачах получили две группы

алгоритмов кластерного анализа: иерархические и неиерархические (итерационные). Иерархические алгоритмы используются при небольших объёмах кластеризуемых данных. Их преимуществом является наглядность и возможность получить детальное представление о структуре данных. Иерархические алгоритмы, в отличие от итерационных, не определяют число кластеров и строят полное дерево вложенных кластеров. Поэтому их использование для кластеризации орбит ОКА не рационально.

Для решения задачи кластеризации орбит ОКА рациональнее использовать алгоритм k - средних, который относится к группе неиерархических эталонных методов кластерного анализа [4].

Достоинствами алгоритма k - средних являются простота и быстрота его использования, понятность и прозрачность алгоритма. К недостаткам алгоритма следует отнести медленную работу с большими объемами исходных данных и необходимость задания количества кластеров до проведения кластеризации.

Алгоритм k - средних в задаче кластеризации орбит

Представим элементы множества орбит ОКА $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в виде их характеристических векторов. В дальнейшем изложении будем полностью отождествлять орбиту с её характеристическим вектором, который представляет собой набор орбитальных параметров. Требуется разделить это множество орбит на k кластеров S_1, S_2, \dots, S_k . Причём каждая орбита должна принадлежать только одному кластеру, расположенному на наименьшем расстоянии от этой орбиты. Распределение орбит по кластерам должно удовлетворять критерию оптимальности, выраженному через расстояния $\rho(x_i, x_j)$ между любой парой орбит рассматриваемого множества.

В качестве расстояния (метрики) между орбитами может использоваться любая неотрицательная действительная функция $\rho(x_i, x_j)$, определенная на множестве X и удовлетворяющая следующим условиям:

$$\rho(x_i, x_j) = 0 \text{ только при } x_i = x_j, \quad (1)$$

$$\rho(x_i, x_j) = \rho(x_j, x_i), \quad (2)$$

$$\rho(x_i, x_j) \leq \rho(x_i, x_k) + \rho(x_k, x_j). \quad (3)$$

При разбиении исходного множества орбит X на k кластеров S_1, S_2, \dots, S_k применяется итерационный алгоритм k - средних. Он минимизирует сумму квадратов расстояний от каждой точки кластера до его центра (центра масс кластера).

Действие алгоритма k - средних сводится к поиску:

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \rho(x, \mu_i), \quad (4)$$

где

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\},$$

μ_i - центры кластеров, $i = 1, \dots, k$,

$\rho(x, \mu_i)$ - функция расстояния между орбитой x и центром i кластера μ_i .

В дальнейшем изложении для обозначения номера шага итерации используется переменная t .

На первом шаге выполнения алгоритма k - средних осуществляется поиск приближенного значения центров кластеров. Для этого выбирается произвольное множество точек пространства характеристик орбит μ_i $i = 1, \dots, k$, рассматриваемых как начальные центры кластеров $\mu_i^0 = \mu_i$ $i = 1, \dots, k$.

На следующем шаге орбиты распределяются по кластерам.

Все орбиты группируются в кластеры, расстояние до центров которых минимально

$$\forall x_i \in X, i = 1, \dots, n : x_i \in S_j \Leftrightarrow j = \arg \min_k \rho(x_i, \mu_k^{(t-1)}). \quad (5)$$

На следующем шаге проводится перерасчет центров измененных кластеров

$$\forall i = 1, 2, \dots, k : \mu_i^{(t)} = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x \in S_i} x. \quad (6)$$

Процесс вычисления центров и перераспределения объектов продолжается до тех пор, пока не выполнено одно из условий: кластерные центры стабилизировались, т.е. все наблюдения принадлежат кластеру, которому принадлежали до текущей итерации или число итераций равно максимальному числу итераций.

Энергетическая метрика задачи кластеризации орбит

Рассмотрим множество орбит - ОКА $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. В общем случае координаты характеристических векторов этих орбит представляют собой кеплеровские элементы орбиты: a, e, i, Ω, ω . Размеры и форма орбиты характеризуются двумя элементами: большой полуосью a и эксцентриситетом e . Положение плоскости орбиты определяют три элемента: наклонение орбиты i , долгота восходящего узла Ω и аргумент перигея ω [5].

Используя упрощающие предположения относительно вида орбит ОКА и баллистической схемы перелёта между ними, уменьшим размерность пространства характеристических векторов с пяти до двух: радиуса и наклонения орбиты. Уменьшение размерности пространства характеристик орбит ОКА позволяет ускорить процесс кластеризации.

Рассмотрим детально упрощающие предположения. В работе [6] показано, что подавляющее большинство орбит ОКА являются почти круговыми. Для такого типа орбит эксцентриситет e можно приближенно считать равным нулю, а параметр перигея ω теряет смысл. Поэтому эксцентриситет e и параметр перигея ω можно исключить из координат характеристических векторов орбит ОКА.

По рассматриваемой схеме баллистические перелёты между орбитами ОКА осуществляются в момент примерного совпадения долгот орбит, между которыми осуществляется перелет. Поэтому отпадает необходимость поворота плоскости орбиты на угол, равный разности долгот орбит перелёта. Продолжительность ожидания времени начала межорбитальных перелётов определяется разностью скоростей прецессии орбит перелёта. В силу выбранной схемы баллистических перелетов долготу восходящего узла орбиты Ω можно исключить из координат характеристических векторов орбит ОКА.

Важным этапом кластеризации орбит ОКА является выбор метрики, по которой определяется близость орбит. Это объясняется тем, что результаты кластеризации могут существенно отличаться при использовании разных мер.

Выбор расстояния между орбитами неоднозначен и в этом заключается основная сложность. Наиболее часто используется евклидова метрика. Широко применяются также другие метрики: квадрат евклидова расстояния, расстояние городских кварталов, расстояние Чебышева и степенное расстояние. Наряду с перечисленными метриками используется и целый ряд других, менее употребительных метрик [3], [4].

Попытка кластеризации орбит ОКА с использованием перечисленных метрик не привела к положительным результатам. В связи с этим введена специальная нестандартная метрика.

В качестве расстояния между любой парой орбит ОКА предложено использовать энергетическую метрику - характеристическую скорость межорбитального перехода между этими орбитами.

Рассмотрен случай пространственного межорбитального перехода с круговой орбиты радиуса r_1 на круговую орбиту радиуса r_2 и изменение угла наклона плоскости орбиты на Δi . При орбитальном переходе используется нерегулируемый двигатель малой тяги с релейной программой ориентации тяги $|a| = \text{const}$ и переключением тяги на симметричное направление относительно плоскости орбиты в точках, где аргу-

мент широты $u = \pm \frac{\pi}{2}$ [5], [7]. В рассматриваемом случае значение характеристической скорости ΔV имеет следующий вид [8], [9]:

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\mu}{r_1}} \sqrt{1 - \frac{2 \cos(\pi \Delta i / 2)}{\sqrt{r_2 / r_1}} + \frac{r_1}{r_2}}, \quad (7)$$

где μ гравитационный параметр Земли.

Характеристическая скорость (7) удовлетворяет условиям (1) – (3) и может использоваться в качестве метрики в задаче кластеризации орбит ОКА.

Заключение

В данной работе разработана методика кластеризации орбит обслуживаемых космических аппаратов. Методика базируется на методе k - средних. В качестве расстояния между любой парой орбит ОКА (метрики) метода k - средних предложено использовать энергетическую мет-

рику - характеристическую скорость межорбитального перехода между этими орбитами.

С использованием предложенной методики разработана компьютерная программа для кластеризации орбит обслуживаемых космических аппаратов. Результаты проведенных тестовых расчетов показали эффективность предложенной методики кластеризации. Методика может найти применение при планировании орбитальных сервисных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stephen J. Design for on-orbit spacecraft servicing /J. Stephen //Specialist Conference, Paper AAS 14-374, 2014. – с 1-12.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель - М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
3. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Одели - М.: Статистика, 1977. - 128 с.
4. Гитис Л. Х., Статистическая классификация и кластерный анализ / Гитис Л. Х. - М.: Издательство МГТУ, 2003.- 157 с.
5. Гродзовский Г. Л. Механика космического полета (проблемы оптимизации) / Г. Л. Гродзовский, Ю. Н. Иванов, В. В. Токарев. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
6. Алпатов А. П. Баллистический анализ распределения орбит космических аппаратов различного функционального назначения. / А. П. Алпатов, Ю. М. Гольдштейн // Техническая механика № 2, 2017.-с. 33–40.
7. Гришин С. Д. Проектирование космических аппаратов с двигателями малой тяги / С. Д. Гришин, Ю. А. Захаров, В. К. Одолевский. – М.: Машиностроение, 1990. – 223 с.
8. Лебедев В. Н. Расчет движения космического аппарата с малой тягой / В. Н. Лебедев. – М. : ВЦ АН СССР, 1968. – 105 с.
9. Сердюк В. К. Проектирование средств выведения космических аппаратов / В. К. Сердюк – М.: Машиностроение, 2009. – 503 с.

REFERENCES

1. Stephen J. Design for on-orbit spacecraft servicing //J. Stephen //Specialist Conference, Paper AAS 14-374, 2014. – p 1-12.
2. Mandel I. D. Klasternyy analiz / I. D. Mandel M.: Finansyi i statistika, 1988. – 176 s.
3. Dyuran B. Klasternyy analiz / B. Dyuran, P. Odeli M.: Statistika, 1977.-128 s.
4. Gitis L. H., Statisticheskaya klassifikatsiya i klasternyy analiz/ Gitis L. H. M.: Izdatelstvo MGGU, 2003. -157 s.
5. Grodzovskiy G. L. Mehanika kosmicheskogo poleta (problemy optimizatsii) / G.L. Grodzovskiy, Yu.N. Ivanov, V.V. Tokarev. – M.: Nauka, 1975. – 704 s.
6. Alpatov A. P. Ballisticheskii analiz raspredeleniya orbit kosmicheskikh apparatov razlichnogo funktsionalnogo naznacheniya. / A. P. Alpatov, Yu. M. Goldshteyn // Tehnicheskaya mehanika N 2, 2017. s. 33–40.
7. Grishin S. D. Proektirovanie kosmicheskikh apparatov s dvigatelyami maloy tyagi / S. D. Grishin, Yu. A. Zaharov, V. K. Odolevskiy. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 223 s.
8. Lebedev V. N. Raschet dvizheniya kosmicheskogo apparata s maloy tyagoy / V.N. Lebedev. – M.: VTs AN SSSR, 1968. – 105 s.
9. Serdyuk V. K. Proektirovanie sredstv vyivedeniya kosmicheskikh apparatov / V.K. Serdyuk – M.: Mashinostroenie, 2009. – 503 s.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНОГО WEB-СЕРВІСУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЛЬОРОВИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Анотація. Представлено моделювання поліграфічного web-сервісу на основі кольорових мереж Петрі. Опис структури поліграфічного web-сервісу здійснюється на основі алгебри сервісів та діаграм в нотації DFD. Побудована система моделей в CPN Tools першого та другого рівнів. Проведено імітаційне моделювання та дослідження розроблених моделей. Ключові слова: поліграфічний web-сервіс, взаємодія web-сервісів, кольорові мережі Петрі.

Вступ

Використання мереж Петрі, як інструмента графічного і математичного моделювання складних систем та процесів останнім часом отримало широке розповсюдження [1-3, 5,6,9] Методи візуального представлення та моделювання, такі як кольорові мережі Петрі на етапі розробки складних систем ефективні тому що дозволяють формально описувати та моделювати на систему різних рівнях абстракції та досліджувати їх в динаміці. Прикладом динамічної системи є web-сервіси. Веб-сервіси та їх компоненти можуть взаємодіяти з різними додатками, які відповідають стандартам веб-сервісів. Як правило, один сервіс не задовольняє потреб користувачів, і сервіси стають все більш складними. Фактично сучасний веб-сервіс створюється шляхом поєднання різних веб-сервісів та їх компонентів для створення компонентного сервісу, який пропонує набір нових функціональних послуг. При поєднанні та сумісному використанні веб-сервісів самим критичним є взаємодія веб-сервісів та їх компонентів між собою, що вимагає детального дослідження процесів функціонування та моделювання їх поведінки для підвищення їх ефективності.

Поліграфічний web-сервіс – це складна програмна система, що організує надання поліграфічних послуг. Вона працює з клієнтом через Інтернет та дає можливість знайти в поліграфічних центрах необхідну

послугу за оптимальні кошти, зробити замовлення, скористатись різними послугами, здійснити оплату послуг, обрати засіб оплати та доставки поліграфічної продукції. Складна структура web-сервісу вимагає дослідження та моделювання взаємодії його компонентів для забезпечення ефективності функціонування.

Постановка проблеми

Метою данної роботи є розробка моделей поліграфічних веб-сервісів та їх компонентів на основі кольорових мереж Петрі, для дослідження динамічної взаємодії їх компонентів для підвищення ефективності їх функціонування.

Структура сучасного поліграфічного web-сервісу

Для моделювання системи композитного web-сервісу необхідно виділити основні та допоміжні підсистеми засобами структурного аналізу. Структурна схема web-сервісу представлена на рис.1. У якості інструмента структурного аналізу використана діаграма потоків даних (DFD) в нотації подібній нотації Гейна-Сарсона. Контекстна діаграма верхнього рівня містить набір підсистем з'єднаних потоками даних.

Сервіс працює наступним чином. Компанія надає комбінований поліграфічний web-сервіс (PWS), який пропонує перелік поліграфічних послуг. Кінцевими користувачами подібних послуг можуть бути окремі клієнти або інші web-сервіси, які викликають цей web-сервіс. Клієнти компанії формують користувацькі запити в PWS. Поліграфічний web-сервіс (PWS) має зв'язок з іншими web-сервісами для обробки кожного запиту. Прикладами зовнішніх послуг є послуги поліграфічних центрів (WSPC), фінансові послуги (FWS), послуги дизайну (DesWS), послуги постачальників розхідних матеріалів (WSSC), поштові послуги (MWS), послуги доставки (DWS) та картографічні послуги (MWS). Типовим сценарієм буде клієнт, що використовує сервіс PWS для отримання однієї або декількох комбінованих поліграфічних послуг.

Клієнт починає з виклику операції «Замовлення переліку послуг» в PWS, для отримання переліку послуг з цінами (крок 1). Для формування відповіді на замовлення PWS взаємодіє з поліграфічними центрами и за допомогою операції «Перелік послуг» інформує клієнта (крок 1.1). Якщо

клієнт обрав якусь послугу зі списку, то PWS запитає у поліграфічних центрів можливі спеціальні пропозиції по реалізації цієї послуги.

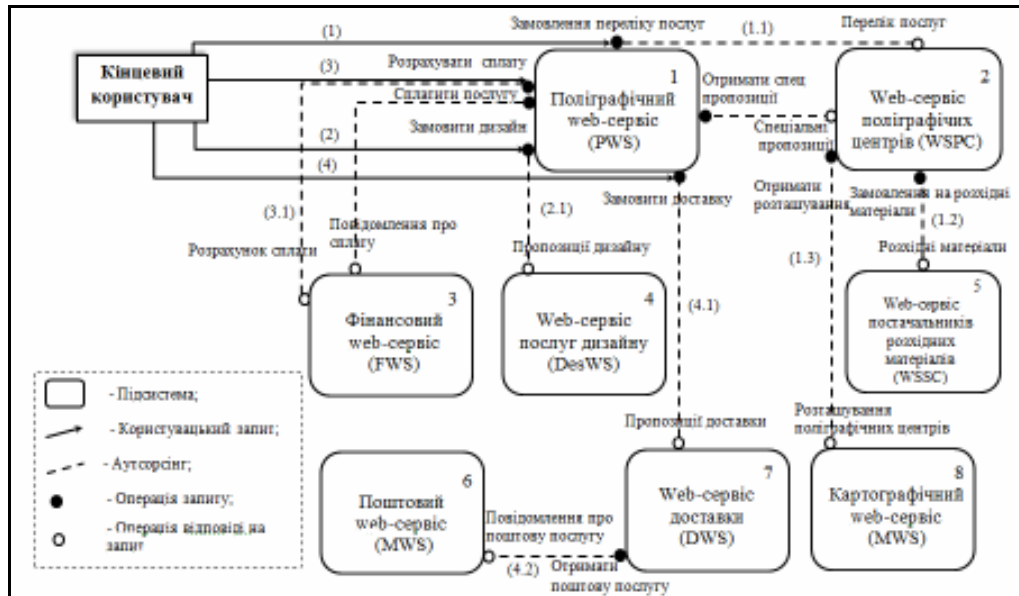


Рисунок 1 – Структурна схема поліграфічного web-сервісу

Паралельно поліграфічні центри з'єднуються з постачальниками розхідних матеріалів. За допомогою операції «Розхідні матеріали» надається список розхідних матеріалів з цінами (крок 1.2). Для зручності користувача список поліграфічних центрів, що надають обрану послугу зв'язані з місцями їх розташування на карті. Це результат замовлення зовнішньої послуги у картографічного web-сервісу (крок 1.3). Якщо клієнт окремо або паралельно має потребу в послугах дизайну, то він викликає операцію «Замовити дизайн». Для формування відповіді PWS взаємодіє з зовнішнім web-сервісом послуг дизайну. За допомогою операції «Пропозиції дизайну» надається відповідь на замовлення (крок 2.1). Далі клієнт подає запит на розрахунок вартості поліграфічних послуг за допомогою операції «Розрахувати сплату» та отримує «Розрахунок сплати» за допомогою зовнішнього фінансового web-сервісу (крок 3.1). Потім задіяв той же web-сервіс клієнт оплачує послугу картами VISA або Master Card. Якщо це необхідно, клієнт замовляє доставку готової поліграфічної продукції за допомогою операції «Замовити доставку». Цей запит пере адресується зовнішньому web-сервісу доставки, який за допомогою операції «Пропозиції доставки» інформує PWS

(крок 4.1). За допомогою операції «Отримати поштову послугу» web-сервіс доставки з'єднується з зовнішнім web-сервісом для надання поштових послуг при доставці поліграфічної продукції.

Опис структури поліграфічного web-сервіса

Опис структури поліграфічного web-сервісу здійснюється на основі алгебри сервісів [4]. На верхньому рівні моделювання за допомогою комбінації введених операторів для поліграфічного web-сервісу структура моделі представляється у вигляді:

Seq (Seq (Registering, Loop (ArbSeq (EnerPrivateOffice, Choice (WSPC, Seq (WSPC, DesWS))))), Choice (FWS, Seq (FWS, DWS)))

У цій послідовності слід відмітити обов'язкове першим є виконання реєстрації, далі є можливість ітераційного довільного вибору відвідування «Особистого кабінету», або обрати вибір поліграфічних послуг. Послідовність операторів закінчується добором можливих видів оплат послуг або оплати та доставки поліграфічної продукції.

Аналогічно подається структура моделей для кожного зовнішнього web-сервісу, якій входить до складу агрегованого поліграфічного web-сервісу. Для підсистеми «Особистий кабінет» структура моделі представляється у вигляді:

Loop (Choice (ArbSeq (Change Pass, ArbSeq (Change Login, ArbSeq (Change Mail, Apply For Service))), Choice (Change Pass, Choice (Change Login, Choice (Change Mail, Apply For Service))))

Послідовність операторів представляє ітераційний вибір з довільної послідовності операцій «Особистого кабінету» або добору будь-якої з наведених операцій цієї підсистеми.

Для підсистеми «Реєстрація» структура моделі представлена у вигляді:

Seq (Registering, Seq (Enter Login, Seq (Enter Pass, Enter Mail)))

Це звичайна послідовність операцій при реєстрації, яка включає ввід логіна, пароля та адреса поштової скринки користувача.

