УДК 532.516

О.Б. Полевой, Д.А. Редчиц

ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС КАПСУЛЫ HYPERLOOP В ВАКУУМИРОВАННОМ ПУТЕПРОВОДЕ

Аннотация. Выполнена оценка аэродинамических и тепловых нагрузок на корпус вакуумированного транспортного средства при различных значениях давления в путепроводе на основе численного решения уравнений Навье-Стокса сжимаемого газа, замкнутых дифференциальной моделью турбулентности. Показано, что даже в условиях низкого давления воздуха в путепроводе высокоскоростное движение капсулы HYPERLOOP будет сопровождаться образованием локальных сверхзвуковых зон, ударных волн, систем нестационарных вихрей.

Ключевые слова: математическое моделирование, уравнения Навье-Стокса, турбулентность, капсула HYPERLOOP, вакуумированный путепровод.

Введение и постановка задачи

Аэродинамика занимает важное место при проектировании высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ). При движении транспорта со скоростями выше 500 км/ч в условиях атмосферного давления основные энергетические затраты приходятся на преодоление аэродинамического сопротивления. Создание разреженной атмосферы внутри путепровода с целью существенного уменьшения потерь энергии – одна из ключевых идей проекта HYPERLOOP (рис. 1а).

Скорости движения капсулы вакуумированного ВСНТ типа HYPERLOOP задаются в диапазоне V_{HL} = 360÷1080 км/ч = 100÷300 м/с. Параметры воздушной среды определяются с помощью ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная». Температура покоящего воздуха полагалась равной T_{atv} = 288,15 К = +15^0 С и неизменной во всех расчетах. Атмосферное давление и плотность воздуха составляли $P_{atm} = 101325$ Па и $\rho_{\text{atm}} = 1{,}225$ кг/м^3.

© Полевой О.Б., Редчиц Д.А., 2019

Внутри путепровода давление покоящего воздуха принимает значения от $P_{pipe} = 0{,}001 P_{atm} = 101{,}3$ Па до $P_{pipe} = 0{,}1 P_{atm} = 10132{,}5$ Па. Поскольку при постоянной температуре плотность покоящего воздуха прямо пропорционально давлению, то значения плотности находились в соответствующем диапазоне $\rho_{pipe} = (0{,}001 \div 0{,}1)\rho_{atm} = 0{,}001225 \div 0{,}1225$ кг/м^3.

Корпорация Hyperloop Transportation Technologies 2 октября 2018 представила аэродинамический макет капсулы Quintero One [1] (рис. 1б). При проведении настоящих расчетов фюзеляж капсулы определялся по геометрическим параметрам, близким к капсуле Quintero One.

а)

б)

Рисунок 1 – Общая схема движения капсулы HYPERLOOP в вакуумированном путепроводе (а) и аэродинамический макет капсулы Quintero One корпорации Hyperloop Transportation Technologies [1] (б)

Между днищем капсулы и путевой структурой задается некоторый аэродинамический зазор, обусловленный работой магнитного подвеса. Создание воздушной подушки под днищем капсулы не рассматривается.

Математическая постановка опирается на численное решение уравнений Навье-Стокса вязкого сжимаемого теплопроводного газа, замкнутых дифференциальной моделью турбулентности [2-4].

Рассматривается обращенное движение, когда капсула считается неподвижной и обтекаемой набегающим потоком воздуха. Принцип обращения движения является стандартом для решения аэродинамических задач и по физическому смыслу соответствует продувкам в аэродинамических трубах.

 ISSN 1562-9945

Численное моделирование проводилось в рамках специализированного пакета вычислительной аэродинамики, который был разработан сотрудниками Института транспортных систем и технологий НАН Украины [5].

Поскольку рассматриваемая расчетная область содержит центральное тело, то производилась геометрическая декомпозиция полной задачи. Декомпозиция заключается в разделении всей области интегрирования на отдельные подобласти (блоки). В каждом блоке проводился одновременный расчет состояния физического процесса обтекания с передачей информации в соседние блоки. Схема геометрической декомпозиции расчетной области приведена на рис. 2. Начало координат по оси OX соответствует максимальному значению высоты капсулы D_{HL} = 3.2 м. Общая длина капсулы составляла $L_{HL} = 23.58$ м, что несколько меньше, чем в представленном корпорацией Hyperloop Transportation Technologies аэродинамическом макете Quintero One. Высота трубы путепровода, принятая в расчетах, равнялась H_{pipe} = 6.5 м. Величина аэродинамического зазора между днищем капсулы и нижней стенкой путепровода равнялась 0.4 м.

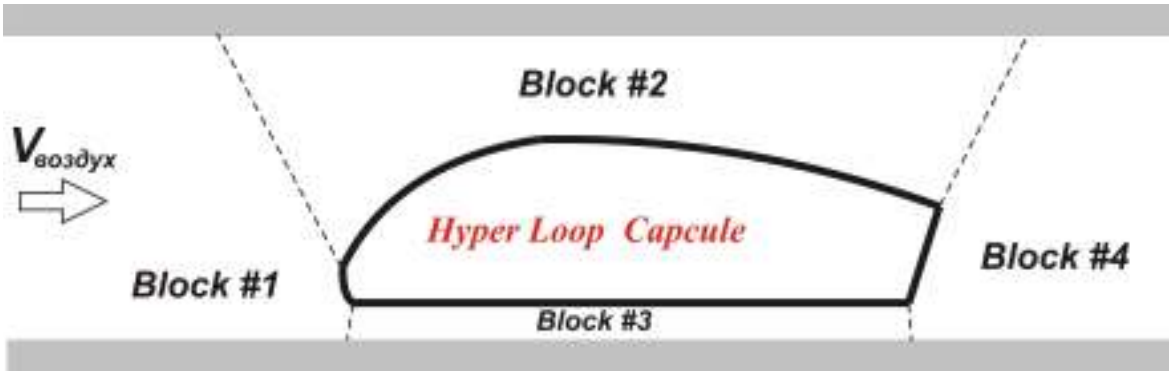


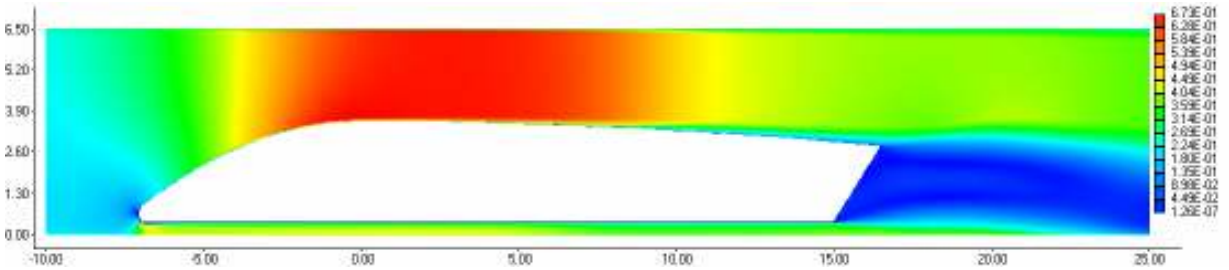
Рисунок 2 – Схема разбиения расчетной области на отдельные блоки

Результаты численного моделирования

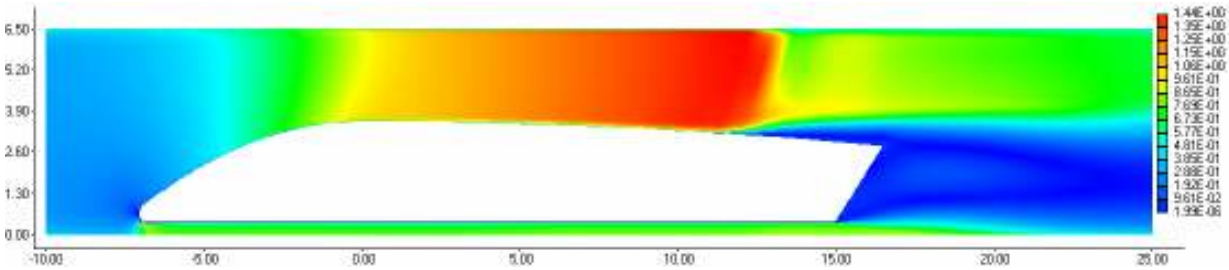
Общая структура течения в плоскости симметрии капсулы BCHT HYPERLOOP представлена в виде изолиний для локальных чисел Маха (рис. 3).

Как показали вычислительные эксперименты, существует подобие распределения газодинамических величин при различных значениях

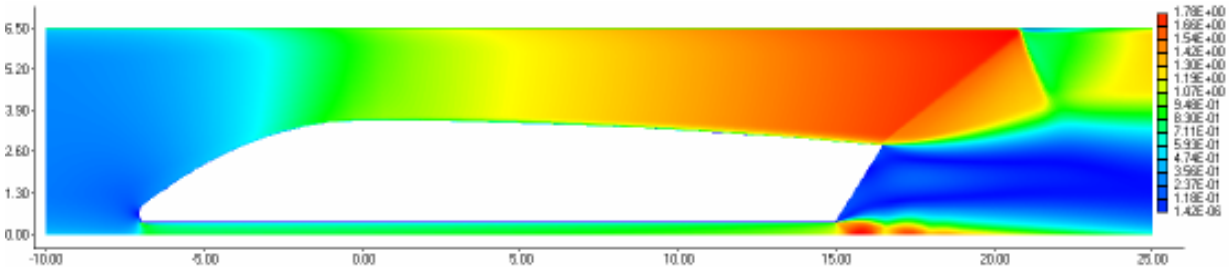
давления p_{pipe} в путепроводе. Для рассматриваемого диапазона параметров все значения числа Рейнольдса соответствовали турбулентному режиму обтекания, что в конечном итоге обусловило подобие по давлению. Вместе с тем, размерное значение скорости движения капсулы оказывает ключевое влияние на структуру обтекания через безразмерное число Маха. Для рассматриваемых случаев скорости капсулы $V_{HL} = 100$ м/с; 200 м/с и 300 м/с числа Маха набегающего потока составили $M_{HL} =$ 0.2939; 0.5878 и 0.8817 соответственно. Значения числа Маха определяют кинетическую энергию набегающего потока, что в свою очередь проводит к существенным различиям в картине течения.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Распределения локальных чисел Маха вблизи капсулы HYPERLOOP при $V_{HL} = 100$ м/с (а), $V_{HL} = 200$ м/с (б) и $V_{HL} = 300$ м/с (в)

 ISSN 1562-9945

Для значения скорости $V_{HL} = 100$ м/с (360 км/ч) наблюдается полностью дозвуковое течение с максимальным значение числа Маха в потоке $M_{\max} = 0.673$ (рис. 3а). Конфузорно-диффузорная часть области течения в данном случае работает аналогично трубке Вентури [6]. В сужающейся части над носиком капсулы дозвуковой поток разгоняется, а затем тормозится в расширяющейся части.

При значении скорости $V_{HL} = 200$ м/с (720 км/ч) над верхней поверхностью капсулы происходит образование локальной сверхзвуковой зоны (ЛСЗ) малой интенсивности (рис. 3.б). Максимальное значение числа Маха в потоке составило $M_{\max} = 1.44$. Локальная сверхзвуковая зона заканчивается прямым скачком уплотнения, располагающимся несколько выше по потоку от кормы капсулы. По своим физическим особенностям данный случай соответствует хорошо изученному течению в сверхзвуковых диффузорах [6,7]. В аэродинамическом зазоре образуется интенсивная дозвуковая струя, которая при расширении создает небольшую ЛСЗ с максимальным числом Маха $M_{\max} = 1.11$. Следует отметить, что течение имеет нестационарных характер, вызванный колебаниями потока в донной части и следе за капсулой.

Значение скорости $V_{HL} = 300$ м/с (1080 км/ч) было максимальным из рассматриваемого диапазона. Кинетическая энергия набегающего потока была достаточно велика, чтобы над верхней поверхностью капсулы образовалась структура течения, аналогичная соплу Лаваля [6, 7] (рис. 3в). Сверхзвуковая область простирается вдоль всего корпуса капсулы. За кормой образуется система ударных волн в виде маховской конфигурации, переводящей сверхзвуковое течение в дозвуковое. Под днищем капсулы формируется сверхзвуковая струя, которая на выходе в донную область течения образует хорошо известную бочкообразную структуру [7]. Такая структура имеет пульсирующий характер, что дополнительно влияет на нестационарность потока в донной области.

Вместе с тем, следует отметить, что нестационарное течение за кормой и в следе за капсулой оказало слабое влияние на интегральное значение безразмерного коэффициента аэродинамического сопротивле-

ния C_X. Отклонения текущих значений от осредненного не превышало 1.5%.

Результаты вычислительных экспериментов дали возможность оценить значения размерной силы аэродинамического сопротивления F_X, действующей на корпус капсулы HYPERLOOP (табл. 1).

Таблица 1

Оценка силы аэродинамического сопротивления F_X для капсулы HYPERLOOP с диаметром миделевого сечения D = 3.2 м

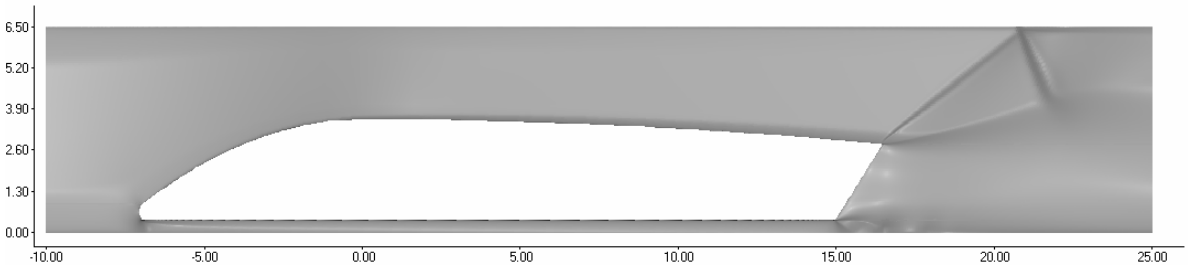
Скорость движения капсулы V_{HL}	Давление воздуха в путепроводе p_{pipe}			
	$1{,}0 \cdot P_{atm}$	$0{,}1 \cdot P_{atm}$	$0{,}01 \cdot P_{atm}$	$0{,}001 \cdot P_{atm}$
360 км/ч	18.6 кН (1900 кгс)	1.85 кН (189 кгс)	0.184 кН (18.8 кгс)	0.183 кН (1.87 кгс)
720 км/ч	104.0 кН (10600 кгс)	10.4 кН (1057 кгс)	1.03 кН (105 кгс)	0.102 кН (10.4 кгс)
1080 км/ч	355.0 кН (36200 кгс)	35.2 кН (3590 кгс)	3.5 кН (357 кгс)	0.34 кН (35 кгс)

Полученные результаты, позволяют сделать вывод, что при неизменной скорости капсулы сила аэродинамического сопротивления F_X фактически прямо пропорциональна значению давление воздуха в путепроводе p_{pipe}.

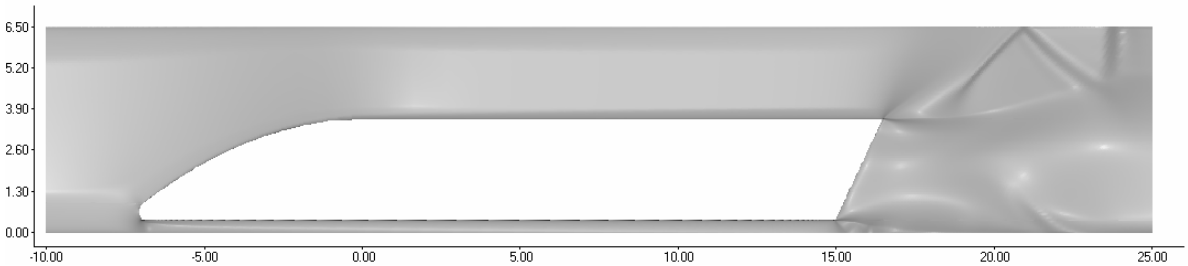
Само значение F_X при постоянной скорости зависит от многих фактов, к числу которых относится и геометрия капсулы. Для иллюстрации влияния формы капсулы на структуру течения были проведены дополнительные расчеты при скорости V_{HL}= 1080 км/ч и p_{pipe}= $0{,}01 \cdot P_{atm}$ с другой конфигурацией обтекаемого тела. Результаты вычислительных экспериментов представлены на рис.4. Отличие дополнительной конфигурации капсулы состоит в отсутствии сужения к корме, т.е. при одинаковом миделевом сечении кормовая часть капсулы представляет собой цилиндр. Таким образом, при обтекании капсулы недиффузорной геометрии и течение над ней остается дозвуковым (рис. 4б). Однако, в следе

 ISSN 1562-9945

за капсулой реализуется система ударных волн с бóльшей интенсивностью, чем для базовой конфигурации (рис. 4а). Вместе с тем донное давление выше, чем в базовом случае, что приводит к некоторому уменьшению значения безразмерного коэффициента аэродинамического сопротивления C_X.



а) базовая геометрия капсулы



б) дополнительный вариант геометрии капсулы

Рисунок 4 – Численные «шлирен-фотографии» течения вблизи капсул HYPERLOOP различной геометрии при $V_{HL} = 1080$ км/ч (300м/с)

Тепловое воздействие на капсулу HYPERLOOP можно иллюстрировать распределениями изменений температуры потока воздуха T относительно температуры покоящего воздуха T_{pipe} в путепроводе. Разница $\Delta T = T - T_{pipe}$ вблизи обтекаемой капсулы при скорости V_{HL}= 1080 км/ч и p_{pipe}= $0{,}01 \cdot P_{atm}$ представлена на рис. 5 для значения T_{pipe}=288.15 К (+15^{0}С). Над капсулой возникает поток холодного воздуха, с температурой, не значительно превышающей значение T_{pipe}. Максимальное значение $\Delta T_{\max}$ составило +104^{0}С. Такая температура наблюдается на верхней стенке путепровода сразу за замыкающим скачком уплотнения, переводящим сверхзвуковой поток в дозвуковой.

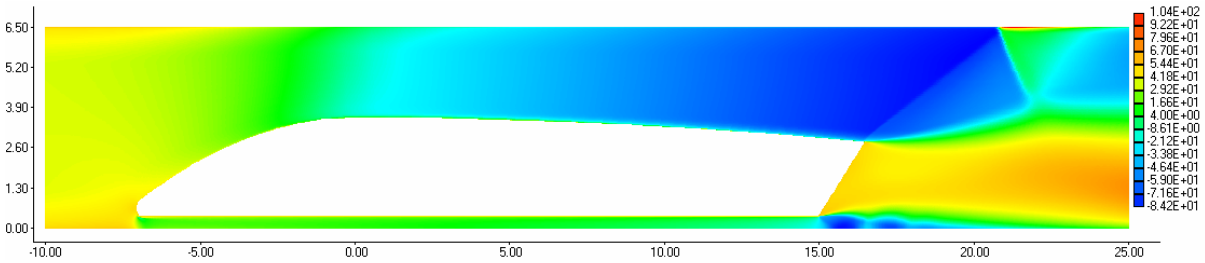
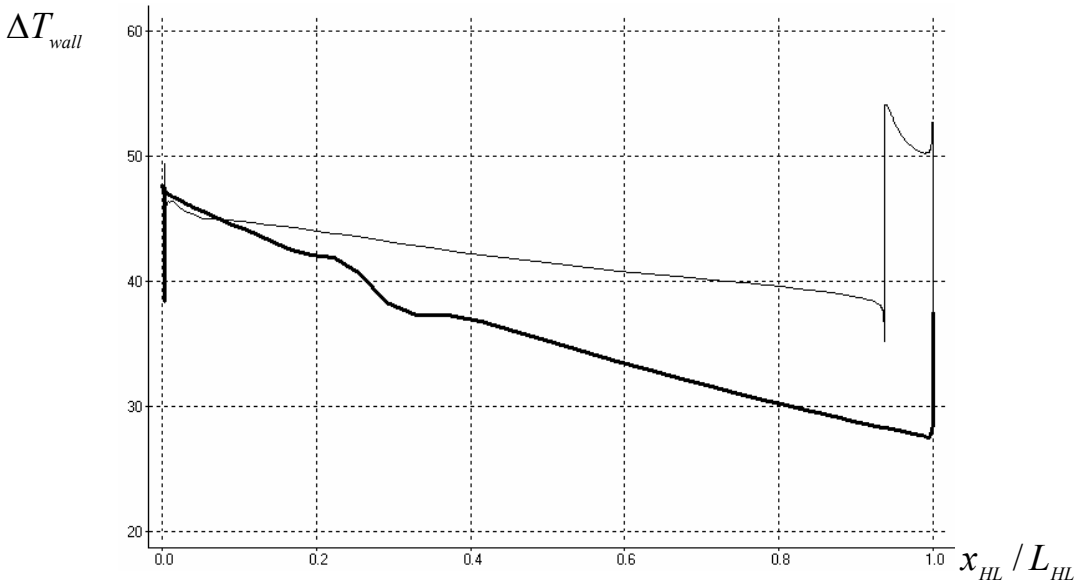


Рисунок 5 – Распределение приращения температуры $\Delta T = T - T_{pipe}$ вблизи капсулы HYPERLOOP при $V_{HL} = 1080$ км/ч (300м/с)

С точки зрения тепловых нагрузок на корпус вакуумированного ВСНТ необходимо рассматривать распределение температуры T_{wall} на поверхности капсулы (рис. 6). Случай скорости V_{HL} = 1080 км/ч является самым теплонапряженным из рассмотренного диапазона. Максимальное значение ΔT_{wall} составило +54^{0}С в донной части капсулы. Таким образом, при движении со скоростью 1080 км/ч внешняя оболочка капсулы прогревается до температуры 60÷90^0 С. Данный уровень тепловой нагрузки может оказать отрицательное влияние на работоспособность бортовых систем электроснабжения и управления, а также на обеспечение комфорта пассажиров в пути.



— носовая и верхняя части поверхности;

— нижняя и донная части поверхности.

Рисунок 6 – Распределение приращения температуры $\Delta T_{wall} = T_{wall} - T_{pipe}$ на поверхности капсулы HYPERLOOP при $V_{HL} = 1080$ км/ч (300м/с)

 ISSN 1562-9945

Выводы

На основе численного решения уравнений Навье-Стокса сжимаемого газа, замкнутых дифференциальной моделью турбулентности получены поля газодинамических величин вблизи пассажирских капсул ВСНТ HYPERLOOP, движущихся в вакуумированном герметичном путепроводе. Полученные данные по структуре течения и интегральным значениям аэродинамических сил могут использоваться в инженерной практике при проектировании скоростного транспорта нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hyperloop Transportation Technologies Reveals Full-Scale Passenger Capsule [Text] // Hyperloop Transportation Technologies, Press Kit 02.10.2018 – 4 p.

2. Pulliam T.H. Efficient solution methods for the Navier-Stokes equations [Text] / T.H. Pulliam – Lecture notes for the von Karman Institute for Fluid Dynamics, Von Karman Institute, Belgium, 1985. – 98 p.

3. Полевой О.Б. Численное моделирование управления отрывом сверхзвукового трехмерного потока при обтекании стреловидных углов сжатия [Текст] / О.Б. Полевой, А.А. Приходько // Аэрогидродинамика: проблемы и перспективы. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». – 2006. – С. 101–119.

4. Spalart P.R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flow [Text] / P.R. Spalart, S.R. Allmaras // AIAA Paper. – 1992. – № 439. – 22 p.

5. Редчиц Д.А. Численное моделирование обтекания турбулентным потоком транспортного средства вблизи экрана [Текст] / Д.А. Редчиц, С. В. Моисеенко // Вестник Херсонского национального технического ун-та. – 2016. Вып. 3(58). – С. 398 – 402.

6. Тимошенко В.И. Теоретические основы технической газовой динамики [Текст] / В.И. Тимошенко – Киев: Наукова думка, 2013. – 432 с.

7. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики [Текст] / С.К. Годунов, А.В. Забродин, В.Я. Иванов, А.И. Крайко, Г.П.Прокопов – М.: Наука, 1976. – 400 с.

REFERENCES

1. Hyperloop Transportation Technologies Reveals Full-Scale Passen-ger Capsule [Text] // Hyperloop Transportation Technologies, Press Kit 02.10.2018 – 4 p.

2. Pulliam T.H. Efficient solution methods for the Navier-Stokes equa-tions [Text] / T.H. Pulliam – Lecture notes for the von Karman Institute for Fluid Dynamics, Von Karman Institute, Belgium, 1985. – 98 r.

3. Polevoi O.B. Chyslennoe modelyrovanye upravlenyia otrыvom sverkhzvukovoho trekhmernoho potoka pry obtekanyy strelovydnыkh uhlov szhatyia [Tekst] / O.B. Polevoi, A.A. Prykhodko // Aэrohydrodynamyka: problemы y perspektyvы. – Kharkov: Nats. aэrokosm. un-t «Khark. avyats. yn-t». – 2006. – S. 101–119.

4. Spalart P.R. A one-equation turbulence model for aerodyna¬mic flow [Text] / P.R. Spalart, S.R. Allmaras // AIAA Paper. – 1992. – № 439. – 22 p.

5. Redchyts D.A. Chyslennoe modelyrovanye obtekanyia turbulent-nыm potokom transportnoho sredstva vblyzy эkrana [Tekst] / D.A. Red-chyts, S. V. Moyseenko // Vestnyk Khersonskoho natsyonalnoho tekhnychesko-ho un-ta. – 2016. Vыp. 3(58). – S. 398 – 402.

6. Tymoshenko V.Y. Teoretycheskye osnovы tekhnycheskoi hazovoi dynamyky [Tekst] / V.Y. Tymoshenko – Kyev: Naukova dumka, 2013. – 432 s.

7. Hodunov S.K. Chyslennoe reshenye mnohomernыkh zadach hazovoi dyna-myky [Tekst] / S.K. Hodunov, A.V. Zabrodyn, V.Ia. Yvanov, A.Y. Kraiko, H.P.Prokopov – M.: Nauka, 1976. – 400 s.

 ISSN 1562-9945

УДК 621.31

Н.М. Трипутень, В.В. Кузнецов, М.Е. Безденежных, И.В. Руденко

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Аннотация. В статье представлен лабораторный стенд для исследования оптимальной и квазиоптимальной по быстродействию системы автоматического управления (САУ). Лабораторный стенд состоит из теплового объекта и программно-технического комплекса, включающего логический контроллер VIPA System 200 V и HMI/SCADA систему Zenon Supervisor 7.0. Тепловой объект описывается дифференциальным уравнением второго порядка по каналу управления "величина тока в преобразователе мощности электронагревателя – температура воздуха внутри теплового объекта". Коэффициенты дифференциального уравнения зависят от положения заслонки и частоты вращения центробежного вентилятора.

Приведена методика синтеза и результаты расчёта оптимального по быстродействию релейного закона управления тепловым объектом по выбранному каналу. Показаны результаты эксперимента по переводу теплового объекта из различных начальных состояний в конечные состояния. Показана возможность реализации оптимального по быстродействию управления в реальном масштабе времени путём совершенствования программного обеспечения включением в него алгоритмов решения трансцендентной системы уравнений либо формированием предикатной модели теплового объекта.

Указаны условия применения квазиоптимального по быстродействию релейного закона управления. Приведена методика синтеза и результаты расчёта длительности первого интервала управления в зависимости от заданной величины перерегулирования. Показаны результаты моделирования квазиоптимальной по быстродействию САУ в приложении Simulink пакета прикладных программ (ППП) Matlab. Установлена функциональная зависимость длительности первого интервала управления от величины перерегулирования для реализации квазиоптимальной САУ в реальном масштабе времени с использованием базовых решающих блоков программируемого логического контроллера.

© Трипутень Н.М., Кузнецов В.В., Безденежных М.Е., Руденко И.В., 2019

Ключевые слова: лабораторный стенд, тепловой объект, аппаратно-программный комплекс, программируемый логический контроллер, квазиоптимальное управление.

Постановка проблемы и цель исследования. Подготовка квалифицированных кадров, которые владеют современными знаниями и практическими навыками синтеза и анализа систем автоматического управления (САУ) технологическими процессами требует наличия в учебных аудиториях реальных объектов управления или их физических моделей, новейших программно-аппаратных управляющих устройств. Наличие в учебном процессе физических моделей САУ позволит глубже и качественнее изучать положения теории автоматического управления и, в частности, вопросов, касающихся разработки систем оптимального и квазиоптимального управления.

Анализ лабораторной базы Украины показал, что практически единственным шансом обновить лабораторное оборудование для подготовки специалистов по вопросам контроля и управления технологическими объектами, является применение технической продукции известных мировых фирм таких как: Siemens, ABB, Moeller, Shneiderelectric[1]. Использование в лабораторных практикумах современных устройств позволяет подготавливать конкурентно-способных на рынках труда будущих инженеров в области автоматизации. Однако созданные таким образом лаборатории имеют недостатки – низкую адаптацию к ученому процессу и отсутствие методического сопровождения.

Повышение эффективности использования лабораторного оборудования в учебном процессе за счет адаптации его к решению задач синтеза оптимальных и квазиоптимальных САУ [2]. Целью настоящей работы является разработка оптимальной и квазиоптимальной по быстродействию САУ тепловым объектом (лабораторный стенд) для решения учебных задач.

Материал и результаты исследований. На кафедре автоматизации и компьютерных систем Национального технического университета «Днепровская политехника» внедрён в учебный процесс лабораторный стенд, представляющий собой аппаратно-программный комплекс (рис.1)

 ISSN 1562-9945

и включающий в себя тепловой объект управления, аппаратное и программное обеспечение системы автоматического управления.

Тепловой объект состоит из продуваемой ёмкости в виде прямоугольного параллелепипеда, центробежного вентилятора, всасывающей трубы, электрического нагревателя, заслонки и термопары. Центробежный вентилятор и всасывающая труба расположены на противоположных сторонах ёмкости. Между ними находятся электрический нагреватель, заслонка и термосопротивление.

Центробежный вентилятор обеспечивает непрерывную подачу холодного воздуха из окружающей среды внутрь теплового объекта. В зависимости от положения заслонки, частоты вращения двигателя всасывающего вентилятора и электрической мощности, подводимой к нагревательному элементу, воздух нагревается до некоторой температуры [3]. Изменение температуры воздуха контролируется термосопротивлением.

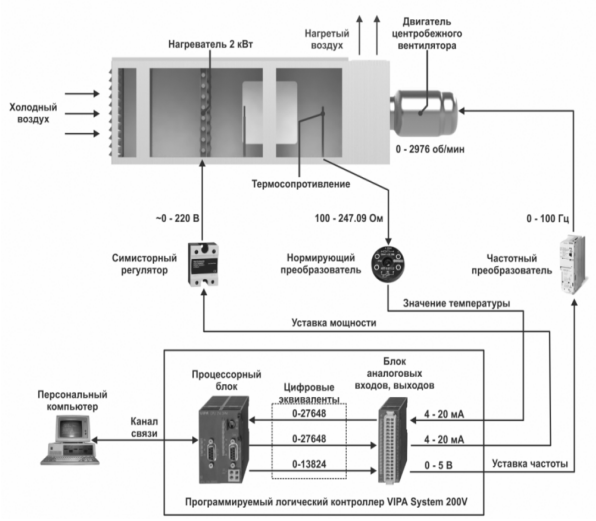


Рисунок 1 – Структура системы автоматического управления

Аппаратная часть системы автоматического управления создана на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) VIPA System 200 V.Структура аппаратной, части приведена на рис.1. ПЛК в системе автоматического управления выступает в качестве модуля удаленного аналогового ввода-вывода [4].

Программная часть САУ включает в себя программное обеспечение программируемого логического контроллера, предназначенного для

организации вычислительных процессов, и программное обеспечение персонального компьютера выполненного на основе HMI/SCADA системы Zenon Supervisor 7.0 предназначенного для реализации человеко-машинного интерфейса и различных типов регуляторов.

Данный стенд позволяет решать широкий круг задач, связанных с изучением технических средств систем автоматизации, исследованием методов идентификации и законов управления технологических объектов, получения практических навыков программирования систем автоматизации в реальном масштабе времени [5]. Однако базовые аппаратно-программные средства лабораторного стенда не позволяют исследовать оптимальные САУ, что ограничивает его применение в учебных целях [6,7].

Динамическая модель теплового объекта по каналу управления "величина тока в электронагревателе – температура воздуха внутри теплового объекта" (частота вращения центробежного вентилятора 50 Гц, заслонка полностью открыта) представляет собой апериодическое звено второго порядка с передаточной функцией $W(p) = k/(T_2 p^2 + T_1 p + 1)$. Здесь $k = 0,845$ – коэффициент усиления, $T_1 = 3,677$ и $T_2 = 3,362$ – постоянные времени [8].

В общем случае задача оптимального по быстродействию управления с использованием принципа максимума Понтрягина формулируется следующим образом. Объект управления необходимо перевести из начального состояния y_n в момент времени $t = 0$ в конечное состояние y_k за минимальное время, используя при этом релейный закон управления с максимальным и минимальным значениями управляющих воздействий соответственно $U_{\max}$ и $U_{\min}$. Так как тепловой объект описывается динамическим уравнением второго порядка, то для управления им, согласно теореме об *n* – интервалах, достаточно двух интервалов управления (одно переключение управляющего воздействия) [2]. Причём $U_{\min} = 0$ так как в тепловом объекте отсутствуют исполнительные механизмы, способные охлаждать воздух.

На рис. 2а и 2б показаны изменения выходной величины y_{vih} и управляющего воздействия U соответственно для случая, когда $y_k > y_n$, а

 ISSN 1562-9945

на рис. 3а и 3б – для случая, когда $y_k < y_n$. Запишем законы изменения выходной величины y_{vih} и её производной $\dot{y}_{vih}$ в моменты времени $t = 0$, $t = t_1$ и $t = t_2$.

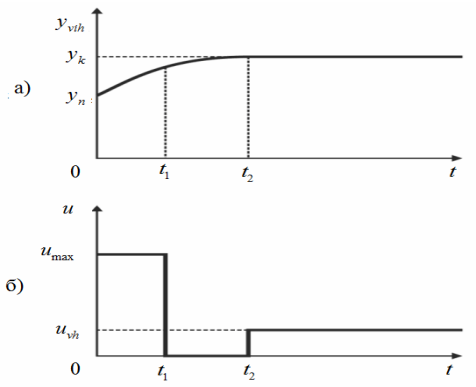


Рисунок 2 – Управление объектом при $y_k > y_n$: а) изменение выходной величины; б) изменение управляющего воздействия.

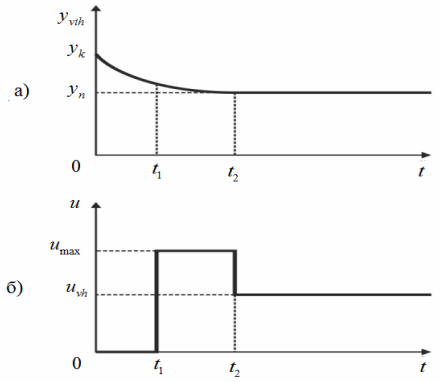


Рисунок 3 – Управление объектом $y_k < y_n$:а) изменение выходной величины; б) изменение управляющего воздействия.

В конце второго интервала управления (момент времени $t = t_2$):

$$\begin{cases} y_{vih} = U_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \\ \dot{y}_{vih} = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \end{cases} \quad (1)$$

Поскольку переходной процесс в конце второго интервала управления должен закончиться, то очевидно, что $y_{vih} = y_k$, а $\dot{y}_{vih} = 0$. Тогда система уравнений (1) принимает вид:

$$\begin{cases} y_k = U_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \\ 0 = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \end{cases} \quad (2)$$

В начале первого интервала управления (момент времени $t = 0$):

$$\begin{cases} y_{vih} = U_{\min(\max)} + C_1^1 e^{-\alpha_1 \cdot 0} + C_2^1 e^{-\alpha_2 \cdot 0} \\ \dot{y}_{vih} = -\alpha_1 C_1^1 e^{-\alpha_1 \cdot 0} - \alpha_2 C_2^1 e^{-\alpha_2 \cdot 0} \end{cases} \quad (3)$$

В начале первого интервала управления $y_{vih} = y_n$, а $\dot{y}_{vih} = 0$. Поэтому система уравнений (3) принимает вид:

$$\begin{cases} y_n = U_{\min(\max)} + C_1^1 + C_2^1 \\ 0 = -\alpha_1 C_1^1 - \alpha_2 C_2^1 \end{cases} \quad (4)$$

В момент времени $t = t_1$ (конец первого интервала управления и начало второго интервала управления) значение y_{vih}, рассчитанное по выражению (2) или по выражению (4), должны быть одинаковыми. Одинаковыми должны быть и значения $\dot{y}_{vih}$. Тогда:

$$\begin{cases} kU_{\min(\max)} + C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = kU_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \\ -\alpha_1 C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \end{cases} \quad (5)$$

В формулах (1)-(5) в скобках указан индекс управляющего воздействия для случая, когда $y_k < y_n$. $C_1^1, C_2^1, C_1^2, C_2^2$ –постоянные интегрирования.

Исключив из систем уравнений (2), (4) и (5) постоянные интегрирования C_1^1, C_2^1, C_1^2 и C_2^2 и, учитывая, что $U_{\min} = 0$, получим следующие системы уравнений для определения моментов времени t_1 и t_2:

$$\begin{cases} \left(1 - \dfrac{y_n}{kU_{\max}}\right) + \dfrac{y_k e^{\alpha_1 t_2}}{kU_{\max}} - e^{\alpha_1 t_1} = 0 \\ \left(1 - \dfrac{y_n}{kU_{\max}}\right) + \dfrac{y_k e^{\alpha_2 t_2}}{kU_{\max}} - e^{\alpha_2 t_1} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

и

$$\begin{cases} \left(1 - \dfrac{y_k}{kU_{\max}}\right) e^{\alpha_1 t_2} - e^{\alpha_1 t_1} + \dfrac{y_n}{kU_{\max}} = 0 \\ \left(1 - \dfrac{y_k}{kU_{\max}}\right) e^{\alpha_2 t_2} - e^{\alpha_2 t_1} + \dfrac{y_n}{kU_{\max}} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Система уравнений (6) получена для случая $y_k > y_n$, а система уравнений (7) – для случая $y_k < y_n$. В конце второго интервала управления выходная величина y принимает заданное значение y_k, а управляющая величина U - значение равное:

$$\left\{ U_k = \frac{y_k}{k} \right. \quad (8)$$

 ISSN 1562-9945

Проверка математических выражений (6) – (8) осуществлена при управлении тепловым объектом. В качестве выходной величины принята температура T (°C) нагретого внутри ёмкости воздуха, а в качестве управляющего воздействия – величина тока i (mA) преобразователя мощности электрического нагревателя. Зависимость между величиной тока i и величиной относительной мощности P (%) имеет следующий вид:

$$P = 6,25i - 25 \qquad (9)$$

Максимальное и минимальное значения тока управления равны $i_{\max} = 20$ mA, $i_{\min} = 0$ mA. Передаточная функция данного объекта по каналу "величина тока – температура воздуха" имеет вид $W(p) = 0,845/(3,362p^2 + 3,677p + 1)$.

Корни характеристического уравнения соответственно равны: $-\alpha_1 = -0,59$ и $-\alpha_2 = -0,51$. Температуру воздуха в тепловом объекте необходимо было изменить последовательно с 0°C до 5°C, с 5°C до 10°C и с 10°C до 7°C с фиксацией установившихся режимов в течении времени Δt для оценки значений производных выходной величины в конце второго интервала управлений. В табл.1 приведены исходные данные для проведения эксперимента на лабораторном стенде (i_k - значение управляющего воздействия в конце второго интервала управления).

Таблица 1

Исходные данные для проведения эксперимента

Изменение T с 0°C до 5°C				Изменение T с 5°C до 10°C				Изменение T с 10°C до 7°C			
t_1, мин	t_2, мин	Δt, мин	i_k,mA	t_1, мин	t_2, мин	Δt, мин	i_k,mA	t_1, мин	t_2, мин	Δt, мин	i_k,mA
1,51	2,69	2,31	5,92	2,37	2,93	2,07	11,83	1,77	2,29	2,72	8,28

Результаты эксперимента, зарегистрированные непосредственно на объекте управления, приведены на рис. 4.

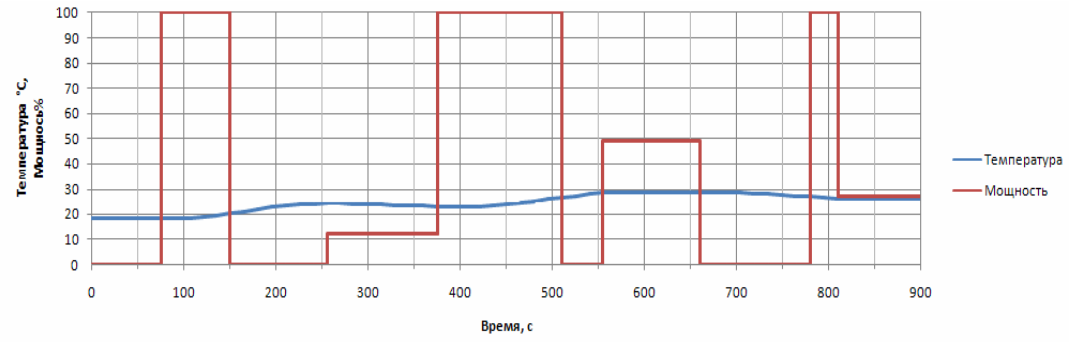


Рисунок 4 – Графики изменений температуры и мощности в ходе эксперимента

Как следует из графика на рис.4 результаты управления тепловым объектом свидетельствуют о хорошей согласованности теоретических расчётов и данных экспериментов. По окончании второго интервала управления изменения выходной величины T отсутствуют, а её значения по окончании переходных процессов соответствуют расчётным (с учётом начального значения температуры воздуха внутри ёмкости $T_н$=18,4°С).

Системы уравнений (6) и (7) являются трансцендентными и аналитического решения не имеют. Их можно решить либо графическими либо численными методами. Решающе блоки ПЛК VIPA System 200 V не ориентированы на решение систем уравнений данного класса. Однако доработка программного обеспечения персонального компьютера выполненного на основе HMI/SCADA системы Zenon Supervisor 7.0 в части реализации алгоритмов оптимизации позволит реализовать оптимальное по быстродействию управление в реальном масштабе времени. Кроме того, реализовать оптимальное управление в реальном масштабе времени, возможно выполнив предварительные расчёты по поиску длительностей интервалов управления t_1 и t_2 на множестве начальных и конечных состояний теплового объекта и сформировав его предикатную модель согласно [9,10]. Выбор длительностей интервалов в этом случае осуществляется применением известного метода распознавания образов, допускающего разбиение факторного пространства на элементарные подобласти [11,12]. Данный метод легко реализуется в среде системы управления базами данных, использующей реляционную модель [13].

 ISSN 1562-9945

Значительно проще оказалась реализация в реальном масштабе времени квазиоптимальной по быстродействию системы управления. Такое управление может быть осуществлено в двух случаях:

- понижение порядка дифференциального уравнения объекта;

- исключение интервалов управления настолько малой длительности, что практическая реализация их невозможна;

В первом случае объект управления разбивают на отдельные звенья и исключают те из них, которые имеют малые постоянные времени. Эти звенья запасают малые количества энергии или вещества и очень слабо влияют на переходной процесс. Во втором случае исключение интервалов управления малой длительности не приведёт к большим ошибкам управления вследствие малых энергий, припадающих на эти интервалы.

Вместе с тем можно исключать и интервалы большой длительности при условии соблюдения ограничений по величине перерегулирования. В этом случае переходной процесс будет бесконечной длительности, но отклонение выходной величины будет в заданных пределах.

Рассмотрим возможность управления тепловым объектом второго порядка с одним интервалом управления, задавшись максимальным значением превышения выходной величины Δy над её установившемся значением y. При этом обозначим через t_2 интервал времени, за которое выходная величина достигает максимального значения $y+\Delta y$, а через t_1 момент времени первого переключения. Воспользуемся стыковкой решений.

В общем случае решение дифференциального уравнения в момент t_2 имеет вид:

$$\begin{cases} y+\Delta y = kU + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \\ 0 = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \end{cases} \quad (10)$$

Решение на момент времени t=0:

$$\begin{cases} 0 = kU_{\max} + C_1^1 + C_2^1 \\ 0 = -\alpha_1 C_1^1 - \alpha_2 C_2^1 \end{cases} \quad (11)$$

В результате стыковки решений (10) и (11) на момент времени t_1 получим:

$$\begin{cases} kU_{\max} + C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = kU \ + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \\ -\alpha_1 C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \end{cases} \quad (12)$$

Определив постоянные интегрирования C_1^2, C_2^2, C_1^1 и C_2^1 из систем уравнений (10), (11) и подставив их математические выражения в (12), после тождественных преобразований получим систему уравнений с двумя неизвестными t_1 и t_2:

$$\begin{cases} \dfrac{y + \Delta y - kU}{kU_{\max}} e^{-\alpha_1 t_2} - (1 - \dfrac{U}{U_{\max}}) e^{-\alpha_1 t_1} + 1 = 0 \\ \dfrac{y + \Delta y - kU}{kU_{\max}} e^{-\alpha_2 t_2} - (1 - \dfrac{U}{U_{\max}}) e^{-\alpha_2 t_1} + 1 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Данная система уравнений также является трансцендентной. А её решением являются значения t_1 и t_2, из которых существенным является t_1. В табл. 2 приведены результаты решений (13) относительно t_1 и t_2, выполненных в программной среде Mathcad с использованием функции *Minerr* для T=5°С и различных значений превышения температуры ΔT.

В табл.2 во второй строке приведена величина перерегулирования σ рассчитываемая по формуле:

$$\sigma = \frac{\Delta T}{T} \cdot 100\% \quad (14)$$

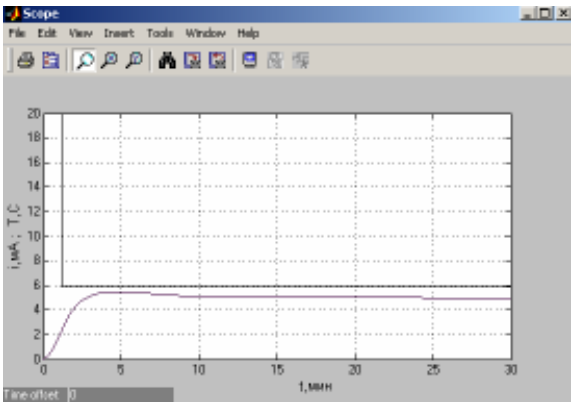
Таблица 2

Результаты расчётов интервалов управления

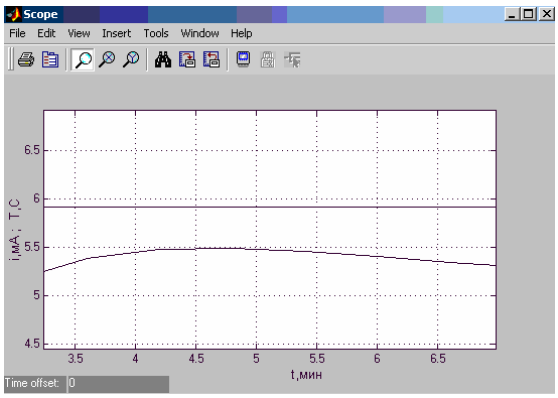
Превышение ΔT, °С	0,05	0,15	0,25	0,5	1,0	2,0
Величина перерегулирования σ,%	1	3	5	10	20	40
Интервал управления t_1 мин	0,888	0,987	1,058	1,201	1,44	1,869
Время достижения максимального значения выходной величны t_2 мин	7,049	5,726	5,18	4,539	4,055	3,81

График переходного процесса, полученного моделированием в приложении SIMULINK Matlab для ΔT=0,5°С, приведен на рис.5. Как видно параметры переходного процесса соответствуют рассчитанным значениям в табл.2.

 ISSN 1562-9945



а)



б)

Рисунок 5 – Графики изменений управляющего воздействия и выходной величины при ΔT=0,5°С; σ=10%: а) общий вид переходного процесса и управления б) максимальное превышение ΔT

По данным табл.2 выполнен расчёт нормированного коэффициента корреляции $r_{\Delta T,t_1}$ для выявления линейной связи между величинами ΔT и t_1 по методике, приведенной в [14]. Результаты расчётов приведены в табл.3.

Таблица 3

Результаты расчёта нормированного коэффициента корреляции

Показатель	Превышение ΔT	Интервал упраления t_1, мин
Среднее $\overline{\Delta T}, \bar{t}_1$	0,66	1,23
Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_{\Delta T}, \sigma_{t1}$	0,69	0,36
Дисперсия, $D_{\Delta T}, D_{t1}$	0,47	0,13
Коэффициент корреляции, $R_{\Delta T,t_1}$	0,25	
Нормированный коэффициент корреляции, $r_{\Delta T,t_1}$	0,99	

Здесь: $\overline{\Delta T}$ и $\bar{t}_1$ – средние значения величин превышения температуры над её установившимся значением и длительности первого интервала управления соответственно; $\sigma_{\Delta T}$ и σ_{t1} – среднеквадратические отклонения величин ΔT и t_1 соответственно; $D_{\Delta T}$ и D_{t1} – среднеквадратич-

ные отклонения величин ΔT и t_1 соответственно; $R_{\Delta T, t_1}$ и $r_{\Delta T, t_1}$ – коэффициент корреляции и нормированный коэффициент корреляции.

Нормированный коэффициент корреляции $r_{\Delta T, t_1}$ близок к единице, что соответствует наличию линейной связи между величинами ΔT и t_1. Линейная зависимость $t_1 = f(\Delta T)$ определяется из следующего выражения [14]:

$$t_1 - \bar{t}_1 = r_{\Delta T, t_1} \frac{\sigma_{t_1}}{\sigma_{\Delta T}} (\Delta T - \overline{\Delta T}) \tag{15}$$

После подстановки в (15) значений параметров из табл.3 получим:

$$t_1 - 1,23 = 0,99 \frac{0,36}{0,69} (\Delta T - 0,66), \tag{16}$$

В результате тождественных преобразований окончательно имеем:

$$t_1 = 0,89 + 0,52 \Delta T \tag{17}$$

По выражению (17) легко рассчитать длительность интервала управления t_1 для известной величины перерегулирования σ (превышение ΔT) при помощи решающих блоков ПЛК VIPA System 200 V и реализовать квазиоптимальное управление на тепловом объекте.

В статье приведены методика и результаты расчётов оптимальной и квазиоптимальной САУ для конкретной частоты вращения центробежного вентилятора и положения заслонки в тепловом объекте. При изменении этих параметров результаты расчётов будут иными. Именно их поиск и проверка результатов моделированием САУ является малой исследовательской задачей в ходе выполнения лабораторных работ по дисциплине "Оптимальные и адаптивные системы".

Выводы

1. На основе аппаратно-программных средств лабораторного стенда возможно создание оптимальной и квазиоптимальной по быстродействию системы автоматического управления.

2. Реализация оптимальной по быстродействию САУ в реальном масштабе времени предполагает формирование предикатной модели теплового объекта в признаковом пространстве интервалов управления и начального и конечного состояний.

 ISSN 1562-9945

3. Реализация квазиоптимальной по быстродействию САУ в реальном масштабе времени предполагает формирование регрессионной модели вида $t_1 = f(\Delta T)$.

4. Конструктивные особенности лабораторного стенда позволяют использовать исходные данные для выполнения исследовательских работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прітченко О.В. Концепція побудови малогабаритних лабораторних стендів /О.В. Прітченко, А.П. Калінов, В.О. Мельников, О.В. Скрипников // Щоквартальний науково-виробничий журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи». Вип. 2. Кременчук: КДПУ, 2010. С. 56-61.

2. Понтрягин Л.С.Применение принципа максимума в оптимальном управлении. — М.: Наука, 1998.

3. Трипутень Н.М., Бойко О. Разработка нечёткого регулятора для управления тепловым объектом на основе логического программируемого контролера - Матеріали XI міжнародної конференції Проблеми розвитку впровадження інформаційних технологій в наукову та інноваційну сферу освіти 25 листопада 2014 р. ДВНЗ “Національний гірничий університет” м. Дніпропетровськ С. 24-25.

4. Шишов О. В. Элементы систем автоматизации. Контроллеры, операторные панели, модули удалённого доступа: лабораторный практикум. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 185 с.

5. Rajib Mall. Real-time Systems: Theory and Practice. – IGI Global, 2006. – 242 p.

6. A.Scherbakov, V. Gubkina. Fuzzy Logic Systems - The 8th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIXONS April 11-12, 2013, Volume 2, p.78.

7. D. Belikov, N. Nechay. Extreme Control System for a Thermal Object - The 9th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIXONS April 3-4, 2014, Volume 2, p.92.

8. Трипутень Н.М., Беликов Д.В. Идентификация теплового объекта. - Матеріали XI міжнародної конференції Проблеми розвитку впровадження інформаційних технологій в наукову та інноваційну сферу освіти 25 листо-

пада 2014р. ДВНЗ “Національний гірничий університет” м.Дніпропетровськ С.18-19.

9. Качан Ю.Г. Разаработка управляющего блока для АСУ ТП крупнокускового дробления// Металлургическая и горнорудная промышленностью. – 1990. - №3. С.64-66.

10. Кузнецов В.В. Алгоритм распознавания в задачах повышения энергоэффективности асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественной электроэнергии/ В.В. Кузнецов, А.В. Николенко, В.П. Иващенко// Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Вып.27(1249). Харьков: НТУ "ХПИ", 2017. С. 95-98.

11. Воронов В.А. Метод описания технологических ситуаций и его использование при управлении процессами // Обогащение руд. – 1982.- №2.- С.31-35.

12. Воронов В.А. Одномерное числовое кодирование ситуаций при автоматизированном управлении технологическими процессами // Обогащение руд. – 1984.- №4.-С.38-41.

13. Бешта Д.О. α-алгебра в задачах керування технологічними процесами// Науковий вісник НГА України.- 2001. - №2.-С.80-83.

14. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике.- М.: Высшая школа, 2004.

REFERENSES

1. Pritchenko O.V. (2010), “The concept of the incentives of small-sized laboratory stands”, Schokvartalniy naukovo-virobnichiy zhurnal “Elektromehanichni i energozberigayuchi sistemi”, Kremenchuk: KDPU, Vol. 2., pp. 56-61.

2. Pontryagin L.S. (1998) Primenenie printsipa maksimuma v optimalnom upravlenii. [The application of the maximum principle in optimal control], Nauka, Moscow, Russia.

3. Triputen N.M. and Boyko O. (2014) “Development of a fuzzy regulator for controlling a thermal object based on a logic programmable controller” , Materiali XI mizhnarodnoyi konferentsiyi Problemi rozvitku vprovadzhennya Informatsiynih tehnologiy v naukovu ta innovatsiynu sferu osviti [Materials of the XI International Conference Problems of the development of the introduction of information technologies in the scientific and innovative sphere of education], Dnipropetrovsk, NGU, November 25, 2014, pp.24-25.

4. Shishov O.V. (2015) Elementyi sistem avtomatizatsii. Kontrolleryi, operatornyie paneli, moduli udalyonnogo dostupa: laboratornyiy praktikum [Elements of automation systems. Controllers, operator panels, remote access modules: laboratory practice], Direkt-Media, Moscow, Russia – Berlin, Germany.

5. Rajib Mall. (2006), Real-time Systems: Theory and Practice. IGI Global.

6. Scherbakov A. and Gubkina V. (2013) “Fuzzy Logic Systems”, The 8th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIXONS, April 11-12, Volume 2,p.78.

7. Belikov D. and Nechay N. (2014) “Extreme Control System for a Thermal Object”, The 9th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIXONS, April 3-4, Volume 2, p.92.

8. Triputen N.M. and Belikov D.V. (2014), “Identification of the thermal object”, Materiali XI mizhnarodnoyi konferentsiyi Problemi rozvitku vprovadzhennya Informatsiynih tehnologiy v naukovu ta innovatsiynu sferu osviti [Materials of the XI International Conference Problems of the development of the introduction of information technologies in the scientific and innovative sphere of education], Dnipropetrovsk, NGU, November 25, 2014, pp.18-19.

9. Kachan Yu.G. (1990) “The development of a control unit for the process control system for large-scale chipping”, Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost, Vol.3, pp.64-66.

10. Kuznetsov V.V. (2017) “Algorithm of recognition in tasks of increasing the energy efficiency of induction motors operating in conditions of low-quality electric power”, Vestnik Natsionalnogo tehnicheskogo universiteta "Harkovskiy politehnicheskiy institut", Vol.27, no. 1249, pp. 95-98.

11. Voronov V.A. (1982), “Method of describing technological situations and its use in process management”, Obogaschenie rud, Vol.2, pp.31-35.

12. Voronov V.A. (1984), “One-dimensional numerical coding of situations in the automated control of technological processes ”, Obogaschenie rud, Vol.4, pp.38-41.

13. Beshta D.O. (2001), “α-algebra in the problems of control of technological processes”, Naukovyy visnyk NHA Ukrayiny, Vol. 2, pp.80-83.

14. Gmurman V.E. (2004), Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [A guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics],Vyisshaya shkola, Moscow, Russia.

УДК 378.14 (07):004

О.П. Морозенко, Н.Ю. Грибанова

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ»

Анотація. Розглядаються освітні технології графічних дисциплін з використанням інноваційних методів навчання, що сприяють інформатизації освіти; концептуальні підстави підвищення якості графічної підготовки молодих фахівців з технічною освітою; інноваційні методики читання лекцій, проведення практичних занять по графічним дисциплінам; прикладні комп'ютерні програми і їх практичне застосування при вивченні графічних дисциплін

Ключові слова: інноваційні методи навчання, мультимедійні засоби, графічні редактори, нарисна геометрія, інженерна графіка, кейс-метод

Сучасна підготовка фахівців з вищою технічною освітою ставить нові задачі у викладанні графічних дисциплін, а також висуває вимоги до конкурентоспроможності випускників на ринку праці.