Для підсистеми «Пошук поліграфічної послуги» структура моделі представлена у вигляді:

Loop (Seq (SetOfServiceFilter, Seq (Loop ([WSPC₁ (p₁, q₁) : WSPC_n (p_n, q_n)]), ArbSeq (GetPriceList, ArbSeq (GetLocation, ArbSeq (ReceiveSpecialOffers, ArbSeq (AskForConsumables, KnowHowMany)))))))).

Послідовність операторів представляє ітераційну послідовність з вкладеними операторами довільних послідовностей.

Для підсистеми «Послуга дизайну» структура моделі представлена у вигляді:

Loop (Seq (ApplyForDesign, EnterDataForDesign))

Це ітераційна послідовність замови послуги дизайну та введення інформації для виконання цієї послуги.

Для підсистеми «Сплата послуг» структура моделі представлена у вигляді:

Choice (Seq (ChoiceVISA, EnterDataForVISAPayment), (Seq (ChoiceMasterCard, EnterDataForMCPayment)))

Це оператор вибору з вкладеними операторами послідовностей. Клієнт обирає тип картки (VISA або MasterCard) для здійснення оплати послуг.

Для підсистеми «Послуга доставки» структура моделі представлена у вигляді:

Seq (OrderDelivery, Seq (UseMail, EnterDataForDelivery))

Ці оператори реалізують послідовність замови послуги доставки, ведення особистих показників, таких як телефон, адрес поштової скриньки, та ведення даних по доставці.

Побудова моделі поліграфічного веб-сервісу в CPN Tools

Система CPN Tools надає два основних засоби аналізу моделей: імітація поведінки мережі та формування простору станів. Аналіз простору станів можливо здійснити для невеликих моделей завдяки ефекту зросту простору станів. Даний аналіз використовують при верифікації корпоративних сервісів, коли необхідна інформація про стандартні властивості мережі. Для моделей складних систем одним з засобів аналізу простору станів мереж Петрі є представлення структурної моделі системи, тобто мережі Петрі в ієрархічному вигляді, та розбиття її далі на окремі мережі другого рівня [7,8]. Якщо результати отримані при

аналізі властивостей мереж нижнього рівня та основної мережі задовольняють бажаній якості, то можливо стверджувати, що при аналізі властивостей ієрархічної мережі буде отримано подібний результат.

Кольорова мережа Петрі поліграфічного web-сервісу представлена на рис.2.

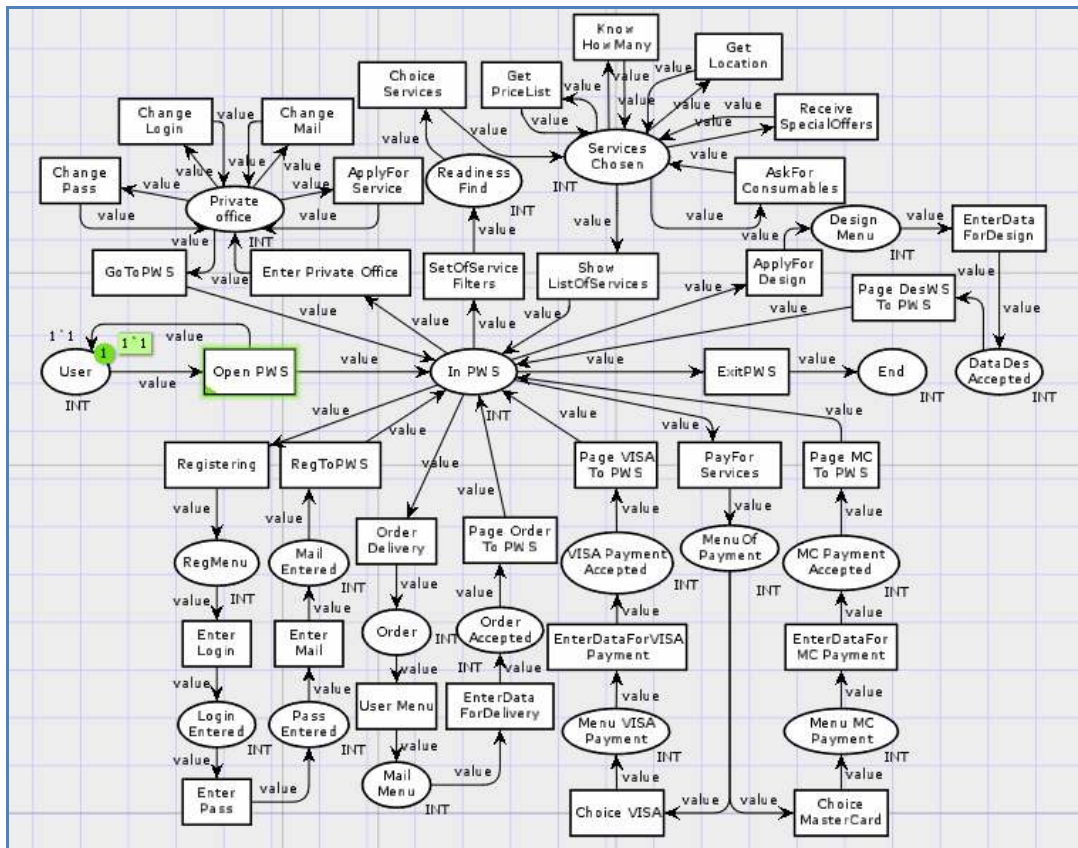


Рисунок 2 – Кольорова мережа Петрі поліграфічного web-сервісу

Представимо дану мережу Петрі в ієрархічному вигляді. На рис. 3 зображена головна сторінка ієрархічної мережі Петрі, яка відображає основні процеси при функціонуванні поліграфічного web-сервісу. Система складається з семи основних сценаріїв: знаходження в web-сервісі, реєстрації, пошуку поліграфічної послуги, послугі дизайну, розрахунку за обрані послуги та послуги доставки поліграфічної продукції, а також «Особистий кабінет». Кожен з представлених сценаріїв може функціонувати окремо, для цього необхідно поділити основні сценарії на мережі другого рівня (рис. 4.3). При аналізі простору станів ієрархічної мережі було побудовано граф станів. В системі нема зациклень, 4-те и

та 25-те маркування є тупиковими. Дане маркування – це стани виходу з web-сервісу, тобто, вони розглянуті як стани завершення роботи.

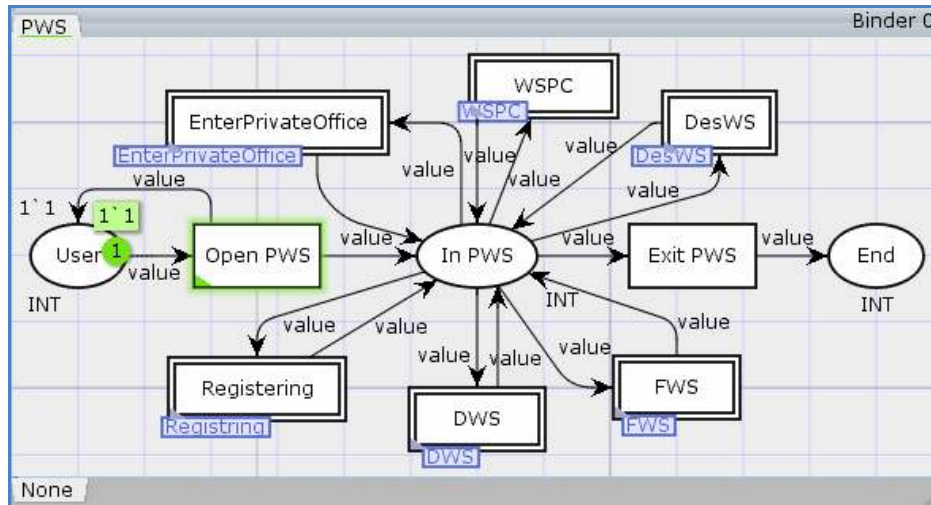


Рисунок 3 – Головна сторінка ієрархічної мережі Петрі поліграфічного web-сервісу

Оскільки мережі другого рівня (*Registering*, *DWS*, *FWS*, *Enter Private Office*, *WSPC*, *DesWS*) є підсистемами, то їх можливо аналізувати окремо від основної мережі. На рисунку 4.4 представлена мережа другого рівня для виконання сценарію «Особистий кабінет». Якщо мережа для перевірки системи була поділена на ієрархії, тоді аналіз мережі другого рівня потрібно починати со всіх можливих вхідних станів і цю мережу – для даного прикладу існує тільки один вхідний стан.

Простір станів для даної мережі виглядає таким чином:

$$V = \{m_1(1,0), m_2(0,1)\}$$

$$E = \{(m_1, \text{Enter Private Office}, m_2), (m_2, \text{Change Pass}, m_2), (m_2, \text{Change Login}, m_2), (m_2, \text{Change Mail}, m_2), (m_2, \text{Apply For Service}, m_2), (m_2, \text{Go To PWS}, m_1)\}.$$

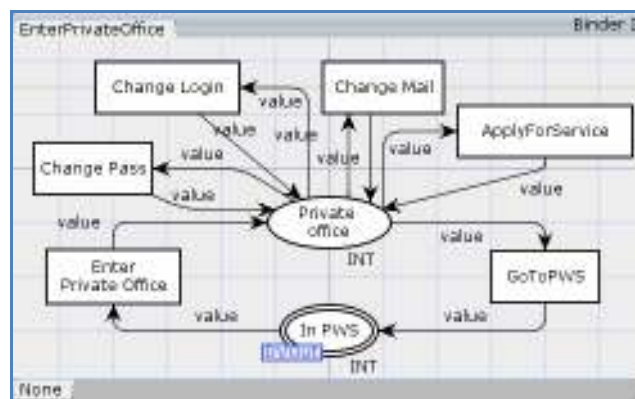


Рисунок 4 – Мережа другого рівня «Особистий кабінет»

Аналіз простору станів виявляє наявність двох вершин та шести дуг з повністю живим маркуванням мережі, відсутність зациклень, типових розміток та можливість бути спрацьованими для усіх переходів.

Аналогічні результати були отримані при аналізі п'яти залишених мереж другого рівня, моделі яких у вигляді кольорових мереж Петрі представлені на рис.5-9.

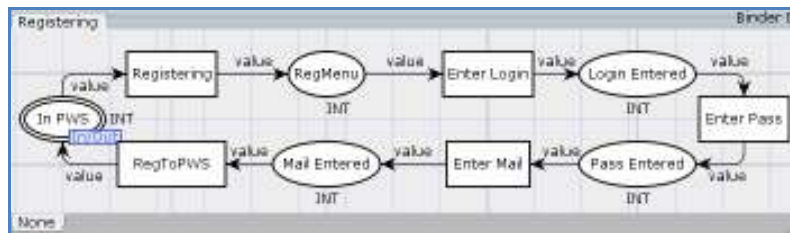


Рисунок 5 – Мережа другого рівня «Реєстрація»

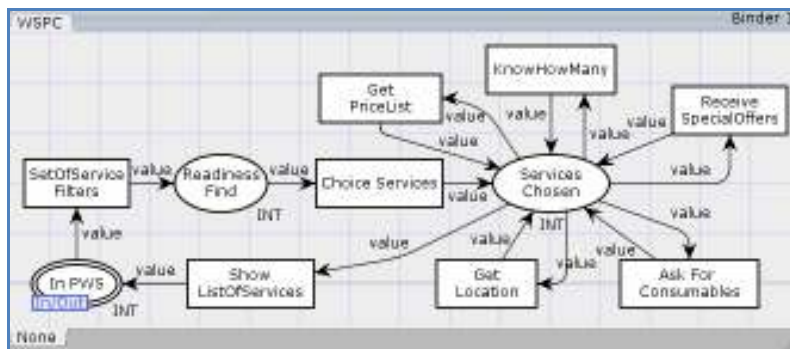


Рисунок 6 – Мережа другого рівня «Пошук поліграфічної послуги»

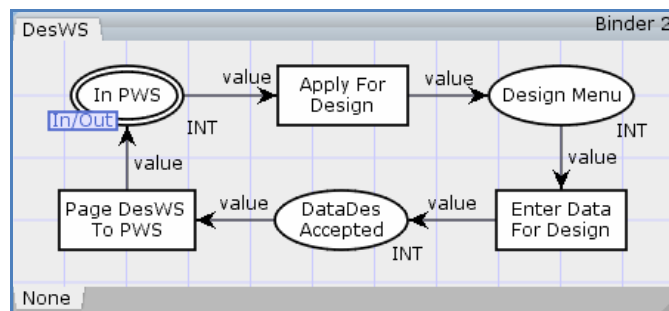


Рисунок 7 – Мережа другого рівня «Послуга дизайну»

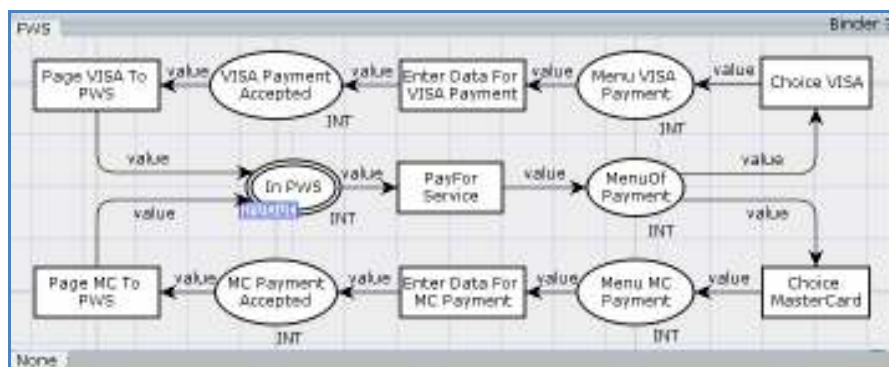


Рисунок 8 – Мережа другого рівня «Сплата послуг»

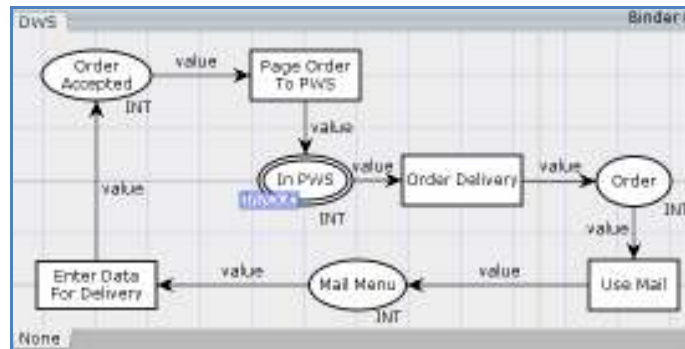


Рисунок 9 – Мережа другого рівня «Послуга доставки»

Аналогічність результатів по всіх мережах другого рівня дає можливість спростити мережу Петрі, яка представлена на рис. 10. Результати, які отримані при аналізі ієрархічної мережі цілком, та результати, які отримані при аналізі мереж другого рівня та головної мережі окремо, співпадають: в системі є два тупикові маркування (вихід з системи), відсутні зациклення, всі переходи спрацьовують.

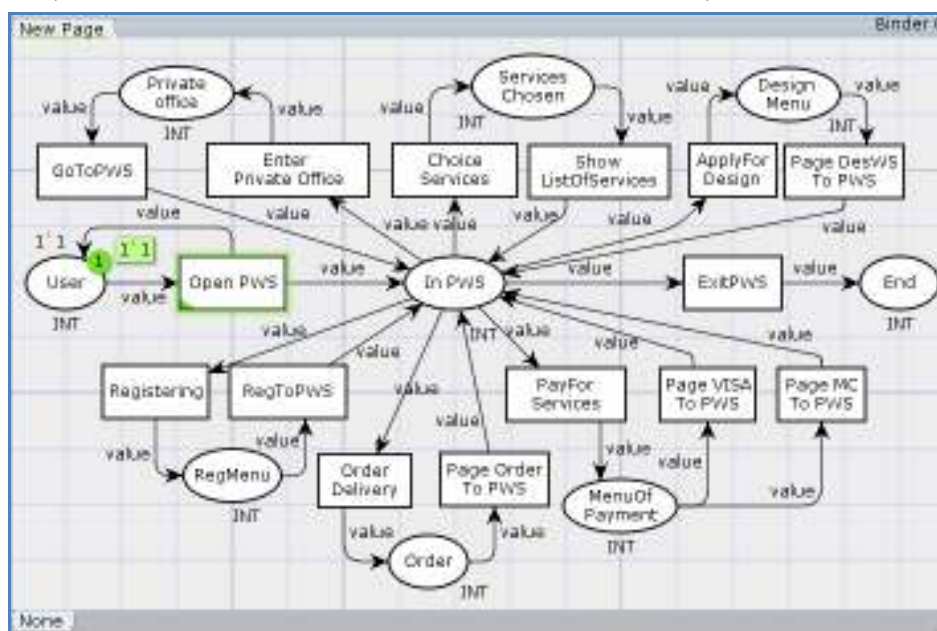


Рисунок 10 – Спрощена мережа Петрі поліграфічного web-сервісу

Висновки

Представлено модель поліграфічного web-сервісу у вигляді мережі Петрі в ієрархічному вигляді з метою аналізу окремих мереж другого рівня. Це дає можливість аналізувати окремо всі частини мережі та використовувати результати для формування висновків про коректність побудови всієї мережі. При існуванні зв'язків між мережами другого рівня

необхідно внести додаткові критерії аналізу мереж, які пов'язані з додаванням в основну мережу міст та переходів між мережами другого рівня, кількість яких залежить від кількості можливих станів взаємодії між мережами другого рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем / Т.И. Алиев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
2. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем : монография. Днепропетровск : Системные технологии, 2005. 311 с.
3. Бохан К.А. Модели корпоративных сервисов на основе иерархических сетей Петри / К.А. Бохан, М.С. Худолей // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2010. – Вып. 47. – С. 36-41.
4. Гожий В.О. Алгебра для моделювання взаємодії web-сервісів / В.О.Гожий // Системные технологии.-2018. - Вып. 5(118). – С. 121-132.
5. Котов, В.Е. Сети Петри [Текст] / В.Е. Котов. – М.: Наука. Главная редакция физико– математической литературы, 1984. – 160 с.
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
7. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. Software Tools for Technology Transfer manuscript. 2007. 40 p.
8. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets [Text] / M. Ajmone Marsan, G. Balbo, G. Conte, S. Donatelli, G. Franceschinis. – John Wiley & Sons, 1995. – 324 p.
9. Murata T. “Petri nets: Properties, analysis and applications,” in Proc. of the IEEE, Vol. 77(4), 1989, pp. 541580.

REFERENCES

1. Aliyev T.I. Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem / T.I. Aliyev. – SPb: SPbGU ITMO, 2009. – 363 s.
2. Bodyanskiy Ye.V., Kucherenko Ye.I., Mikhalev A.I. Neyro-fazzi seti Petri v zadachakh modelirovaniya slozhnykh sistem : monografiya. Dnepropetrovsk: Sistemnyye tekhnologii, 2005. 311 s.
3. Bokhan K.A. Modeli korporativnykh servisov na osnove iyerarkhicheskikh setey Petri / K.A. Bokhan, M.S. Khudoley // Radioelektronnyye i komp'yuternyye sistemy. – 2010. – Vyp. 47. – С. 36-41.
4. Gozhiy V.O. Algebra dlya modelyuvannya vzaïmodiï web-servísiv / V.O.Gozhiy // Sistemnyye tekhnologii.-2018. - Vyp. 5(118). – С. 121-132.
5. Kotov, V.Ye. Seti Petri [Tekst] / V.Ye. Kotov. – M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko– matematicheskoy literatury, 1984. – 160 s.
6. Piterson D. Teoriya setey Petri i modelirovaniye sistem: per. s angl. / D. Piterson. – M.: Mir, 1984. – 264 s.
7. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. Software Tools for Technology Transfer manuscript. 2007. 40 p.
8. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets [Text] / M. Ajmone Marsan, G. Balbo, G. Conte, S. Donatelli, G. Franceschinis. – John Wiley & Sons, 1995. – 324 p.
9. Murata T. “Petri nets: Properties, analysis and applications,” in Proc. of the IEEE, Vol. 77(4), 1989, pp. 541-580.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ЗАГРУЗКИ СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Аннотация. Статья посвящена разработке системы автоматического управления загрузкой струйной мельницы на основе анализа акустических сигналов различных режимов ее работы. Исследование проводилось для разных режимов записи сигналов акустического мониторинга и процесса измельчения различных сыпучих материалов. Численным экспериментом усовершенствована методика анализа акустических сигналов зоны измельчения, уменьшена погрешность. Создана аппаратная база системы управления и реализована модель управляемого бункера загрузки.

Ключевые слова: газоструйная мельница, акустический сигнал, контроллер, бункер загрузки

Газоструйное измельчение является одним из наиболее перспективных способов получения тонкодисперсных материалов. Однако высокая энергоемкость технологического процесса сдерживает его широкое внедрение в промышленность. При выбранных технологических параметрах оптимальный режим измельчения определяется наполненностью струй материалом. При избытке (перегрузке мельницы) и недостатке (разгрузке мельницы) материала производительность снижается, процесс измельчения может прекратиться. Поэтому крайне важно контролировать загрузку струй материалом и вовремя осуществлять дозагрузку необходимой порции материала.

Исследования [1] показали эффективность контроля процесса струйного измельчения на основе акустического мониторинга. Установлена взаимосвязь технологических, режимных и акустических параметров процесса [2], разрабатывается автоматизированная система управления мельницей. Для каждой требуемой крупности готового продукта устанавливается свой технологический режим измельчения и классификации и, соответственно, свой диапазон характеристик акустических сигналов для достижения максимальной производительности измельчения.

На этом основана система управления работой струйной мельницы по результатам акустического мониторинга

Цель работы – разработать автоматизированную систему управления бункером загрузки струйной мельницы на основе анализа акустических сигналов зоны измельчения.

Созданная ранее модель бункера [3] позволила разработать систему автоматического управления загрузкой мельницы. Для получения сигнала управления силовым приводом необходимо анализировать акустические сигналы зоны измельчения. Для выполнения анализа существует множество методик, но для реализации средствами программируемого логического контроллера (ПЛК) наиболее пригодный амплитудный анализ.

Для осуществления акустического мониторинга в измельчительной камере устанавливается волновод, который соединен с пьезокерамическим датчиком. В нашем случае был использован ПЛК TM251MESE (рис 1.) с модулями расширения (TM3DI8, TM3DQ8U и TM3AI2H) для обработки аналоговых и дискретных сигналов. Датчик фиксирует столкновения измельчаемых частиц с волноводом, и преобразует энергию столкновения в электрический сигнал. Исследования показали, что записываемый сигнал имеет небольшую амплитуду, которая при обычном режиме работы составляет порядка 100 мВ, а без загрузки материала (холостой ход) - 10-15 мВ. Разрядность АЦП составляет 16 разрядов при диапазоне измерения от 0 до 10 В. В связи с этим необходимо сигнал дополнительно усилить с помощью операционного усилителя, включенного по схеме не инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 10 (рис 1.).

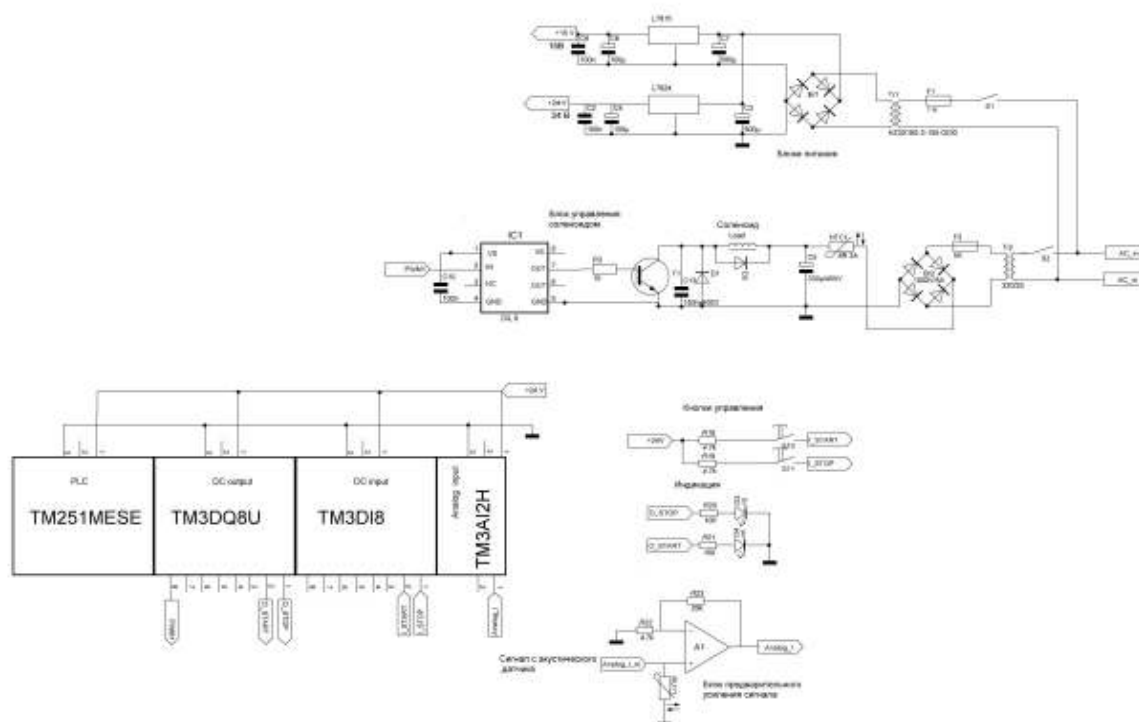


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема управления бункером загрузки

Измеряемый сигнал несет в себе возмущения, которые имеют случайный характер (перенапряжения), поэтому управление соленоидом бункера загрузки по одному амплитудному значению невозможно. Для устранения погрешности измерения берется выборка из 100 значений. При такой конфигурации время реакции САУ составит 100 мс, при частоте опроса 1 мс. Выбранное оборудование имеет ограничение по времени опроса АЦП за каждый цикл программы (рис 2.), которое составляет 1 мс.

Для оценки погрешности было проведено экспериментальное исследование сигналов. За истинный сигнал выбирается сигнал, записанный на частоте 400 кГц (рис. 3), а за измеряемый (рис. 4) – сигнал, записанный на частоте 1 кГц (при частоте опроса 1 мс.).

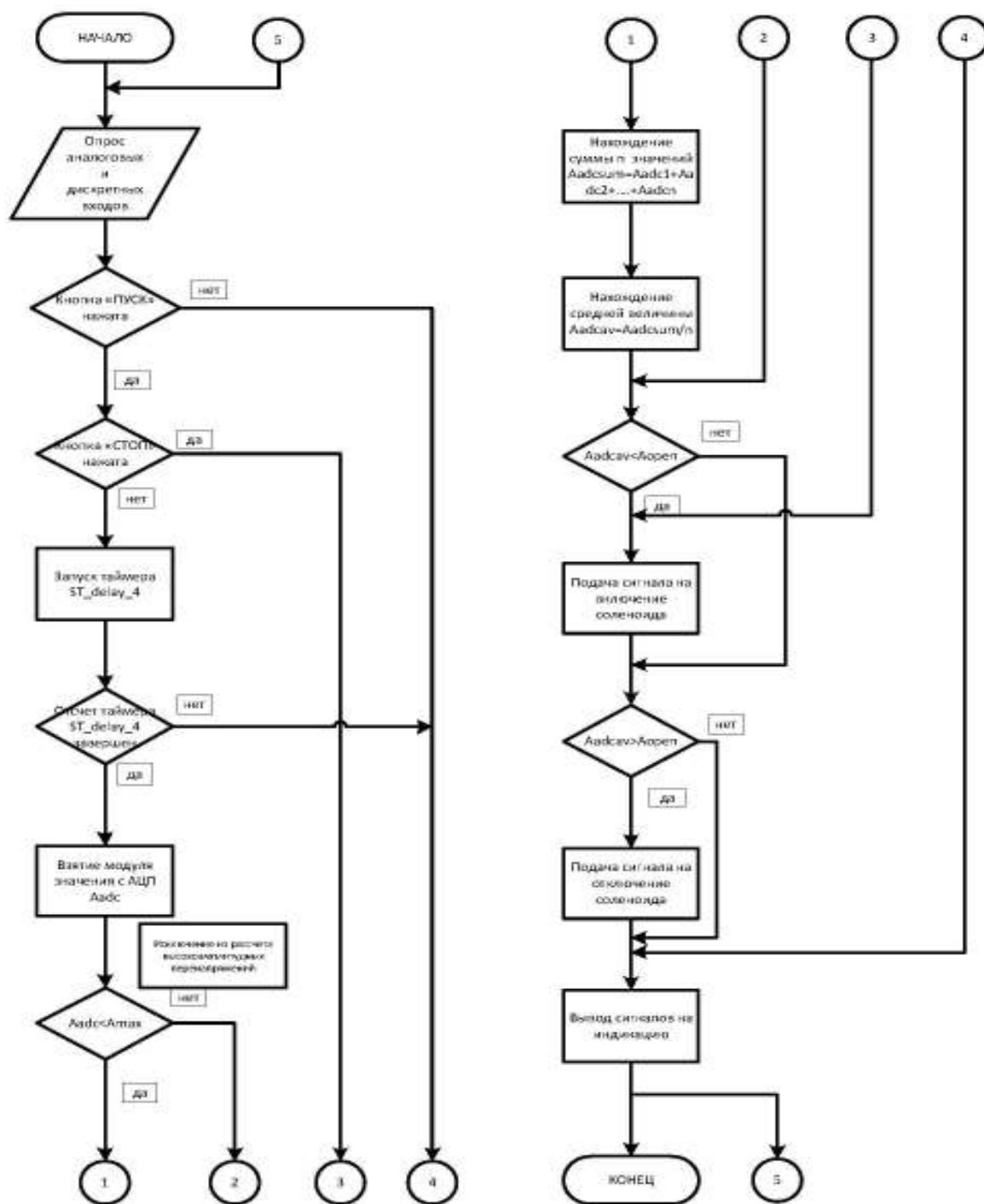
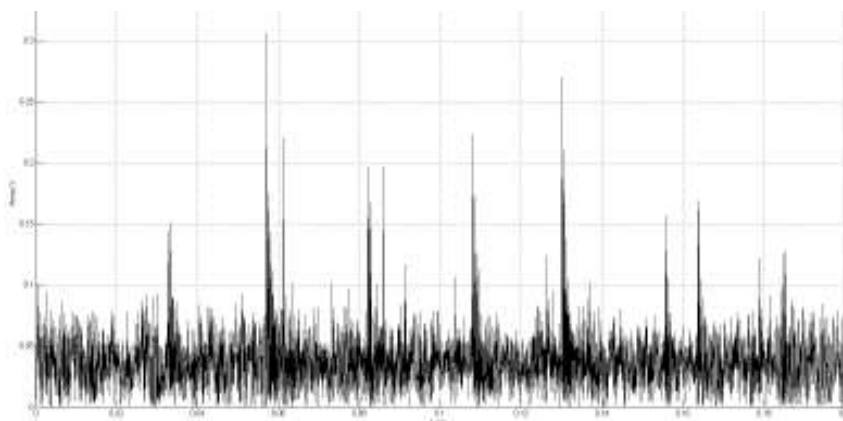
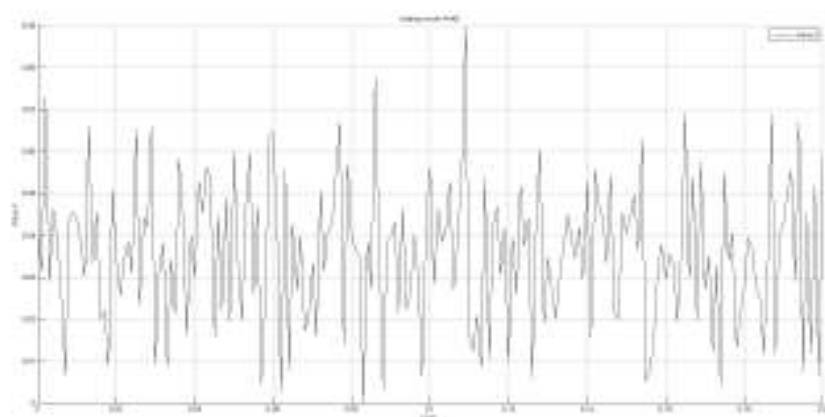


Рисунок 2 – Алгоритм работы программного обеспечения ПЛК



а)



б)

Рисунок 3 – Записи сигналов при частоте 400 кГц (а) и при частоте 1 кГц (б).

Обработав массив данных в пакете Matlab, и вычислив среднее арифметическое значение, получили, что относительная ошибка составила менее 1%. После вычислений и исключения из выборки случайных величин, среднеарифметическое значение сравнивается (рис. 2) с заданным значением величины амплитуды, которое было получено при предварительном исследовании измельчаемого материала.

Для исключения частого срабатывания («дребезжания») соленооида, заданная величина, выбирается в виде двух значений, а именно, для открытия и закрытия бункера загрузки. Опытным путем для установки УСИ-20 было установлено, что гистерезис $\pm 4-5\%$ от заданной величины является оптимальным с точки зрения быстродействия системы и износа подвижных частей привода бункера загрузки.

В качестве силового привода, был выбран соленоид, с питающим напряжением 12 В и рабочим током в установившемся режиме 5 А, с пружиной возврата, которая опускает оживайло (заслонку) и закрывает бункер загрузки в случае прекращения подачи питающего напряжения. После обработки всех данных, управляющий сигнал поступает с модуля расширения ПЛК ТМ3DQ8U на блок управления соленоидом, который собран на базе полевого транзистора STP100N6F7 (рис. 4б) с рабочим напряжением 60 В и максимальным током до 100 А.. Затем управляющий сигнал передается на открытие или закрытие заслонки бункера загрузки (рис. 4б).



а)



б)

Рисунок 4 – Аппаратная реализация системы автоматического управления приводом бункера загрузки

Выводы. Разработана система управления загрузкой мельницы посредством управляемого бункера на основе результатов непрерывного акустического мониторинга процесса измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pryadko N.S. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis // Power Engineering, Control & Information Technologies in Geotechnical Systems – 2015.– Taylor & Francis Group, London, p. 99-108.

2. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения// LAP LAMBERT Academic Publishing.–OmniScriptum GmbH&Co.Kg.–2013.– Saarbrücken Germany.–172с.

3. Музыка Л.В., Прядко Н.С. Методика автоматического управления струйным измельчением на основе моделей объекта и системы управления //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. Днепр – 2017. – № 2 (109). – С. 51-58.

REFERENCES

1. Pryadko N.S. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis // Power Engineering, Control & Information Technologies in Geotechnical Systems – 2015.– Taylor & Francis Group, London, p. 99-108.

2. Pryadko N.S. Akusticheskie issledovaniya struynogo ismelcheniya// LAP LAMBERT Academic Publishing.–OmniScriptum GmbH&Co.Kg.–2013 .– Saarbrücken Germany.–172 s.

3. Musyka L.V., Pryadko N.S. Metodika automaticeskogo upravleniya struynim ismelcheniem na osnove modeley objecta and systemi upravleniya // System technologies.. Dnipro - 2017. - № 2 (109). - S. 51-58.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ГРУППЫ ТЕЛ ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния взаимного расположения двух цилиндров и сфер на их аэродинамические характеристики и картину течения при обтекании группы потоком вязкой несжимаемой жидкости. Математическое моделирование проводилось с помощью численного решения уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Для верификации выбранной методики осуществлялось моделирование обтекания единичного цилиндра и сферы при различных числах Рейнольдса. Проанализированы особенности, проведена классификация и сравнение картин течения при обтекании группы цилиндров и сфер.

Ключевые слова: Математическое моделирование, уравнения Навье-Стокса, обтекание двух цилиндров, обтекание двух сфер.

Введение. Анализ исследований и публикаций

Известно, что наличие возле тела в потоке другого тела либо твердой стенки может в значительной степени изменить как общую картину течения, так и аэродинамические характеристики отдельно взятых тел. Подобные явления взаимного влияния тел достаточно широко распространены в современной технике: в архитектуре – это взаимное влияние близкорасположенных высотных зданий, взаимное влияние элементов конструкции вантовых мостов, в авиации – это взаимное влияние самолетов при выполнении совместных сложных фигур пилотажа и при дозаправке в полете, уменьшение лобового сопротивления при движении группой часто используется в спорте, например при движении команды велогонщиков, а также уменьшение лобового сопротивления при движении группой используется при грузоперевозках (platooning). Это позволяет значительно сократить количество необходимого топлива при перевозках с помощью автомобильных поездов. По оценкам, приведенным в [37] экономия составляет для первого автопоезда порядка 4.5%, а для следующего порядка 10% топлива. Это стало возможным благодаря раз-

витию методов исследования обтекания тел, а также развитию средств контроля и управления транспортными средствами.

Взаимное влияние тел в потоке может быть как положительным (уменьшение лобового сопротивления), так и отрицательным: изменяется частота отрыва вихрей, что может привести к разрушению конструкции из-за возникновения неучтенных при проектировании резонансных явлений [21].

Первые работы, посвященные взаимодействию вихрей в потоке за несколькими телами, появились в начале 20-го века. Эти исследования в основном касались сил, действующих на элементы конструкций, находящихся в непосредственной близости, как, например, в [9]. В этой работе авторы использовали исследования в аэродинамической трубе для измерения сопротивления обтекаемых и круглых стоек в различных конфигурациях, включая тандемные расположения. Авторы обнаружили, что сопротивление этих тел при обтекании как группа будет всегда меньше, чем сумма сопротивлений тех же тел, которые тестировались отдельно. Кроме того, в представленных результатах была определена одна из важнейших особенностей обтекания круговых цилиндров: при тандемном расположении происходит резкое изменение величины аэродинамических сил при постепенном изменении расстояния между цилиндрами по потоку от 3 до 4 диаметров цилиндра.

В работе [32] приведены результаты исследования изменения общей картины течения и формы взаимодействия вихрей за тандемно расположенными круговыми цилиндрами.

В дальнейшем, экспериментальные исследования обтекания группы, состоящей из двух цилиндров, были направлены на классификацию картин течений в зависимости от положения группы в потоке, расстояния между цилиндрами и числа Рейнольдса [22, 23, 35, 36]. Достаточно полная идентификация и классификация картин течений выполнена в работе [31]. Авторы выделили девять различных картин течения, которые в дальнейшем были детально проанализированы. Наблюдались следующие явления: повторное присоединение пограничного слоя, вынужденный отрыв потока, парный отрыв вихрей, их синхронизация и

взаимодействие. В дальнейшем работа [31] была расширена и дополнена в работе [32]. Классификация и идентификация картин течений является важной задачей современной аэрогидродинамики и ведется до сих пор, например [22].

Значительно меньше работ посвящено исследованию обтекания групп сфер. При обтекании одиночной сферы выделяют несколько характерных картин течения [3,5,7,8,18,19,27]: стационарное осесимметричное обтекание (для чисел Рейнольдса $Re < 210$), нестационарное обтекание с симметрией относительно плоскости (для Re от 210 до 450), нестационарный асимметричный режим (для чисел $Re > 450$). При значениях чисел Рейнольдса не превышающих 210 за сферой формируется одиночная стационарная спутная струя. Дальнейшее увеличение числа Рейнольдса приводит к тому, что формируется двойная спутная струя. При превышении значения числа Рейнольдса 270 эта струя становится неустойчивой [5,27] и след состоит из последовательных взаимосвязанных вихревых петель (шпилькообразные вихри), симметричных относительно плоскости. При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса течение становится более сложным, асимметричным и происходит переход к турбулентному течению при числе Рейнольдса, превышающем 1000 [5,27].