Для реалізації завдань, які ставить сучасне суспільство перед вищою школою на кафедрі графіки та нарисної геометрії НМетАУ проводиться пошук та впровадження нових форм навчання. Технічні вищі навчальні заклади знаходяться на етапі перехода до системи навчання бакалавр - магістр. Налагоджена десятиліттями система піддається змінам. В навчальний процес впроваджуються нові дисципліни, навчальні плани, програми.

Традиційна мета дисципліни "Нарисна геометрія та інженерна графіка" - розвиток здібностей до аналізу та синтезу просторових форм і відношень на основі графічних відображень, отримання знань по виконанню, оформленню та "читанню" креслень, є актуальною і сьогодні. Вдосконалення методики навчання нарисній геометрії та інженерній графіці пов'язано з пошуком найбільш ефективних методів та при-

© Морозенко О.П., Грибанова Н.Ю., 2019

йомів, які розвивають графічну культуру та творче мислення. Ефективність вивчення нарисній геометрії та інженерній графіці підвищується за рахунок використання нових інформаційних технологій. Викладачі кафедри графіки та нарисної геометрії НМетАУ приймають активну участь по впровадженню комп'ютерних технологій в навчальний процес, що забезпечує якісно новий рівень освіти.

Існує два різних підходи до проблеми викладання комп'ютерної графіки в курсі нарисної геометрії та інженерної графіки. Перший і найбільш поширений – це ведення комп'ютерної графіки як заключної частини курсу інженерної графіки. При такому підході комп'ютерна графіка розглядається як окремий розділ, присвячений вивченню техніки виконання креслень з використанням замість олівця і креслярської дошки «електронного кульмана». При дефіциті навчального часу такий підхід зводиться до ознайомчого рівню. Така ситуація призводить до того, що слабшає рівень загальної графічної підготовки і не закладаються основи комп'ютерної графіки. На наш погляд, такий підхід не виправданий, тому що в цілому комп'ютерну графіку слід розглядати в єдиному контексті з нарисною геометрією та інженерною графікою. Робота на комп'ютерах повинна бути побудована так, щоб студенти не просто вивчали графічний пакет (AutoCAD, КОМПАС та ін.), а продовжували вивчення нарисної геометрії та інженерної графіки, застосовуючи при цьому інший інструментальний засіб. Найбільш ефективно організовувати процес навчання паралельно, оптимально і розумно поєднуючи ручне і комп’ютерне виконання креслень.

Для напрямку підготовки “Комп'ютерні науки та інформаційні технології впроваджена дисципліна “Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки “. Робоча програма навчальної дисципліни розроблена таким чином, що починаючи з перших занять студенти вивчають принципи роботи графічних редакторів, завдяки чому навчальний процес є більш результативним. Викладання дисципліни ведеться у послідовності відповідної логіці лекційних та

Мультімедійне забеспечення лекцій не тільки дає можливість урізноманітнити ілюстративний матеріал, а і допомогає наочній візуалізації

складного теоретичного матеріалу. Застосовуються найбільш прийнятні і ефективні мультімедіаформи: мультімедіалекція, навчальна презентація, відеоролики, інтерактивні методичні та навчальні посібники, електронні альбоми завдань і методичні вказівки до їх вирішення.

Постійно зростаючий обсяг пропонованих студентам знань при зменшені аудиторних годин потребує оптимізації часу навчального процесу. Одним з важливих засобів навчання графічним дисциплінам є робочий зошит, який містить графічні умови завдань[1]. Використання цього зошиту сприяє синхронному рішенню максимальної кількості завдань на дошці і в зошиті, тому що не вимагає часу на перекреслення умови і виключає відмінності між представленим рішенням в презентації викладача та рішенням завдання студентами. Читання лекції з нарисної геометрії та інженерної графіки з використанням мультимедійного обладнання в комплекті з робочим зошитом збільшує обсяг розглянутого матеріалу на лекціях та практичних заняттях у порівнянні з традиційними засобами на 30-50% [2].

Починаючи з першого практичного заняття студенти одночасно вивчають інтерфейс графічного редактора AutoCAD, знайомляться з основними командами і виконують завдання першого модулю. При цьому доводиться долати ряд складнощів, пов'язаних з дефіцитом часу, відведеного на дисципліну, і прагненням не програти в рішенні педагогічних задач, тобто зуміти розвинути просторове мислення студентів до необхідного рівня.

Однак повністю виключити освоєння традиційних графічних методів, тобто із застосуванням креслярських інструментів на папері, недоцільно. Комп'ютерна графіка повинна бути спрямована на вивчення правил і прийомів рішення графічних завдань. Уміння виконувати креслення і вирішувати різні практичні технічні завдання в графічних редакторах можливо тільки на базі нарисної геометрії, оскільки програмне забезпечення засноване на теоретичних положеннях, поняттях і способах рішення геометричних задач, що вивчаються виключно в нарисної геометрії.

 ISSN 1562-9945

Тому частина завдань курсу студенти, зокрема розділи «Вигляди», «Розрізи і перерізи» виконують в традиційній формі. При цьому одним з важливих чинників, який не дозволяє повністю замінити традиційні аудиторні заняття в креслярських залах роботою в комп'ютерних класах, є навчання прийомам ескізування. Цей етап в процесі вивчення інженерної графіки є первинним при виконанні будь-яких завдань, так як забезпечує компоновку креслення, дозволяє його відпрацювати і довести до необхідного рівня. Ми розглядаємо ескізування як обов'язковий елемент виконання кожного завдання. На ескізі опрацьовуються рішення, здійснюється компонування, перевіряється правильність вибору кількості і складу зображень, нанесення розмірів і ін. Далі просто йде процес його комп'ютерного втілення. Особливо це важливо на початковій стадії навчання, коли помилки виявляються і усуваються на паперовому кресленні. Так чи інакше, студент повинен осмислити завдання і намітити шлях вирішення на папері.

В рамках курсу виконується ескіз деталі з натурного образцу з подальшим виконанням робочого креслення в графічному редакторі AutoCAD, а також виконання завдання по деталюванню складального креслення (ескізи і робочі креслення). На практичних заняттях викладачі використовували кейс-метод при виконанні ескізів деталей. Студенти розбиваються на невеликі групи по 3-4 людини. Завдання видається для кожної групи. В процесі виконання ескізів або креслень навчаються взаємодіяти як невелике конструкторське бюро, що дає можливість всім брати участь в роботі, практикувати навички співробітництва, міжособистісного спілкування (вміння активно слухати, виробляти спільну думку, вирішувати виникаючі розбіжності). Учасники працюють з нормативними документами, довідниками та іншими джерелами інформації, використовуються елементи творчої роботи. Викладач регулює процес і займається його загальної організацією, дає консультації, контролює час і порядок виконання завдання. Використання таких технологій дає позитивний результат, сприяє успішності, підвищує інтерес до предмету.

Виконання цієї роботи показує рівень засвоєння знань відразу в декількох аспектах: здатність читати креслення, наприклад, при виконанні завдання з деталювання, знання правил проставляння розмірів, вміння оптимізувати креслення за кількістю зображень, знання розділів «Вигляди», «Розрізи. Перерізи», «Різьби. Зображення та позначення» та ін. Приступаючи до виконання робочого креслення студенти вже мають початкові знання графічного редактора, в процесі роботи освоюють нові команди і перетворення.

Реалізація поставленого завдання вимагало створення відповідного дидактичного матеріалу і його адаптації до графічної системи. Викладачами кафедри розроблені навчальні посібники, конспекти лекцій [3-5], які існують як в паперовому, так і в електронному вигляді.Таким чином, в графічній підготовці інженерних кадрів розроблені нові педагогічні технології, що забезпечують орієнтацію на інноваційну діяльність, усвідомлену постановку нових творчих завдань і здатність вирішувати ці завдання сучасними професійними методами. Викладання графічних дисциплін з використанням сучасних інформаційних технологій істотно підвищує якість інженерної освіти і формує професійні значущі якості у майбутніх фахівців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» (Укладач О.П. Морозенко) - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2010.-50с.

2. Ройтман И.А. Методика преподавания черчения/ И.А.Ройтман М.:Владос, 2002 - 240с.

3. Морозенко О.П Комп’ютерна графіка/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський: Навчальний посібник (російською мовою)- Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 38 с.

4. Морозенко О.П. Комп’ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський: Навчальний посібник -Дніпро: НМетАУ, 2016. – 53 с.

 ISSN 1562-9945

5. Морозенко О.П. Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, Г.В. Малишко: Конспект лекцій -Дніпро: НМетАУ, 2017.- 50 с.

REFERENCES

1. Metodychni vkazivky do praktychnykh zaniat z dystsypliny «Narysna heometriia ta inzhenerna hrafika» (Ukladach O.P. Morozenko) - Dnipropetrovsk: NMetAU,2010.-50s.

2. Roytman I.A. Metodika prepodavaniya chercheniya/ I.A.Roytman M.:Vlados, 2002 – 240 s.

3. Morozenko O.P Kompiuterna hrafika/ O.P. Morozenko, I.V. Vyshnevskyi: Navchalnyi posibnyk (rosiiskoiu movoiu)-Dnipropetrovsk: NMetAU, 2013. – 38 s.

4. Morozenko O.P. Kompiuterni metody narysnoi heometrii ta inzhenernoi hrafiky/ O.P. Morozenko, I.V. Vyshnevskyi: Navchalnyi posibnyk -Dnipro: NMetAU, 2016 -53 s.

5. Morozenko O.P. Kompiuterni metody narysnoi heometrii ta inzhenernoi hrafiky / O.P. Morozenko, H.V. Malyshko: Konspekt lektsii -Dnipro: NMetAU,2017 – 50 s.

УДК 510.25+004.415.2+004.912

О.С. Куроп'ятник

КОНСТРУКТИВНЕ ТА ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКСТІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Анотація. Представлено модифікацію раніше розробленої конструктивної графової моделі тексту. На її основі розроблено об'єктно-орієнтовану модель для виявлення запозичень. Вона включає опис елементів моделі (графових та мовних конструкцій) та їх складових, а також методи їх формування й обробки. У відповідності до моделей створено комп'ютерну програму для співставлення текстів, поданих як файли. Виконано комп'ютерний експеримент для отримання часових показників роботи методів побудови графу та порівняння текстів.

Ключові слова: конструктор, об'єктно-орієнтована модель, графова модель тексту, виявлення запозичень.

Постановка проблеми

Задача виявлення запозичень, що є актуальною в академічному середовищі, потребує автоматизованих засобів розв'язання. До таких можна віднести бази матеріалів для перевірки, а також програмне забезпечення (ПЗ), яке дозволить виконувати зіставлення матеріалів та їх оцінку, надаватиме вичерпну інформацію про результати у зручній для сприйняття формі.

Робота такого ПЗ може включати етапи попередньої обробки матеріалів, виявлення запозичень, оцінки та аналізу результатів, формування звітності. Їх суть здебільшого залежить від вхідних даних та формату. У даній роботі мова йтиме про тексти, представленні файлами у форматах txt, rtf, doc, docx.

Виявлення запозичень є одним з ключових етапів. Його реалізація потребує вирішення задач розробки моделей структур даних для представлення текстів та алгоритмів їх співставлення. Дані задачі ускладняються можливістю маскування запозичень [1].

© Куроп'ятник О.С., 2019

Робота присвячена розробці моделей даних та алгоритмів співставлення текстів та їх програмній реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням плагіату присвячено чимало робіт, в тому числі у сфері розробки програм-антиплагіатів [2, 3]. Їх робота передусім передбачає виявлення запозичень, а їх реалізація – розробку методів (сукупності операцій) обробки з невисокою алгоритмічною складністю та спеціалізованих структур даних.

Сьогодні науковою спільнотою пропонується використання таких моделей та структур даних як масиви LERP-RSA (найдовший очікуваний повторюваний масив зменшеного шаблону суфікса) [4], теговий класифікатор – модель на основі Stanford NER's three-class [5], структури, основані на ДНК-послідовностях [6], графові представлення [7] тощо.

Використовуються такі алгоритми як GreedyString-Tiling [5, 8], ARPaD [5], шингли [9], статистичні методи [10], генетичні алгоритми [11] та інші. Також слід відзначити, що значна увага приділяється морфологічному аналізу та лемматизації, або стеммінгу, попередній синтаксичній обробці текстів.

Вказані моделі та алгоритми лише частково мають програмні реалізації.

Мета дослідження

Метою даної роботи є розробка моделі тексту для виявлення запозичень та доведення її до програмної реалізації. Задачею є розробка об’єктно-орієнтованої моделі та програмної реалізації графової моделі тексту (основні положення представлені у роботі [12]), з застосуванням до задачі виявлення запозичень. А також отримання часових показників роботи програмної реалізації для подальшої для оцінки можливості її використання у академічному середовищі.

Конструктивна графова модель тексту

Графова модель передбачає представлення тексту у вигляді орієнтованого навантаженого графу [12]. Для формалізації моделі використаємо апарат конструктивно-продукційного моделювання [13].

Для представлення графу визначимо конструктор і спеціалізуємо його відповідним чином:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle \ {}_S\!\mapsto C_g = \langle M_g, \Sigma_g, \Lambda_g \rangle, \quad (1)$$

де M_g – розширюваний носій, що включає множини конструкцій-графів, мовних конструкцій (слів, речень, абзаців) і їх елементів, Σ_g – множина операцій і відношень на елементах M_g, Λ_g – інформаційне забезпечення конструювання, що включає онтологію, мету, обмеження, правила, умови початку і завершення конструювання.

Онтологія конструктора графів. Носій включає множини термінальних і нетермінальних елементів $M_g = T_g \cup N_g$. Терміналами є мовні конструкції і їх складові (T_T), а також конструкції графів і їх складові: $T_g = \overline{\Omega} \cup \Omega_g \cup T_T \cup V \cup E$, де Ω_g – множина конструкцій-графів, V, E – множин вершин і дуг з їх атрибутами.

Вершина має атрибути $\overline{w}_v = \langle id, content \rangle$, *id* – ідентифікатор, приймає цілочислені значення, *content* – частина текстової конструкції. Атрибути дуги – $\overline{w}_e = \langle id, routes, start, end \rangle$, де *routes* – множина номерів шляхів, в які входить дуга (вказує на порядок обходу графа), *start, end* – вершини, які є інцедентними до дуги *e*.

Навантажений граф будемо позначати як ${}_{\overline{w}_g}G = \langle V, E \rangle$ ($V = \{{}_{\overline{w}_{vi}}v_i\}$, $E = \{{}_{\overline{w}_{ej}}e_j\}$ – множини вершин і дуг, навантажених атрибутами). Кожна множина містить порожній елемент.

Граф має атрибути $\overline{w}_g = \langle start\_v, last\_v, current\_v, amount\_l \rangle$, де *start_v* – стартова вершина графа, *last_v* – остання додана вершина, *current_v* – поточна вершина при формуванні графа, *amount_l* – кількість циклів, в які входить стартова вершина.

Розглянемо сигнатуру Σ_g:

$$\Sigma_g = \langle \Xi_g, \Theta_g, \Phi, \{\rightarrow\} \rangle \cup \Psi_g, \quad (2)$$

де $\Xi_g = \{\cdot, :\hat{=}, :\doteq, \tilde{\cup}, \cup\}$ – множина операцій перетворення і зв'язування, $\Theta_g = \{\Rightarrow, |\Rightarrow, ||\tilde{\Rightarrow}\}$ – множина операцій виводу, $\Phi_g = \{\div, :=, \#, +\}$ – множина операцій над атрибутами, Ψ_g – множина пра-

 ISSN 1562-9945

вил продукцій виду $\psi_i :< s_i, g_i >$, i – номер правила, s – послідовність операцій підстановки, g – послідовність операцій над атрибутами, «$\rightarrow$» – відношення підстановки.

Операція $e :\hat{=} (v_1, v_2, G)$ полягає у визначенні дуги e, що з'єднує вершини v_1, v_2 у графі G.

Операція $v :\doteq (x, V)$ полягає в знаходженні вершини $v \in V$ з атрибутом ваги, рівним x.

Операція $\div(c, n, L)$ полягає у виконанні n операцій зі списку L, якщо $c = true$.

Операція обчислення потужності множини $\#Q$ визначає число, яке дорівнює кількості елементів в Q.

Операція додавання двох чисел $+(a, b)$ передбачає знаходження третього числа, що є їхньою сумою

Операція об'єднання графів ${}_{\overline{w}_g}G = \tilde{\bigcup}({}_{\overline{w}_1}G_1, {}_{\overline{w}_2}G_2)$ передбачає формування нового графа ${}_{\overline{w}_g}G$, що включає об'єднані множини вершин і дуг вихідних графів ${}_{\overline{w}_g}G = \langle V, E \rangle$, де $V = V_1 \bigcup V_2$, $E = E_1 \bigcup E_2$, ${}_{\overline{w}_1}G_1 =< V_1, E_1 >$, ${}_{\overline{w}_2}G_2 =< V_2, E_2 >$, при цьому $\bigcup$ – традиційна операція об'єднання множин.

Відношення підстановки має вигляд

$$\psi_i = \langle s_i, g_i \rangle,\ s_i = \langle \overline{s}_i, \tilde{s}_i \rangle,\ g_i = \langle \overline{g}_i, \tilde{g}_i \rangle, \qquad (3)$$

де $\overline{s}_i$, $\tilde{s}_i$ – відношення підстановки для розпізнавання мовної конструкції і побудови конструкції графа відповідно, $\overline{g}_i$, $\tilde{g}_i$ – операції над атрибутами мовної конструкції і графа, його вершин і дуг відповідно. У разі якщо операції над атрибутами не виконуються, відношення підстановки має вигляд $\psi = \langle s, \varepsilon \rangle$.

Операція повного виводу $\|\tilde{\Rightarrow}(\Psi, {}_{w_l}l)$ та більш детальна інформація щодо інших операцій наведена в роботі [12]. Результатом операції виведення є конструкція-граф.

Метою конструювання є побудова конструкції графу, яка відповідає заданій конструкції тексту.

Обмеження конструктору графів накладаються конструкцією тексту. Кількість графів залежить від кількості різних символів у тексті.

Початкова умова конструювання: σ – нетермінал, з якого починається вивід.

Умова завершення конструювання: форма не містить нетерміналів, кожному елементу конструкції тексту відповідає елемент конструкції графу.

Конкретизація конструктора графа. Виконаємо конкретизацію конструктора C_g :

$$C_{g\ K} \mapsto {}_K C_g = \langle M_g, \Sigma_g, \Lambda_1 \rangle, \tag{4}$$

де $\Lambda_1 \supset \Lambda_g$, $\Lambda_1 \supset \{c \in T_T,\ N_g = \{\alpha, \delta\},\ T_g \supset \{G, G^*, G^{**}\},\ G = \langle V, E \rangle,\ V = \{v\},$ $E = \varnothing$, $G^* =< V^*, G^* >$, $V^* = \{v_1^*, v_2^*\}$, $E^* = \{e_1^*\}$, $G^{**} =< V^{**}, G^{**} >$, $V^{**} = \{v_1^{**}, v_2^{**}\}$, $E^{**} = \{e_1^{**}\}\}$.

Побудова графа передбачає розпізнавання мовних конструкцій за допомогою правил [12]:

$$\bar{s}_1 = \langle \sigma_{d_1} \to c\sigma \rangle,\ \bar{g}_1 = \langle \div (code \lrcorner c \neq EOF, 1, d_1 := true) \rangle, \tag{5}$$

$$\bar{s}_2 = \langle \sigma_{d_2} \to c \rangle,\ \bar{g}_2 = \langle \div (code \lrcorner c = EOF, 1, d_2 := true) \rangle,$$

де c – символ тексту, крім EOF – ознака кінця тексту в його електронному поданні.

Правило для додавання першої вершини в граф має вигляд:

$$\tilde{s}_1 = \langle \sigma \tilde{\to} G\alpha \rangle,\ \tilde{g}_1 = \langle id \lrcorner v :=\# V, content \lrcorner v := c,$$

$$start\_v \lrcorner G := v,\ current\_v \lrcorner G := v, last\_v \lrcorner G := v, amount\_l \lrcorner G := 0 \rangle. \tag{6}$$

Правило $\tilde{s}_2$ дозволяє додати до графу нову вершину і дугу, яка б пов'язала нову вершину з поточною в графі:

$$\tilde{s}_2 = \langle G\alpha_{d_1^*} \tilde{\to} \tilde{\cup}(G, G^*)\alpha, \tilde{\cup}(G, G^*)\alpha \to G\alpha \rangle,$$

$$\tilde{g}_2 = \langle v_1 :\doteq (c, V), e_1 :\hat{=} (current\_v \lrcorner G, v, G),$$

$$\div (id \lrcorner v_1 = 0 \,\&\, id \lrcorner e_1 = 0, 11, d_1^* := true,$$

$$id \lrcorner v_1^* := id \lrcorner current\_v \lrcorner G,\ content \lrcorner v_1^* := content \lrcorner current\_v \lrcorner G,$$

$$id \lrcorner v_2^* :=\# V + 1,$$

$$content \lrcorner v_2^* := c, id \lrcorner e_1^* :=\# E + 1,\ start \lrcorner e_1^* := v_1^*,\ end \lrcorner e_1^* := v_2^*,$$

 ISSN 1562-9945

$$routes \hookleftarrow e_1^* := \{amount\_l \hookleftarrow G\}, last\_v \hookleftarrow G := v_2, current\_v \hookleftarrow G := v_2)\rangle. \quad (7)$$

Правило $\tilde{s}_3$ дозволяє додати до графу нову дугу, яка б пов'язала поточну вершину зі стартовою:

$$\tilde{s}_3 = \langle \alpha \underset{d_2^*}{\rightarrow} \tilde{\bigcup}(G, G^{**})\alpha, \tilde{\bigcup}(G, G^{**})\alpha \rightarrow G\alpha \rangle$$

$$\tilde{g}_3 = \langle v_1 :\doteq (c, V), e_1 :\hat{=} (current\_v \hookleftarrow G, v_1, G),$$

$$\div (v_1 = start\_v \hookleftarrow G \& id \hookleftarrow e_1 = 0,11, d_2^* := true, id \hookleftarrow v_1^{**} := id \hookleftarrow curret\_v \hookleftarrow G,$$

$$content \hookleftarrow v_1^{**} := content \hookleftarrow curret\_v \hookleftarrow G, id \hookleftarrow v_2^{**} := id \hookleftarrow start\_v \hookleftarrow G,$$

$$content \hookleftarrow v_2^{**} := c, id \hookleftarrow e_1^{**} := \# E + 1, start \hookleftarrow e_1^{**} := v_1^{**}, end \hookleftarrow e_1^{**} := v_2^{**},$$

$$routes \hookleftarrow e_1^{**} := \{amount\_l \hookleftarrow G\}, amount\_l \hookleftarrow G := amount\_l \hookleftarrow G + 1,$$

$$current\_v \hookleftarrow G = start\_v \hookleftarrow G)\rangle. \quad (8)$$

Правило $\tilde{s}_4$ дозволяє змінити навантаження існуючої дуги:

$$\tilde{s}_4 = \langle G\alpha \underset{d_3^*}{\rightarrow} G\alpha \rangle, \ \tilde{g}_4 = \langle v_1 :\doteq (c, V \hookleftarrow G), e_1 :\hat{=} (current\_v \hookleftarrow G, v_1, G),$$

$$\div (id \hookleftarrow v_1 \neq 0 \& id \hookleftarrow e_1 \neq 0,3, d_3^* := true,$$

$$\div (start\_v \hookleftarrow G \neq v_1, 5, routes \hookleftarrow e_1 := routes \hookleftarrow e_1 \bigcup \{amount\_l \hookleftarrow G\},$$

$$\div (start\_v \hookleftarrow G = v, 6, routes \hookleftarrow e_1 := routes \hookleftarrow e_1 \bigcup \{amount\_l \hookleftarrow G\},$$

$$current \hookleftarrow v := start\_v \hookleftarrow G, amount\_l \hookleftarrow G := amount\_l \hookleftarrow G + 1))\rangle. \quad (9)$$

Наступне правило дозволяють завершити процес побудови конструкції-графа:

$$\tilde{s}_5 = \langle \alpha \tilde{\rightarrow} \varepsilon \rangle. \quad (10)$$

Інтерпретація конструктора графа. Інтерпретуємо конструктор:

$$\langle C_g, C_{A,G} = \langle M_A, V_A, \Sigma_A, \Lambda_A \rangle \rangle_I \mapsto \langle {}_A C_g, {}_A C_g = \langle M_g, \Sigma_g, \Lambda_2 \rangle \rangle, \quad (11)$$

де $\Lambda_2 \supset \Lambda_1$, $V_A = \{A_i^0 |_{X_i}^{Y_i}\}$ – множина базових алгоритмів [13], X_i, Y_i – множини визначень та значень алгоритму $A_i^0 |_{Y_i}^{X_i}$. $\Lambda_2 = \{M_A = \bigcup_{A_i^i \in V_A} (X(A_i^0) \cup Y(A_i^0)) \cup \Omega(C_l) \cup \Omega(C_g)\}$ – неоднорідний носій, $\Omega(C_l)$, $\Omega(C_g)$ – множини мовних і графових конструкцій; $\Lambda_2 \supset \{(A_3 |_{l_1, l_2}^{l} \hookleftarrow "\cdot")$; $(A_4 |_{l_h, l_q, f_i}^{f_i} \hookleftarrow "\Rightarrow")$; $(A_5 |_{f_i, \Psi}^{f_j} \hookleftarrow "|\Rightarrow")$; $(A_6 |_{\sigma, \Psi}^{\overline{\Omega}} \hookleftarrow "||\Rightarrow")$; $(A_7 |_{a,b}^{a} \hookleftarrow ":=")$; $(A_8 |_{a,b}^{c} \hookleftarrow "=")$; $(A_9 |_{v_1, v_2, G}^{e} \hookleftarrow ":\hat{=}")$; $(A_{10} |_{x,V}^{v} \hookleftarrow ":\doteq")$;

$(A_{11}\,|^{L}_{c,n,L} \hookleftarrow "\div")$; $(A_{12}\,|^{x}_{Q} \hookleftarrow "\#")$; $(A_{13}\,|^{c}_{a,b} \hookleftarrow "+")$; $(A_{14}\,|^{G}_{G_1,G_2} \hookleftarrow "\tilde{\bigcup}")$, $(A_{15}\,|^{Q}_{Q_1,Q_2} \hookleftarrow "\bigcup")$.

Дана графова модель може бути використана для пошуку підрядка в рядку та порівняння текстів. Для прискорення цього процесу пропонується застосувати стиснення графа [12]. Воно полягає у заміні вершин графа, які поєднанні дугами з однаковими навантаженнями, на одну вершину. Навантаження цієї вершини визначається як результат конкатенації вмісту всіх розглянутих вершин.

Об'єктно-орієнтована модель графового представлення тексту

Для використання графів для співставлення текстів представимо останній як набір орієнтованих графів. Стартовими вершинами є унікальні символи, з яких починаються слова. Під словом розуміємо послідовність кириличних чи латинських символів або цифр.

Для програмної реалізації графової моделі виконаємо її об'єктно-орієнтоване (ОО) моделювання з використанням UML. Реалізацію графової моделі покладено на три класи: Work, Graph, Vertex (рис. 1).

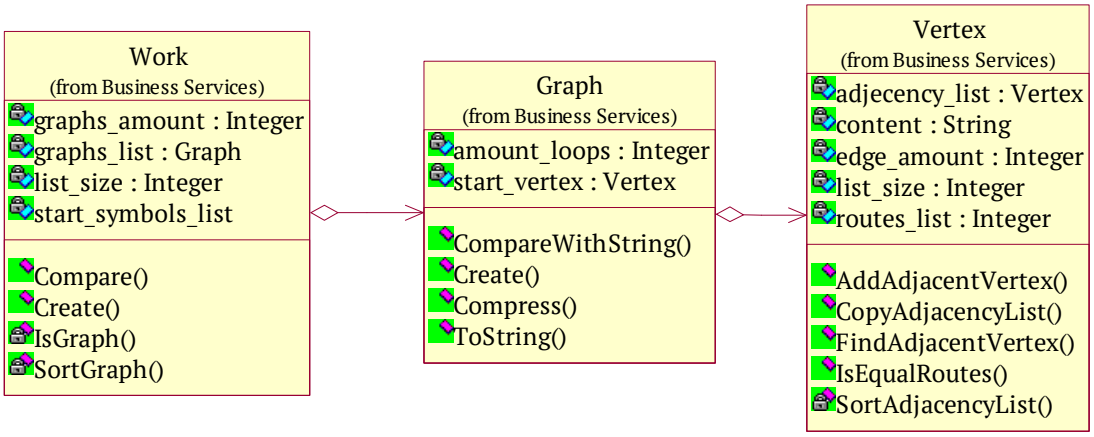


Рисунок 1 - Класове представлення графової моделі

На клас Work покладено відповідальність за створення набору графів, а також порівняння тексту (рядка) з текстом у вигляді набору графу. Відповідальність класу Graph – створення графу, що відтворює текст як сукупність підрядків, що починаються з однакового символу, та порівняння рядка (його частини) з текстом (або його частиною) у вигляді графу. Клас Vertex відповідає за створення вершини графу, яка навантажена одним або декількома символами, а також відтворення

 ISSN 1562-9945

зв'язків між вершинами графу за допомогою списку суміжних вершин та забезпечення переходу між останніми при обході графу.