Исследования, посвященные классификации картин течений вокруг групп сфер на данный момент выполняются в основном с помощью математического моделирования. В работах [27, 28, 29] проведено моделирование обтекания сфер при положении сторона к стороне. В работе [34] выполнена классификация типичных картин обтекания двух сфер при числе $Re=300$ и различных положениях сфер относительно потока. Авторы [34] описывают девять типичных картин течения по аналогии с картинами обтекания двух цилиндров.

Цель исследования и постановка задачи

Целью данной работы является исследование взаимного влияния двух тел в потоке вязкой несжимаемой жидкости и преобразование структуры течения при изменении положения тел в группе относительно набегающего потока, а также влияние взаимного расположения тел в

группе на нестационарные и осредненные по времени аэродинамические характеристики.

В качестве модельных рассматривались группы, состоящие из двух круговых цилиндров и двух сфер одинакового диаметра. На рис. 1 показана схема модельного эксперимента.

При моделировании обтекания группы цилиндров параметры набегающего потока соответствовали течению вокруг одиночного цилиндра при числах Рейнольдса 80 и $1.66 \cdot 10^5$. При моделировании обтекания группы сфер параметры набегающего потока соответствовали течению вокруг одиночной сферы при числе Рейнольдса 750.

Математическое моделирование проводилось с помощью численного решения уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. В консервативной форме уравнения Навье-Стокса можно записать в виде [6,12,17]:

$$\nabla \cdot \bar{V} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{V} \cdot \bar{V}) = -\frac{\nabla \bar{p}}{\rho} + \nu \cdot \nabla^2 \bar{V} - \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \tau^R, \quad (2)$$

где \bar{V} - вектор скорости, p - давление, ν - динамическая вязкость, ρ - плотность жидкости, τ^R - тензор напряжений Рейнольдса.

Для моделирования обтекания группы цилиндров при числе Рейнольдса $1.66 \cdot 10^5$ использовалась модель турбулентности $k-\omega$ SST [25].

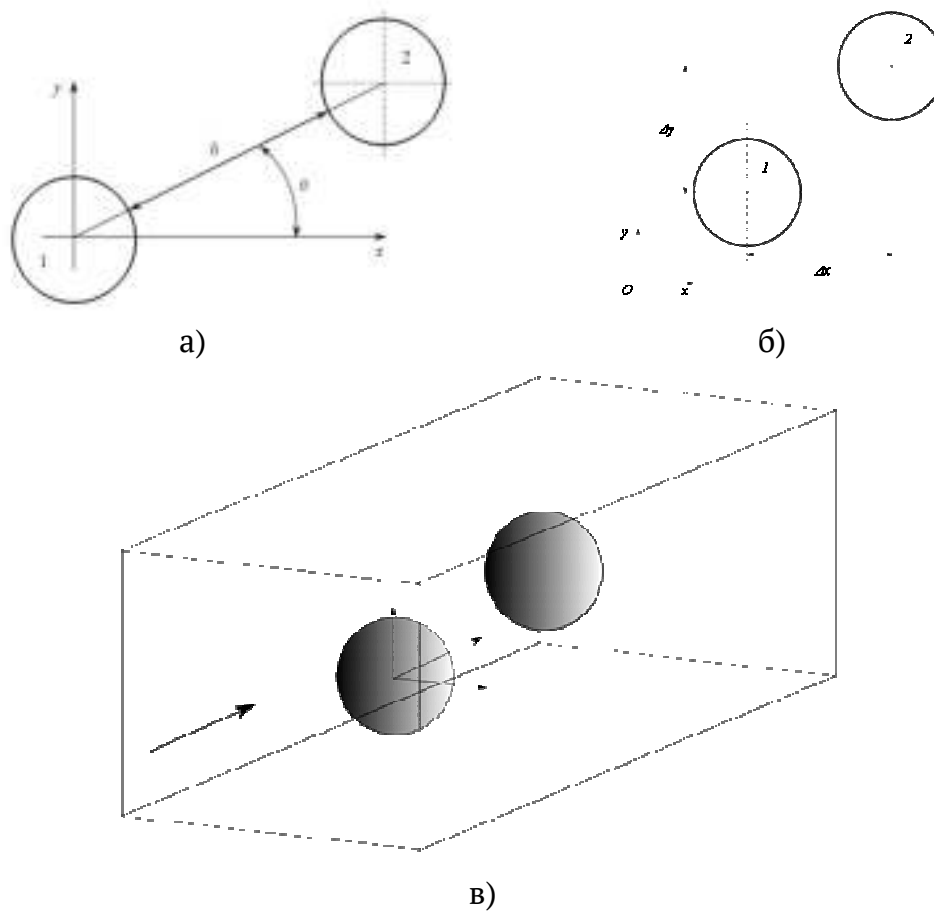


Рисунок 1 – Схематическое изображение модельного эксперимента для обтекания двух цилиндров (а) и двух сфер (б,в)

К системе уравнений (1-2) добавляется уравнение для турбулентной кинетической энергии и уравнение для скорости диссипации. Турбулентная кинематическая вязкость вычисляется как:

$$\nu_T = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (3)$$

Турбулентная кинетическая энергия описывается следующим уравнением:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = P_k - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma_k \nu_T \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

Уравнение для скорости диссипации:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha S^2 - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma_\omega \nu_T \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \sigma_\omega \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \quad (5)$$

Соответствующие зависимости определяются как:

$$F_2 = \tanh \left[\left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \right] \quad (6)$$

$$P_k = \min \left(\tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, 10\beta^* k \omega \right) \quad (7)$$

$$F_1 = \tanh \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\sigma \omega^2 k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \quad (8)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma \omega^2 \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right) \quad (9)$$

$$\phi = \phi_1 F_1 + \phi_2 (1 - F_1) \quad (10)$$

Для получения дискретных аналогов уравнений Навье-Стокса (1)-(2) использовался метод контрольных объемов. Особенностью уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости является отсутствие давления в уравнении неразрывности (1), что приводит к необходимости введения дополнительных численных процедур, связывающих поля скорости и давления. На данный момент для взаимной коррекции полей давления и скорости разработано несколько методов [12, 13, 17, 27, 33]. Для моделирования нестационарных процессов и согласования полей давления и скорости использовался метод PIMPLE. Моделирование проводилось с помощью вычислительной платформы OpenFOAM [15,16,24,26].

Моделирование обтекания группы цилиндров

Для верификации выбранной методики проводилось моделирование обтекания кругового цилиндра при $Re = 80$ и $1.66 \cdot 10^5$. Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными [8, 11, 31].

Математическое моделирование обтекания группы проводилось при значениях угла поворота группы $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ и значениях зазора между цилиндрами $h=0.2D, 0.4D, 0.6D, 0.8D, 1.0D, 2.0D, 3.0D, 4.0D, 5.0D$. В качестве характерного размера выбирался диаметр одиночного цилиндра. На основании полученных распределений по

времени коэффициентов лобового сопротивления и подъемной силы определялись основные числа Струхала (частоты), амплитуды колебаний коэффициентов C_x , C_y как отдельных цилиндров, так и цилиндров как единой системы тел. По изменению амплитуд колебаний C_x и C_y определялось, происходит ли отрыв вихрей в фазе или в противофазе [11,20]. Было обнаружено восемь характерных картин обтекания (режимов) группы из двух цилиндров при $Re = 80$ (рис. 2). Режимы 1 и 2 – стационарные. При режиме 1, коэффициент лобового сопротивления $C_{x2} < 0$, а для режима 2 $C_{x2} > 0$. Режимы 3-8 – нестационарные. Режим 8 – апериодические изменения C_x , C_y . Режимы 3 – 7 являются периодическими, характеризуются разными величинами коэффициентов C_x , C_y , а также тем, происходят колебания C_x , C_y в фазе или противофазе.

Наиболее значительные изменения картины течения и аэродинамических характеристик происходят при тандемном расположении (рис. 3, 4) и при увеличении расстояния между центрами цилиндров от трех до четырех диаметров и при расположении сторона к стороне при увеличении расстояния между центрами цилиндров больше трех диаметров. Моделирование обтекания группы цилиндров турбулентным потоком проходило при тандемном расположении и расположении сторона к стороне при $1.435D$ и $3.7D$.

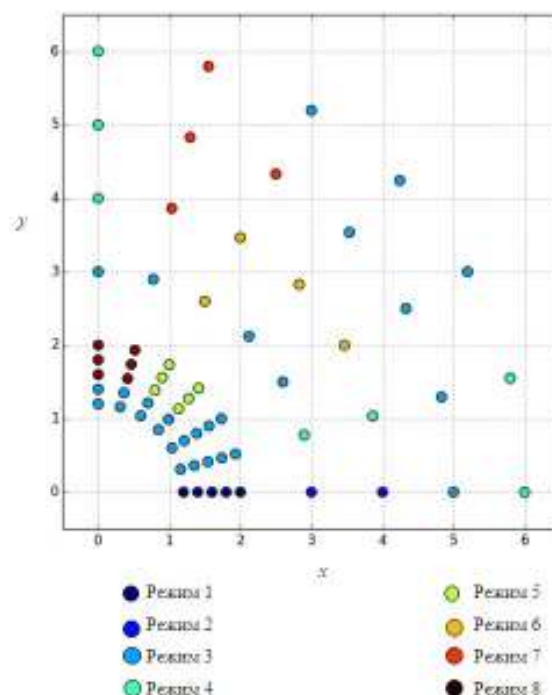


Рисунок 2 - Режимы обтекания системы двух цилиндров

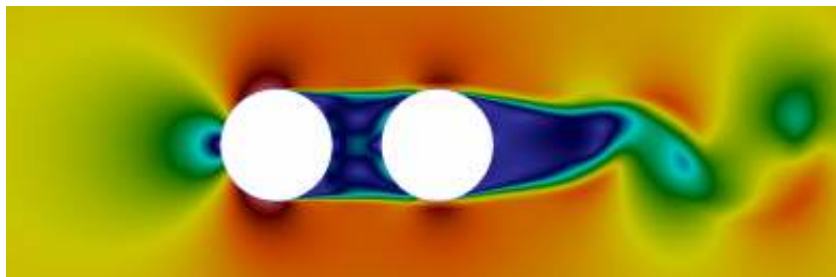


Рисунок 3 - Мгновенное распределение скорости. Расстояние между центрами $1.435D$, $Re = 1.66 \cdot 10^5$

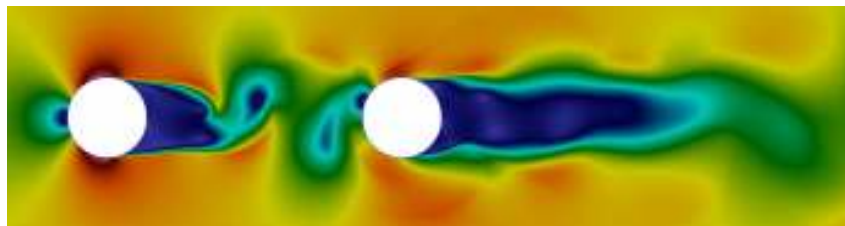


Рисунок 4 - Мгновенное распределение скорости. Расстояние между центрами $3.7D$, $Re = 1.66 \cdot 10^5$

Моделирование обтекания группы сфер

Обтекание сферы является одной из фундаментальных задач современной вычислительной механики жидкости и газа [1, 2, 4, 8, 10, 14]. Для верификации методики моделирования проводилось математическое моделирование обтекания одиночной сферы потоком вязкой несжимаемой жидкости при числах Рейнольдса 100, 150, 300, 450, 600, 750, 900. Результаты моделирования хорошо совпадают с известными данными.

Математическое моделирование обтекания группы, состоящей из двух сфер, выполнено для чисел Рейнольдса 750 при $\Delta x = 0.0, 1.0, 2.0, 3.0$ и $\Delta y = 0.0, 1.0, 2.0, 3.0$, где Δx и Δy – расстояния между центрами сфер в плоскости xOy (рис. 5). В табл. 1 и 2 приведены полученные коэффициенты лобового сопротивления для первой и второй сфер в группе. Для одиночной сферы коэффициент лобового сопротивления равен $C_x = 0.527$.

При тандемном расположении сфер и расстоянии между центрами $\Delta x = 2.0$ коэффициент лобового сопротивления для первой сферы превышает аналогичный коэффициент для одиночной. Коэффициент лобового сопротивления второй сферы отрицателен, что указывает на возникновение циркуляционного течения между ними.

Таблица 1

Коэффициент лобового сопротивления первой сферы

Δy	Δx			
	0.0	1.0	2.0	3.0
0.0	-	-	0.605	0.508
1.0	-	0.773	0.568	0.592
2.0	0.602	0.584	0.578	0.589
3.0	0.551	0.624	0.552	0.576

Таблица 2

Коэффициент лобового сопротивления второй сферы

Δy	Δx			
	0.0	1.0	2.0	3.0
0.0	-	-	-0.154	0.337
1.0	-	0.482	0.496	0.538
2.0	0.598	0.577	0.554	0.585
3.0	0.551	0.552	0.542	0.525

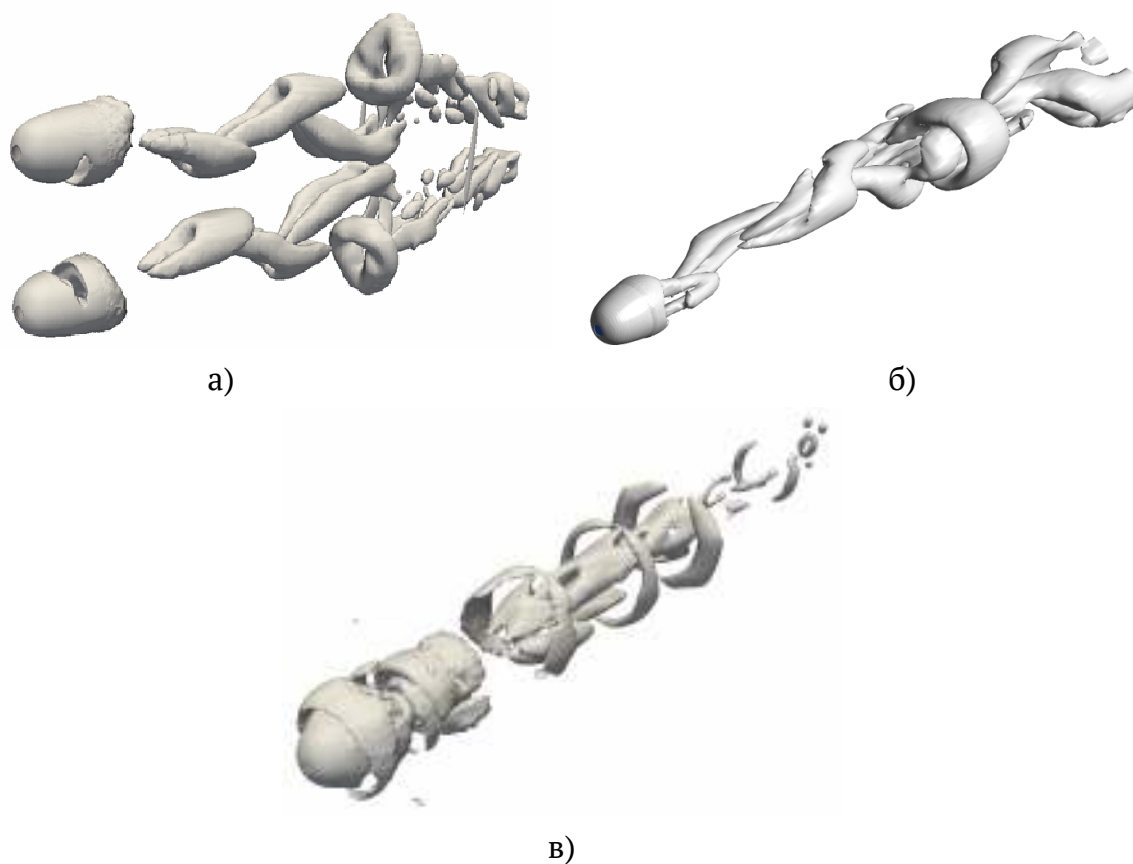


Рисунок 5 – Изоповерхности второго инварианта $Q=0.001$ тензора градиента скорости, $Re=750$, одиночная сфера (а), две сферы при $\Delta x=0.0, \Delta y=3.0$ (б) и две сферы при $\Delta x=2.0, \Delta y=0.0$ (в)

При увеличении расстояния между сферами происходит перестройка течения и коэффициент лобового сопротивления первой сферы уменьшается (табл. 1), а второй становится положительным (табл. 2).

При обтекании одиночной сферы потоком вязкой несжимаемой жидкости при числе Рейнольдса 750 симметрии в вихревом следе не наблюдается. Для всех расчетных случаев обтекания двух сфер происходит восстановление симметрии вихревых структур относительно плоскости xOy (рис. 5) кроме случая tandemного расположения сфер. В случае tandemного расположения сфер (рис. 5.в), реализуется отрыв петлевидных вихревых структур как при обтекании одиночной сферы.

Выводы

В работе приведены результаты математического моделирования обтекания группы из двух цилиндров и группы из двух сфер потоком вязкой несжимаемой жидкости в случае их различного положения в потоке. Для каждого рассмотренного случая положения группы относительно потока получены нестационарные и осредненные аэродинамические характеристики цилиндров и сфер в группе, а также проанализированы соответствующие картины течения.

В зависимости от положения группы тел относительно потока средний коэффициент лобового сопротивления цилиндров и сфер в группе может быть как меньше, так и больше чем коэффициент лобового сопротивления одиночного тела при тех же параметрах набегающего потока.

При tandemном расположении второй цилиндр оказывает стабилизирующее действие и при уменьшении зазора менее трех диаметров течение становится стационарным.

Для всех расчетных случаев обтекания двух сфер наблюдается восстановление симметрии вихревых структур относительно плоскости xOy . В случае tandemного расположения сфер, реализуется отрыв петлевидных вихревых структур как при обтекании одиночной сферы.

Исследования проводились при поддержке Гранта на выполнение научно-исследовательской работы молодых ученых Национальной ака-

демии наук Украины «Дослідження взаємного впливу двох тіл в потоці нестисливої в'язкої рідини» (№ гос. регистрации 016U003698).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст]/ Д. Андерсон, Дж. Таннехил, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 392 с. – Т. 2. – 336 с.
2. Богачев, К.Ю. Основы параллельного программирования [Текст] / К.Ю.Богачев // М: Бином. – 2003. – 342с.
3. Вовк, І.В. Обтікання сфери в'язкою нестисливою рідиною [Текст]/ І.В.Вовк В.С.Малюга // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка – К., 2013.- №3. -С. 102-105. – (Серія: «фізико-математичні науки»).
4. Волков, К.Н. Вычислительная технологии в задачах механики жидкости и газа [Текст]/ К.Н. Волков, В.Н. Емельянов – М.: Физматлит, 2012. – 468 с.
5. Гущин, В.А. Численное моделирование пространственных отрывных течений около сферы [Текст]/ В.А. Гущин, П.В. Матюшин // Журнал вычислительной математики и математической физики, - 1997 – том 37, №9 – С.1122-1137.
6. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст]/ Л.Г. Лойцянский. –М: Дрофа, 2003. – 846с.
7. Чжен, П. Отрывные течения [Текст] / П. Чжен. – М:Мир, 1972. – 300с.
- 8 Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст]/ Г. Шлихтинг - М.:Наука, 1974 – 713с.
9. Biermann D. The interference between struts in various combinations [Text]/ D. Biermann, W. H. Herrnshein Jr. // NACA Technical Reports. – 1933. – 468p.
10. Blocken, B. CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists [Text]/ B. Blocken, T. Defraeye, E. Koninckx, J. Carmeliet, P. Hespel // Computers & Fluids – 2013. – №71. – P. 435–445.
11. Carmo. B. S., On Wake Interference in the Flow around Two Circular Cylinders: Direct Stability Analysis and Flow-Induced Vibrations/ PhD thesis// Department of Aeronautics, Imperial College, London – 2009 – 262p.