Програмна реалізація моделі тексту

Розглянемо відповідність алгоритмів моделі (11) методам класів (рис. 1).

A_1^0 – композиція алгоритмів – присутній у всіх методах, оскільки кожен з них складається з декількох підалгоритмів, таких як присвоєння, порівняння, об'єднання та інші.

A_2^0 – умовне виконання алгоритму – присутній у методах класу Vertex (FindAdjacentVertex, AddAdjacentVertex, SortAdjacencyList) та Graph (Create, CompareWithString, Compress), оскільки у програмній реалізації методів присутній оператор умовного виконання, що визначає використання тих чи інших алгоритмів.

A_3 – конкатенація – можна розглядати як додавання вершин у граф, що безпосередньо реалізовано методами Graph::Create та Vertex::AddAdjacentVertex.

$A_4 - A_6$ – реалізовано методом Graph::Create та Work::Create, що дозволяють послідовно побудувати графи.

A_7 – присвоєння операндів – присутнє у всіх методах.

A_8 – порівняння атрибутів – аналогічно застосуванню A_2^0, атрибутами є атрибути відповідних класів та вхідні параметри методів.

A_9, A_{10} – визначення дуги та знаходження вершини відповідно – необхідні для побудови графу, реалізовані у методі Vertex::FindAdjacentVertex.

$A_{11}|_{c,n,L}^{L}$ – виконання n операцій із списку L, якщо $c = true$, L – список з n операцій – реалізовано у методах Graph::Create, Vertex::AddAdjacentVertex.

A_{12} – обчислення потужності множини – реалізовано у вигляді атрибутів Work::graph_amount, Work::list_size, Graph::amount_loops, Vertex::edge_amount, Vertex::list_size, які змінюються методами Create відповідних класів.

A_{13} – додавання двох чисел – реалізовано у методах класів Work (Create, SortGraph, IsGraph, Compare), Graph (Create, CompareWithString) та Vertex (FindAdjacentVertex, AddAdjacentVertex, SortAdjacencyList).

A_{14}, A_5 – об'єднання графів та множин відповідно – у методах Create класів Work, Graph.

Правила конструктору графу, представлені у (5) – (10), реалізуються методом Graph::Create, який у свою чергу викликає методи класу Vertex: AddAdjacentVertex та FindAdjacentVertex, що разом забезпечують конструювання графу за текстом.

Стиснення графу виконується методом Graph::Compress за допомогою методів класу Vertex: IsEqualRoutes та CopyAdjacencyList.

Безпосереднє порівняння текстів виконує метод Graph::CompareWithString, який приймає на вхід два тексти: один – у вигляді графу (він вважається оригінальним), а інший – у вигляді рядку (він вважається копією, для якої визначається відсоток запозичень). На виході метод має: позиції запозиченого фрагменту та його вміст. Загальні результати накопичує метод Work::Compare і повертає як об'єкт класу Result, що містить усі запозичені фрагменти.

Для використання графової моделі побудована ОО-модель додатку. Вона включає 13 класів, що розподілені за рівнями відповідно до принципів трирівневої архітектури:

– рівень представлення: Form, ParamForm – форми інтерфейсу користувача, DataTransfer – клас, відповідальний за передачу даних між формами;

– рівень логіки: Controller, ControllerMN (відповідальність – передача даних між рівнями та керування роботою об'єктів інших класів), CheckParams (збереження параметрів для відбору фрагментів), SourceText (збереження тексту), ProcessingText (попередня обробка тексту), Work, Graph, Vertex, Result;

– рівень даних: FileWorker, що відповідає за зчитування файлів, які будуть порівнюватися, та збереження результатів.

 ISSN 1562-9945

Текст представлено об’єктами класу SourceText, для його ініціалізації використовуються об’єкти та методи класу FileWorker, який утворює конструкцію тексту.

Для роботи з програмою розроблено інтерфейс користувача (рис. 2). Передбачено порівняння файлів один з одним та багато з багатьма. Програма виконує такі дії: зчитування тексту документу, попередня обробка тексту, побудова та співставлення текстів у відповідності до розроблених моделей і представлення результатів у вигляді загального відсотку запозичень та фрагментарного складу у форматі «фрагмент – відсоток», виділення запозичень кольором.

При порівнянні один з одним передбачено відбір (фільтрацію) результатів за такими параметрами, як мінімальна допустима довжина фрагменту (впливає на загальну оцінку) та максимальна допустима довжина розриву між фрагментами (не впливає на загальну оцінку, змінює якісний та кількісний склад фрагментів). Дана функція допомагає оцінити роботу зі зміни тексту: наявність коротких нечастих збігів може свідчити про їх випадковість; довгі та часті збіги свідчать скоріш про незначну переробку документу.

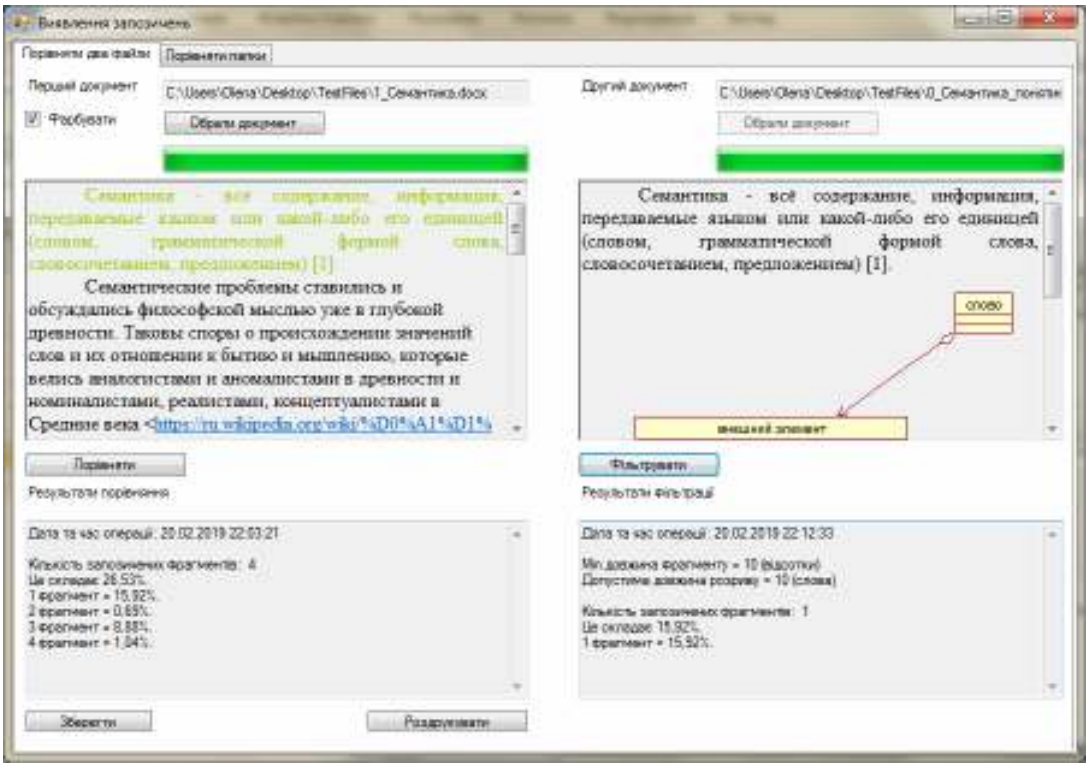


Рисунок 2 - Порівняння файлів один з одним

Результати розробки ПЗ на основі створених моделей

Для визначення часової характеристик алгоритмів побудови графу і порівняння текстових файлів виконано комп'ютерний експеримент. Вимірювався час для обробки 32 відібраних текстових файлів за тематикою «Розробка ПЗ» з Wikipedia (розміром від 16 – 24 Кб, від 2 –14 тис. символів) кожен з кожним. Кількість виконання операції порівняння – 512 разів. Експеримент виконано на ПК з такими характеристиками: процесор Intel Pentium(R) Dual Core CPU, кеш L1 коду/ L1 даних/ L2 – 2*32/2*32/1024 Кб, тактова частота/частота системної шини/частота пам'яті – 2,3 ГГц /400 МГц/400 МГц, час доступу до ОП (читання/запис) 5751/4253 Мб/с, операційна система – MS Windows 7 Ultimate SP1.

На основі отриманих даних побудовано графіки залежності часу виконання операцій побудови набору графів (у секундах) та порівняння тексту (мс) від його розміру (рис. 3, 4). На графіках визначено тренд, що є лінійною функцією.

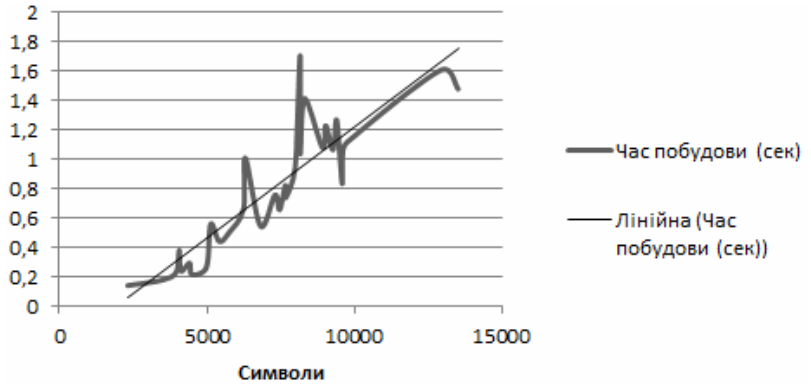


Рисунок 3 - Час виконання операції побудови набору графів

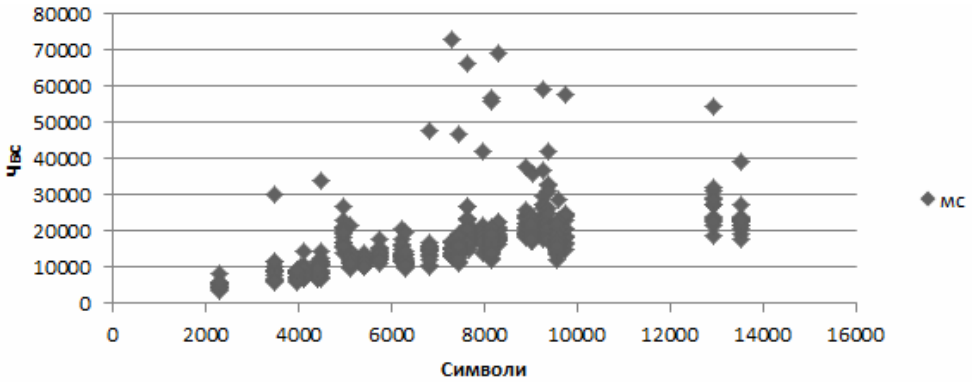


Рисунок 4 - Час виконання операції співставлення

 ISSN 1562-9945

Висновки

Модифікація конструктивної графової моделі тексту дозволила побудувати об'єктно-орієнтовану модель текстового документа як набору графів. Модель доведено до програмної реалізації, в рамках якої для зменшення впливу маскувань на виявлення запозичень було розроблено спеціальні методи зчитування та попередньої обробки даних. Передбачається подальша робота з удосконалення моделі та ПЗ:

– тестування в умовах ЗВО з метою отримання оцінок часової ефективності та якості виявлення запозичень;

– врахування у моделі правомірних запозичень;

– лематизація тексту;

– покращення часових характеристик модулю зчитування даних з файлів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шинкаренко В. Формирование тестов для проверки способности демаскировки заимствований в программах выявления плагиата. / В. Шинкаренко, Е. Куропятник // Information Technologies & Knowledge. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – P. 84 – 100.

2. Gulis I., Chudá D., Petrík J. Plagiarism Detection in Students' Assignments Written in Natural Language //International Conference on e-Learning. – 2016. – T. 16. – P. 141.

3. Михайловский Ю. Б. Система Anti-Plagiarism як інструмент запобігання плагіату в навчальній та науковій діяльності / Ю. Б. Михайловский, Н. А. Длугунович. – Вісн. Хмельниц. націон. ун-ту. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 162–168.

4. Xylogiannopoulos K. Text Mining for Plagiarism Detection: Multivariate Pattern Detection for Recognition of Text Similarities / . Xylogiannopoulos K, P. Karampelas, R. Alhajj // 2018 IEEE/ACM ASONAM, Barcelona. – 2018. – P. 938-945. – doi: 10.1109/ASONAM.2018.8508265

5. Lee E. Identifying text reuse using word net-based extended named entity recognition / E. Lee, P. Kim // Proceedings of the 2018 Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems. – ACM, 2018. – P. 199 – 202.

6. Ho P.H. DNA Sequences Representation Derived from Discrete Wavelet Transformation for Text Similarity Recognition / P. H. Ho, N. A. T. Nguyen, T. H. Vo // Sieminski A., Kozierkiewicz A., Nunez M., Ha Q. (eds) Modern Approaches for Intelligent Information and Database Systems. Studies in

Computational Intelligence. – Springer, Cham. – 2018. – Vol 769. – P. 75 – 85.

7. Osman A. H. Conceptual Similarity and graph-based method for plagiarism detection / A. H. Osman, N. Salim, M. S. Binwahlan, H. Hentably, A. M. Ali // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2011. – Vol. 32, No. 2. – P. 135 – 145.

8. kumar Jayapal A. Similarity Overlap Metric and Greedy String Tiling at PAN 2012: Plagiarism Detection // Conference: CLEF. – At http://www.clef-initiative.eu/documents/71612/da184f72-1a8e-43a8-80e4-dd1b2b6fdb09

9. Зиберт А. О. Разработка системы определения наличия заимствований в работах студентов высших учебных заведений. Алгоритмы поиска нечетких дубликатов / А. О. Зиберт, В. В. Хрусталев // Universum: технические науки. – 2014. – №. 3 (4). – Режим доступа: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1139

10. Meuschke N. State-of-the-art in detecting academic plagiarism / N. Meuschke, B. Gipp // International Journal for Educational Integrity. – 2013. – Vol. 9 No. 1. – pp. 50–71.

11. Vani K. Detection of idea plagiarism using syntax–semantic concept extractions with genetic algorithm / K. Vani K., D. Gupta //Expert Systems with Applications. – 2017. – Vol. 73. – P. 11-26.

12. Shynkarenko V. Constructive-synthesizing model of text graph representation // V. Shynkarenko, O. Kuropiatnyk – CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1631. – P. 63 – 72.

13. Shynkarenko V. I. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure / V. I. Shynkarenko, V. M. Ilman. // Cybernetics and Systems Analysis. – 2014. – Vol. 50. – Issue 5. – P. 655-662.

REFERENCES

1. Shynkarenkko V. Creation tests for checking plagiarism detection programs' ability of unmasking borrowings / V. Shynkarenko, O. Kutopiatnyk // Information Technologies & Knowledge. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – P. 84 – 100.

2. Gulis I., Chudá D., Petrík J. Plagiarism Detection in Students' Assignments Written in Natural Language //International Conference on e-Learning. – 2016. – T. 16. – P. 141.

3. Mykhailovskyi Yu. B. Anti-Plagiarism System as a Tool to Prevent Plagiarism in Educational and Scientific Activities / Yu. B. Mykhailovskyi, H. A. Длугунович. – Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences. – 2013. – № 3. – С. 162–168.

4. Xylogiannopoulos K. Text Mining for Plagiarism Detection: Multivariate Pattern Detection for Recognition of Text Similarities / . Xylogiannopoulos K, P.

Karampelas, R. Alhajj // 2018 IEEE/ACM ASONAM, Barcelona. – 2018. – P. 938-945. – doi: 10.1109/ASONAM.2018.8508265

5. Lee E. Identifying text reuse using word net-based extended named entity recognition / E. Lee, P. Kim // Proceedings of the 2018 Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems. – ACM, 2018. – P. 199 – 202.

6. Ho P.H. DNA Sequences Representation Derived from Discrete Wavelet Transformation for Text Similarity Recognition / P. H. Ho, N. A. T. Nguyen, T. H. Vo // Sieminski A., Kozierkiewicz A., Nunez M., Ha Q. (eds) Modern Approaches for Intelligent Information and Database Systems. Studies in Computational Intelligence. – Springer, Cham. – 2018. – Vol 769. – P. 75 – 85.

7. Osman A. H. Conceptual Similarity and graph-based method for plagiarism detection / A. H. Osman, N. Salim, M. S. Binwahlan, H. Hentably, A. M. Ali // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2011. – Vol. 32, No. 2. – P. 135 – 145.

8. kumar Jayapal A. Similarity Overlap Metric and Greedy String Tiling at PAN 2012: Plagiarism Detection // Conference: CLEF. – At http://www.clef-initiative.eu/documents/71612/da184f72-1a8e-43a8-80e4-dd1b2b6fdb09

9. Zibert A. O. Development of a system for determining the existence of adoption in the works of the students. The search algorithms of indistinct duplicates / A. O. Zibert, V. B. Hrustalev // Universum: технические науки. – 2014. – №. 3 (4). – URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1139

10. Meuschke N. State-of-the-art in detecting academic plagiarism / N. Meuschke, B. Gipp // International Journal for Educational Integrity. – 2013. – Vol. 9 No. 1. – pp. 50–71.

11. Vani K. Detection of idea plagiarism using syntax–semantic concept extractions with genetic algorithm / K. Vani K., D. Gupta //Expert Systems with Applications. – 2017. – Vol. 73. – P. 11-26.

12. Shynkarenko V. Constructive-synthesizing model of text graph representation // V. Shynkarenko, O. Kuropiatnyk – CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1631. – P. 63 – 72.

13. Shynkarenko V. I. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure / V. I. Shynkarenko, V. M. Ilman. // Cybernetics and Systems Analysis. – 2014. – Vol. 50. – Issue 5. – P. 655-662.

УДК 542.3+681.518.22

В.Б. Мазуренко

ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ РІДИНИ В РУХОМІЙ ЄМНОСТІ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Анотація. Сформульовано проблему визначення кількості рідини всередині рухомої ємності, визначено фактори, які її формують, проведено аналіз стану вирішення даної проблеми та дано оцінку перспективи створення методів її вирішення

Ключові слова: вимірювання кількості речовини, інформаційно-вимірювальна технологія

Постановка проблеми

Потреба в визначенні кількості рідини всередині ємності існує в самих різних галузях промисловості, так само як в сільському господарстві та на транспорті. Найбільш застосовуваним методом її визначення є використання датчиків вимірювання висоти рівня поверхні рідини всередині ємності [1] з подальшим перерахуванням виміряної висоти рівня в об'єм рідини через градуйовані таблиці або функції, отримані наперед для даної конкретної ємності. За наявності значення щільності можна перейти до маси рідини, що знаходиться в ємності.

Існують й інші методи визначення кількості рідини. Наприклад, за допомогою витратомірів, які виміряють витрату, з якою рідина надходить в ємність, або виходить з неї, та проведення безперервного інтегрування поточного значення витрати у часі. Цей метод є менш точним та менш надійним, ніж вимірювання рівня, тому використовується в випадках, коли безпосереднє вимірювання рівня всередині ємності неможливе, або ж з економічних міркувань, коли висока точність в отримані даних не є на потребі. Іншим методом є використання мірних ємностей. Мірні ємності використовуються задля досягнення високої точності вимірювання, але цей метод є досить затратним, та суттєво програє у технологічності іншим. Виміряти кількість речовини в ємності можна й ва-

© Мазуренко В.Б., 2019

 ISSN 1562-9945

говим методом, в цьому випадку ємність має знаходитись на вагах. Зазначимо, що метод мірних ємностей та ваговий метод не використовуються на транспорті.

Практично всі ємності, що використовуються в промисловості та сільському господарстві – нерухомі, стаціонарні. Вимірювання висоти рівня рідини в стаціонарних ємностях не викликає особливих проблем, оскільки висота поверхні змінюється виключно з причини надходження або витоку рідини. Коли ж виникає необхідність вимірювання кількості рідини в рухомих ємностях, то використання засобів вимірювання рівня для цієї мети стикається з досить значними проблемами. Такі проблеми виникають під час вимірювання кількості рідини (паливо, охолоджуючі рідини, рідкі речовини, що перевозяться транспортними засобами, та таке інше) в паливних баках, танках, резервуарах автомобілів, авіаційних й водних (в першу чергу морських) суден, а також ракет і космічних апаратів. Проблема полягає в тому, що під час руху ємності разом з транспортним засобом рідина всередині ємності постійно змінює положення своєї вільної поверхні, в тому числі в місці встановлення датчика рівня (ДР). Загальний рух вільної поверхні рідини обумовлено вимушеним рухом (під впливом прискорення ємності), який проілюстровано на рис. 1а та рис.1б, а також вільними коливаннями, що розвиваються на поверхні (рис. 1в). Коли датчик встановлено в геометричному центрі поперечного перерізу ємності, то відхилення рівня поверхні від статичного положення в цьому місці не є завеликі, але ж якщо датчик встановлено на деякій відстані від цього центру, то відхилення стають помітними, а то й значними (рис. 1а – 1в). Це істотно впливає на точність вимірювання рівня й, відповідно, на точність визначення кількості рідини. Конструктивна побудова баків, зокрема паливних, зазвичай така, що вона не дозволяє встановити датчик рівня у центр бака (по повздовжній вертикальній осі). Крім того, й геометричний центр поперечного перерізу ємності міняє своє положення в залежності від форми ємності та кута та напряму проведення цього перерізу. Якщо ми маємо осесиметричну ємність, віссю симетрії якою є її повздовжня вісь, та й при цьому форма ємності по її висоті не змінюється, то геометричний центр поперечного перерізу

незалежно від кута та напряму перерізу завжди знаходиться на повздовжній осі. Але ж всі ємності мають нижнє та верхнє днище. Тому, коли рідина знаходиться у нижній, або верхній частині ємності, форма поперечного перерізу та місце знаходження починає залежати від кута та напряму проведення цього перерізу. Таким чином, датчик рівня, навіть при встановленні його на повздовжній осі осесиметричної ємності, під час руху не завжди знаходиться у геометричному центрі поперечного перерізу, через це до його показань додається відповідна додаткова похибка (рис. 1г).

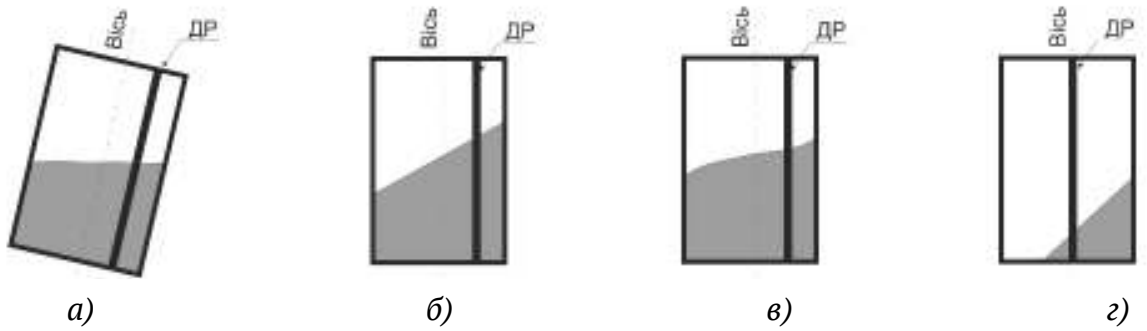


Рисунок 1 – Фактори, які ускладнюють процес вимірювання висоти рівня та визначення кількості рідини всередині рухомої ємності:
а) нахил; *б*) прискорення; *в*) коливання вільної поверхні рідини;
г) зміщення центру форми вільної поверхні рідини з точки розташування центру поперечного перерізу ємності

При визначені кількості рідини за показаннями датчика рівня крім зазначених вище існує ще одна складність, іншого характеру. Вона стосується геометричних проблем, а саме проблеми обчислення об'єму ємності довільної форми, що знаходиться під площею перерізу. Як було вказано напочатку, перерахування даних про рівень висоти поверхні в об'єм рідини здійснюється на основі градуйованих таблиць або функцій, які зв'язують об'єм ємності, що знаходиться під поперечним перерізом, проведеним горизонтально (тобто перпендикулярно висоті ємності), та значенням висоти рівня, на якій цей переріз проведено. При отриманні цих таблиць та функцій, а це виконується шляхом градуювання, ємність встановлюється стаціонарно. Але в умовах експлуатації під час нахилу ємності, або коли під дією прискорення поверхня рідини приймає положення, не перпендикулярне висоті ємності, використання цих таблиць в

 ISSN 1562-9945

загальному випадку не дає коректного результату. Даними градуювання можна користуватися тільки в тому окремому випадку, коли центр форми вільної поверхні рідини під час вимірювання залишається на тому ж місці, де він був під час градуювання. Тому, в загальному випадку необхідно вирішувати геометричну задачу обчислення об'єму ємності довільної форми, що знаходиться під площею перерізу. Слід відзначити, що ця задача відрізняється обчислювальною складністю й потребує великого масиву інформації щодо координат поверхні, яка задає форму ємності.

Таким чином, існують чотири фактори, що ускладнюють процес вимірювання висоти рівня та визначення кількості рідини всередині рухомої ємності у порівнянні з проведенням вимірювання у стаціонарній ємності:

1) наявність вимушеного руху рідини всередині рухомої ємності під впливом прискорення ємності (рис. 1а, 1б);

2) виникнення та розвиток вільних коливань на поверхні рідини (рис. 1в);

3) зміщення центру форми вільної поверхні рідини з точки розташування центру поперечного перерізу ємності, перпендикулярного повздовжній осі ємності (рис. 1г);

4) неможливість в загальному випадку безпосередньо використовувати дані градуювання ємності, отримані в стаціонарних умовах, для перерахунку в об'єм рідини даних про висоту рівня рідини, що отримані в умовах руху ємності.

Через зазначені вище чинники точність вимірювання кількості рідини під час руху виявляється суттєво нижчою ніж при проведенні вимірювання в стаціонарних ємностях. Зазначена технічна проблема безпосередньо впливає на економічні показники та рівень безпеки при транспортуванні. Наприклад, невизначеність з точною кількості палива на борту літака вимагає збільшувати резервний запас палива, з іншого боку зменшує коло доступних аеродромів для можливої аварійної посадки.

Мета дослідження

Метою дослідження, результати якого представлені в даній статті, є аналіз стану проблеми вимірювання кількості рідини в рухомих ємностях та виявлення методів можливого вирішення цієї проблеми.

Викладення основного матеріалу дослідження: аналіз останніх досліджень і публікацій

Для досягнення мети дослідження було виконано огляд існуючих методів вимірювання кількості рідини в морському, авіаційному та автомобільному транспорті, а також засобів та способів, які застосовуються для зменшення впливу руху поверхні рідкої речовини на результати вимірювань.

Морська техніка. Представлена в технічній літературі інформація про засоби вимірювання рівня рідини на морських суднах [2] в узагальненому виді може бути представлена в такий спосіб:

а) Датчики рівня, застосовувані в морській техніці являють собою звичайні, без конструктивних особливостей, датчики, і вони не оснащуються засобами демпфірування коливань поверхні рідини; в умовах хитавиці показання приладів повинні бути усереднені візуально; реалізована в експлуатації похибка вимірювання вважається прийнятною, а її величина не регламентується нормами.

б) Точні вимірювання рівня проводяться на тихій воді, без хитавиці за допомогою покажчиків рівня: футштоків і мірних рулеток.

в) У морській техніці не застосовуються засоби автоматичної компенсації похибки вимірювання рівня, що виникає внаслідок нахилу судна. При проведенні точних вимірювань на тихій воді облік крену й диференту судна проводиться розрахунковим шляхом.

г) При бункеруванні (заправлення суден паливом) доволі часто використовують витратоміри. Але через проблеми з фактичною точністю визначення кількості палива під час бункерування морські компанії часто заявляють про фінансові збитки [3].

Таким чином, засоби й методи вимірювання рівня рідких середовищ, застосовувані в морській техніці, не вирішують проблеми визначення кількості рідини під час руху.

 ISSN 1562-9945

Авіаційна техніка. Задача визначення кількості палива на борту повітряного судна за умовами проведення вимірювань, значимості й необхідного ступеня достовірності одержуваних результатів належить до однієї з найбільш складних у класі задач вимірювання рівня, об'єму й кількості матеріалу. Узагальнюючи представлену в технічній літературі інформацію, доходимо висновку, що в цілому авіаційна техніка має у розпорядженні два способи усунення впливу нахилу й прискорення повітряного судна, а також коливань поверхні рідини на процес вимірювання кількості палива в баках. Перший – це встановлення в кожному паливному баку або секції баку масиву датчиків рівня (не менш трьох датчиків у масиві) і усереднення їх показань для одержання оцінки висоти рівня палива [4]. Цей метод приводить до того, що вага повітряного судна збільшується. Другий спосіб – це використання динамічних методів вимірювання шляхом вимірювання витрати палива, що вибирається з баку літака, і безперервного інтегрування показань витратоміра [4]. Обидва ці методи не дають високої точності вимірювання. Досяжна величина відносної похибки вимірювання палива, як для одного, так й для іншого методу не може бути кращою, ніж 1%. В окремих випадках, коли неможливо встановити масив датчиків всередині паливного бака й використовується лише один, або два датчика, як то у бойовій авіації, тоді інструкції пілотам вказують, що визначення кількості палива має проводитись по бортовим приладам лише на горизонтальних ділянках польоту. Таким чином через проблеми з вимірюванням кількості палива обмежуються експлуатаційні показники авіаційної техніки та знижуються показники безпеки.

Ракетна техніка. Для керування ракетою під час польоту необхідно мати дані про кількість палива, для чого необхідно проводити відповідні вимірювання висоти рівня поверхні рідкого палива в її паливних баках. З метою виключення впливу бокових прискорень та нахилу ракети під час її руху на результати вимірювання датчикі рівня розміщують на повздовжній осі баків, які є осесиметричними. В тих випадках, коли це неможливо зробити (наприклад, бак має тороїдальну форму), використовують два датчики, показання яких усереднюють. Це той самий метод,

що використовується авіації. Звичайно, в цьому випадку маса засобів вимірювання рівня рідини збільшується вдвічі, що є вкрай небажаним в ракетобудуванні, де мала вага конструкції є дуже важливим показником. Для захисту датчика від вільних коливань поверхні рідини датчик розміщують всередині спеціальної конструкції – гідравлічного заспокоювача, наявність якого також збільшує вагу конструкції [5].

Вимірювання кількості палива в баках ракет проводиться ще й під час заправлення, проте заправлення баків завжди, за одним окремим винятком, виконується в стаціонарних умовах, тому датчики рівня заправлення можуть бути розташовані на будь якій відстані від осі бака. Окремим згаданим винятком є заправлення ракети-носія "Зеніт" у складі космічного ракетного комплексу морського базування "Морський старт". Розташування датчиків на значній відстані від осі бака, а також наклони ракети під час заправлення внаслідок нерегулярної хитавиці стартової платформи, на якій встановлена ракета, приводять до появи значної похибки вимірювання при визначені кількості палива. В роботі [6] представлені результати дослідження задачі зменшення похибки вимірювання рівня рідини, що проводиться в подібних умовах, та запропоновано її рішення шляхом застосування обчислювальних методів обробки інформації. На основі запропонованого рішення розроблено відповідну інформаційно-вимірювальну технологію.

Космічні апарати. Космічні апарати знаходяться на орбіті в умовах невагомості, або за наявності досить малого прискорення. Рідина, що знаходиться в баках в цих умовах, займає невизначене положення, обумовлене перш за все капілярними силами, розпадається на окремі області – краплі великого розміру. Вимірювання рівня рідини в цих умовах втрачає сенс, а визначення кількості палива перетворюється на надзвичайно складну задачу. Ця задача є досить актуальною, досліджується багатьма науковцями і її висвітлення виходить далеко за рамки даної статті. **Автомобільний транспорт.** Умови, в яких проводиться визначення кількості палива в баку автомобіля, є достатньо складними. Тут присутні всі чотири чинники, що знижують точність вимірювання, які були зазначені вище. Це обумовлено в першу чергу складною формою

 ISSN 1562-9945

бака, яка частіше за все не є осесиметричною; сам бак є більш плоский ніж видовжений, а датчик рівня не завжди можна поставити у самий центр бака; під час руху існують прискорення, що можуть буть направлені вздовж усіх трьох осей, величина цих прискорень значна. Незважаючи на цю складність методи та засоби вимірювання рівня палива в автомобілях практично не змінюються на протязі вже декількох десятиліть попри активний прогрес у побудові усіх інших автомобільних систем. Як результат, точність вимірювання під час руху залишається низькою: в автомобілях відсутні цифрові покажчики кількості палива, замість них використовують традиційні стрілочні індикатори рівня палива, проградуйовані в долях об'єму бака. Щоб отримати достовірні дані, необхідно зупинити автомобіль на горизонтальній ділянці дороги, дати час на заспокоєння вільних коливань поверхні рідини, після чого провести відлік. Під час руху водій має самостійно усереднювати по часу показання індикатора, та інтуїтивно враховувати нахил транспортного засобу. Такий спосіб отримання даних відволікає водія та знижує безпеку руху. Наразі опубліковано окремі роботи, в яких робиться спроба змінити зазначену ситуацію в автомобільному транспорті, та повідомляється про проведення досліджень з метою розробки алгоритмів обробки вимірювальної інформації. Зокрема, надаються відомості про проведення згладжування даних про рівень палива за допомогою цифрових фільтрів.

Висновки

Існує проблема визначання кількості рідини всередині рухомої ємності, яка полягає в тому, що точність визначення кількості рідини під час руху ємності виявляється суттєво нижчою за точність, яка реалізується в стаціонарних умовах.

Наведені результати аналізу стану вирішення зазначеної проблеми показують наступне:

1) Проблема визначання кількості рідини всередині рухомої ємності в цілому залишається невирішеною. Загальне рішення, що дозволяє зменшити похибку вимірювання до значень, які відповідають вимірюванням в стаціонарних ємностях, в науковій та технічній літературі наразі не представлене.

2) Інструментальними засобами проблема визначення кількості рідини в рухомих ємностях може бути вирішена лише частково: за рахунок використання масиву датчиків; за рахунок використання гідравлічних заспокоювачів; за рахунок розташування датчиків рівня по осі ємності в ємностях осесиметричної форми. При цьому компенсується дія тільки окремих факторів.

4) Наявність зазначеної проблеми, неможливість її повного вирішення, або ускладнення конструкції вимірювачів з метою зменшення похибки визначення кількості рідини призводить до зниження технічних показників (збільшення маси конструкції), до введення експлуатаційних обмежень (можливість проведення вимірювання тільки в окремих умовах – на горизонтальних ділянках польоту, або на тихій воді), до додаткових фінансових витрат (потреба в резервній кількісті палива), до зниження безпекових показників. В окремих галузях, зокрема в автомобільному транспорті, ця проблема наразі не вирішується, в результаті чого дані про кількість палива надаються кінцевому на зокрема вирішення проблеми визначання кількості рідини всередині рухомої ємності. В науковій та технічній літературі існують приклади вирішення окремих задач, пов'язаних з даною проблемою. Запропоновані рішення засновані на використанні обчислювальних методів обробки вимірювальної інформації. Розвиток цих методів, створення відповідних інформаційно-вимірювальних технологій слід визнати найбільш перспективним напрямом пошуку й побудови рішення проблеми визначання кількості рідини всередині рухомої ємності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобровников Г. Н. Методы измерения уровня / Г. Н. Бобровников, А. Г. Катков. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.

2. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем / В. И. Снопков. – СПб: НПО "Профессионал", 2006. – 560 с.

3. Peterson C. M. Measure for Measure // Bunkerspot. – 2009. – Vol. 6. – Num. 1. – С. 37–38.

4. Langton R. Aircraft fuel system / R. Langton, C. Clark, M. Hewitt, L. Richards. – United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., – 2009. – 367 с.

 ISSN 1562-9945

5. Ракета как объект управления: Учебник / [И.М. Игдалов, Л.Д. Кучма, Н.В. Поляков, Ю.Д. Шептун]; под ред. С.Н. Конюхова.–Д.:АРТ-ПРЕСС, 2004.–544с.

6. Мазуренко В. Б. Реализация вычислительных методов повышения точности дозирования топливных баков ракеты-носителя морского базирования // Вісник Дніпропетровского університету. Серія "Ракетно-космічна техніка". – 2016. – Вип. 19. – С.49–59.

7. Wallebäck P. Fuel Level Estimation for Heavy Vehicles Using a Kalman Filter. Thesis LiTH-ISY-EX--08/4184--SE / P.Wallebäck. – Linköping: Division of Vehicular Systems Department of Electrical Engineering Linköping University, 2008. – 63 p.

REFERENCES

1. Bobrovnikov G. N. Metody izmereniya urovnya / G. N. Bobrovnikov. A.G. Katkov. – M.: Mashinostroyeniye. 1977. – 167 p.

2. Snopkov V. I. Tekhnologiya perevozki gruzov morem / V. I. Snopkov. – SPb: NPO "Professional". 2006. – 560 p.

3. Peterson C. M. Measure for Measure // Bunkerspot. – 2009. – Vol. 6. – Num. 1. – P. 37–38.

4. Langton R. Aircraft fuel system / R. Langton, C. Clark, M. Hewitt, L. Richards. – United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., – 2009. – 367 p.

5. Raketa kak obyekt upravleniya: Uchebnik / [I. M. Igdalov. L. D. Kuchma. N. V. Polyakov. Yu. D. Sheptun]; under rew. S. N. Konyukhova. – D.: ART-PRESS. 2004. – 544 p.

6. Mazurenko V.B. Realizatsiya vychislitelnykh metodov povysheniya tochnosti dozirovaniya toplivnykh bakov rakety-nositelya morskogo bazirovaniya // Visnik Dnipropetrovskogo universitetu. Seriya "Raketno-kosmichna tekhnika". – 2016. – Vip. 19. – S.49–59.

7. Wallebäck P. Fuel Level Estimation for Heavy Vehicles Using a Kalman Filter. Thesis LiTH-ISY-EX--08/4184--SE / P. Wallebäck. – Linköping: Division of Vehicular Systems Department of Electrical Engineering Linköping University, 2008. –63 p.

УДК 629.78.533.6.013:621.45

Е.Л. Токарева, Н.С. Прядко, Е.В. Терновая

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРОМ ТЯГИ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Разработан алгоритм функционирования комбинированной (механической и газодинамической) системы управления вектором тяги ракетного двигателя. Проанализированы возможные методы определения существования тренда входного сигнала. Исследована типичная зависимость выходных управляющих воздействий для рулевого РД от входных сигналов на различных временных интервалах его работы. Представленный алгоритм предусматривает обработку входного сигнала СУВТ с выделением детерминированной составляющей (тренда) и высокочастотных осцилляций сигнала, а также учет вида тренда фиксированных возмущений угла отклонения вектора тяги РД. Разработанный алгоритм позволяет оптимальным образом разделять функции подсистем (МСУВТ и ГСУВТ) комбинированной системы управления, повысить качество и надежность системы управления полетом ступени ракеты.

Ключевые слова: ракетный двигатель, вектор тяги, комбинированная (бифункциональная) система управления, тренд.

Введение. Новая концепция комбинированной системы управления ракетным двигателем (РД) заключается в сочетании различных систем управления (механической (МСУВТ) и газодинамической (ГСУВТ)) в рамках одной бифункциональной (БСУВТ) системы управления вектором тяги (СУВТ), выполняющей функции управления и стабилизации полета ступени ракеты. БСУВТ позволяет реализовать новые подходы (декомпозицию задачи управления полетом ступени) к функционированию системы управления вектором тяги ракетного двигателя [1]. Однако в связи с сочетанием двух подсистем в системе управления с различными конструктивными и динамическими характеристиками появляется проблема согласования их функционирования. В частности, возникают задачи рационального распределения функций между подсистемами в составе

© Токарева Е.Л., Прядко Н.С., Терновая Е.В., 2019

системы управления полетом ступени ракеты в условиях штатных и нештатных ситуаций.

Постановка проблемы. Для программного управления полетом ступени ракеты необходимы, как правило, значительные управляющие усилия. При стабилизации полета, как правило, необходимо парировать возмущения высокой частоты и малой амплитуды, то есть необходимо обеспечить высокое быстродействие системы управления вектором тяги. В этом случае малая амплитуда осцилляций (относительно программного управляющего усилия) не требует больших управляющих усилий на их парирование, а значит больших потерь удельного импульса двигателя на парирование высокочастотной составляющей возмущающих воздействий на ступень ракеты. Вышеизложенное показывает необходимость разработки оптимального алгоритма одновременного функционирования МСУВТ и ГСУВТ в составе БСУВТ. Такой алгоритм предусматривает обработку командного (управляющего) сигнала СУВТ с целью выделения детерминированной (статической) составляющей – тренда и высокочастотных осцилляций (отклонения от тренда) [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Для автоматического управления вектором тяги РД используются измеренные датчиками отклонения по углу φ в определенной плоскости, например, в плоскости тангажа, которые характеризуют нарушения в направлении движения установки. Эти данные телеметрической информации являются входными данными СУВТ. Вычислительные устройства цифровых контроллеров, реализующие алгоритм распределения управляющих усилий между составляющими БСУВТ на основе анализа входного сигнала, являются дискретными системами, оперирующими с дискретными сигналами, т.е. сигналами, принимающими определенные значения только в дискретные равноотстоящие моменты времени через интервал повторения. Поэтому при разработке алгоритма комбинированной СУВТ удобно применить принятое в технике управления технологическими процессами квантование временных функций, т.е. преобразование непрерывных функций входного сигнала $X(t)$ и управляющего воздействия $Y(t)$ в соответствующие дискретные $X[nT]$ и $Y[nT]$, где T – интервал кван-

тования, с помощью импульсного элемента. Дискретные сигналы представляют собой последовательности распределенных по времени чисел, поэтому при исследовании применяется математический аппарат анализа временных рядов. Таким образом, входные сигналы представляют собой последовательность случайных величин – одномерный случайный сигнал *X(1), X(2), X(3), ..., X(n)* или последовательность случайных векторов [X(1)], [X(2)],..., [X(n)] – многомерный дискретный случайный сигнал. Свойства дискретных сигналов и их использование для решения задач прогнозирования и управления рассмотрены в работе [3].

На первом этапе анализа входящих сигналов необходимо разделить сигналы для создания управляющих усилий разными системами управления комбинированной СУВТ. В работе [2] показано, что быстродействие МСУВТ имеет оптимум, т.к. с повышением ее быстродействия возрастает чувствительность к высокочастотным случайным возмущениям и, следовательно, увеличиваются случайные ошибки. Кроме того, повышение быстродействия системы приводит к существенному усложнению ее элементов и, в частности, к повышению мощности, а также массы и габаритов рулевого привода качания двигателя (камеры). Важным преимуществом БСУВТ является значительно меньшая инерционность одного контура (ГСУВТ) по сравнению с другим (МСУВТ). Таким образом, переходные процессы в малоинерционном контуре СУ практически затухают до того, как они возникнут в инерционном контуре. Таким образом, ГСУВТ обеспечивает любые заданные требования по быстродействию, а МСУВТ – максимальные управляющие усилия при минимальной мощности приводов и максимальной простоте элементов системы управления вектором тяги в целом.

Цель работы – исследование характеристик входных сигналов системы управления вектором тяги рулевых двигателей применительно к комбинированной системе управления РД и построение оптимального алгоритма ее функционирования.

Согласно [1], из общего распределения входного сигнала (угла φ поворота камеры) следует выделить низкочастотные сигналы большой амплитуды, для которых можно определить среднестатистический тренд

 ISSN 1562-9945

(основную тенденцию изменения значений сигнала), и высокочастотные осцилляции малой амплитуды (отклонения от тренда). Эти разные по характеру возмущения (сигналы) предлагается подавлять управляющими усилиями разных СУВТ: низкочастотные (отклонения угла до 5 град) МСУВТ, высокочастотные осцилляции – ГСУВТ. На рис. 1 представлены результаты Фурье-анализа отклонений угла φ на 0 – 15°.

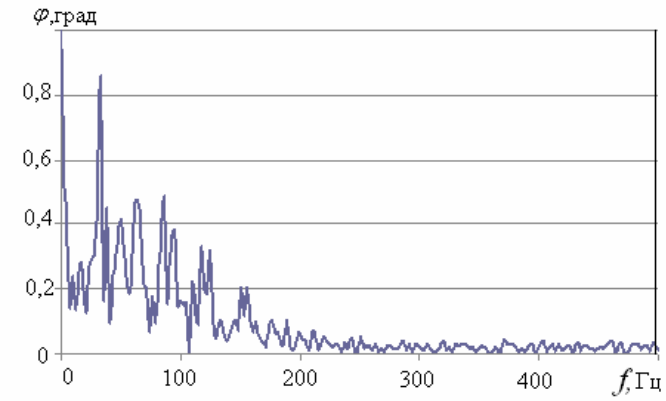


Рисунок 1 – Амплитудно-частотные характеристики отклонений угла вектора тяги РД

Основная часть. В данной работе основное внимание будет уделено анализу низкочастотных сигналов. На рис. 2 показаны данные телеметрической информации по углу отклонения в плоскости тангажа первой камеры сгорания ДУ 11Д520 (двигателя 1-й ступени ракеты «Зенит-2S») [2]. Рассмотрим характерные временные интервалы 1-4 для данной записи данных: (0 с; 4 с), (4 с; 6,5 с), (6,5 с; 12 с) и (12 с; 16 с).

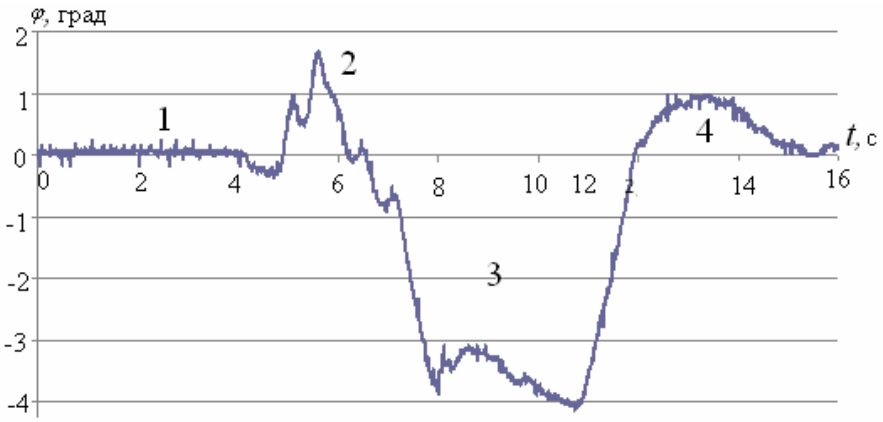


Рисунок 2 – Запись входных сигналов МСУВТ

Записанные датчиками отклонения по углу вектора тяги в некоторой области представляют собой временной ряд. Анализ временных рядов предполагает, что данные содержат систематическую составляю-

щую (обычно включающую несколько компонент) и случайный шум (ошибку), который затрудняет обнаружение регулярных компонент. Динамический ряд теоретически может быть представлен в виде составляющих [3]: тренд – основная тенденция развития динамического ряда (к увеличению либо снижению его уровней); циклические (периодические) колебания; случайные колебания.

Изучение тренда включает два основных этапа: динамический ряд проверяется на наличие тренда; производится выравнивание временного ряда и непосредственное выделение тренда с экстраполяцией полученных результатов.

Проверка на наличие тренда в динамическом ряду может быть осуществлена по нескольким критериям.

В методе *средних* изучаемый ряд динамики разбивается на несколько интервалов (обычно на два), для каждого из которых определяется средняя величина. Выдвигается гипотеза о существенном различии средних. Если эта гипотеза принимается, то признается наличие тренда.

Суть *фазочастотного* критерия знаков первой разности заключается в следующем: наличие тренда в динамическом ряду утверждается в том случае, если этот ряд не содержит, либо содержит в приемлемом количестве фазы - изменение знака разности первого порядка.

Применяется критерий, при котором анализируемый ряд разбивают на три равные по числу уровней группы (в том случае, если количество уровней ряда не делится на три, недостающие уровни нужно добавить) и сравнивают между собой уровни первой и последней групп (*критерий Кокса и Стюарта*).

Так как в нашем случае имеющиеся данные входного сигнала по углу отклонения вектора тяги могут иметь различные функции распределения, то целесообразно принимать решение о наличии тренда на основе использования свободных от распределений или непараметрических методов, в которых не делается никаких предположений относительно функции распределения полученных данных. Эти методы также используются, если данных настолько мало, что невозможно корректно проверить гипотезу о наличии конкретного распределения. Наиболее из-

 ISSN 1562-9945

вестными не зависящих от формы распределения методами, которые применяются для оценки наличия тренда в совокупности данных, являются: критерий серий и критерий инверсий.

По *методу серий* каждый конкретный уровень временного ряда считается принадлежащим к одному из двух типов: например, если уровень ряда меньше медианного значения, то считается, что он имеет тип А, в противном случае – тип В. В образовавшейся последовательности типов определяется число серий. Серией называется любая последовательность элементов одинакового типа, граничащая с элементами другого типа.

Не существует «автоматического» способа обнаружения тренда во временном ряде. Если временные ряды содержат значительную ошибку, то первым шагом выделения тренда является сглаживание. Однако если тренд является монотонным, то моделью таких процессов может служить линейный тренд. Медленные изменения контролируемых параметров могут перерастать в быстрые с появлением осцилляций. В этом случае тренд может описываться квадратичным уравнением. Обработка измерений таких контролируемых процессов, искаженных шумовыми помехами, состоит в том, чтобы обнаружить момент начала линейного или квадратичного тренда и оценить его параметры [4].

Для анализа данных отклонений угла вектора тяги РД был выбран фазочастотный метод. После доказательства существования тренда на выделенных четырех временных интервалах (см. рис. 2) были проанализированы данные и определены характеры трендов на них. В кратковременных диапазонах работы двигателя из общего распределения входного сигнала (угла поворота камеры) выделены низкочастотные среднестатистические тренды и высокочастотные осцилляции малой амплитуды (отклонения от тренда). В частности, для 4 интервала (с 12 с по 16 с) кривая тренда показана штриховой линией на рис. 3.

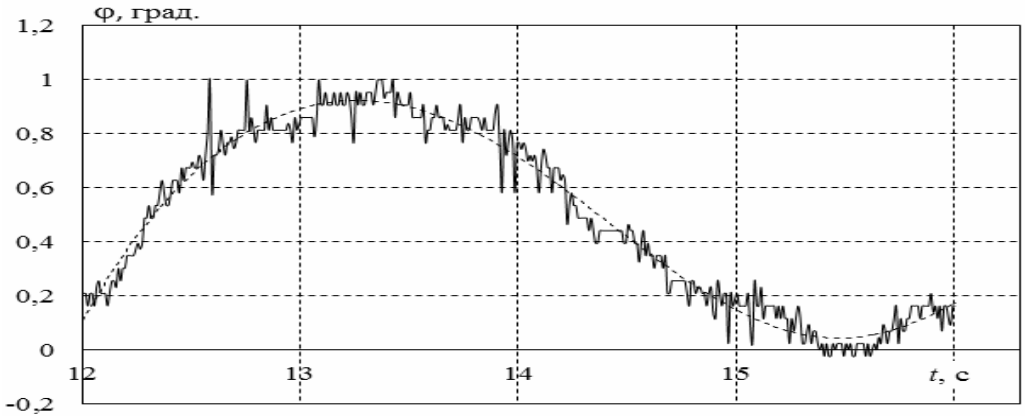


Рисунок 3 – Телеметрическая информация по углу отклонения камеры РД с выделенным трендом

Проведенное исследование выходных усилий на соответствующие отклонения угла φ показало, что при линейном тренде входных сигналов процесс быстро стабилизируется (см. рис. 4), зависимость входных и выходных сигналов носит монотонный квадратичный характер.

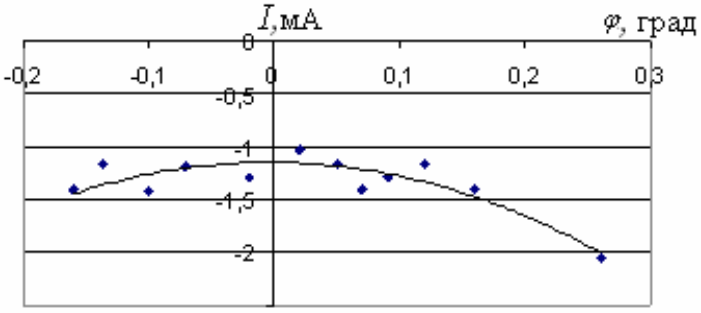
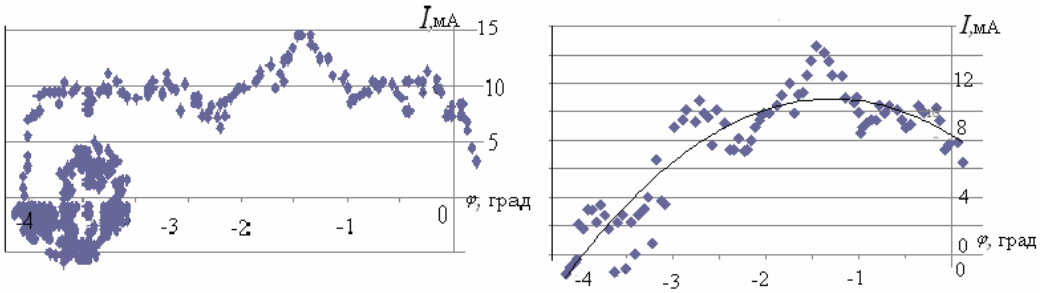


Рисунок 4 – Зависимость выходных импульсов от входных данных с линейным трендом

При формировании отклика без учета тренда либо в случае, когда тренд является квадратичной или более сложной функцией, выходные сигналы носят хаотичный характер, подавление осцилляций осуществляется не оптимальным образом. На рис. 5 а) показана зависимость выходных сигналов от входных осцилляций на 3 временном интервале при квадратичном тренде. После выделения трендов на конкретных временных интервалах возможно реализовать воздействие ступенчато, согласно малым линейным трендам, составляющим общий тренд на интервале (см. рис. 5 б). Такой подход упрощает задачу органам управления и позволяет оптимизировать алгоритм функционирования комплексной СУВТ.

 ISSN 1562-9945



а) б)

Рис. 5 – Зависимость выходных импульсов от входных данных с квадратичным трендом

В дальнейшем следует продолжить работу по уточнению алгоритма работы комбинированной СУВТ. Необходимо выбрать быстродействующий метод экстраполяции данных согласно трендам и позволяющий использовать преимущества каждой подсистемы БСУВТ.

Выводы. Проанализирована типичная зависимость входных сигналов и выходных управляющих воздействий для рулевого ракетного двигателя на различных временных интервалах его работы. Предложена методика выделения и использования тренда входного сигнала на характерных интервалах работы РД, позволившая разработать алгоритм функционирования СУВТ. Алгоритм предусматривает обработку исходного поступающего сигнала СУВТ с выделением детерминированной (статической) составляющей (тренда) и высокочастотных осцилляций сигнала (отклонения от тренда). Разработанный алгоритм позволяет оптимальным образом (по энергозатратам на создание управляющих усилий) разделять функции подсистем (МСУВТ и ГСУВТ) комбинированной системы управления вектором тяги ракетного двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельников Г.А. Разработка структурной схемы бифункциональной системы управления вектором тяги ракетного двигателя / Г.А. Стрельников, Е.Л. Токарева, Н.С. Прядко, А.Д. Игнатьев // Техническая механика, 2018. – №4. – С. 57 – 67.

2. Kovalenko N.D. The new concept of Trust vector control for rocket engine / N.D. Kovalenko, U.D. Sheptun, T.A. Kovalenko, G.A. Strelnikov // Системные технологии, 2016. – №6 (107). – С. 120 – 127.

3. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 406 с.

4. Петренко А.Н. Алгоритмы автоматического контроля параметров электрических ракетных двигательных установок / А.Н. Петренко, В.П. Малайчук // Вісник Дніпропетровського університету. Серія "Ракетно-космічна техніка", 2017. – Вип. 20. – С. 62 – 70.

5. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / М. Бассавиль, А. Вилски и др. – М. : Мир, 1989. – 278 с.

REFERENCES

1. Strelnikov G.A. Razrabotka strukturnoy shemyi bifunktsionalnoy sistemyi upravleniya vektorom tyagi raketnogo dvigatelya / G.A. Strelnikov, E.L. Tokareva, N.S. Pryadko, A.D. Ignatev // Tehnicheskaya mehanika, 2018. – №4. – P. 57 – 67.

2. Kovalenko N.D. The new concept of Trust vector control for rocket engine / N.D. Kovalenko, U.D. Sheptun, T.A. Kovalenko, G.A. Strelnikov // Sistemnyie tehnologii, 2016. – №6 (107). – P. 120 – 127.

3. Boks Dzh. Analiz vremennyih ryadov, prognoz i upravlenie / Dzh. Boks, G. Dzhenkins. – M.: Mir, 1974. – 406 p.

4. Petrenko A.N. Algoritmyi avtomaticheskogo kontrolya parametrov elektricheskih raketnyih dvigatelnyih ustanovok / A.N. Petrenko, V.P. Malaychuk // VIsnik DnIpropetrovskogo unIversitetu. SerIya "Raketno-kosmIchna tehnIka", 2017. – Vip. 20. – P. 62 – 70.

5. Obnaruzhenie izmeneniya svoystv signalov i dinamicheskih sistem / M. Bas-savil, A. Vilski i dr. – M. : Mir, 1989. – 278 p.

 ISSN 1562-9945

УДК 621.039.4

А.И. Михалёв, А.А. Стенин, И.Г. Дроздович, С.А. Стенин

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ АЭС ПРИ ПОДГОТОВКЕ НА ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Аннотация. Предлагается методика оценки и контроля деятельности операторов АЭС при их подготовке на тренажёрных комплексах, основанная на введенных в статье понятиях «инициативной» и «запрещённой» комбинациях в матрицах преобразования, характеризующих текущую деятельность операторов АЭС.

Ключевые слова: оператор АЭС, тренажерный комплекс, «инициативная» и «запрещённая» комбинации, многоуровневый критерий контроля и оценки.