12. Chung, T.J. Computational Fluid Dynamics (Second edition) [Text]/T.J. Chung.—New York City, USA: Cambridge University Press, 2009 – 1058p.
13. Chorin, A.J. A numerical Method for Solving incompressible Viscous Flow Problems [Text]/ A.J. Chorin// Journal of Computational Physics. – 1997. - №135. – P. 118-125.
14. Ferziger, J.H. Computational Methods for Fluid Dynamics [Text]/ J.H. Ferziger, M. Peric. – Springer, 2002. – 431p.
15. Greenshields C.J. OpenFOAM the open source CFD toolbox programmers guide [Text]/ C.J. Greenshields. - OpenFOAM Foundation Ltd. – 2015. – 101p.
16. Greenshields C.J. OpenFOAM the open source CFD toolbox user guide [Text]/ C.J. Greenshields. - OpenFOAM Foundation Ltd. – 2015. –232p.
17. Hoffmann, K.A. Computational Fluid Dynamics [Text]/ K.A. Hoffmann, S.T. Chiang.-Wichita, Kansas, USA: Engineering Education System, 2000.- 500p.
18. Johnson, T.A. Flow past a sphere up to a Reynolds number of 300 [Text]// T.A. Johnson, V.C. Patel // J. Fluid Mech., – 1999. –Vol. 378.– P.19-70.
19. Jones, D. A. Simulation of Flow Past a Sphere using the Fluent Code [Text]/ D.A. Jones, D.B. Clarke// DSTO Technical Report DSTO-TR-2232. – 2008. - 35p.
20. Kim H. J. Investigation of the flow between a pair of circular cylinders in the flopping regime// H. J. Kim, P. A. Durbin - J. Fluid Mech. – 1988. - vol. 196. - P.431-448.
21. Kaneko, S. Flow-Induced Vibrations: Classifications and Lessons from Practical Experiences[Text]/ S. Kaneko. – Elsevier, 2014. – 411p.
22. Khorrami M. Simulations of Bluff Body Flow Interaction for Noise Source Modeling [Text]/ M. Khorrami, D. Lockard, M. Choudhari, L. Jenkins, C. McGinley, D. Neuhart // AIAA. – 2006. – 3203.
23. Lam K. Phenomena of vortex shedding and flow interference of three cylinders in different equilateral arrangements [Text]/ K. Lam, W.C . Cheung // J . Fluid Mech. –1988.– vol. 196. – P. 1–26.
24. Maric, T. The OpenFOAM technology primer[Text]/ T. Maric, J. Hopken, K. Mooney // sourceflux UG. – 2014. – 458p.

25. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for applications [Text] / F.R. Menter // AIAA Journal. — 1994. — 32, N 8. — P. 1598–1605.
26. Moukalled F. The finite volume method in computational fluid dynamics, an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab [Text]/ F. Moukalled, L. Mangani, M. Darwish // Springer. – 2015. – 798p.
27. Sakamoto, H. A Study of Vortex Shedding From Spheres in a Uniform Flow [Text]/ H. Sakamoto, H. Hanui// Journal of Fluids Engineering . – 1990. – Vol. 112. – P. 386-392.
28. Schouveiler, L. Interactions of the wakes of two spheres placed side by side [Text]/ L. Schouveiler, A. Brydon, T. Leweke, M.C. Thompson// European Journal of Mechanics B/Fluids. – 2014. №23 – P. 137–145.
29. Stein, H.N. Hydrodynamic interactions between two identical spheres held at fixed side by side against a uniform stream directed perpendicular to the line connecting the spheres' centres [Text]/ H.N. Stein, F.N. van de Vosse, R. Folkersma// International Journal of Multiphase Flow. – 2000, № 26 – P.877-887.
30. Strouhal V. Ueber eine besondere Art der Tonerregung [Text]/ V. Strouhal // Ann. Phys. – 1878. – 5. – N. 10. – P. 216–251.
31. Sumer B. M. Hydrodynamics around cylindrical structures [Text]/ B. M. Sumer, J.Fredsoe // Denmark: Technical University of Denmark. – 2006. – 550p.
32. Thomas D.G. 1964 Interaction of vortex streets [Text]/ D. G. Thomas, K.A. Kraus //Journal of Applied Physics. – 1964. – vol. 35 (12). – P. 3458–3459.
33. Versteeg, H.K. An Introduction to Computational Fluid Dynamics [Text]/ H.K. Versteeg, W. Malalasekera. - England, Harlow: Pearson Education Limited, 2007. – 517p.
34. Yoon, D.-H. Characterization of flow pattern past two spheres in proximity [Text]/H.-D. Yoon, K.-S. Yang//Physics of Fluids. – 2009, № 21 – P 1-8.
35. Zdravkovich M. M. Smoke observation of the wake of a group of three cylinders at low Reynolds number [Text]/ M.M. Zdravkovich //J . Fluid Mech. – 1968. – vol. 32. – P. 339–351.

36. Zdravkovich, M. M. Smoke observations of wakes of tandem cylinders at low Reynolds numbers [Text]/ M.M. Zdravkovich //Aeronautical Journal. – 1972. – vol. 76. – P. 108–114.

37. Platooning Lets Trucks Get By With a Little Help from Their Friends [электронный ресурс] - MH&L Staff, Feb 24, 2017. – режим доступа: <https://www.mhlnews.com/transportation-distribution/platooning-lets-trucks-get-little-help-their-friends> - Заголовок с экрана.

REFERENCES

1. Anderson, D. Vyichislitel'naya gidromekhanika i teploobmen [Tekst]/ D. Anderson, Dzh. Tannehil, R. Pletcher. M.: Mir, 1990. - T. 1. – 392 s. – T. 2. – 336 s.

2. Bogachev, K.Yu. Osnovy parallel'nogo programmirovaniya [Tekst] / K.Yu.Bogachev // M: Binom. – 2003. – 342s.

3. Vovk, I.V. Obtikannia sfery viazkoiu nestyslyvoi ridynoiu [Tekst]/ I.V.Vovk V.S.Maliuha // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka – K., 2013.- №3. -C. 102-105. – (Seriia: «fizyko-matematychni nauky»).

4. Volkov, K.N. Vyichislitel'naya tehnologii v zadachah mehaniki zhidkosti i gaza [Tekst]/ K.N. Volkov, V.N. Emelyanov – M.: Fizmatlit, 2012. – 468 s.

5. Guschin, V.A. Chislennoe modelirovanie prostranstvennykh otryivnykh techeniy okolo sfery [Tekst]/ V.A. Guschin, P.V. Matyushin // Zhurnal vyichislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki, - 1997 – tom 37, #9 – C.1122-1137.

6. Loytsyanskiy, L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Tekst]/ L.G. Loytsyanskiy. – M: Drofa, 2003. – 846s.

7. Chzhen, P. Otryivnyie techeniya [Tekst] / P. Chzhen. – M:Mir, 1972. – 300s.

8 Shlihting, G. Teoriya pogranichnogo sloya [Tekst]/ G. Shlihting - M.:Nauka, 1974 – 713s.

9. Biermann D. The interference between struts in various combinations [Text]/ D. Biermann, W. H. Herrnshtein Jr. // NACA Technical Reports. – 1933. – 468p.

10. Blocken, B. CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists [Text]/ B. Blocken, T. Defraeye, E. Koninckx, J. Carmeliet, P. Hespel // Computers & Fluids – 2013. – №71. – P. 435–445.

11. Carmo. B. S., On Wake Interference in the Flow around Two Circular Cylinders: Direct Stability Analysis and Flow-Induced Vibrations/ PhD thesis// Department of Aeronautics, Imperial College, London – 2009 – 262p.

12. Chung, T.J. Computational Fluid Dynamics (Second edition) [Text]/T.J. Chung.—New York City, USA: Cambridge University Press, 2009 – 1058p.
13. Chorin, A.J. A numerical Method for Solving incompressible Viscous Flow Problems [Text]/ A.J. Chorin// Journal of Computational Physics. – 1997. – №135. – P. 118-125.
14. Ferziger, J.H. Computational Methods for Fluid Dynamics [Text]/ J.H. Ferziger, M. Peric. – Springer, 2002. – 431p.
15. Greenshields C.J. OpenFOAM the open source CFD toolbox programmers guide [Text]/ C.J. Greenshields. - OpenFOAM Foundation Ltd. – 2015. – 101p.
16. Greenshields C.J. OpenFOAM the open source CFD toolbox user guide [Text]/ C.J. Greenshields. - OpenFOAM Foundation Ltd. – 2015. –232p.
17. Hoffmann, K.A. Computational Fluid Dynamics [Text]/ K.A. Hoffmann, S.T. Chiang.-Wichita, Kansas, USA: Engineering Education System, 2000.-500p.
18. Johnson, T.A. Flow past a sphere up to a Reynolds number of 300 [Text]// T.A. Johnson, V.C. Patel // J. Fluid Mech., –1999. –Vol. 378. –P.19-70.
19. Jones, D. A. Simulation of Flow Past a Sphere using the Fluent Code [Text]/ D.A. Jones, D.B. Clarke// DSTO Technical Report DSTO-TR-2232. – 2008. - 35p.
20. Kim H. J. Investigation of the flow between a pair of circular cylinders in the flopping regime// H. J. Kim, P. A. Durbin - J. Fluid Mech. – 1988. - vol. 196. - P.431-448
21. Kaneko, S. Flow-Induced Vibrations: Classifications and Lessons from Practical Experiences[Text]/ S. Kaneko. – Elsevier, 2014. – 411p.
22. Khorrami M. Simulations of Bluff Body Flow Interaction for Noise Source Modeling [Text]/ M. Khorrami, D. Lockard, M. Choudhari, L. Jenkins, C. McGinley, D. Neuhart // AIAA. – 2006. – 3203.
23. Lam K. Phenomena of vortex shedding and flow interference of three cylinders in different equilateral arrangements [Text]/ K. Lam, W.C . Cheung // J. Fluid Mech. –1988.– vol. 196. – P. 1–26
24. Maric, T. The OpenFOAM technology primer[Text]/ T. Maric, J. Hopken, K. Mooney // sourceflux UG. – 2014. – 458p.
25. Menter F.R. Two–equation eddy–viscosity turbulence models for e lica-tions [Text] / F.R. Menter // AIAA Journal. — 1994. — 32, N 8. — P. 1598—1605.
26. Moukalled F. The finite volume method in computational fluid dynam-ics, an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab [Text]/ F. Moukalled, L. Mangani, M. Darwish // Springer. – 2015. – 798p.

27. Sakamoto, H. A Study of Vortex Shedding From Spheres in a Uniform Flow [Text]/ H. Sakamoto, H. Hanui// Journal of Fluids Engeneering . – 1990. – Vol. 112. – P. 386-392.
28. Schouveiler, L. Interactions of the wakes of two spheres placed side by side [Text]/ L. Schouveiler, A. Brydon, T. Leweke, M.C. Thompson// European Journal of Mechanics B/Fluids. – 2014. №23 – P. 137–145.
29. Stein, H.N. Hydrodynamic interactions between two identical spheres held at fixed side by side against a uniform stream directed perpendicular to the line connecting the spheres' centres [Text]/ H.N. Stein, F.N. van de Vosse, R. Folkersma// International Journal of Multiphase Flow. – 2000, № 26 – P.877-887.
30. Strouhal V. Ueber eine besondere Art der Tonerregung [Text]/ V. Strouhal // Ann. Phys. – 1878. – 5. – N. 10. – P. 216–251.
31. Sumer B. M. Hydrodynamics around cylindrical structures [Text]/ B. M. Sumer, J.Fredsoe // Denmark: Technical University of Denmark. – 2006. – 550p
32. Thomas D.G. 1964 Interaction of vortex streets [Text]/ D. G. Thomas, K.A. Kraus //Journal of Applied Physics. – 1964. – vol. 35 (12). – P. 3458–3459.
33. Versteeg, H.K. An Introduction to Computational Fluid Dynamics [Text]/ H.K. Versteeg, W. Malalasekera. - England, Harlow: Pearson Education Limited, 2007. – 517p.
34. Yoon, D.-H. Characterization of flow pattern past two spheres in proximity [Text]/H.-D. Yoon, K.-S. Yang//Physics of Fluids. – 2009, № 21 – P 1-8.
35. Zdravkovich M. M. Smoke observation of the wake of a group of three cylinders at low Reynolds number [Text]/ M.M. Zdravkovich //J . Fluid Mech. – 1968. – vol. 32. – P. 339–351.
36. Zdravkovich, M. M. Smoke observations of wakes of tandem cylinders at low Reynolds numbers [Text]/ M.M. Zdravkovich //Aeronautical Journal. – 1972. – vol. 76. – P. 108–114.
- 37 Platooning Lets Trucks Get By With a Little Help from Their Friends [elektronnyiy resurs] - MH&L Staff, Feb 24, 2017. – rezhim dostupa: <https://www.mhlnews.com/transportation-distribution/platooning-lets-trucks-get-little-help-their-friends> - Zagolovok s ekrana.

Л.О. Кириченко, А.Е. Ткаченко, Т.А. Радивилова

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Аннотация. Проведен сравнительный анализ кластеризации зашумленных временных рядов выборки. Выборка для кластеризации содержала временные ряды различных типов, среди которых присутствовали нетипичные объекты. Кластеризация проводилась методами k -средних и DBSCAN с использованием различных функций расстояния для временных рядов.

Ключевые слова: кластеризация, временной ряд, функция расстояния, метод k -средних, метод DBSCAN.

Введение и цель

Одной из актуальных задач машинного обучения является задача кластеризации объектов. Кластеризация временных рядов используется как самостоятельная исследовательская техника, а также как часть более сложных методов интеллектуального анализа данных, такие как обнаружение правил, классификация, выявление аномалий и т.д. [1-4]. В задаче кластерного анализа временных рядов требуется разбить множество объектов на относительно небольшое число кластеров так, чтобы критерий качества группировки принял наилучшее значение. Под критерием качества обычно понимается некоторый функционал, зависящий от разброса объектов внутри кластеров и расстояний между ними. Способы задания расстояния или меры различия между объектами также являются различными [2-5].

Одной из задач кластеризации временных рядов, является выделение в отдельный кластер аномальных объектов. [6,7]. Это не является простым заданием, особенно в условиях зашумленности временных рядов. Целью данной работы является проведение сравнительного анализа кластеризации зашумленных временных рядов с нетипичными объектами с использованием нескольких методов кластеризации и различных функций расстояния.

Методы исследования

Метод к-средних является одним из широко используемых методов кластеризации [2,5]. Вначале мы задаем количество кластеров и соответствующие центроиды для каждого из них. Центроиды – это заданные главные объекты, относительно которых распределяются объекты по кластерам, первоначально они могут быть выбраны случайно. Далее распределяем все объекты по кластерам согласно близости к центрам. Итеративность метода заключается в том, что после каждого распределения относительно центроидов мы их пересчитываем и повторяем весь процесс с начала. Продолжаем процесс до тех пор, пока центроиды не перестанут меняться.

С точки зрения вычислительной сложности алгоритм довольно прост. Недостатком является то, что количество кластеров не меняется и результат зависит от начальных центроидов. Это значит, что мы можем получить в кластере такие объекты, которые на самом деле не являются близкими к их центроиду.

Метод DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise). Суть метода – распределить достаточно близкие объекты по кластерам относительно плотности распределения объектов [1,2]. Первоначально задается радиус близости и минимальное количество точек, которые должны находиться внутри этого радиуса. Достаточно близкими или плотно расположенными являются объекты, которые находятся на расстоянии меньше заданного радиуса. Они выделяются в кластеры. Шумом являются объекты, которые не схожи ни с какими из выделенных. Объекты, которые являются шумом, распределяются по кластерам следующим образом: если в заданном радиусе от шумного объекта нет ни одного объекта, то он определяется в отдельный кластер. Если в радиусе находится один или несколько шумных объектов, то они объединяются в один кластер.

Одним из достоинств метода DBSCAN является возможность выделять нетипичные объекты выборки. Одним из недостатков является то, что объекты, которые являются шумом, могут определяться как принадлежащие какому – либо кластеру.

Функции расстояния. При кластеризации временных рядов необходимо использовать особые метрики. Одной из наиболее простых и популярных метрик является метрика Эвклида:

$$E(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2},$$

где x, y – временные ряды длины n .

Существуют ситуации, когда два временных ряда в целом схожи, но сильно отличаются для некоторых значений времени. Если необходимо считать эти ряды похожими, можно использовать основную метрику и функцию Complexity Invariance Distance (CJD):

$$CID(X, Y) = D(X, Y) \times CF(X, Y), \quad CF(X, Y) = \frac{\max\{CE(X), CE(Y)\}}{\min\{CE(X), CE(Y)\}},$$

$$CE(X) = \sum_{t=2}^n \sqrt{(x_t - x_{t-1})^2},$$

где X, Y – временные ряды длины n , $D(X, Y)$ – основная метрика.

Если необходимо сравнивать временные ряды разной длины, то можно использовать метрику Minimum Jump Cost (MJC). Основная идея метрики – необходимо найти сумму минимальных «скачков» между рядами.

Пусть имеется два ряда x и y длины n и m соответственно. Берем начальную точку $x(i)$, $i = 0$. Далее находим такую компоненту j ряда y , чтобы $(x(i) - y(j))^2 \rightarrow \min$, причем $i < j$. На следующей итерации $i = j + 1$,

$$MJC(X, Y) = \sum_i c_{min}^i, \quad c_{min}^i = \min(c_{t_x}^{t_y}, c_{t_x}^{t_{y+1}}, \dots, c_{t_x}^{t_{y+N}}),$$

где $c_{t_x}^{t_y}$ – это всевозможные «скачки», которые мы вычисляем по формуле

$$c_{t_x}^{t_{y+\Delta}} = (x_{t_x} - y_{t_{y+\Delta}})^2.$$

Функционалы качества. Для проверки качества кластеризации необходимо проверить, насколько похожие объекты находятся в одном кластере и насколько разные объекты в разных кластерах. Функционал качества – это некоторая функция, которая характеризует степень приближенности результатов кластеризации к идеальному решению.

Сумма внутрикластерных расстояний. Это сумма расстояний между объектами, которые находятся в одном кластере:

$$F_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \rho(x_i, x_j) u(x_i, x_j, y_i, y_j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n u(x_i, x_j, y_i, y_j)},$$

где n – количество объектов, $\rho(x_i, x_j)$ – заданная функция расстояния между объектами, $u(x_i, x_j, y_i, y_j)$ – функция принадлежности объектов x_i к кластеру y_i .

Сумма межкластерных расстояний. Это сумма расстояний между объектами, которые находятся в разных кластерах:

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \rho(x_i, x_j) (1 - u(x_i, x_j, y_i, y_j))}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n (1 - u(x_i, x_j, y_i, y_j))}.$$

Если стоит задача сравнить несколько полученных разбиений на кластеры, то лучшим будет тот, у которого будет минимальным отношение F_0/F_1 .