Введение

В настоящее время проблема совершенствования операторской деятельности приобрела особую остроту в современных системах управления технологическими процессами и сложными объектами. Проведенный анализ работы операторов АЭС позволяет сделать вывод, что от правильности его действий, умения своевременно найти и реализовать верное в сложной ситуации решение, зависит не только эффективность выполнения поставленных перед ним задач, но, в ряде случаев, целостность самого объекта и безопасность людей [1,2,5,6].

Известно, что наиболее эффективным техническим средством обучения операторов различного рода профессиональной деятельности является тренажеры [3,6]. В последнее время тренажеры находят все более широкое применение в промышленности, энергетике и других отраслях народного хозяйства, в частности, для подготовки операторов энергоблоков АЭС, характеризующихся сложностью задач управления.

Предлагаемая в данной статье методика оценки оператора АЭС при обучении его на тренажёре ориентирована на схему "учитель-

© Михалёв А.И., Стенин А.А., Дроздович И.Г., Стенин С.А., 2019

ученик", которая в данном случае может быть представлена структурой, приведенной на рис. 1.

Главными элементами приведенной структуры являются инструктор, человек-оператор (группа операторов), подсистемы "Ученик", "Контроль и оценка", "Учитель".

В функции инструктора входит задание и контроль за общим процессом обучения. При необходимости инструктор может в процессе обучения создать ту или иную нештатную ситуацию.

Подсистема "Учитель" по исходному тестовому заданию формирует соответствующие эталонные реализации, на основе которых происходит сравнение с реальной работой оператора (группы операторов) и формируется оценка его (их) деятельности.

Подсистема "Контроль и оценка" реализует работу многоуровневой иерархической системы критериев оценки и обеспечивает документирование процесса обучения.

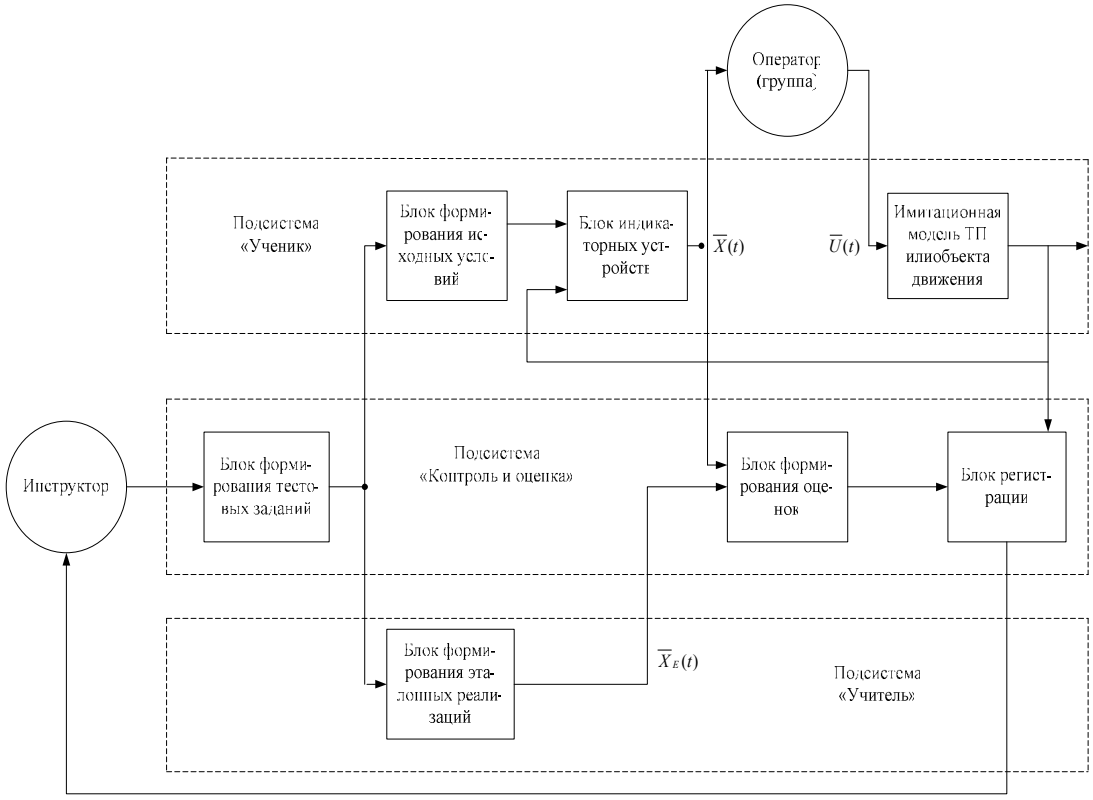


Рисунок 1 - Структура системы подготовки операторов АЭС по схеме «учитель-ученик»

 ISSN 1562-9945

Ниже предлагается эффективная методика оценки и контроля деятельности операторов АЭС при их подготовке на тренажёрных комплексах, основанная на введенных в статье понятиях «инициативной» и «запрещённой» комбинациях в матрицах преобразования, характеризующих текущую деятельность операторов АЭС

Формирование эталонных и текущих дискретных состояний органов пультов управления АЭС

Для обеспечения возможности контроля и оценки деятельности при обучении операторов АЭС на тренажерных комплексах предлагается представить их работу некоторой текущей моделью, отражающей последовательное изменение текущего состояния дискретных органов управления на пульте АЭС по сравнению с эталонной моделью его деятельности. При оценке деятельности оператора АЭС приняты два уровня (0,1) для фиксации состояния каждого органа управления. Эти уровни соответствуют физическим состояниям органов управления типа: «включено - выключено», «минимум - максимум», «нажать -отпустить» и т.д.

Для контроля и оценки деятельности операторов АЭС при их подготовке на тренажерных комплексах предлагается использовать трёхуровневую структуру критериев контроля и оценки - «задача – режим - параметр» [3,8]. Согласно принятой структуре нижним уровнем иерархии являются критерии оценки деятельности оператора по параметрам, в качестве которых в данном случае принято состояние органов управления в отдельном режиме

Поскольку основной единицей в такой структуре является отдельный режим, то очевидно, что создание эталонной модели предполагает в первую очередь создание эталонного оператора преобразования $Q_{j\,эт}$ каждого j-го режима и текущего оператора преобразования $Q_{j\,тек}$ или просто Q_j. В данном случае, Q_j можно представить матрицей, отражающей последовательное изменение текущего состояния дискретных органов управления данного режима. При этом, если число столбцов такой матрицы, определяемое числом органов управления, для каждого режима является величиной вполне определенной и неизменной, то число строк, определяемое числом выполненных операто-

ром АЭС дискретных операций, неоднозначно в силу функциональных особенностей конкретного оператора АЭС.

Поэтому матрица Q_j является вариативной в зависимости от конкретного оператора и степени его подготовленности, в которой не меняется только первая и последняя строки. Первой строкой матрицы Q_j является исходное к началу отработки j-го режима состояние органов управления. Последней строкой является заданное конечное состояние органов управления, определяемое учебной задачей на обработку j-го режима. Это касается и эталонной матрицы преобразования $Q_{j\,эт}$. Эталонная матрица будет только в том случае единственной, если при отработке j-го режима не допускается произвольное и одновременное переключение органов управления. Для большинства же режимов характерны ситуации, когда оператор может одновременным и произвольным в рамках допустимого переключения органов управления выполнить поставленную задачу.

Учитывая выше изложенное, в качестве эталона предлагается использовать первую и последнюю строки матрицы $Q_{jэт}$ с текущим контролем «запрещённых» комбинаций вектора состояния органов управления.

Под «запрещённой» комбинацией будем понимать полученные на основе анализа работы операторов АЭС такие наборы состояний органов управления, которые в реальных условиях приводят либо к срыву выполнения j-го режима, либо к аварийному состоянию АЭС [5]. Для формирования текущих матриц Q_j состояний органов управления введем понятие «инициативных» комбинаций вектора состояния органов управления. Роль «инициативных» комбинаций вектора состояния органов управления заключается в том, что при его (векторе) определенных состояниях работа оператора АЭС должна сопровождаться обязательным принятием (или выдачей) информации (сообщения). Отсутствие сообщения считается ошибкой, которая в процессе дальнейшей работы может быть исправлена. В этом случае структуру текущей матрицы Q_j,

 ISSN 1562-9945

которую назовем «инициативной» матрицей, можно представить следующим образом:

$$Q_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & & & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & & & \\ \dots & 0 & \dots & \dots & & & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & & & \\ 1 & 1 & 1 & \dots & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$x_{1j}, x_{2j}, \dots\dots\dots\dots\dots\dots x_{nj}$$

- исходное состояние органов управления

- инициативные комбинации

- конечное состояние органов управления

где $(x_1, x_2, \dots, x_{nj})$ - n-органов управления j-го режима, а число «инициативных» комбинаций ограничено сверху временем выполнения j-го режима.

По аналогии с «инициативной » матрицей Q_j эталонную матрицу $Q_{jэт}$ можно представить следующим образом:

$$Q_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & & 0 \\ 1 & 0 & 1 & & 0 \\ 0 & 1 & 1 & & 1 \\ & & & & \\ \dots & & \dots & \dots & \dots \\ & & & & \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$x_{1j}, x_{2j}, \dots\dots\dots\dots\dots\dots x_{nj}$$

- исходное состояние органов упрваления

- запрещенные комбинации

- конечное состояние органов управления

Здесь число строк, определяемое числом «запрещенных» комбинаций строго детерминировано и определяется анализом причин возникновения нештатных ситуаций.

При совпадении одной из строк «инициативной» матрицы со строками эталонной матрицы $Q_{jэт}$ (за исключением исходного и конечного векторов состояния органов управления) задача отработки j-го режима считается невыполненной и оценивается неудовлетворительной оценкой.

В процессе профессиональной деятельности оператор в дискретные моменты времени (в общем случае, не равны друг другу) фор-

мирует вектор -столбцы $\bar{a}_k$ состояния органов управления «инициативной» матрицы $Q_j = \{\bar{a}_k\}$ (i=1,... ,n; k - определяется работой оператора).

При полностью выполненном режиме (при отсутствии совпадений «инициативных» комбинаций с «запрещенными») происходит отработка «инициативной» матрицы согласно методике, изложенной ниже.

Реализация многоуровневого критерия контроля и оценки при выполнении оператором АЭС дискретных операций

Анализ профессиональной деятельности оператора АЭС показывает, что его деятельность достаточно точно характеризуется быстродействием, безошибочностью (надежностью) и напряженностью его работы [3,4,7].

Для оценки деятельности оператора в смысле его надежности (безошибочности), как было указано выше, приняты два уровня (0 или 1) фиксации состояния каждого органа управления. При этом состояние каждого k-го органа управления в моменты выполнения i-тых дискретных операций может быть описано вектор-столбцом $\bar{a}_k$ размерности N^j, элементами которого являются нули и единицы, т.е. $a_k^j = (a_{1k}^j, a_{2k}^j, ..., a_{Njk}^j)^T$.

Полагая, что число дискретных органов управления в j-м режиме равно N_0^j, то оператор преобразование Q_j можно представить матрицей

$$Q_j = \{a_{ik}^j\},\ i=1,...,N^j;\ k=1,...,N_0^j. \qquad (1)$$

которая отражает последовательное изменение текущего состояния органов управления в j-м режиме.

Если принять, что в процессе выполнения j-го режима каждый орган управления должен быть в некоторый момент времени переведен из одного крайнего состояния (0 или 1) в другое (соответственно 1 или 0) и сохраняться до конца режима, то появление любых других промежуточных переключений свидетельствует о наличии ошибок в действии оператора. В этом случае количество ошибок $n_{ош}$ для k-го органа управления можно определить как

 ISSN 1562-9945

$$n^j_{ош} = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=2}^{N^j}(a^j_{ik} - a_{i-k,k^j}) - 1\right]. \quad (2)$$

Тогда количественной оценкой надежности (безошибочности) работы оператора при выполнении j-го режима может служить критерий вида

$$I_{0j} = \sum_{k-0}^{N^j_0}\frac{a^j_k}{2\beta^j_k}\left[\sum_{i=2}^{N^j}(a^j_{ik} - a_{i-k,k^j}) - 1\right] \quad (3)$$

где a^j_k - коэффициент важности k-го органа управления, причем $\sum_{i=2}^{N^j} a^j_{ik} = 1$, а β^j_k - коэффициент привязки и нормировки в диапазоне [0,1].

Следует отметить, что в j-ом режиме возможны случаи, когда k-тый орган управления может изменяться по цепочке 0(1)→1(0)→0(1) →... . Тогда формула (3) примет вид

$$I_{0j} = \sum_{k-0}^{N^j_0}\frac{a^j_k}{2\beta^j_k}\left[\sum_{i=2}^{N^j}(a^j_{ik} - a_{i-k,k^j}) - b^j_k\right] \quad (4)$$

где $b^j_k = 1$, если k-тый орган изменяется по цепочке 0(1) →1(0), $b^j_k = 2$, если 0(1) →1(0) →0(1), $b^j_k = 3$, если 0(1) →1(0) →0(1)→1(0) и т.д.

В зависимости от числа ошибок и выбранной шкалы оценка принимает конкретные числовые значения в нормированном диапазоне [0,1].

Напряженность деятельности оператора АЭС характеризуется общей реакцией организма на воздействие информационного потока и оценивается с помощью ряда физиологических показателей (электроэнцефалограммы, кардиограммы др.). В частности, одним из таких критериев оценки общей напряженности оператора в j-м режиме является критерий вида [4,7]:

$$I_{Hj} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{y_j}{y_{j\max}}\right)^2} \quad (6)$$

где $y_{j\max}$ -максимально возможные значения выбранных физиологических показателей, y_j - значения этих же показателей в данных условиях работы. Отсутствие возможности цифровой имитации оператора с точки зрения его физиологического состояния в процессе выполне-

ния учебной задачи, приводит к тому, что его деятельность в дальнейшем оценивается только по двум параметрам: надежности и быстродействию. Это, однако, не исключает при практической реализации тренажерного комплекса и оценку напряженности оператора.

Для оценки быстродействия операторов АЭС за время выполнения i - й дискретной операции принимаем время

$$\tau_{оni} = \tau_{pi} + \tau_{двi}, \qquad (7)$$

где τ_{pi} -скрытое время реакции оператора АЭС (обычно ≈2с), определяемое как интервал времени от момента появления сигнала на отработку до реакции на него оператора; $\tau_{двi}$ - это время двигательной реакции, которое определяется как

$$\tau_{двi} = b * \log_2 \mu_i, \qquad (8)$$

где b = 0,074, $\mu_i = 2R_i/Q_i$ — комплексный коэффициент трудности выполняемой работы, R_i расстояние перемещения органа управления, Q_i - ширина органа управления [7].

С учетом времени приема и восприятия информации $\tau_{прi}$, а также времени анализа и принятия решений $t_{решi}$ общее время выполнения i - й дискретной операции определяется как

$$\tau_{доi} = \tau_{оni} + \tau_{прi} + \tau_{решi}, \qquad (9)$$

Тогда, общее время выполнения j-го режима определяется суммой времени выполнения i-тых операций в данном режиме, то есть

$$\tau_{pi} = \sum_{i=1}^{N} \tau_{доij}, \qquad (10)$$

где N - число дискретных операций, выполненных оператором в данном режиме.

Если теперь задать некоторое время T_{pj} и $T_{эj}$ может служить основой для оценки деятельности оператора в смысле его быстродействия. Учитывая, что количественная оценка должна лежать в пределах нормированного диапазона [0,1], вводим величину $\Delta t_{\max j}$ максимального рассогласования времен T_{pj} и $T_{эj}$. В результате имеем

$$I_{Tj} = \frac{T_{pj} - T_{эj}}{\Delta t_{\max j}} \delta_T \qquad (11)$$

 ISSN 1562-9945

где δ_T - признак своевременного выполнения j-го режима причем $\delta_T = 0$ если $T_{pj} - T_{эj} \le 0$ и $\delta_T = 1$, если $T_{pj} - T_{эj} > 0$.

На втором уровне иерархии согласно принятой многоуровневой структуре количественной деятельности оператора принят критерий вида

$$q_j = \gamma_{Tj} I_{Tj} + \gamma_{0j} I_{0j} + I_{Hj} \gamma_{Hj}, \qquad (12)$$

где I_{Tj}, I_{0j}, I_{Hj} - количество оценки действий оператора по надежности и напряженности, быстродействию, определяемые соответственно по формулам (4), (6), (11), а $\gamma_{Tj}, \gamma_{0j}, \gamma_{Hj}$ - коэффициенты важности параметров в j-м режиме, причем

$$\gamma_{Tj} + \gamma_{0j} + \gamma_{Hj} = 1 \qquad (13)$$

Наконец, на верхнем уровне иерархии рассчитывается комплексная количественная оценка за всю учебную задачу согласно эмпирическому критерию, разработанного и предложенного авторами в работе [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аварии и инциденты на атомных электростанциях. Учебное пособие. / под ред. С.П. Соловьева. – Обнинск, ИАТЭ, 1992. – 300 с.
2. Randall J. Mumaw, Emilie M. Roth, Kim J. Vicente, Catherine M. Burns There is more to monitoring a nuclear power plant than meets the eye // Human factors. 2000. Vol 42. – P. 36-55.
3. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: «Наука», 1982. – 270 с.
4. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности. – М.: Радио и связь, 1990. – 120 с.
5. Широкова А.А. Особенности неправильных действий и самоконтроля в работе персонала атомной станции // Проблемы психологии и эргономики. – 2001. – №4. – С. 49-51.
6. Чачко А. Г. Подготовка операторов энергоблоков: Алгоритмический подход. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.
7. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» – М.: Машиностроение. - 1983. – 224с.

8. А.А. Стенин, М.М. Ткач, А.Н. Губский, С.А. Стенин Синтез иерархической структуры критериев оценки деятельности операторов сложных технических систем. –Вісник НТУУ КПІ. - Інформатика та обчислювальна техніка. - К.:Век.-№57.-2012. - С. 60-64.

REFERENCES

1. Avaryy y yntsydentы na atomnыkh эlektrostantsyiakh. Uchebnoe posobye. / pod red. S.P. Soloveva. – Obnynsk, YATЭ, 1992. – 300 s.

2. Randall J. Mumaw, Emilie M. Roth, Kim J. Vicente, Catherine M. Burns There is more to monitoring a nuclear power plant than meets the eye // Human factors. 2000. Vol 42. – P. 36-55.

3. Hubynskyi A.Y. Nadezhnost y kachestvo funktsyonyrovanyia эrhatycheskykh system. – L.: «Nauka», 1982. – 270 s.

4. Zaitsev V.S. Systemnыi analyz operatorskoi deiatelnosty. – M.: Radyo y sviaz, 1990. – 120 s.

5. Shyrokova A.A. Osobennosty nepravylnыkh deistvyi y samokon-trolia v rabote personala atomnoi stantsyy // Problemы psykholohyy y эr-honomyky. – 2001. – №4. – S. 49-51.

6. Chachko A. H. Podhotovka operatorov эnerhoblokov: Alhorytmycheskyi podkhod. – M.: Эnerhoatomyzdat, 1986. – 232 s.

7. Shybanov H.P. Kolychestvennaia otsenka deiatelnosty cheloveka v systemakh «chelovek-tekhnyka» – M.: Mashynostroenye. - 1983. – 224s.

8. A.A. Stenyn, M.M. Tkach, A.N. Hubskyi, S.A. Stenyn Syntez yerarkhycheskoi strukturы kryteryev otsenky deiatelnosty operatorov slozhnыkh tekhnycheskykh system. –Visnyk NTUU KPI. - Informatyka ta obchysliuvalna tekhnika. - K.:Vek.-№57.-2012. - S. 60-64.

 ISSN 1562-9945

УДК 519.246.85

И.Ю. Кондратьева, А.В. Рудакова,
О.В. Поливода, Н.В. Сарафанникова

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ПРИРАЩЕНИЯХ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ МНОГОПРИВОДНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация. В данной статье авторами проведено исследование акустического шума, генерируемого электромеханическими системами в режиме реального времени. Осуществлен обзор моделей и методов прогнозирования временных рядов, выявлены достоинства и недостатки каждого класса. Разработаны методы анализа акустических сигналов, порождаемых работающим оборудованием электромеханических комплексов, в приращениях (в фазовом пространстве), пригодные для использования в системах функциональной диагностики.

Ключевые слова: функциональная диагностика, акустический сигнал, агрегация данных, кратномасштабный анализ, многоприводная установка.

Введение

Современной тенденцией развития мехатронных систем является использование многоприводных установок каркасной компоновки [1]. Такие объекты, как правило, состоят из большого числа взаимодействующих элементов. Относительные перемещения этих элементов порождают вибрации, которые могут критически сказаться на работе прецизионных мехатронных систем. Это может привести к предельным режимам работы оборудования, а в ряде случаев и выходу его из строя.

Эффективным средством предупреждения аварий, выявления критических режимов работы, диагностики неисправностей оборудования электромеханических систем (ЭМС) являются методы функциональной диагностики [2]. В последнее время особый интерес проявляется к созданию методов и способов диагностирования технического состояния

© Кондратьева И.Ю., Рудакова А.В., Поливода О.В., Сарафанникова Н.В., 2019

электромеханических систем, основанных на изучении в них колебательных (вибрационных) и акустических процессов.

Анализ последних исследований и публикаций

Сущность проблемы функциональной диагностики состоит в разработке и практической реализации алгоритмов оценки параметров технических состояний электромеханических узлов, без их разборки по характеристикам вибрационных процессов, сопровождающих их функционирование. Современная вычислительная техника позволяет усовершенствовать технологию проверки параметров ЭМС за счет автоматизации процессов измерения и использования программных средств диагностики (рис. 1). Измерение и анализ сигналов в системах виброакустической диагностики электромеханических систем чаще всего производятся с помощью приборов, приспособленных для работы в промышленных условиях. В то же время эти операции могут выполняться и с помощью компьютера, на входе которого устанавливаются устройства, питающие измерительные преобразователи, усиливающие электрические сигналы и преобразующие сигналы в цифровую форму.

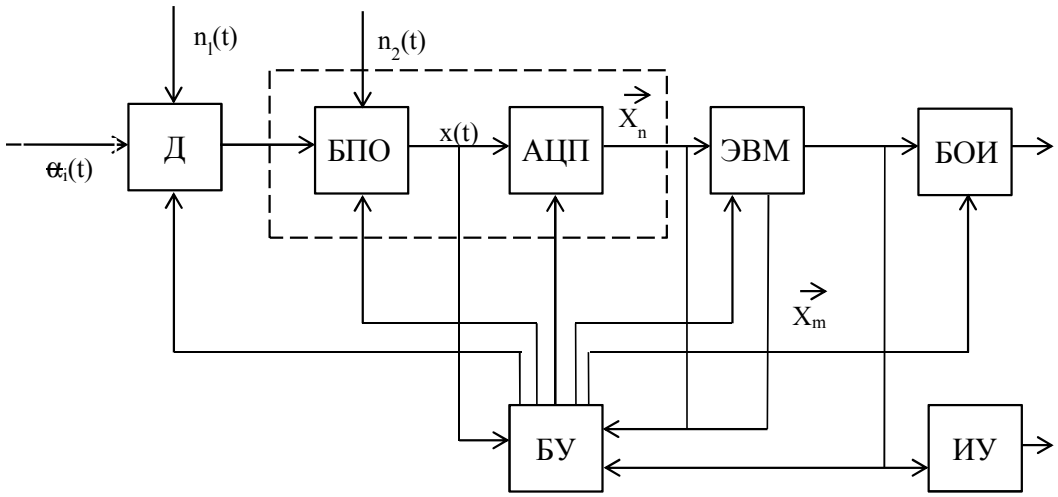


Рисунок 1 - Структурная схема системы технической диагностики:
Д – Датчик; БПО – блок предварительной обработки; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; БУ - блок управления параметрами и алгоритмами; БОИ - блок регистрации, отображения информации; ИС - исполнительное устройство, X_n - рабочая выборка, X_m – обучающая выборка (n,m – объемы выборок)

 ISSN 1562-9945

В процессе технической диагностики информация о поведении объекта контроля α_i регистрируется датчиком (Д). Приемники БПО и АЦП реализуют функции предварительной аналоговой обработки смеси сигналов и помех, обеспечивая усиление слабых сигналов на фоне собственных шумов; полосовую, низкочастотную и режекторную фильтрацию внешних $n_1(t)$ и внутренних $n_2(t)$ помех; нормировку выходных процессов $x(t)$ по интенсивности. Преобразованные сигналы поступают на ЭВМ, где проходят статистическую, математическую обработку. Блок БУ реализует функции управления процессом обработки сигналов в приемниках и процессоре, а также задает параметры для исполнительного устройства (ИУ).

Шумы аппаратов и машин также характеризуют как общие свойства систем, так и свойства их частей. Опыт применения акустических методов показывает, что в состоянии нормального функционирования энергия шума в основном концентрируется в области низких частот, а энергия, соответствующая дефектам, располагается на более высоких частотах. Это обстоятельство используют для своевременного обнаружения зарождающихся нарушений. Недостаток большинства акустических методов - необходимость иметь в памяти системы контроля набор реализаций сигналов или статистические характеристики сигналов всех состояний функционирования [3].

Методы функциональной диагностики в режиме реального времени, требуют выполнения большого количества расчетов, математического моделирования объекта, обработки большого объема информации, что обуславливает обязательное применение вычислительной техники.

Разные методы обработки акустических сигналов позволяют выделить различные характеристики как статические, так и динамические.

Для цифровой обработки акустических сигналов от ЭМС используют ряд методов:

- методы линейной фильтрации, которые позволяют проводить селекцию сигналов в необходимой частотной области;

- спектральный анализ, при помощи которого обрабатывают различные виды сигналов;

- частотно-временной анализ, который используют для нахождения отклонений в чувствительных приемниках сигналов;

- адаптивная фильтрация, позволяющая проводить распознавание звуковых образов на основе ранее выявленных закономерностей, а также приглушать шумы;

- нелинейная обработка для расчета корреляций;

- высокоскоростная обработка – интерполяция (увеличение) и децимация (уменьшение) частоты дискретизации.

В настоящее время основными методами обработки результатов измерений являются преобразование Фурье и Лапласа, классические методы анализа временных рядов, кратномасштабного вейвлет-анализа и т.д. Недостатком применяемых подходов является вычислительная сложность при осуществлении дискретных преобразований и необходимость наличия значительных объемов памяти для хранения эталонных значений.

Рассмотренные методы основываются на анализе оригинального сигнала, однако производные (приращения) сигнала разных порядков также могут обладать информативностью.

Цель исследований

Целью исследований является разработка методов анализа акустических сигналов, порождаемых работающим оборудованием электромеханических комплексов, в приращениях (в фазовом пространстве), пригодные для использования в системах функциональной диагностики при мониторинге режимов работы электроприводов.

Основная часть

Характерные шумовые сигналы электромеханического оборудования имеют периодические и непериодические составляющие. Параметры шумовых сигналов изменяются со временем – у бездефектных устройств медленно, а в оборудовании, что приближается к состоянию разрушения, очень быстро. Принято, что в пределах всего срока службы устройств его характерный шумовой сигнал является интервально-стационарным процессом при условии, что интервалы наблюдений выбираются для каждого типа устройств, а сигналы рассматриваются как

 ISSN 1562-9945

реализации случайного процесса с нормальным распределением. Цель диагностики заключается в выявлении развития отказа ранее области наиболее интенсивного износа или разрушения. Поэтому необходимо иметь временную зависимость работы дефектных и бездефектных объектов контроля, а для обеспечения достоверных результатов применять статистические методы моделирования. В соответствии с вероятностным подходом все отклонения от нормы рассматриваются как случайные величины, а основным требованием является минимально допустимая вероятность отказа.

Актуальной научной задачей является разработка эффективных алгоритмов функционального диагностирования реализуемых на ЭВМ, которые в полной мере учитывают технические и экономические требования, ограничения при оптимизации, стохастический характер внешних воздействий и т.п. При построении алгоритмов функциональной диагностики надо учитывать специфику решаемой задачи, использовать современные приемы и методы оптимизации, применять накопленный опыт в смежных областях.

Ряд задач диагностики электромеханических комплексов в настоящее время можно реализовать акустическими методами, путем анализа сигналов, полученных с работающих узлов в режиме реального времени.

Акустические шумовые сигналы от работающей многоприводной установки были получены в результате серии экспериментов на двух скоростных режимах. На рис. 2 а показан фрагмент зарегистрированного сигнала, который сохраняется в звуковом файле в формате *.wav, с частотой дискретизации 48 кГц и 16-битной глубиной. На рис. 2 б,в приведены фрагменты приращений сигнала первого и второго порядка, что соответствует первой и второй производной сигнала. Динамика сигнала в фазовом пространстве показана на рис. 3.

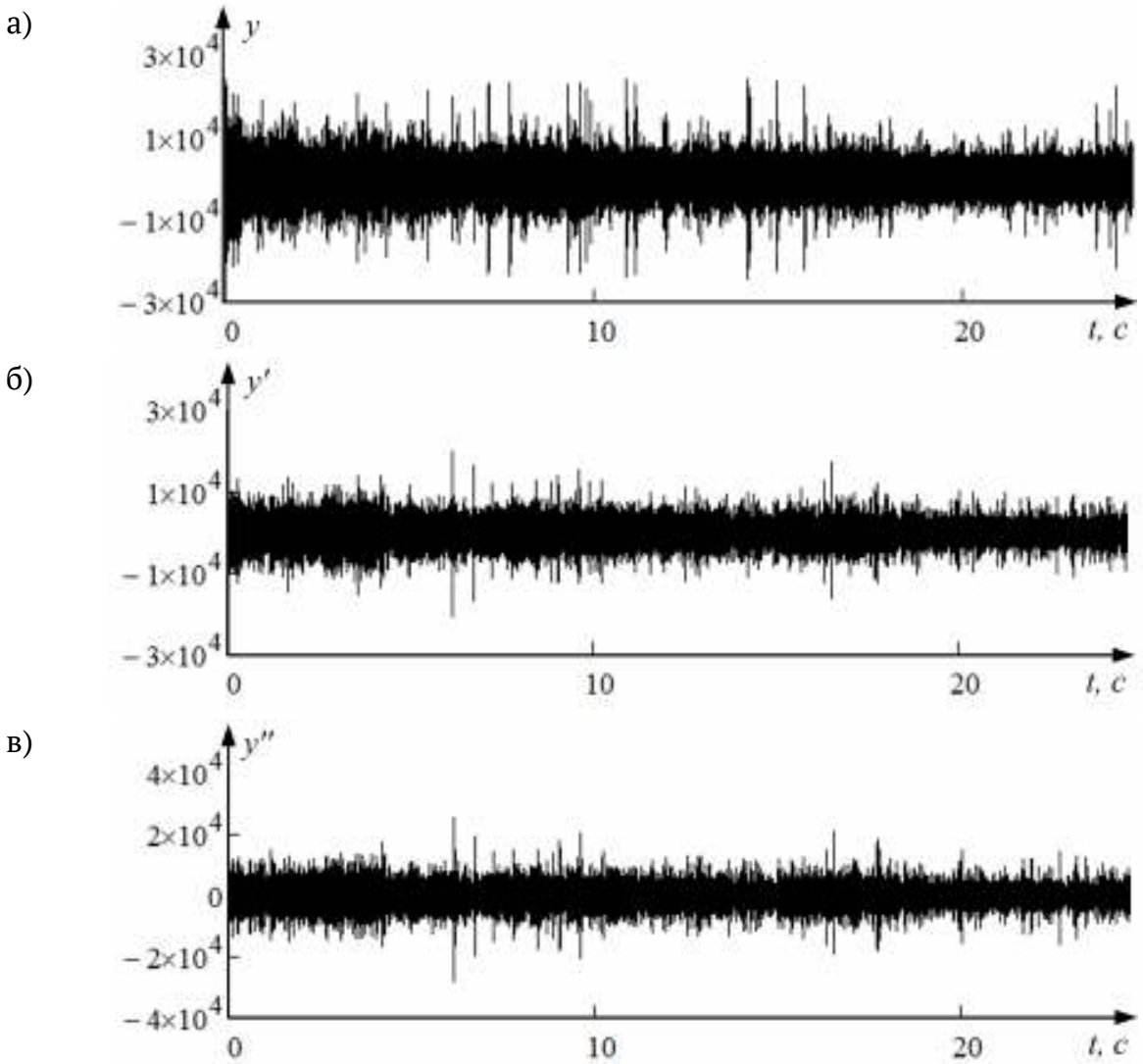


Рисунок 2 - Фрагменты сигналов: а) оригинальный сигнал, б) приращение сигнала первого порядка, в) приращение сигнала второго порядка

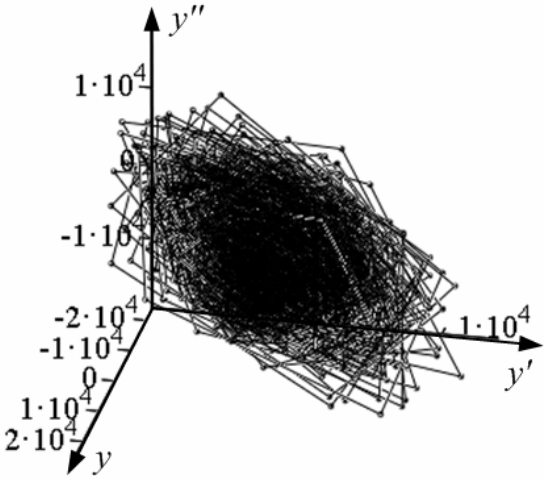


Рисунок 3 - Динамика сигнала в фазовом пространстве

 ISSN 1562-9945

Для ускорения процесса анализа сигналов необходимо устранить избыточность, что можно достигнуть путем агрегации данных. Агрегация, позволяющая сжимать временную шкалу (уменьшать количество данных) осуществляется путем усреднения ближайших значений следующим образом

$$y_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=k\cdot m-(m-1)}^{k\cdot m} y_i \ , \qquad (1)$$

где $\vec{y}$ – исходный сигнал, $\vec{y}^{(m)}$ – агрегированный сигнал, со степенью агрегации m.

На рис. 4 показаны фрагменты сигналов, полученные с разной степенью агрегации

а)

б)

в)

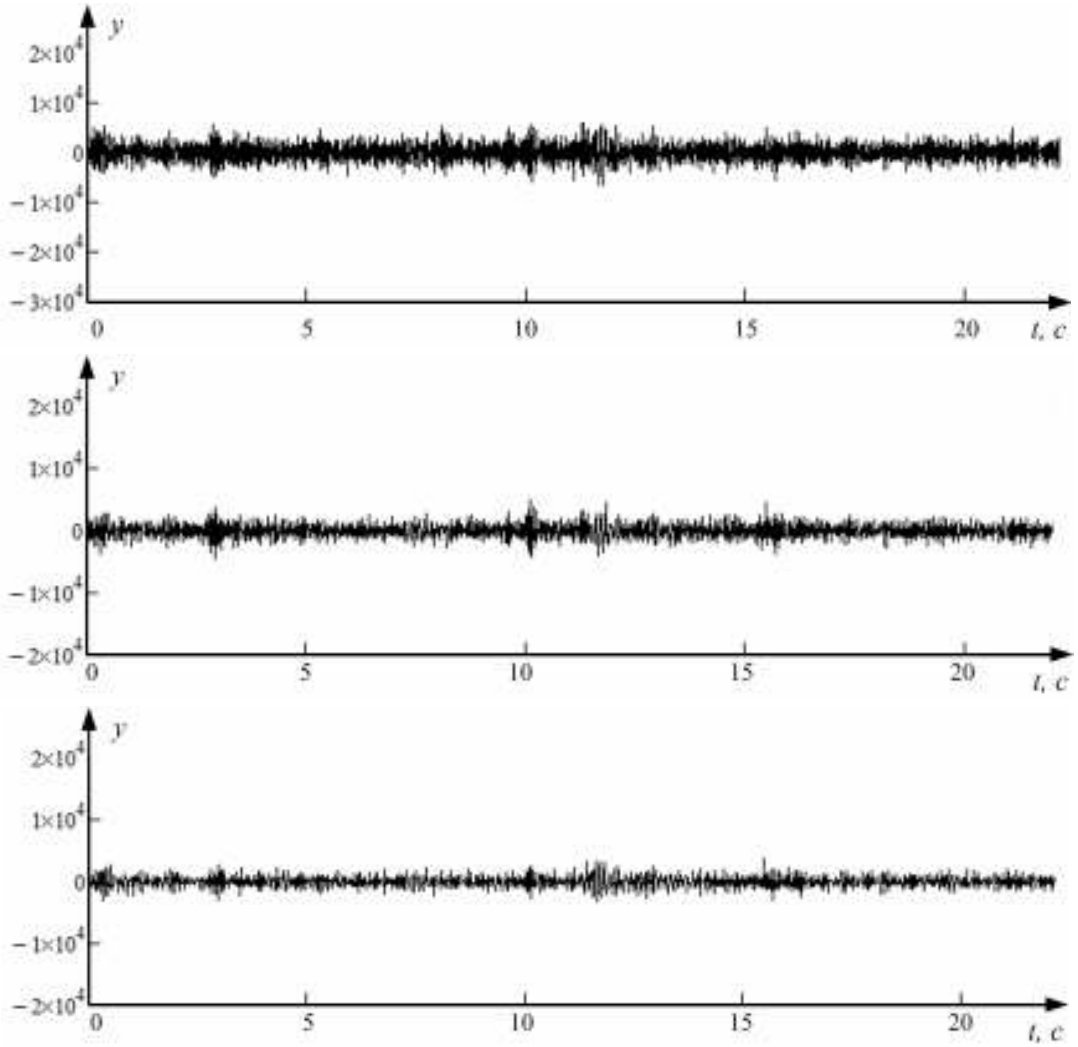


Рисунок 4 - Фрагменты агрегированных сигналов:
а) $m = 10$, б) $m = 20$, в) $m = 30$

Для определения допустимой степени агрегации целесообразно осуществлять кратномасштабный анализ.

Меру длительности долгосрочной зависимости стохастического процесса характеризует параметр Херста H [4,5]. Значение $H = 0{,}5$ указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. Чем ближе значение H к 1, тем выше степень устойчивости долгосрочной зависимости, т.е. необходимо чтобы $0{,}5 \le H \le 1$. Параметр Херста определяется как $H = 1 - (\beta/2)$, где $\beta = \dfrac{\log[Var(y)/Var(y^{(m)})]}{\log(m)}$, $0 < \beta < 1$, $Var(y)$ и $Var(y^{(m)})$ дисперсии оригинального и агрегированного процесса соответственно.

Результаты применения кратномасштабного анализа (расчет дисперсии Var, параметра самоподобия β, параметра Херста H) в зависимости от степени агрегации m показаны в табл. 1 для оригинального процесса.

Таблица 1

Параметры кратномасштабного анализа

m	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$Var \cdot 10^5$	82,9	30,4	16,2	9,91	6,5	4,85	2,56	1,68	1,07	0,63
β	0,23	0,59	0,74	0,83	0,91	0,94	1,08	1,16	1,24	1,34
H	0,88	0,7	0,63	0,58	0,55	0,53	0,46	0,42	0,38	0,33

Расчеты показали, что предельная степень агрегации для исследуемого сигнала составляет $m = 30$.

Выводы

При анализе акустического сигнала можно использовать сжатую временную шкалу, что позволяет значительно уменьшить объем вычислений при построении математической модели процесса и идентификации режима работы оборудования. Это позволит реализовать системы поддержки принятия решений реального времени с автоматическим определением (постановкой диагноза в темпе измерения диагностических сигналов) неисправностей узлов машинного оборудования, степени их опасности и формированием перечня компенсирующих мероприятий.

 ISSN 1562-9945

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнєцов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнєцов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

2. Пятибратов Г.Я. История развития и современные проблемы электроэнергетики и электротехники: учебное пособие /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).–Новочеркасск: ЮРГТУ, 2013.– 122 с.

3. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. – М.: Наука, 1984. – 116 с.

4. Современные компьютерные сети. 2-е изд. / [авт. текста В. Столингс]. – Спб.: Питер, 2003. – 783с.

5. Потапов А.А., Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, А.А. Пахомов, В.А. Герман - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.

REFERENCES

1. Kuznietsov Yu.M. Komponovky verstativ z mekhanizmamy paralelnoi struktury: Monohrafiia / Yu.M. Kuznietsov, D.O. Dmytriiev, H.Iu. Dinevych; pid red. Yu.M. Kuznietsova. – Kherson: PP Vyshemyrskyi V.S., 2009. – 456 s.

2. Pyatibratov G.Ya. Istoriya razvitiya i sovremennyie problemyi elektroenergetiki i elektrotehniki: uchebnoe posobie /Yuzh.-Ros. gos. tehn. un-t (NPI).–Novocherkassk: YuRGTU, 2013.– 122 s.

3. Balitskiy F.Ya. Vibroakusticheskaya diagnostika zarozhdayuschihsya defektov / F.Ya. Balitskiy, M.A. Ivanova, A.G. Sokolova, E.I. Homyakov. – M.: Nauka, 1984. – 116 s.

4. Sovremennyie kompyuternyie seti. 2-e izd. / [avt. teksta V. Stolings]. – Spb.: Piter, 2003. – 783s.

5. Potapov A.A., Noveyshie metodyi obrabotki izobrazheniy / A.A. Potapov, Yu.V. Gulyaev, S.A. Nikitov, A.A. Pahomov, V.A. German - M.: FIZMATLIT, 2008. - 496 s.

УДК 506:510

І.В. Баклан, Т.В. Шулькевич

МАРКОВСЬКІ МОДЕЛІ ДЛЯ ЛІНГВІСТИЧНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

Анотація. Популярність прихованих Марковських моделей (ПММ) та їх впровадження до різних областей, що поширюється з кожним роком, приводить певних проблем. Дане дослідження має за свою ціль визначення тих проблем, що стоять перед розробниками інтелектуальних систем із застосуванням ПММ та визначення деяких з напрямків, за якими ці проблеми можуть бути подолані. Для цілої родини стандартних ПММ були визначенні три основні проблеми, вирішення яких є дуже важливим для аналізу та прогнозування часових рядів.

Ключові слова: прихована Марковська модель, лінгвістична модель, лінгвістичне моделювання.

Постановка проблеми

Для родини стандартних прихованих Марковських моделей існує три основні проблеми, вирішення яких необхідно для використання ПММ для аналізу лінгвістичних послідовностей.

1. Оцінка, або проблема кількісного показника.
2. Проблема декодування.
3. Оцінка результату або проблема навчання.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Марковські випадкові процеси названі по імені видатного російського математика А.А. Маркова (1856-1922), який вперше почав вивчення імовірнісного зв'язку випадкових величин і який створив теорію, що можна назвати "динамікою вірогідності". Надалі основи цієї теорії з'явилися вихідною базою загальної теорії випадкових процесів, а також таких важливих прикладних наук, як теорія дифузійних процесів, теорія надійності, теорія масового обслуговування і так далі. В даний час теорія

© Баклан І.В., Шулькевич Т.В., 2019

Марковських процесів і її застосування широко застосовуються в самих різних областях.

Завдяки порівняльній простоті і наочності математичного апарату, високій достовірності і точності отримуваних рішень, особлива увага Марковські процеси придбали у фахівців, операцій, що займаються дослідженням, і теорією ухвалення оптимальних рішень.

Приховані Марковські процеси (ПМП), специфікація яких була опублікована ще в кінці 60-х років, останнім часом стали дуже популярні. По-перше, математична структура ПМП дуже багата і дозволяє вирішувати математичні проблеми різних галузей науки. По-друге, грамотно спроектована модель дає на практиці гарні результати роботи.

Більша частина сучасної літератури [1-11], присвяченої моделюванню з використанням математичного апарату прихованих Марковських моделей, стосувалася розв'язанню трьох основних проблем ПММ.

ПММ окреслюють широкий клас моделей, класифікація яких була приведена в роботах [12-13].

Мета дослідження

Метою дослідження є особливості застосування прихованих Марковських моделей для аналізу часових рядів у вигляді лінгвістичних ланцюжків .

Основна частина

В процесі розкриття трьох основних проблем згадаємо про деякі визначення Марковського аналізу лінгвістичних послідовностей, які базуються на підході Марковського моделювання (суміш перехідних розподілів – СПР, фреймзалежні Марковські ланцюжки, інтерполяційні Марковські моделі), за винятком прихованих Марковських моделей.

Враховуючи теорію ймовірнісного навчання основним напрямком досліджень повинно стати визначення відносних частот компонентів послідовності. Початковий статистичний аналіз лінгвістичних послідовностей на основі компонент алфавіту.

Розглянемо деякі визначення щодо аналізу лінгвістичних послідовностей. Нехай мається множина (алфавіт) літер $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$.

Основними елементами нашого дослідження будуть послідовності літер з алфавіту $A - X = \{x_i\}_{i=1}^{N}$.

У випадку послідовностей маємо справу з алфавітом потужністю 4.

В основі аналізу лінгвістичних послідовностей нас цікавлять не тільки частоти окремих елементів алфавіту, але й «слів» - під послідовностей, які властиві для досліджуваних послідовностей.

Деяка частина інформації в лінгвістичній послідовності може використовуватися для пошуку за зразком або перекривними словами (k -кортежі баз). Зокрема, пошук слів, які можуть бути частими або рідкими. Це також дає інформацію про гетерогенність послідовності. Слова з нестохастичною внутрішньою статистикою й зненацька високою частотою випадків – це кандидати для мотивів у лінгвістичній послідовності. Отже перевірка на стохастичній моделі – це може бути те, що потрібне для пошуку слів в тестових базах даних, які зберігають довгі рядки.

Автокореляцію слова можна визначити наступним чином. Нехай $w = w_1 \ldots w_h$

позначає слово довжиною h, утворене символами з деякого алфавіту S. Будемо говорити, що існує перекриття довжиною r, якщо перші r символів у w, дорівнює r останнім символам в тому ж самому порядку - $w_j = w_{h-r+j}, j = 1, \ldots r$. Автокореляція w- це бінарний вектор $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \ldots \varepsilon_h$, визначений наступним чином:

$$\varepsilon_r = \begin{cases} 1 & \text{\я\к\щ\о\І\с\н\у\є\п\е\р\е\к\р\и\т\т\я\д\о\в\ж\и\н\иг\,} \\ 0 & \text{\у\ \п\р\о\т\и\л\е\ж\н\о\м\у\ \в\и\п\а\д\к\у\.} \end{cases}$$

Безсумнівно $\varepsilon_h = 1$ для кожного слова. Існують слова, які не можуть мати інші перекриття. Наприклад слово має автокореляцію - .

ПММ може розглядатися як родина моделей для послідовності символів з алфавіту $o = \{o_1, o_2, \ldots, o_k\}$. Модель базується на ідеї прихованої послідовності переходів Марковських станів. Дамо більш формальне визначення ПММ:

Припускається гомогенні (однорідні) за часом. Матриця переходів будується як

 ISSN 1562-9945

$$A = \left(a_{i|j}\right)_{i=1,\, j=1}^{j,\, j} \qquad (1)$$

із добре відомими нам обмеженнями:

$$a_{i|j} \geq 0, \sum_{j=1}^{j} a_{i|j} = 1$$

В момент часу $n = 0$ стан X_0 визначається розподілом ймовірностей

$$\pi_j(0) = P(X_0 = j) \text{ з } \pi(0) = (\pi_1(0), \ldots, \pi_j(0)).$$

Помітний випадковий процес. Випадковий процес $\{Y_n\}_{n=0}^{\infty}$ із скінченним фазовим простором $O = \{o_1, o_2, \ldots o_k\}$, де $K \neq J$. Процеси $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$ та $\{Y_n\}_{n=0}^{\infty}$ для довільних фіксованих n пов'язані розподілом умовних ймовірностей

$$b_j(k) = P(Y_n = o_k \mid X_n = j).$$

Встановимо, що

$$B = \left\{b_j(k)\right\}_{j=1,\, i=1}^{J,\, K}$$

Будемо називати її матрицею ймовірностей розповсюдження. Це – інша стохастична матриця в тому сенсі, що

$$b_j(k) \geq 0, \sum_{k=1}^{k} b_j(k) = 1$$

Умовна незалежність

Для довільної послідовності станів $j_0, j_1, \ldots j_n$ ймовірність послідовності $o_0, o_1, \ldots o_n$ визначається як:

$$P(Y_o = o_0, \ldots, Y_n = o_n \mid X_0 = j_0, \ldots, X_n = j_n, B) = \Pi_{i=0}^{n} b_{j1}(l). \qquad (2)$$

Інше кажучи, виділені символи умовно незалежні від заданої послідовності станів.

3-тій постулат визначення є вирішальним для усіх математичних розробок, які будуть нами наведені надалі.

Процес $\{Y_n\}_{n=0}^{\infty}$ може розглядатися як функція від Марковського ланцюжку та в загальному випадку не є Марковським ланцюжком.

До набору переваг цих припущень можна записати спільну ймовірність $o_0 o_1 \ldots o_n$ та $j_0 j_1 \ldots j_n$ як

$$P(Y_0 = o_0, \ldots, Y_n = o_n, X_0 = j_0, \ldots X_n = j_n; A, B, \pi(0)) =$$

$$= P(Y_0,...Y_n \mid X_0,...,X_n,B) \bullet P(X_0,...,X_n,A,\pi(0)) =$$

$$= \pi_{j_0}(0) \bullet \Pi_{l=0}^{n} b_{j1}(l) \Pi_{l=1}^{n} a_{jl-1|jl}$$

Перебудовуючи останній вираз, отримаємо:

$$P(Y_0 = o_0,...,Y_n = o_n, X_0 = j_0,...X_n = j_n; A,B,\pi(0)) =$$

$$= \pi_{j_0}(0) \bullet b_{j0}(0) \Pi_{l=1}^{n} a_{jl-1|jl} b_{jl}(l)$$

Надалі ми отримуємо спільний розподіл ймовірностей $o_0 o_1 \dots o_n$ як неістотний розподіл підсумовуючи всі можливі шляхи побудови послідовностей станів. Це за пишемо наступним чином:

$$P(Y_0,...,Y_n; A,B,\pi(0)) = \sum_{l_0=1}^{j} ... \sum_{j_n=1}^{j} \pi_{j_0}(0) b_{j0}(0) \prod_{l=1}^{n} a_{jl-1|jl} b_{jl}(l); \quad (3)$$

Таким чином скінченні вимірні розподіли ймовірностей $\{Y_n\}_{n=1}^{\infty}$ є повністю визначеними нашим вибором стохастичних матриць A, B та початковим розподілом $\pi(0)$. Отже ми можемо використовувати повний запис для цієї моделі

$$\lambda = (A,B,\pi(0))$$

Тепер маємо: родину моделі зумовлених на $\lambda = (A,B,\pi(0))$ рядок $o = o_0 o_1 \dots o_n$ має розподіл ймовірностей

$$P_0 = P(Y_0 = o_0,...,Y_n = o_n,\lambda) = \sum_{j_0=1}^{j} ... \sum_{j_n=1}^{j} P(Y_0 = o_0,...,Y_n = o_n, X_0 = j_0,...,X_n = j_n;\lambda);$$

де

$$P(Y_0 = o_0,...,Y_n = o_n, X_0 = j_0,...X_n = j_n; \lambda) =$$

$$= \pi_{j_0}(0) \bullet \Pi_{l=0}^{n} a_{jl-1|jl}$$

Різноманітні статті та навчальні посібники про ПММ містять одну незначну відмінність, що стосується формулювання $P(o)$. У статті Левінсона [2] та статті 1960 року Баума та Петрі була наведена наступна формула:

$$P_0 = P(Y_0 = o_0,...,Y_n = o_n,\lambda) = \pi_{j_0}(0) \bullet \prod_{l=1}^{n} b_{jl}(l) \prod_{l=0}^{n} a_{jl-1|jl}; \quad (4)$$

яка означає, що не існує розповсюдження в початковому стані або, що початковий стан є станом „мовчання” (згадаємо, що в ранніх роботах головним застосуванням цього математичного апарату було

 ISSN 1562-9945

розпізнавання голосу). З іншого боку це говорить про те, що завжди відомо, що початковий символ буде тим самим. Так, що потрібно ретельно розглянути та порівняти різноманітні варіанти формул для ПММ.

Джелайнек визначав приховані Марковські моделі в термінах розподілу розповсюдження, яке є функціонує від переходу стану. Формально це можна подати так, що $b_j(k) = P(Y_n = o_k | X_n = j)$ замінюється на

$b_{(i|j)(k)} = P(Y_n = o_k | X_{n-1} = i, X_n = j)$. Як легко бачити, це твердження, проте, повністю тотожне тому, що використовували вище.

Коли ми кажемо „стохастичний механізм”, це припускає наступні кроки генерації послідовностей в $\mathfrak{R}^{N+1}$:

1) Вибір початкового стану $X_0 = j_0$, яке відповідає розподілу $\pi(0)$;

1) Встановити $n = 0$;

2) Обрати $Y_n = o_k$, яке відповідає розподілу ймовірностей появи символів в стані j_n - $b_{j_n}(k)$;

3) Перевести до нового стану $X_{n+1} = j_{n+1}$, яке відповідає розподілу ймовірностей переходу до цього стану - $a_{(j_n|j_{n+1})}$;

4) Збільшити n на одиницю та повернутися до шагу 3, якщо $n \leq N$, або перервати роботу алгоритма в протилежному випадку.

Приведена вище процедура може з одного боку використовуватися, як генератор вибірки, так і як модель для генерації даної послідовності відповідною ПММ.

Безумовний розподіл для будь-якого Y_n задається попереднім визначенням ПММ:

$$P(Y_n = o_k) = \sum_j^J P(Y_n = o_k \mid X_n = j) \bullet \pi_j(n)$$

Припустимо, що усі рядки матриці A ідентичні, тобто

$a_{(i|j)} = w_j$ для $j = 1,2, \dots, J$, для усіх i .

Тоді $\pi(n) = (w_1, w_2, \dots, w_j)$ для всіх $n \geq 1$ та для будь-яких $\pi(0)$, де, нагадаємо, $\pi(n) = \pi(0) \cdot A^n$. Інше кажучи для $n \geq 1$

$$P(Y_n = o_k) = \sum_j^J P(Y_n = o_k \mid X_n = j) \bullet w_j$$

де $P(Y_n = o_k | X_n = j)$ не залежить від n . Припущення про ідентичність рядків A означає, що X_n - незалежні випадкові величини та припущення умовної

незалежності – це припущення про попарну незалежність для (X_n, Y_n). Але це ніщо інше, як родина моделей розподілу скінченної суміші [1].

Безсумнівно коли настанова завершена деяким початковим розподілом $\pi(0)$, ми визначили приховану Марковську модель. ПММ має матрицю ймовірностей розповсюдження:

$$B = \begin{pmatrix} 1-\varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 1-\varepsilon \end{pmatrix}$$

Стандартні приховані Марковські моделі можна розглядати, як граф наведений на рисунку в рис. 1. Цей вид графів відомий під назвою діаграми впливу або мережі довіри (див. у Сміта [10]). Кожний вузол у графу зображає випадкову величину, яка опису є стан X_n або результат спостережень Y_n в деякий момент часу n. На рис. 1 ребра (стрілка) зображує напрям впливу. Граф зображує модель припущень. Умова Марковості означає, що якщо нам відомо який стан i був відвіданий у момент часу n, то ніяка друга інформація з минулого не важлива для майбутнього. На рисунку X_n відокремлює попередню змінну від майбутньої: видаленням X_n з графу, змінні $X_m (m > n)$ стануть від'єднаними від змінних

$$X_k (k < n)$$

В термінах діаграм впливу можна легко осягнути та працювати не тільки у межах стандартних прихованих Марковських моделей. Приклади нестандартних моделей подані на рис. 2, де зображена авторегресійна ПММ, зчепленої ПММ на рис. 3 та факторної ПММ. Ключем для розуміння зображеного повинні стати круги, які мають у собі стани прихованого ланцюжку, та трикутники з виданими на відповідні моменти часу символами. Детальний розгляд факторних ПММ, поданих на рис. 4, дається у Грахрамані та Джордана [3]. Бойз розглядав у своїй роботі [4] застосування авторегресійних ПММ в аналізі біологічних послідовностей.