Результаты исследования

В работе был проведен численный эксперимент для исследования применения методов k-means и DBSCAN к модельным временным рядам с аддитивным белым шумом. Выборка, на которой проводилась кластеризация, состояла из m временных рядов различного типа: гармонические реализации, параболические реализации и «всплески». Для аддитивного зашумления временных рядов были использованы реализации белого шума с нормальным распределением $N(0, \sigma)$. Дисперсия нормального распределения изменялась и имела значения $\sigma^2 = \{0.5, 0.75, 1.0, 1.25\}$. На рис.1 представлены некоторые типичные «чистые» и зашумленные реализации для кластеризации, $\sigma^2 = 1$.

Как хороший результат кластеризации, было ожидаемо, что на выходе мы получим минимум 3 кластера. В первый кластер попадут ряды, сгенерированные с помощью на основе гармонических колебаний, во второй – квадратичные кривые и отдельно будут вынесены в третий кластер аномальные объекты типа всплесков.

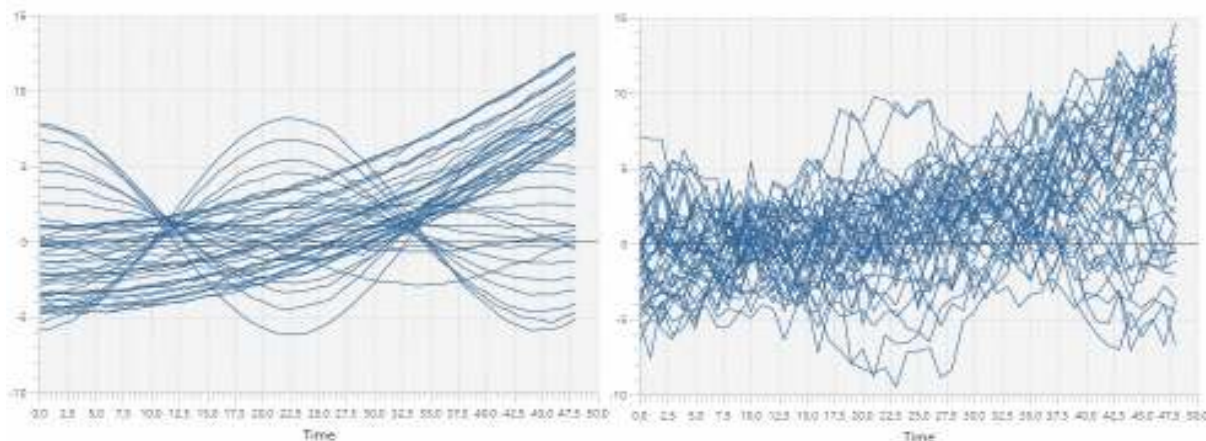


Рисунок 1 - Типичные реализации

Для исследований были выбраны методы кластеризации DBSCAN и k-means. В методе k-means было задано 3 центра. Входные параметры метода DBSCAN подбирались экспериментально. Для сравнения близости временных рядов были использованы метрики MJS и метрика Эвклида с функцией CID. Результаты эксперимента оценивались как визуально проверкой попадания объектов в нужный кластер, так и с помощью функционалов качества.

Кластеризация «чистых» временных рядов.

Особенностью заданной выборки является наличие нетипичных реализаций (всплесков). Согласно полученным результатам, вынести такие объекты в отдельный кластер успешно получилось только с помощью метода DBSCAN, не смотря на то, что для в методе k-means одним из начальных центров задавался нетипичный объект. В результатах, полученных методом k-means, в одном кластере были смешаны временные ряды разной формы, также среди них были и нетипичные объекты. Среди выбранных метрик для сравнения временных рядов наилучшие результаты были получены с помощью метрики Эвклида с функцией CID. В табл.1 представлены количественные показатели качества кластеризации. Надо отметить, что численные эксперименты показали, что малые значения величины F_0/F_1 для метода k-means соответствуют неправильному распределению объектов по кластерам.

Таблица 1

Показатели качества кластеризации для «чистых» рядов

Метрика	Методs	F_0/F_1
Euclidean+ CID	K-means	0.425
	DBSCAN	0.336
MJC + CID	K-means	0.194
	DBSCAN	0.490

Кластеризация зашумленных данных

В данном случае результаты аналогичны результатам, полученным для чистых данных. Наилучшие показатели у метода DBSCAN с метрикой Эвклида и CID. Во всех остальных случаях в одном кластере оказываются ряды, которые отличаются по форме.

Таблица 2 демонстрирует изменение количественных показателей качества при возрастании дисперсии шума для кластеризации. Значение $\sigma^2=0$ соответствует выборке с «чистыми» реализациями. Очевидно, что несмотря на достаточно большой уровень шума, метод DBSCAN показывает корректное разбиение на кластеры. Это позволяет использовать данный метод для кластеризации реальных данных, которые обычно являются зашумленными.

Таблица 2

Показатели качества кластеризации для зашумленных рядов

σ^2	0	0.5	0.75	1	1.25
F_0/F_1	0.336	0.627	0.667	0.694	0.774

Выводы

В работе была проведена кластеризация зашумленных временных рядов различных типов. Были использованы методы DBSCAN и k-средних с различными функциями расстояния. Лучшие результаты показал метод DBSCAN с евклидовой метрикой и CID-функцией.

Анализ результатов кластеризации временных рядов позволяет определить ключевые различия между методами: если можно определить количество кластеров и не требуется отделять нетипичные времен-

ные ряды, метод k-средних показывает довольно хорошие результаты; если нет информации о количестве кластеров и существует задача выделения нетипичных рядов, целесообразно использовать метод DBSCAN.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aghabozorgi, S., Shirkhorshidi, A.S., Wah, T.J.: Time-series clustering. A Decade Review Information systems 53, 16-38 (2015).
2. Aggarwal, C., Reddy, C.: Data Clustering: Algorithms and Applications. CRC Press (2013).
3. Liao, T.W. Clustering of time series data – a survey. Pattern Recognition, 38 (11), 1857-1874 (2005).
4. Rani, S., Sikka, G.: Recent Techniques of Clustering of Time Series Data: A Survey. International Journal of Computer Applications 52 (15), 1-9 (2012). doi: 10.5120/8282-1278.
5. Grabusts, P., Borisov, A.: Clustering methodology for time series mining (2009). Scientific Journal of Riga Technical University 40, 81-86 (2009).
6. Barreto, G., Aguayo, L.: Time Series Clustering for Anomaly Detection Using Competitive Neural Networks. In: Proceeding WSOM '09 Proceedings of the 7th International Workshop on Advances in Self-Organizing Maps, St. Augustine, FL, USA, 28-36 (2009).
7. Nascimento, E.S., Tavares, O.L., Souza, A.F.: A Cluster-based Algorithm for Anomaly Detection in Time Series Using Mahalanobis. In: ICAI'2015 International Conference on Artificial Intelligence 2015, Las Vegas, USA 622-628 (2015).

В.И. Кузнецов, Г.Л. Евтушенко, М.В. Андрюхина,

Д.А. Куриленко, А.Э. Дубровин

РЕШЕНИЕ СИСТЕМНЫХ ЗАДАЧ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА В СППР NOOTRON

Аннотация. В данной работе проведен анализ возможностей использования методов многокритериального анализа в СППР NooTron в системных задачах сложной структуры на конечном множестве альтернатив и критериев.

Ключевые слова: СППР NooTron, многокритериальный анализ, МАИ.

Использование методов многокритериального анализа (МКА) становится неотъемлемой частью решения проблем, возникающих при анализе, оптимизации, оценке эффективности сложных слабо структурируемых систем [1 – 7]. Это такие проблемы, как сравнительный анализ и выбор лучшей альтернативы, принятие проектных решений, векторная оптимизация, распределение ресурсов, диагностика, составление рейтингов.

Методы многокритериального анализа применяются во многих областях науки и практики. В свою очередь, особый интерес представляют количественные методы МКА. Эти методы предоставляют по своей сути алгоритмы разбиения исследуемой системной задачи на отдельные элементы (декомпозиция), проведения анализа в выделенных блоках, определение степени влияния каждого элемента на другие (анализ), определение локальных (критериальных) результатов и сведение их в глобальную оценку (агрегация).

Выбор метода МКА для конкретной задачи представляет собой отдельную проблему и зависит от таких основных факторов: структура задачи (иерархия, сеть и т.п.), количество исследуемых элементов про-

блемы, наличие и характер внешних условий, уровень знания методов МКА лицом, принимающим решение.

Отметим, что большинство практических задач, для решения которых применяются методы МКА, являются дискретными, то есть задачами на конечном множестве альтернатив и критериев [3].

Цель данной работы – продемонстрировать возможности методов многокритериального анализа из библиотеки СППР NooTron [8] в системных задачах сложной структуры на конечном множестве альтернатив и критериев, включая задачи и методы, реализованные в новой версии СППР NooTron.

Для исследования выбрана группа количественных многокритериальных методов, которые являются наиболее широко используемыми и модифицируемыми, а именно: метод анализа иерархий, метод анализа сетей, методология оценки эффективности BOCR, метод взвешенных сумм, метод матрицы решений.

Метод анализа иерархий (МАИ) разработан американским ученым, проф. Томасом Саати. За более чем 30 лет своего существования, метод анализа иерархий применялся в решении большого количества научно-практических задач принятия решений и признан одним из самых точных методов многокритериального анализа, который позволяет выполнять все этапы системного исследования [1, 2]. Этот метод использован нами в качестве базового для разработки общей концепции интеграции количественных многокритериальных методов [7, 8].

Метод анализа иерархий основан на иерархическом представлении элементов системной задачи (цель, критерии, альтернативы), приоритеты элементов определяются с помощью парных сравнений. Он предназначен для ответственных задач многокритериального ранжирования и выбора.

Метод анализа сетей и методология оценки эффективности BOCR основаны на методе анализа иерархий и развивают его [1]. Так, метод анализа сетей позволяет учитывать горизонтальные и обратные связи, а методология BOCR – позволяет оценить эффективность альтер-

натив (проектов) с учетом положительных и отрицательных аспектов исследуемой задачи.

Метод матрицы решений позволяет учитывать так называемые «варианты внешних условий», которые относятся к прогнозируемому будущему. В методе матрицы решений выбор лучшей альтернативы осуществляется на основе одного или нескольких правил метода (Вальда, Байеса-Лапласа, Гурвица и др.) [4 – 6]. Проблема метода – выбор правила для конкретной задачи. Отдельной задачей является заполнение матрицы (или нескольких матриц) полезностей.

Метод взвешенных сумм позволяет работать с большим количеством критериев сложной иерархической структуры и большим количеством альтернатив [3]. Используется для составления рейтингов и классификаций. Метод представляется простым и понятным, ограничения на количество и структуру критериев, так же как и на количество сравниваемых объектов в этом методе отсутствуют, из-за чего он является неустойчивым и может подвергаться манипулированию, а главной проблемой метода является согласованное определение весов критериев.

Как отмечалось ранее, решение задач с использованием многокритериальных методов включает три основных, общих процедуры: декомпозиция, анализ, агрегация. Первый этап, декомпозиция, состоит в структурировании проблемы, построении иерархической или сетевой структуры проблемы.

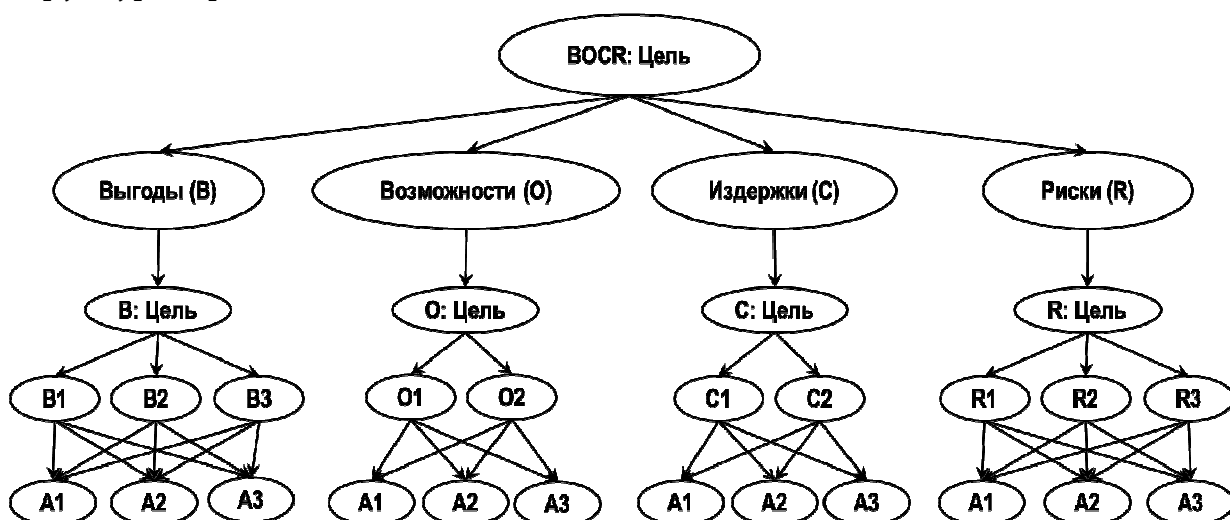


Рисунок 1 – Пример многокритериальной иерархической модели BOCR [20]

Структура задачи – основа для выбора соответствующего метода МКА или нескольких, для использования на разных этапах. Это особенно характерно для задач сложной структуры. Например, задач, приведенных в таблице 1 [9 – 19].

На рисунках 1 – 4 приведены примеры графов системных задач с многоуровневой структурой, горизонтальными и обратными связями, решенных с использованием СППР NooTron [8].



Рисунок 2 – Граф системной задачи для ММР+МАИ-Обобщенный [7, 20]

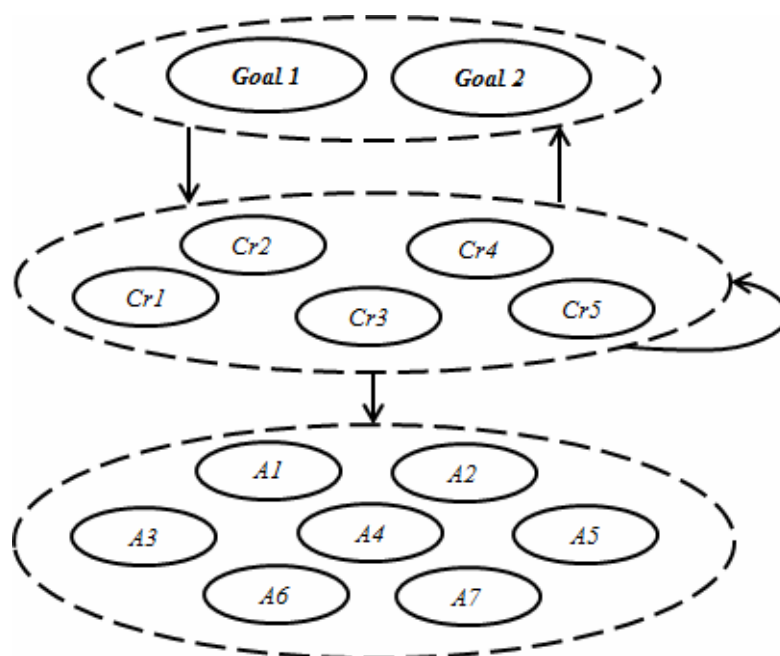


Рисунок 3 – Сетевая структура оценки приоритетов способов правовой охраны компьютерных программ с помощью MAC [18]

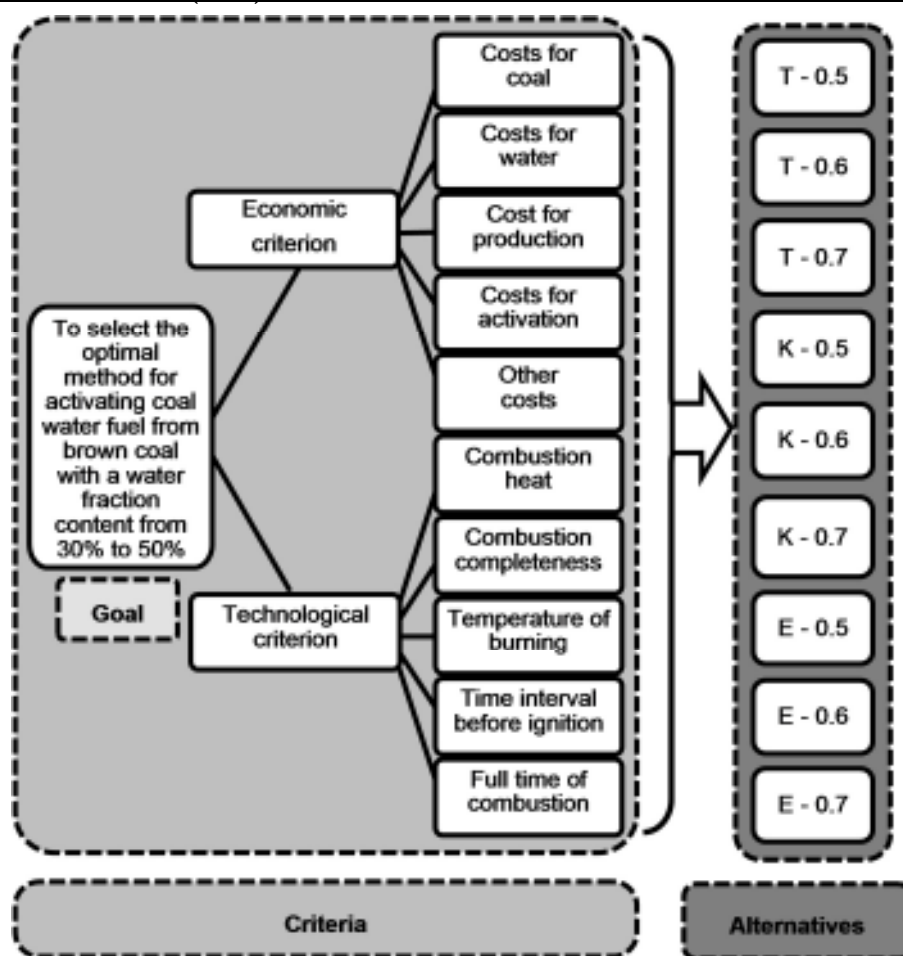


Рисунок 4 – Четырёхуровневая иерархия сравнительного анализа активации водоугольного топлива на базе МАИ [19]

Таблица 1

Системные задачи сложной структуры, решенные
с использованием СППР NooTron

№	Решенная задача	Метод МКА	Структура проблемы
1	Многокритериальная оптимизация параметров теплоэнергетической системы металлургического комбината согласно концепции системной модели [9]	Интегрированный метод МАИ + ММР-Обобщенный	Структура: трёхуровневая иерархия Варианты внешних условий: 12 Критерии: 2 Альтернативы: 20

№	Решенная задача	Метод МКА	Структура проблемы
2	Сравнительный анализ сотовых заполнителей и конструкций [10]	МАИ с использованием количественной шкалы отношений	Структура: трёхуровневая иерархия Критерии: 5 Альтернативы: 4 класса, 13 альтернатив
3	Многокритериальная оценка и выбор лучших образцов тепловизионной техники для охраны государственной границы [11]	МАИ с использованием количественной шкалы отношений и шкалы Саати	Структура: четырёхуровневая иерархия Критерии: 10 Альтернативы: 5
4	Оценка эффективности проектов интегрированным методом многокритериального анализа [12]	Интегрированный метод МАИ + ММР с заполнением матрицы полезностей на базе методологии BOCR	Структура: 4 иерархии BOCR Варианты внешних условий: 3 Критерии: 10 Альтернативы: 3
5	Разработка модели многокритериального ранжирования подразделений вуза [13, 14]	Интегрированный метод МВС + МАИ	Структура: пятиуровневая иерархия (3 уровня критериев, 1 – цель, 1 – альтернативы) Критерии: 51 Альтернативы: 3
6	Формирование команды научного проекта высшего учебного заведения [15]	Интегрированный метод МВС + МАИ и метод ранжированных весов критериев	Структура: пятиуровневая иерархия (3 уровня критериев, 1 – цель, 1 – альтернативы) Критерии: 24 Альтернативы: 5
7	Многокритериальный анализ эффективности портфелей научных проектов вузов [16]	Методология BOCR с разработанной шкалой важности факторов	Структура: 4 иерархии BOCR Критерии: 14 Альтернативы: 2
8	Сравнительный анализ технологий металлургии железа [17]	МАИ и нелинейный МВС	Структура: четырёхуровневая иерархия Критерии: 10 Альтернативы: 6

Продолжение таблицы 1

№	Решенная задача	Метод МКА	Структура проблемы
9	Оценка приоритетов способов правовой охраны компьютерных программ [18]	МАС и МАИ в абсолютных измерениях	Структура: сеть Цели: 2 Критерии: 5 Альтернативы: 7
10	Сравнительный анализ и построение множеств оптимальных вариантов активации водородного топлива [19]	МАИ с дополнительным построением множеств оптимальных решений	Структура: четырёхуровневая иерархия Критерии: 12 Альтернативы: 9

В таблице 1 приведены практические системные задачи, решенные с использованием СППР NooTron [8]. Можно сделать вывод о том, что данная система предоставляет широкий спектр возможностей для системного аналитика, а также позволяет выполнять анализ слабоструктурируемых систем.

Проект «СППР NooTron» продолжает развиваться и совершенствоваться. На момент написания данной статьи выполнены следующие разработки в развитие системы:

1. Архитектура проекта усовершенствована на основе выделенных компонентов многокритериальных методов [20] и JavaScript фреймворка React, с целью будущей поддержки и масштабирования.

2. Организован обмен данными между компонентами, их синхронизация и обработка состояния приложения.

3. Улучшено взаимодействие с сервером для получения промежуточных результатов решения задачи.

4. Разработан унифицированный компонентный гибкий вариант метода анализа иерархий с помощью JavaScript фреймворка React.

5. Реализовано отображение динамической иерархической структуры многокритериальной задачи в МАИ.

6. Ведется разработка упрощенного алгоритма BOCR для оценки эффективности IT-проектов.

Рисунок 5 – Страница ввода данных МАИ в СППР NooTron

СППР NooTron находится в свободном доступе [8]. Она активно используется в учебном процессе. На рисунке 5 на примере МАИ приведен новый интерфейс многокритериального метода в СППР NooTron. Этот вариант повышает наглядность, облегчает структурирование задачи и перемещение между этапами сравнительного анализа и внесение корректировок, что являлось несколько затруднительным в предыдущей версии системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л.Саати. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
2. Саати Т. Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений : [Электронный ресурс] / Т. Л. Саати // Cloud Of Science. – 2015. – Т. 2. – № 1. – С. 5 – 39. – Режим доступа к журналу: http://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_5.pdf
3. Микони С. В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив: [учеб. пособие] / С.В. Микони. – СПб. : Издательство «Лань», 2009. – 272 с.

4. Мушик Э. Методы принятия технических решений. / Э. Мушик, П. Мюллер – М. : Мир, 1990. – 208 с.
5. Козлов В. Н. Системный анализ и принятие решений / В. Н. Козлов. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2009. – 223 с.
6. Овезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров – К. : Наук. думка, 2002. – 164 с.
7. Кузнецов В.І. Системне моделювання складних об'єктів на базі методів багатокритеріального аналізу / В.І. Кузнецов, Г.Л. Євтушенко // Системные технологии моделирования сложных систем : монография / [под общей ред. проф. Михалёва А.И.]. – Днепр: НМетАУ-ИБК «Системные технологии», 2016. – С. 349 – 373. ISBN 978-966-2596-19-9
8. Система поддержки принятия решений NooTron [Электронный ресурс] – Электрон. дані – Режим доступа: <http://nootron.net.ua>, вільний. – Загол. з екрану.
9. Михальов О.І. Системна модель для багатокритеріального аналізу технологій використання енергетичних ресурсів металургійного виробництва / О.І. Михальов, В.І. Кузнецов, Г.Л. Євтушенко // Сучасні проблеми металургії. – №17. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 50 – 65.
10. Сливинский В.И. Многокритериальный анализ сотовых заполнителей в системе поддержки принятия решений NooTron / В.И. Сливинский, А.И. Михалёв, В.И. Кузнецов, Г.Л. Теплякова // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сборник материалов V международной научно-практической конференции. – Днепропетровск, 2013. – С. 141 – 151.
11. Євдохович Б.В. Багатокритеріальне оцінювання та вибір найкращих зразків тепловізійної техніки для охорони державного кордону / Б.В. Євдохович, Г.Л. Євтушенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Випуск 5 (217). – Хмельницький : ХНУ, 2014. – С. 203 – 209.
12. Михалёв А.И. Оценка эффективности проектов объединённым методом многокритериального анализа / А.И. Михалёв, В.И. Кузнецов, Г.Л.

Теплякова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (80). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 113 – 121.

13. Теплякова Г.Л. Модель построения рейтинга кафедр интегрированным многокритериальным методом МВС+МАИ / Г.Л. Теплякова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (86). – Дніпропетровськ, 2013. – С. 135 – 141.

14. Кузнецов В.И. Система ранжирования подразделений вуза NooScore / В.И. Кузнецов, Г.Л. Евтушенко, И.В. Гайдуков, С.А. Гаращенко, Д.А. Левченко, А.Д. Светличный // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Випуск 4 (93).– Днепропетровск, 2014. – С. 126 – 135.

15. Драч І.Є. Формування команди наукового проекту вищого навчального закладу на основі методу зважених сум / І.Є. Драч, Г.Л. Теплякова // Управління розвитком складних систем. Збірник наукових праць. – Випуск 15. – Київ, 2013. – С. 11 – 20.

16. Драч І.Є. Багатокритеріальний аналіз ефективності портфелів наукових проєктів вищого навчального закладу/ І.Є. Драч, Г.Л. Євтушенко // Управління розвитком складних систем. Збірник наукових праць. – Випуск 22, 2015. – Київ, 2015. – С. 33-41.

17. Кузнецов В.И. Многокритериальный анализ и оптимизация технологических систем на базе методов количественного анализа решений / В.И. Кузнецов, Г.Л. Евтушенко, В.С. Вьюненко, А.А. Ткаченко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Випуск 3 (104).– Днепропетровск, 2016. – С. 3 – 13.

18. Drach I. Managerial decision-making in the field of intellectual property on the basis of multiple-criteria decision analysis / I. Drach, H. Yevtushenko // Marketing and management of innovations. – №1, 2018. – Sumy, 2018, P.207 – 217.

19. Pinchuk V.A. Using the analytic hierarchy process for comparative analysis and construction of optimal option sets for activation of coal–water fuel / V.A. Pinchuk, V.I. Kuznetsov, H.L. Yevtushenko, T.A. Sharabura, & K.S. Yehortsev // International Journal of Energy for a Clean Environment, 2017.- vol. 18, iss.3, (2017).

20. Євтушенко Г.Л. Системне моделювання технологічних та організаційних процесів на основі інтегрованих багатокритеріальних методів: дис. ... кандидата техн. наук : 01.05.02 / Євтушенко Галина Львівна. – Дніпропетровськ, 2015. – 223 с.

REFERENCES

1. Saati T.L. Prinyatie resheniy pri zavisimostyah i obratnyih svyazyah: Analiticheskie seti / T.L.Saati. – M.: Izd-vo LKI, 2008. – 360 s.

2. Saati T.L. Ob izmerenii neosyazaemogo. Podhod k otnositelnyim izmereniyam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matritsyi parnyih sravneniy : [Elektronnyiy resurs] / T.L. Saati // Cloud Of Science. – 2015. – T.2. – #1. – S.5 – 39. – Rezhim dostupa k zhurnalu:

http://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_5.pdf

3. Mikoni S.V. Mnogokriterialnyiy vyibor na konechnom mnozhestve alternativ : [ucheb. posobie] / S. V. Mikoni. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2009. – 272 s.

4. Mushik E. Metodyi prinyatiya tehnikeskikh resheniy. / E. Mushik, P. Myuller – M. : Mir, 1990. – 208 s.

5. Kozlov V.N. Sistemnyiy analiz i prinyatie resheniy / V. N. Kozlov.– SPb. : Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2009.– 223 s.

6. Ovezgeldiyev A. O. Sintez i identifikatsiya modeley mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii / A. O. Ovezgeldiyev, E. G. Petrov, K. E. Petrov – K. : Nauk. dumka, 2002. – 164 s.

7. Kuznetsov V.I. Systemne modeliuвання skladnykh ob'ektiv na bazi metodiv bahatokryterialnoho analizu / V.I. Kuznetsov, H.L. Yevtushenko // Системные технології моделювання складних систем : монографія / [pod obshchei red. prof. Mykhalyova A.Y.]. – Dnepr: NMetAU-YVK «Системные технології», 2016. – S. 349 – 373. ISBN 978-966-2596-19-9

8. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy NooTron [Elektronnyiy resurs] – Elektron. danI – Rezhim dostupu: <http://nootron.net.ua>, vIlniy. – Zagol. z ekranu.

9. Mykhalyov O.I. Systemna model dlia bahatokryterialnoho analizu tekhnolohii vykorystannia enerhetychnykh resursiv metalurhiinoho vyrobnytstva / O.I. Mykhalyov, V.I. Kuznetsov, H.L. Yevtushenko // Suchasni problemy metalurhii. – №17. – Dnipropetrovsk, 2014. – S. 50 – 65.

10. Slivinskiy V.I. Mnogokriterialnyi analiz sotoviyh zapolniteley v sisteme podderzhki prinyatiya resheniy NooTron / V.I. Slivinskiy, A.I. Mihalyov, V.I. Kuznetsov, G.L. Teplyakova // Effektivnost sotoviyh konstruktsiy v izdeliyah aviatsionno-kosmicheskoy tekhniki: sbornik materialov V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Dnepropetrovsk, 2013. – S. 141 – 151.

11. Yevdokhovych B.V. Bahatokryterialne otsiniuvannia ta vybir naikrashchych zrazkiv teploviziinoi tekhniki dlia okhorony derzhavnoho kordonu / B.V. Yevdokhovych, H.L. Yevtushenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Vypusk 5 (217). – Khmelnytskyi : KhNU, 2014. – S. 203 – 209.

12. Mihalyov A.I. Otsenka effektivnosti proektov ob'edinYonnyim metodom mnogokriterialnogo analiza / A.I. Mihalyov, V.I. Kuznetsov, G.L. Teplyakova // Sistemni tehnologii. Regionalniy mlzhvuzivskiy zbirnik naukovih prats. – Vipusk 3 (80). – DnIpropetrovsk, 2012. – S. 113 – 121.

13. Teplyakova G.L. Model postroeniya reytinga kafedr integrirovannym mnogokriterialnym metodom MVS MAI / G.L. Teplyakova // Sistemni tehnologii. Regionalniy mlzhvuzivskiy zbirnik naukovih prats. – Vipusk 3 (86). – DnIpropetrovsk, 2013. – S. 135 – 141.

14. Kuznetsov V.I. Sistema ranzhirovaniya podrazdeleniy vuza NooScore / V.I. Kuznetsov, G.L. Evtushenko, I.V. Gaydukov, S.A. Garaschenko, D.A. Levchenko, A.D. Svetlichnyi // Sistemnyie tehnologii. Regionalniy mezhvuzovskiy sbornik nauchnyih rabot. – Vyipusk 4 (93).– Dnepropetrovsk, 2014. – S. 126 – 135.

15. Drach I.Ie. Formuvannia komandy naukovocho proektu vyshchoho navchalnoho zakladu na osnovi metodu zvazhenykh sum / I.Ie. Drach, H.L. Tepliakova // Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. Zbirnyk naukovykh prats. – Vypusk 15. – Kyiv, 2013. – S. 11 – 20.

16. Drach I.Ie. Bahatokryterialnyi analiz efektyvnosti portfeliv naukovykh proektiv vyshchoho navchalnoho zakladu/ I.Ie. Drach, H.L. Yevtushenko // Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. Zbirnyk naukovykh prats. – Vypusk 22, 2015. – Kyiv, 2015. – S. 33-41.

17. Kuznetsov V.I. Mnogokriterialnyi analiz i optimizatsiya tehnologicheskikh sistem na baze metodov kolichestvennogo analiza resheniy /

V.I. Kuznetsov, G.L. Evtushenko, V.S. Vyunenko, A.A. Tkachenko // Sistemnyie tehnologii. Regionalnyi mezhvuzovskiy sbornik nauchnyih rabot. – Vypusk 3 (104). – Dnepropetrovsk, 2016. – S. 3 – 13

18. Drach I. Managerial decision-making in the field of intellectual property on the basis of multiple-criteria decision analysis / I. Drach, H. Yevtushenko // Marketing and management of innovations. – №1, 2018. – Sumy, 2018, P.207 – 217.

19. Pinchuk V.A. Using the analytic hierarchy process for comparative analysis and construction of optimal option sets for activation of coal–water fuel / V.A. Pinchuk, V.I. Kuznetsov, H.L. Yevtushenko, T.A. Sharabura, & K.S. Yehortsev // International Journal of Energy for a Clean Environment, 2017.- vol. 18, iss.3, (2017).

20. Yevtushenko H.L. Systemne modeliuвання tekhnolohichnykh ta orhazatsiinykh protsesiv na osnovi intehrovanykh bahatokryterialnykh metodiv: dys. ... kandydata tekhn. nauk : 01.05.02 / Yevtushenko Halyna Lvivna. – Dnepropetrovsk, 2015. – 223 s.

СОДЕРЖАНИЕ

Михалёв А.И., Стенин А.А., Пасько В.П.,

Стенин А.С., Тимошин Ю.А.

Ситуационное планирование и оперативная корректировка маршрута автономного роботизированного подводного аппарата (АРПА) 3

Дмитрієва І.С.

Порівняльна оцінка за показниками надійності двох варіантів організації роботи дуплексної структури контролерів по станам з відновленням ... 12

Kavats O.O., Kostenko A.O.

Analysis of connection methods of telegram robots with server part 19

Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Соколов К.А.

Алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень 25

Баклан І.В., Шулькевич Т.В.

Порівняльний аналіз прогнозу при варіації параметрів гібридної лінгвістичної моделі 32

Кирия Р.В., Ларионов Г.И., Ларионов Н.Г.

Математическая модель напряженно-деформированного состояния ленты с грузом трубчатого ленточного конвейера 42

Kapitonov O.G.

The computer system for coulstatic experiments. The adsorption measurements unit 55

Гришин В.С., Абрамов С.О.

Моделювання текстурування поверхонь колекторних пластин 59

Монастырский В.Ф., Монастырский С.В., Новиков Л.А.

Оптимизация конструкции загрузочных устройств ленточных конвейеров 72

Syrotkina O., Alekseyev M., Udovyk I.

Graphical and analytical methods for processing “big data” based on the analysis of their properties 78

Алпатов А.П., Гольдштейн Ю.М.

Методика кластеризации орбит обслуживаемых космических аппаратов .
.....91

ГОЖИЙ В.О.

Моделювання поліграфічного web-сервісу за допомогою кольорових
мереж Петрі99

Музыка Л.В.

Автоматическое управление режимом загрузки струйной мельницы . 110

Мирный С.С., Редчиц Д.А.

Математическое моделирование обтекания группы тел потоком вязкой
несжимаемой жидкости 117

Кириченко Л.О., Ткаченко А.Е., Радивилова Т.А.

Кластеризация зашумленных временных рядов 133

Кузнецов В.И., Евтушенко Г.Л., Андрюхина М.В.,

Куриленко Д.А., Дубровин А.Э.

Решение системных задач сложной структуры с использованием методов
многокритериального анализа в СППР Nootron 140

РЕФЕРАТЫ

УДК 519.21

Михальов О.І., Стенин О.А., Пасько В.П., Стенин О.С., Тимошін Ю.А. **Ситуаційне планування та оперативне коригування маршруту автономного роботизованого підводного апарату (АРПА)** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.3 - 11.

На основі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень запропоновано два шляхи реалізації оптимальних стратегій прийняття рішень на основі математичного апарату теорії марківських і напівмарківських процесів з використанням принципу оптимальності Беллмана.

Бібл.9

УДК 004.9

Дмитрієва І.С. **Порівняльна оцінка за показниками надійності двох варіантів організації роботи дуплексної структури контролерів по станам з відновленням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.12 - 18.

Робота присвячена порівнянню двох варіантів роботи дуплексної структури контролерів для розроблених методів оцінки надійності та відмовостійкості багатоканальних управляючих систем безпеки і систем аварійного захисту з несумісними станами і різноманітністю можливих варіантів послідовностей виникнення явних і прихованих відмов з розрахунком ймовірностей перебування цих системи в працездатному стані, у стані помилкового спрацювання на заданому інтервалі часу.

Бібл.2, ілл. 4.

УДК 004.931

Кавац О.О. **Аналіз методів зв'язку роботів телеграм з серверної частиною** // О.О. Кавац, А.О. Костенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.19 - 24.

В роботі проведено аналіз методів взаємодії додатків роботів з серверами Телеграм. Проведено порівняння стандартного методу опитування (Long Polling) і Webhook як з боку швидкості взаємодії додатка з кінцевим користувачем, так і трудомісткості налагодження з точки зору розробника

Бібл. 5, іл. 1.

УДК 004.932.2

Селівьорстова Т.В., Селівьорстова В.Ю., Соколов К.А. **Алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.25 - 31.

В статті описаний запропонований алгоритм детектування міри скруглення для аналізу цифрових зображень. Згідно запропонованого алгоритму об'єкт на зображенні – неметалева включення вважається близьким до круглої форми, якщо відношення довжини

окружності рівної по площі неметалевому включенню до довжини контуру включення наближається до одиниці. Проведені дослідження на тестових зображеннях показали дієвість запропонованого підходу.

Бібл. 4.

УДК 506:510

Баклан І.В., Шулькевич Т.В. **Порівняльний аналіз прогнозу при варіації параметрів гібридної лінгвістичної моделі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.32 - 41.

В статті розглянуто результати проведені під час обчислювальних експериментів, була доведена якість прогнозування часових рядів різноманітної природи при різних параметрах. Експериментальним шляхом виявлені оптимальні параметри алгоритму. Алгоритм було застосовано до різноманітних часових рядів (соціальних, медичних, фінансових та економічних), вираховані статистичні показники точності прогнозу. Експерименти показали, що алгоритм стабільно виконує прогноз значень ряду на 3-4 кроки вперед та прогноз зміни тренду на 3-5 кроків.

Бібл. 13, іл.20.

УДК 519.65.001.57

Кирія Р.В, Ларіонов Г.І., Ларионов М.Г. **Математична модель напружено-деформованого стану стрічки з вантажем трубчастого стрічкового конвеєра** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.42 - 54.

В статті розроблено математичну модель напружено-деформованого стану стрічки трубчастого конвеєра, заповненої сипким вантажем. При цьому стрічка розглядається як тонка пружна нерозтяжна циліндрова оболонка, а сипкий вантаж в стрічці знаходиться в граничному стані. Отримано систему диференціальних рівнянь рівноваги трубчастої стрічки з сипким вантажем щодо зусиль і згинаючих моментів в стрічці, яка при спрощенні звелася до диференціального рівняння четвертого порядку щодо прогинань стрічки. На основі цієї математичної моделі отримана і проаналізована аналітична залежність прогинань стрічки трубчастого конвеєра від параметрів конвеєра, радіусу і властивостей стрічки, а також властивостей сипкого вантажу. В результаті визначено максимально допустиму відстань між роликкоопорами трубчастого конвеєра. При цьому встановлено, що допустима відстань між роликкоопорами прямо пропорційна натягненню стрічки і обернено пропорційна до квадрата радіусу стрічки та об'ємної ваги вантажу. Результати досліджень може бути використано при проектуванні трубчастих стрічкових конвеєрів, що транспортують сипкі вантажі.

Бібл. 8, іл. 2

УДК 004.9:544.6

Капітонов О.Г. **Комп'ютерна система для кулоностатичних експериментів. Модуль адорбційних вимірювань** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.55 - 58.

Розроблено математичну модель та реалізовано відповідний комп'ютерний додаток для розрахунків адсорбційних характеристик в кулоностатичних експериментах. Модель описує релаксацію електродного потенціала за умови сповільненої стадії адсорбції. Розглядається вплив неоднорідності поверхні на хід потенціальних кривих.

Бібл. 3

УДК 664.696:678.027

Гришин В.С., Абрамов С.А. **Моделирование текстурирования поверхностей коллекторных пластин** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.59 - 71.

В статье рассмотрены теоретические основы и методологии проектирования высокоэффективных ресурсосберегающих технологических процессов финишной обработки коллекторных пластин электрических машин, а также процесс образования микрорельефа на боковой поверхности коллекторных пластин в зоне действия абразивно-воздушной струи и взаимосвязь между факторами и степень их влияния на интенсивность. Сформирована модель финишной обработки боковых поверхностей коллекторных пластин, обработанных карбидом кремния (черный).

Библ. 8, Ил.3.

УДК 622.724; 622.76

Монастирський В.Ф., Монастирський С.В, Новіков Л.А. **Оптимизация конструкции загрузочных устройств ленточных конвейеров** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.72 - 77.

Рассмотрена многокритериальная задача оптимизации загрузочных устройств ленточных конвейеров с учетом их износа насыпным грузом. Критерием оптимизации приняты коэффициент совершенства конструкции, минимальная стоимость загрузочного устройства и разность скоростей груза и ленты в проекции на плоскость ее движения, при которой износ конвейерной ленты минимальный. Выбор наилучших вариантов решений задачи выбирался методом случайного поиска. Установлено, что значения коэффициента совершенства загрузочных устройств изменяются в пределах 0,86-0,88, а максимальный срок службы желоба в зависимости от типа применяемых загрузочных устройств и абразивности горной массы может изменяться в пределах от 8000 ч до 15000 ч.

Библ. 5, ил.2, табл. 1.

УДК 681.518.5

Сироткіна О.І. **Графоаналітичні методи обробки «великих даних» на основі аналізу властивостей їх структурної організації** / О.І. Сироткіна, М.О. Алексєєв, І.М. Удовик // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.78 - 90.

Розглядаються математичні методи обробки «великих даних» зі структурою типу «тарні кортежі на основі впорядкованих множин довільної потужності (ВМДП)» для застосування в NoSQL БД з моделлю даних «ключ-значення». Метою дослідження є оптимізація основних характеристик «великих даних». Сформульовано деякі властивості досліджуваної СОД, які є наслідком логічних правил формування даної структури. Описано

засновані на цих властивостях математичні методи. Графи булеана проілюстровано рисунками. Окреслені вершини графа відповідають задекларованим властивостям СОД. Для визначення цих елементів булеана були виведені аналітичні залежності. Для цих елементів не потрібно виконання алгоритмів, що реалізують досліджувані операції перетину, об'єднання, належності операндів, тому що шуканий результат визначений у самій властивості СОД. При цьому оцінка часу отримання результатів змінюється з кубічної на $O(n^3)$ на лінійну $O(n)$.

Бібл. 8, іл. 3, табл. 4.

УДК 629.7

Алпатов А.П., Гольдштейн Ю.М. **Методика кластеризації орбіт космічних апаратів, що обслуговуються** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.91 - 98.

При плануванні орбітальних сервісних операцій важливе значення має задача раціонального розбиття множини орбіт, що обслуговуються космічним апаратом, на підмножини (кластери) орбіт. В цій статті запропонована методика кластеризації орбіт космічних апаратів, що обслуговуються, в разі проведення їх сервісного обслуговування багаторазовим сервісним космічним апаратом з електрореактивним двигуном малої тяги. Методика базується на методі k - середніх. В якості відстані між будь-якою парою орбіт космічних апаратів, що обслуговуються, (метрики) методу k - середніх запропоновано використовувати характеристичну швидкість орбітального переходу між цими орбітами.

Бібл. 9.

УДК 004.75.02

Гожий В.А. **Моделирование полиграфического web-сервиса с помощью цветных сетей Петри** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.99 - 109.

Представлены модели полиграфического web-сервиса на основе цветных сетей Петри. Описание структуры полиграфического web-сервиса осуществляется на основе алгебры сервисов и диаграмм в нотации DFD. Построена система моделей в CPN Tools первого и второго уровней. Проведено имитационное моделирование и исследование разработанных моделей. На основе моделей был разработан web-ресурс по предоставлению полиграфических услуг.

Библ. 9, рис.10.

УДК 622.73

Музика Л.В. **Автоматичне керування режимом завантаження струминного млина** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.110 - 116.

Стаття присвячена розробці системи автоматичного управління завантаженням струменевого млина на основі аналізу акустичних сигналів різних режимів його роботи. Дослідження проводилося для різних режимів запису сигналів акустичного моніторингу та процесу подрібнення різних сипучих матеріалів. Чисельним експериментом удосконалено

методику аналізу акустичних сигналів зони подрібнення, зменшена похибка. Створено апаратну базу системи управління і реалізовано модель керованого бункеру завантаження.

Бібл. 3, іл. 4.

УДК 532.516

Мирний С.С. Редчиць Д.О. **Математичне моделювання течії навколо групи тіл потоком в'язкої нестисливої рідини** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.117 - 132.

Розглядаються результати дослідження взаємного впливу тіл в потоці в залежності від їх розташування у групі. Виконана серія обчислювальних експериментів з моделювання обтікання груп з двох циліндрів і двох сфер при їх різному положенні відносно потоку. Отримано нестационарні та осереднені за часом аеродинамічні характеристики циліндрів і сфер у групі. За отриманими картинами течії проведена класифікація картин течії в залежності від положення тіл у групі.

Бібл. 37, іл. 5, табл. 2.

УДК 519.2:004.9

Кіріченко Л.О., Ткаченко А.Є., Радівілова Т.А. **Кластеризація зашумлених часових рядів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.133 - 139.

Проведено порівняльний аналіз кластеризації зашумлених часових рядів вибірки. Вибірка для кластеризації містила часові ряди різних типів, серед яких були присутні нетипові об'єкти. Кластеризація проводилася методами k-середніх і DBSCAN з використанням різних функцій відстані для часових рядів.

Бібл.7, рис. 1, табл.1.

УДК 004.942:519.816

Кузнецов В.І., Євтушенко Г.Л., Андрюхина М.В., Куриленко Д.А., Дубровін А.Е. **Вирішення системних задач складної структури з використанням методів багатокритеріального аналізу в СППР NooTron** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (122). - Днепр, 2019. - С.140 - 152.

У даній роботі проведено аналіз можливостей використання методів багатокритеріального аналізу з бібліотеки СППР NooTron в системних задачах складної структури на кінцевій множині альтернатив і критеріїв.

Бібл. 20, іл. 5, табл. 1.

UDC 519.21

Mikhalyov A.I., Stenin A.A., Pasko V.P., Stenin S.A., Tymoshin Yu.A. **Situational planning and operational adjustment of the route of the Autonomous robotic underwater vehicle (ARPA)** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.3 – 11.

On the basis of the intelligent decision support system, two ways of implementing optimal decision-making strategies based on the mathematical apparatus of the theory of Markov and semi-Markov processes using the Bellman optimality principle are proposed.

Bibl.9

UDC 004.9

Dmytriieva I. **Analysis of the reliability properties of duplex structures of emergency protection systems with constant redundancy** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.12 – 18.

The work is devoted to the comparison of two options for the operation of the duplex structure of controllers for the developed methods for assessing the reliability and fault tolerance of multichannel control safety systems and emergency protection systems with incompatible states and a variety of possible options for the sequences of occurrence of obvious and hidden failures with the calculation of the probabilities of these systems being in a working condition in a false state triggers at a given time interval.

Bibl. 2, il. 4.

UDC 004.931

Kavats O.O. **Analysis of the communication methods of robots Telegram with server part** / O.Kavats, A. Kostenko // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.19 – 24.

The paper analyzes the methods of interaction between telegram bots applications and Telegram servers. A comparison was made between the standard polling method (Long Polling) and Webhook, both from the speed of the application's interaction with the end user and the complexity of debugging from the developer's point of view.

Bibl. 5, ill. 1.

UDK 004.932.2

Selivorstova T., Selivorstov V., Sokolov K. **Algorithm detection rounding measures for analysis of digital images** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.25 – 31.

The article describes a proposed algorithm for detecting a rounding action for the analysis of digital images. According to the proposed algorithm, an object on the image - a non-metallic inclusion is considered to be close to the circular shape, if the ratio of the circumference length equal to the area of non-metallic inclusion to the length of the contour of inclination tends to unity. The research carried out on the test images showed the effectiveness of the proposed approach.

Bibl. 4.

UDK 506:510

Baklan I.V., Shulkevych T.V. **Comparative analysis of the forecast for variation of the parameters of the hybrid linguistic model** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.32 – 41.

In the article the results of computational experiments are considered, the quality of forecasting of time series of diverse nature at various parameters was proved. Experimental way to find the optimal parameters of the algorithm. The algorithm was applied to a variety of time series (social, medical, financial and economic), calculated the statistical accuracy of the forecast. Experiments have shown that the algorithm consistently performs the forecast of values in a range of 3-4 steps forward and forecasts the trend change by 3-5 steps.

Bibl. 13, ill. 20.

UDK 519.65.001.57

Kiriya R.V., Larionov H.I., Larionov M.H. **Mathematical model of the stress-strain state of belt with the load of tubular belt conveyor** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.42 – 54.

The article developed a mathematical model of the stress-strain state of a tubular conveyor belt filled with bulk load. In this case, the belt is considered as a thin elastic inextensible cylindrical shell, and the bulk load in the belt is in the limit state. A system of differential equilibrium equations for a tubular belt with a bulk load with respect to forces and bending moments in a belt was obtained, which, when simplified, was reduced to a fourth-order differential equation for belt deflections. Based on this mathematical model, analytical dependencies of the deflections of the tubular conveyor belt on the parameters of the conveyor, the radius and properties of the belt, as well as the properties of the bulk load are obtained and analyzed. As a result, the maximum allowable distance between the roller supports of the tubular conveyor is determined. It was found that the allowable distance between the roller bearings is directly proportional to the tension of the belt and inversely proportional to the square of the radius of the belt and the bulk weight of the load. The research results can be used in the design of tubular belt conveyors transporting bulk load.

Refs. 8, ill. 2.

UDC 004.9:544.6

Kapitonov A.G. **The computer system for coulостatic experiments. The adsorption measurements unit** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.55 – 58.

Mathematical model and corresponding computer application for determination of adsorption characteristics in coulостatic experiments on solid electrodes were developed. The model simulates coulостatic relaxation of the electrodes' potential while adsorption is considered as slow stage. Impact of the surface inhomogeneity on potential curves behavior is discussed.

Bibl. 3.

UDC 664.696:678.027

Grishin V., Abramov S. **Modeling of texture of the surface of collector plates** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.59 – 71.

The article discusses the theoretical foundations and methodologies for designing highly efficient resource-saving technological processes for finishing the collector plates of electrical machines, as well as the formation of a microrelief on the lateral surface of the collector plates in the area of the abrasive-air jet and the relationship between the factors and

their degree of influence on the intensity. Formed a model for finishing the side surfaces of collector plates treated with silicon carbide (black).

Bibl. 8, Il.3.

УДК 622.724; 622.76

Monastirsky V.F., Monastirsky S.V., Novikov L.A. **Optimization of the design of the loading devices of belt conveyors** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.72 – 77.

The multi-criteria task of optimizing the loading devices of belt conveyors with regard to their wear by bulk cargo is considered. The optimization criterion adopted the coefficient of perfection of the design, the minimum cost of the loading device and the difference between the speeds of the belt the load and in the projection on its plane of movement, at which the wear of the conveyor belt is minimal. The choice of the best solutions to the problem was chosen by random search. It is established that the values of the coefficient of perfection of loading devices vary within 0.86-0.88, and the maximum service life of the chute, depending on the type of loading devices and abrasiveness of the bulk cargo can vary from 8000 hours to 15000 hours

Bibl. 5, ill. 2, table. one.

UDC 681.518.5

Syrotkina O. **Graphical and Analytical Methods for Processing "Big Data" Based on the Analysis of Their Properties** / O. Syrotkina, M. Alekseyev, I. Udovik // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.78 – 90.

We explore mathematical methods for processing "big data" with a data structure "m-tuples based on ordered sets of arbitrary cardinality (OSAC)." We examine them for use in NoSQL databases with a "key-value" data model. The aim of the research is to optimize the main characteristics of "big data." We formulate certain properties of the data structure. These properties follow rules of logic when forming the given data structure. We describe mathematical methods based on those properties and which include illustrated Boolean graphs with drawings. The outlined vertices of the graph correspond to the properties of the data structure we analyze. We derive analytical dependencies to determine these Boolean elements, the latter of which do not require the execution of algorithms that implement the particular operations of intersection, union, and membership. This is because the desired result is already determined by these properties. In this case, the time estimate for obtaining results changes from a cubic $O(n^3)$ to linear $O(n)$ dependency.

Ref. 8, fig. 3, Tab. 4.

UDC 629.7

Alpatov A.P., Holdshtein Yu.M. **Methods of Orbit Clustering of Serviced Spacecraft** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.91 – 98.

When planning orbital service operations, it is important to rationally divide a set of orbits serviced by a spacecraft into subsets (clusters) of orbits. This article proposes a technique for clustering the orbits of serviced spacecraft in the event of their servicing by a reusable service spacecraft with an electric rocket low thrust engine. The technique is based on the method of k - means. As the distance between any pair of orbits of the serviced space-

craft (metrics) of the method k — means, it was proposed to use the delta- V of the orbital transition between these orbits.

Bibl. 9.

UDC 004.75.02

Gozhyj V.O. **Modeling of polygraphic web-service using colored networks of Peter** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.99 – 109.

Modeling of polygraphic web-service on the basis of colored petri Networks is presented. The description of the structure of the polygraphic web-service is carried out on the basis of service algebra and diagrams in the DFD notation. The system of models in the CPN Tools of the first and second levels is constructed. Simulated and research of developed models were carried out. Based on the models, a web-resource for the provision of polygraphic services was developed.

Bibl 9, fig.10.

UDK 622.73

Muzyka L.V. **An automatic mode control of the jet mill loading** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.110 – 116.

The article is devoted to the development of an automatic control system for the jet mill loading based on the acoustic signal analysis of various operation modes. The study was conducted for different recording modes of acoustic monitoring signals and the grinding process of various bulk materials. The numerical experiment improved the analyzing method of the acoustic signals of the grinding zone, reduced the error. A hardware base of the control system was created and a model of a controlled loading bunker was implemented.

Bibl. 3, ill. 4.

UDC 532.516

Mirnyi S., Redchyts D. **Numerical simulation of the viscous incompressible flow around of the group of two bodies** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.117 – 132.

The results of the study of mutual influence of bodies in the flow are considered depending on their location in the group. A series of computational experiments on simulation the flow around groups of two cylinders and two spheres at a different position relative to the flow was performed. Unsteady and time-averaged aerodynamic characteristics of cylinders and spheres in a group are obtained. It is performed the classification of the obtained flow patterns, according to the position of the bodies in the group.

Ref. 37., pic. 5, tabl. 2.

UDC 519.2:004.9

Kirichenko L., Tkachenko A., Radivilova T. **Clustering Noisy Time Series** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.133 – 139.

A comparative analysis of clustering noisy time series is carried out. The clustering sample contained time series of various types, among which there were atypical objects. Clustering was performed by k-means and DBSCAN methods using various distance functions for time series.

Ref.7, fig. 1, tab.1.

UDC 004.942:519.816

Kuznetsov V.I., Yevtushenko G.L., Andryukhina M.V., Kurylenko D.O., Dubrovin O.E. **Solving system problems of a complex structure using multi-criteria analysis methods in the DSS NooTron** // System technologies. N 3(122) - Dnipro, 2019.- P.140 – 152.

There were analyzed the possibilities of using multi-criteria analysis methods from the DSS NooTron library considering system problems of a complex structure on a finite set of alternatives and criteria.

Ref. 20, fig. 5, tabl. 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Михалёв Александр Ильич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Стенин Александр Африканович – д.т.н., профессор кафедры технической кибернетики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Пасько Виктор Петрович – к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Стенин Александр Сергеевич – студент факультета информатики и вычислительной техники Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Тимошин Юрий Афанасьевич – к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Дмитрієва Ірина Сергіївна – к.т.н., доц. доцент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Kavats Elena Aleksandrovna – candidate of technical sciences, associate professor, assistant professor of the department of information technologies and systems of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kostenko Artem Aleksandrovich – the master of the department of information technologies and systems of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Соколов Кирило Андрійович – магістр, НМетАУ.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна – к.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Селівьорстов Вадим Юрійович – д.т.н., професор, професор кафедри ливарного виробництва, Національна металургійна академія України.

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Шулькевич Тетяна Вікторівна – аспірант кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Кирия Руслан Виссарионович – д.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Ларионов Григорий Иванович – д.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Ларионов Николай Григорьевич – к.т.н., мл. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Капітонов Олександр Георгійович – доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем ДВНЗ «Український Державний хіміко-технологічний університет».

Гришин Владимир Сергеевич – к.т.н., завідувач кафедри технології машинобудування, Національна металургійна академія України.

Абрамов Сергій Олексійович – завідувач учбовою лабораторією кафедри технології машинобудування, Національна металургійна академія України.

Монастирський Віталій Федорович - старший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Монастирський Сергій Віталійович - молодший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Новіков Леонід Андрійович - молодший науковий співробітник ІГТМ НАН України.

Сироткина Елена Игоревна - к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, НТУ «Дніпровська політехніка».

Алексеев Михаил Александрович - Декан факультета інформаційних технологій, д.т.н., професор, НТУ «Дніпровська політехніка».

Удовик Ирина Михайловна - Заведуюча кафедрою програмного забезпечення комп'ютерних систем, к.т.н., доцент, НТУ «Дніпровська політехніка».

Алпатов Анатолий Петрович – заведуючий відділом Інститута технічної механіки НАН України і ГКА України, доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України.

Гольдштейн Юрий Михайлович - старший науковий співробітник Інститута технічної механіки НАН України і ГКА України, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник.

Гожий Віктор Олександрович – молодший науковий співробітник науково-дослідної частини Чорноморського національного університету ім. Петра Могили.

Музыка Лев Владимирович - молодший науковий співробітник Інститута технічної механіки НАН України і ГКА України, Дніпр.

Мирний Сергій Сергійович - молодший науковий співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України.

Редчиць Дмитро Олександрович - провідний науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України.

Ткаченко Анастасия Евгеньевна – магістр кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Кириченко Людмила Олеговна – д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Радивилова Тамара Анатольевна – к.т.н., доцент каф. інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

Кузнецов Володимир Іванович - к.т.н., с.н.с., доцент кафедри інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Євтушенко Галина Львівна - к.т.н., доцент кафедри ІТС, НМетАУ.

Андрюхіна Маргарита Василівна - студентка кафедри ІТС, НМетАУ.

Куриленко Дмитро Олександрович - студент кафедри ІТС, НМетАУ.

Дубровін Олександр Едуардович - студент кафедри ІТС, НМетАУ.