 ISSN 1562-9945

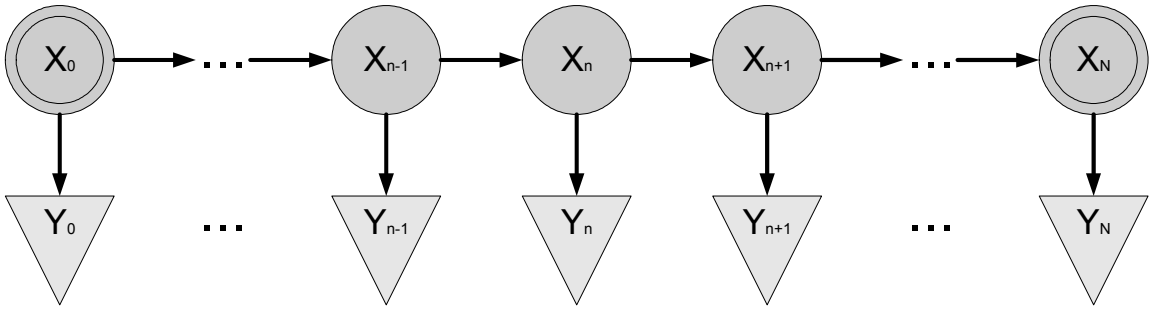


Рисунок 1 - Діаграма впливу: стандартна ПММ

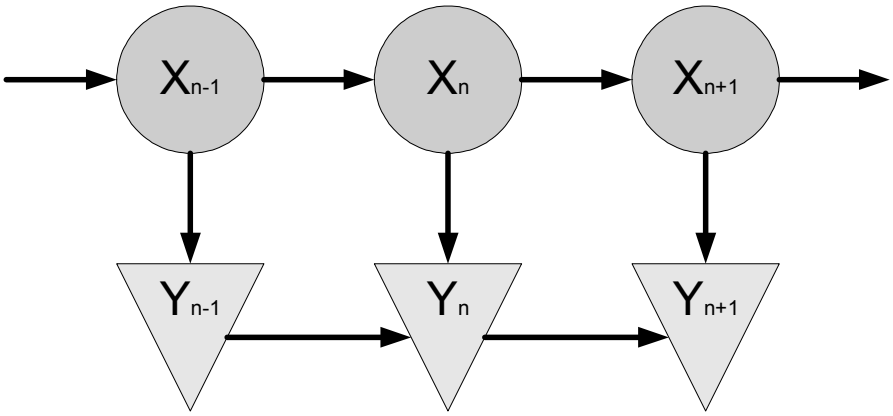


Рисунок 2 - Діаграма впливу: авторегресійна ПММ

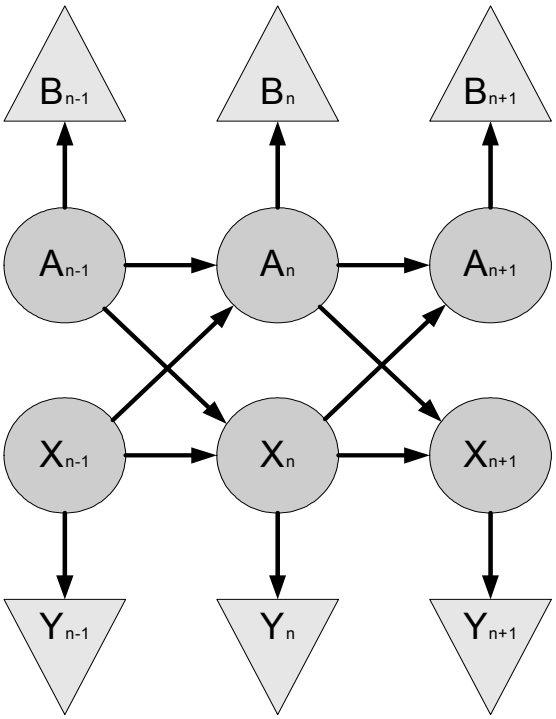


Рисунок 3 - Діаграма впливу: спарена ПММ

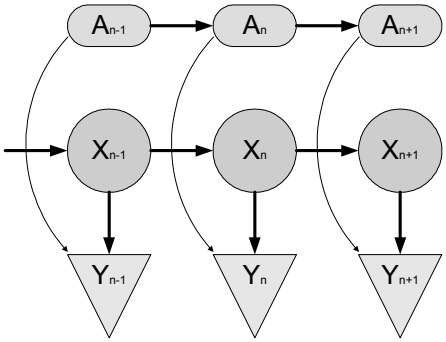


Рисунок 4 - Діаграма впливу: факторна ПММ

Для згаданої вище родини стандартних прихованих Марковських моделей існує три основні проблеми, вирішення яких необхідно для використання ПММ для аналізу лінгвістичних послідовностей.

1. Оцінка, або проблема кількісного показника.

В першу чергу до цієї проблеми має відношення обчислювальна ефективність. Без складних обмежень є можливим просте оцінювання

$$P(Y_0 = o_0, ..., Y_n = o_n; \lambda)$$

Так саме, як це робилося з ймовірністю вище. Оскільки підсумок залучає J^{n+1} можливих послідовностей, загальні обчислювальні вимоги – порядок операцій. А звідси першою проблемою для ПММ є перебороти експонентний ріст. Рішення відоме, як процедура „туди-сюди”.

2. Проблема декодування.

Найчастіше нас цікавить найбільш ймовірний починаючий стан, який веде до досліджуваної послідовності. В термінах ПММ ця проблема отримала назву проблеми вирівнювання. Існує дійсно декілька шляхів для визначення критерія декодування. Пошук послідовності $j_0 \dots j_n$, яка максимізує

$$P(X_0 = j_0, ...X_n = j_n, Y_0 = o_0, ..., Y_n = o_n; \lambda)$$

для фіксованої досліджуваної послідовності $o_0 \dots o_n$ - це практично найбільш часто використаний критерій, оскільки може бути здійснений алгоритмом Вітербі.

3. Оцінка результату або проблема навчання.

Оцінка результату для заданої досліджуваної послідовності $o = o_0 \dots o_n$ має в свої основі пошук моделі:

 ISSN 1562-9945

$$\lambda = (A, B, \pi(0))$$

яка визначає найбільш ймовірну модель для породження заданої послідовності $o_0 \dots o_n$, що також отримала назву тренувальної послідовності.

Умову для обчислювання оцінки та навчання в стандартних та нестандартних ПММ сформулював Люк [8].

Сміт та інші [9] ввели загальну структуру графічних моделей для ймовірнісних незалежних мереж, завдяки яким можна вивести чисельні алгоритми для кількісної оцінки та проблеми вирівнювання в інший спосіб, ніж це було представлено в цьому тексті. Технологія ймовірнісних незалежних мереж може також використовуватися при вирішенні цих проблем для ряду нестандартних ПММ.

Висновки

На сьогодні приховані Марковські моделі є одним з найпоширеніших математичних апаратів, що використовується для багатьох класифікаторів та моделювання різноманітних проблем. В останні роки ПММ використовуються для розпізнавання жестів [11]. Зрозуміло, що дана стаття не дає повний перелік проблем, що стоять перед розробниками інтелектуальних систем із застосуванням ПММ, але є певним кроком на шляху до інтеграції сучасних методів вирішення складних задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Timo Koski. Hidden Markov Models for Bioinformatics. – Dordrecht: Kluwer Academic Publicher, 2001. – 392 p.

2. S.E.Levinson, L.R.Rabiner and M.M.Sondhi An Introduction to the Applications of Theory of Probabilistic Functions of a Markov Chain to Automatic Speech Recognition. – The Bell System Technical Journal, 1983, 62, pp.1053-1074.

3. Z.Grahramani and M.Jordan. Factorial hidden Markov models. – Machine Learning, 1997, 29, pp.245-273.

4. R.J.Boys, D.Henderson and D.J.Wilkinson. Detecting homogeneous segments in DNA sequences using hidden Markov models. Applied Stistacs, 2000, 49, Part 2, pp.269-285.

5. Y.Ephraim, A.Dembo and L.R.Rabiner. Minimum Discrimination Information Approach for Hidden Markov Modelling. – IEEE Trans. jn Information Theory, 1989, 35, pp.1000-1013.

6. P.Baldi and Y.Chauvin. Smooth On-Line Learning Algorithms for Hidden Markov Models. – Neural Computation, 2000, 6, pp. 307-318.

7. B.H. Juang and L.R. Rabiner. The segmental K-means Algorithm for Estimating Parameters of Hidden Markov Models. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1990, 38, pp. 1639-1641.

8. H. Lucke. Which Stochastic Models Allow Baum-Welch Training? - IEEE Trans¬actions on Signal Processing, 1996, 44, pp. 2746—2756.

9. P. Smyth, D. Heckerman and M.L. Jordan. Probabilistic Independence Networks for hidden Markov probability models. Neural Computation,1997, 9, pp. 227—269.

10. J.Q.Smith. Influence diagramsfor statistical modelling. Annals of Statistics, 1989, 17, pp.654-672.

11. Y. Shen, E. Muth, and A. Hoover Senior Member The Impact of Quantity of Training Data on Recognition of Eating Gestures / Preprint arXiv:1812.04513v1 [cs.LG] 11 Dec 2018

12. Баклан І.В., Степанкова Г.А. Класифікація моделей марковського типу: наукова монографія . - К.: НАУ, 2012. – 84 с.

13. Baklan I., Komada P. Hybrid hidden Markov models // Elektronika (LIV). - No 8/2013. – P.28-31.

 ISSN 1562-9945

УДК 622.28.044:622.831

Г.І. Ларіонов, М.Г. Ларіонов

ПРО ОДИН МЕТОД НАБЛИЖЕНОГО ВІДТВОРЕННЯ ФУНКЦІЇ У ОКОЛІ ТОЧКИ ІЗ ОБЛАСТІ ВИЗНАЧЕННЯ У АНАЛІТИЧНОМУ ВИГЛЯДІ

Аннотация. В работе рассмотрено применение точечной оценки результатов полученных численными методами. Результат точечной оценки представляет собой аналитическое выражение в виде произведения независимых функций одной переменной. Выражение применяется для анализа поведения функции в окрестности, выбранной для исследования точки. В качестве модельных для демонстрации предложенного метода рассмотрены задачи о приближенном представлении ряда элементарных функций с оценкой его погрешностей. Даны рекомендации по его применению.

Результати проведення експериментів з виявлення тих чи інших властивостей машин, механізмів, приладів, тощо найчастіше являють собою масиви чисельних даних.

Як правило, за результатами таких робіт проводили побудову математичної моделі, яка давала можливість узагальнити процес її вивчення. У якості таких моделей для опису функції якості (потужність у двигуна, швидкість обертання валу, потужність вихідного сигналу електронного приладу, кількість сірки у розплаві металу тощо), обирають або адитивну або мультиплікативну моделі від функцій незалежних змінних параметрів процесу, які представляли собою апроксимації числових даних експерименту. Мультиплікативні моделі отримали широке застосування при обробці даних експерименту або моделювання. Проте не до кінця з'ясованим залишилась проблема вибору коефіцієнту апроксимації, або мультиплікатора, який передував добутку функцій. Цей мультиплікатор називають ще коефіцієнтом «незнання», а від його вибору залежать і оцінки отриманих даних. Більш детальне вивчення процесів проведення

© Ларіонов Г.І., Ларіонов М.Г., 2019

фізичних експериментів показав, що у значній більшості алгоритм дослідження складався з послідовності наступних кроків:

1. Обирають опорну точку $X_0 = \left(x_1^0, x_2^0, .x_n^0\right) \in \overline{D}$, причому обирають, як правило, центроїд області визначення;

2. Проводять по шагову зміну одного із параметрів, причому всі інші залишаються фіксованими;

3. Обирають наступний параметр, фіксуючи всі інші, включаючи попередній;

4. Отримують форму представлення функції якості у вигляді, наприклад, добутку;

5. Обирають алгоритм вибору мультиплікатора, тобто коефіцієнта апроксимації.

Мультиплікатор почали обирати як функцію параметрів із області визначення. Виявилось, що попри високу точність та значні затрати на проведення експерименту, функція якості процесу має задовільну точність лише у околі опорної точки. Спроби визначення функції якості в інших точках позитивного результату не давали, не дивлячись на використання різних алгоритмів вибору мультиплікатора. З точки здорового глузду стає зрозуміло, що експеримент проведений у точці просто не може задовольняти точності визначення функції якості у інших точках і повинен бути не функцією координат, а числом для кожної точки із області визначення. Правило, за яким його можна знайти, буде наведено нижче.

З іншого боку, будь-який процес дослідження, який проводиться з допомогою експериментів, імітаційних або математичних моделей (ММ) і може бути представлений у вигляді «чорної скриньки» (рис. 1).

Рисунок 1 - Модель у вигляді чорної скриньки

 ISSN 1562-9945

Де $X(x_1\ x_2,\ldots x_n)$ параметри керування або змінні моделі: $\boldsymbol{Y}$ результуючий фактор або функція $Y = Y(x_1, x_2, \ldots x_n)$ якості процесу форму якої необхідно відтворити за даними отриманими після комп'ютерної обробки. Модель може бути представлена як фізичними приладами, системами диференціальних рівнянь, математичними формулами та обчислювальними програмами або Пакетами Прикладних Програм (ППП) які її реалізують.

Результати досліджень з допомогою ММ, як правило, представляють собою матриці чисел або таблиці числових даних. Відтворення функцій здійснюється з використанням їх значень на сітці параметрів. Чим дрібніша сітка, чим точніше можна апроксимувати функцію. Для складних задач отримання значень функцій на сітці параметрів потребує значних витрат машинного часу, що робить проблему відтворення функцій практично неможливою.

Виникла ідея використання методики отримання ММ за спрощеною процедурою, як це роблять при проведенні експериментальних робіт до узагальненої моделі (рис. 1). За цим підходом отримання ММ здійснюється не на сітці параметрів, а в певній точці області їх визначення. Запропонований автором алгоритм [1] дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати на відтворення функції якості, але лише у околі певної точки. Так, замість обчислення значень функції на сітці параметрів, вони обраховуються лише на координатних лініях, чим істотно зменшують кількість обчислень результативної функції (рис. 2).

Метод послідовної апроксимації (МПА) дозволяє представляти функцію в аналітичному вигляді (у вигляді добутку функцій кожна з яких залежить від однієї змінної) коли існують у табличній формі значення її на лініях утворених перетином функціональної поверхні координатними площинами, що проходять через обрану точку із області визначення (рис. 2).

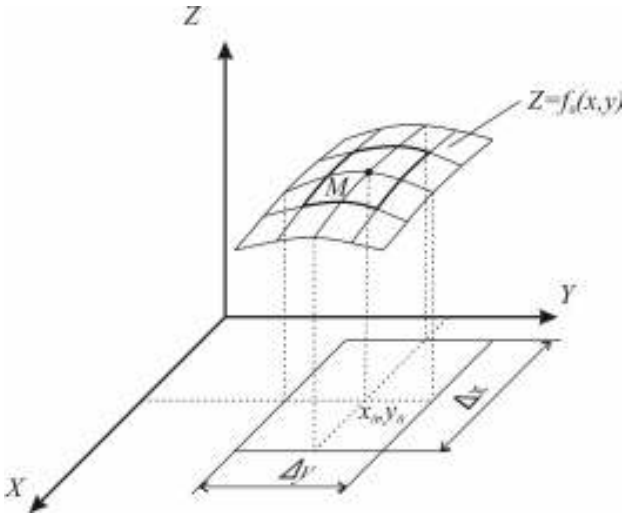


Рисунок 2 - Функція моделі

Досвід успішного використання МПА в задачах геотехнічної механіки [2,3] такого представлення показує, що рішення практичних задач може бути розширено на всю область визначення функції, не дивлячись на той факт, що похибки такого представлення зростають при наближенні до її границі та вони не перевищують величину 5-7%. Так виявилось що така точність є задовільною для інженерних розрахунків в галузі геотехнічної механіки, оскільки вихідні дані для цього визначаються з такою ж точністю..

Ця обставина надихнула автора сформулювати теорему про існування такого представлення для більш ширшого кола задач.

Теорема:

Нехай існує $F(X)=F(x_1,x_2...x_n)$ яка є визначеною і неперервною у замкнутій області $\overline{D}$. Тоді у околі точки $X_0=(x_1^0,x_2^0,..x_n^0)\in\overline{D}$ функція $F(X)$ може бути наближено представлена у вигляді:

$$F(X)\approx\varphi(x_1,...,x_n)=\alpha_n\prod_{i=1}^{n}g_i(x_i)$$

де $g_i(x_i)$ - функції апроксимації для $f_1,f_2,...,f_n$ які задані у табличній формі, а α_n – коефіцієнт апроксимації, визначається у відповідності до формули:

 ISSN 1562-9945

$$\alpha_n = \frac{F\left(x_1^{\ 0}, x_2^{\ 0}, x_3^{\ 0}, \ldots x_n^{\ 0}\right)}{g_1\left(x_1^{\ 0}\right) g_2\left(x_2^{\ 0}\right) \ldots g_n\left(x_n^{\ 0}\right)}.$$

Зазначені функції визначаються наступним чином: $f_1(x_1) = F\left(x_1, x_1^0, \ldots x_n^0\right)$, $f_2(x_2) = F\left(x_1^0, x_2, \ldots x_n^0\right)$. $f_n(x_n) = F\left(x_1^0, x_2^0, \ldots x_n\right)$.

Як засвідчує досвід використання вказаного підходу наближене представлення функції $F(X) = F(x_1, x_2 \ldots x_n)$ у околі точки $X_0 = \left(x_1^0, x_2^0, x_n^0\right) \in \overline{D}$ має достатню для інженерних розрахунків точність на всій області визначення $\overline{D}$.

Алгоритм МПА може бути представлений послідовністю наступних кроків:

Крок 1.Обираємо точку із області визначення функції $M = M\left(x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0\right), M \in \overline{D}$;

Крок 2.створюємо функцію $f_1(x_1) = F\left(x_1, x_2^0, \ldots, x_n^0\right)$;

Крок 3.знаходимо вид функції $g_1(x_1)$, яка є апроксимацією для функції $f_1(x_1)$;

Крок 4.Знаходимо $\varphi_1(x_1)$ у відповідності до (1): $\varphi_1(x_1) = \alpha_1 g_1(x_1)$, де α_1 – коефіцієнт апроксимації;

Крок 5.Визначаємо функцію у околі точки М з рівності $F(x_1) \approx \varphi_1(x_1)$.

Повторюємо кроки 2-5 послідовно для змінних $x_j \left(j = \overline{2, n}\right)$ і отримуємо шукане представлення:

$$F(x_1, x_2, x, \ldots, x_n) \approx \varphi(x_1, x_2, x, \ldots, x_n) = \alpha_n g_1(x_1) g_2(x_2) \ldots g_n(x_n),$$

де α_n –коефіцієнт апроксимації визначається як:

$$\alpha_i = \frac{f_i(x_i)}{\prod_{j=1}^{i} g_j\left(x_j^{\ 0}\right)} \text{ та } \alpha_n = \frac{F\left(x_1^{\ 0}, x_2^{\ 0}, x_3^{\ 0}, \ldots x_n^{\ 0}\right)}{g_1\left(x_1^{\ 0}\right) g_2\left(x_2^{\ 0}\right) \ldots g_n\left(x_n^{\ 0}\right)}$$

Звернути увагу:

1. Вібір точки $M = M\left(x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0\right), M \in \overline{D}$ суттєвим чином впливає на вид відтвореної функції. Коли топографія функції невідома пропонується обирати точку в центрі області визначення і координати визначати згідно формул $x_j = (b_j - a_j)/2$, де a_j і b_j являють собою початки та кінці інтервалу зміни параметру x_j відповідно;

Виконання кроку 2 має мету отримання табличної форми функцій f_i. Якщо вихідна функція не визначена в аналітичному виді необхідно виконати обчислення для послідовності значень змінних з певним кроком. Як показав досвід використання МПА вибір величини кроку кожної змінної для обчислення значень функції незначною мірою впливає на точність відтворюваної функції і більше залежить від знань дослідника особливостей фізики процесу, що досліджується.

Треба розуміти, що представлення поверхні шуканої функції відбувається з допомогою узагальненого гіперболічного гіперболоїду і сподіватись на рівномірну поведінку відносної похибки сподіватись не варто.

Також слід зауважити, що проблема вибору класів функцій апроксимації є однією з найважливіших проблем не тільки прикладної математики, а й технічних застосувань. Як свідчать робота [4], коефіцієнт варіації апроксимуючих функцій не може виступати у якості критерію вибору функцій. У якості критерію, який обмежує вибір класу апроксимуючих функцій пропонується обирати розмірність вихідної функції, якщо це можливо. Використання обмежень класу апроксимуючих функцій є вкрай важливим для оцінювання впливу параметрів на результативну функцію.

Широке застосування МПА на практиці показало, що використання класу степеневих функцій є особливо ефективним для проведення оцінювання впливу параметрів на функцію якості. Метод оцінки впливу являє собою відтворення рішення задачі (коли вона побудована у вигляді описаних таблиць чисел) у вигляді добутку степеневих функцій і порівнянні їх показників. Чим більший показник степені, тим сильніший влив параметра на функцію.

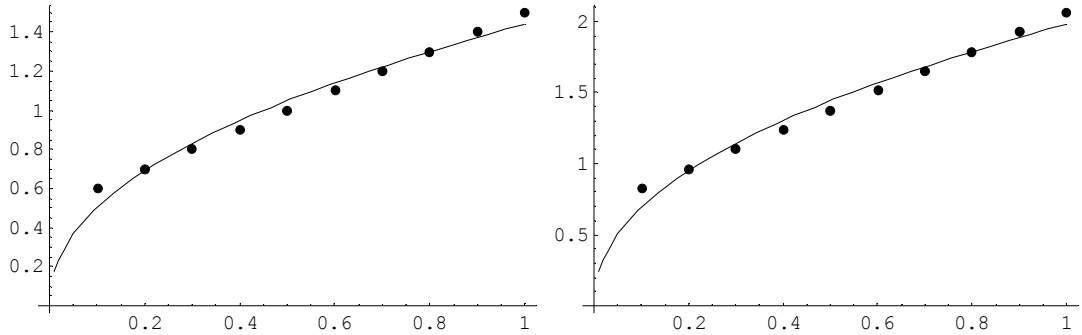
Для демонстрації роботи МПА виконаємо відтворення деяких аналітичних функцій. Коли побудована функція у табличній формі скористаємось МПА для того, щоб отримати відтворену функцію у аналітичній формі. Тоді виконується порівняння функцій та робиться висновок про ефективність методу. Для відтворення функцій оберемо «незручні» функції для представлення їх у вигляді добутку функцій, а саме:

 ISSN 1562-9945

$f(x,y)=x+y; x,y\in(0,1),\quad f(x,y)=Sin(x+y); x,y\in(0,1)\quad M(x_0,y_0)=(0.5,0.5)$

***Задача* № 1.**

Виконаємо апробацію методу МПА для функції, $f(x,y)=x+y; x,y\in(0,1),$. Результати порівняння відтвореної і заданої функцій наведено нижче (рис. 3).



а) б)

Рисунок 3 - Результати побудови функції за зміни *x* та y:

а) функція апроксимації $f(x,y_0)=1.43942x^{0.459}$;.

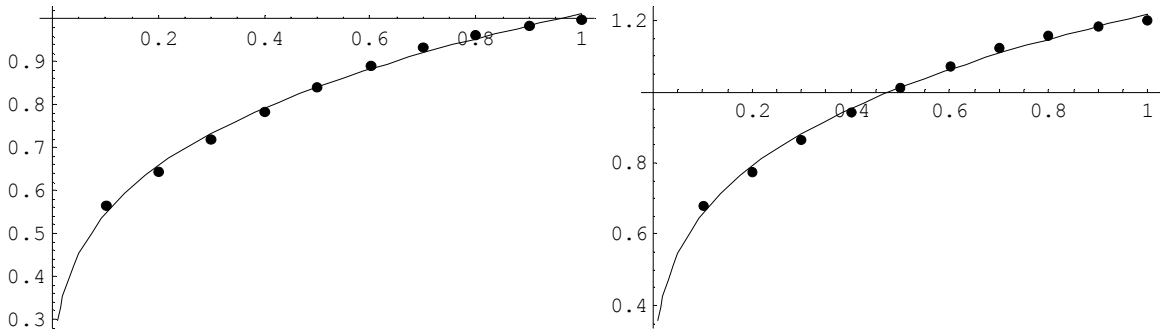
б) функція апроксимації $f(x_0,y)=1.97882y^{0.459}$.

Остаточно, у околі точки $M(X_0)$ отримано відтворену функцію у вигляді формули:

$\tilde{f}(x,y)=1.97882x^{0.459145}y^{0.459145}$.

***Задача* № 2.**

Виконаємо апробацію запропонованого методу для функції,: $f(x,y)=Sin(x+y); x,y\in(0,1)$. Результати порівняння відтвореної і заданої функцій наведено нижче (рис. 4).



а) б)

Рисунок 4 - Результати побудови функції за зміни *x* та y

а) функція апроксимації $f(x,y_0)=1.01187x^{0.267759}$;

б) функція апроксимації $f(x_0,y)=1.21823y^{0.267759}$.

Остаточно в околі точки $M(X_0)$ отримано відтворену функцію у вигляді формули:

$$\tilde{f}(x, y) = 1.21823x^{0.267759} y^{0.267759}.$$

Результати аналізу відносної похибки $err = \frac{f(x, y)}{\tilde{f}(x, y)} 100$ наведено на рис.5.

Слід зауважити, що обрано лінію *x*=*y,* похибка функції на якій є найбільшими.

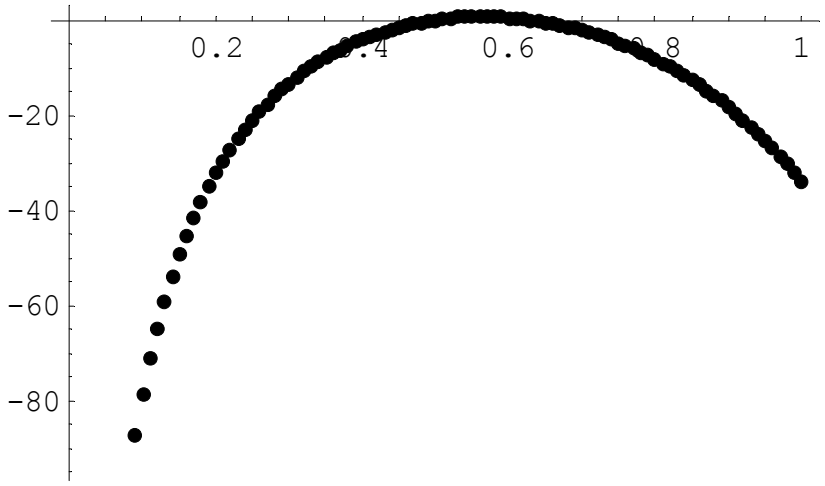


Рисунок 5 - Розподіл відносної похибки значень функції на лінії x=y

Висновки

1.Метод послідовної апроксимації МПА, запропонований для наближеного визначення закономірностей між параметрами системи, підтвердив свою працездатність. Відносні похибки для більшості параметрів не перевищують 7 %, що є підтвердженням працездатності алгоритму, з одного боку, і можливості користування спрощеними формулами для інженерних розрахунків;

2.Представлення функцій добутку степеневими дає змогу швидко виконати оцінку їх впливу на результативну функцію;

3.Задовільні результати можуть бути отримані при вивченні процесів без стрибків і резонансів, проте це вже справа дослідника обирати точку для дослідження.

 ISSN 1562-9945

ЛІТЕРАТУРА

1. Ларіонов Г.І. Оцінювання конструктивних параметрів анкерного кріплення. Дніпропетровськ :Національна металургійна академія України,2011.–286с.

2. G.I. Larionov, N.G. Larionov 2012 *Evaluating of metal-resin anchor parameters influence on the support capacity*. Geotechnical Processes During Underground Mining, Tailor&Francis Group, London, pp.189-194.

3. G.I. Larionov, R. Kirija&D. Braginec 2013*, On parameters influence evaluating method application in some geotechnical tasks*. Mining of Mineral Deposites. Tailor&Francis Group, London: pp.247-255.

4. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментадьным данням / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. – М.: Радио и связь,1987. – 118.

REFERENCES

1. Larionov G.I., 2011 The anchor design parameter evaluating/Dnipropetrovs'k, eds. National metallurgy Academy of Ukraine.–p.286.

2. G.I. Larionov, N.G. Larionov 2012 Evaluating of metal-resin anchor parameters influence on the support capacity. Geotechnical Processes During Underground Mining, Tailor&Francis Group, London, pp.189-194.

3. G.I. Larionov, R. Kirija&D. Braginec 2013, On parameters influence evaluating method application in some geotechnical tasks. Mining of Mineral Deposites. Tailor&Francis Group, London: pp.247-255.

4. Ivahnenko A.G., Urachkovskiy U.P.,1987 Compound system modeling with experiment data.Moscow, eds, Radio and communication– p.118.

UDC 621.391.175

L.D. Chumakov

SELECTION OF STRATEGY OF CONTROL OF GOOD STATE OF TECHNICAL SYSTEM WITH DUPLICATION OF CHANNELS AND VERIFICATION OF THEIR GOOD STATE ON THE BASIS OF GIVEN VALUE OF EFFICIENCY

Annotation. Discusses the issues of determining the duration of the interval between checks of the serviceable state of a technical system with duplication of channels and monitoring the health of each channel according to the criterion of a set value of availability function.

The possibility of approximate estimation, as well as the effect of the degree of approximation of the objective function on the efficiency of the use of the technical system, is investigated.

Modern technical systems contain, as a rule, a large amount of elements that may fail in the process of its operation.

To ensure high efficiency of the use of a technical system throughout the assigned lifetime, it is necessary to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore the up state of the system.

One of the important operational characteristics of the system is the value of the inspection intervals, which is specified in the tactical and technical requirements. The developer needs to justify the implementation of these requirements.

As a rule, the developers solve the optimization problem.

$$K_{af}\left(\overline{\theta^{*}}\right) = \max_{\overline{\theta} \in R} K_{af}\left(\overline{\theta}\right),$$

where $K_{af}(\overline{\theta})$ is the availability factor,

R is the area that defines the set of valid control strategies.

A significant number of publications, those include authors such as E.Yu. Barzilovich, V.F. Voskoboev, M.V. Savenkov, V.A. Kashtanov, V.D. Kudritsky, V.G. Kurasov, L.D. Chumakov et al.

© Chumakov L.D., 2019

 ISSN 1562-9945

Thus, in [1, 2], an expression was obtained for an approximate estimate of the optimal duration of the interval between checks θ^{opt} with an exponential distribution of the uptime:

$$\theta^{opt} \approx \sqrt{\frac{2\tau}{\lambda_w(1+\lambda_{ch}\tau_r)}}, \quad (1)$$

where τ is the test duration,

λ_w - failure rate when waiting,

λ_{ch} - failure rate when checking,

τ_r - replacement time.

In [3], an expression is given for θ^{opt} with the same waiting and checking mode,

$$\theta^{опт} \approx \sqrt{\frac{2\tau}{\lambda}}. \quad (2)$$

However, this direction does not lose relevance, and research continues.

Usually, the curve of dependence of the availability factor values on the value of the inspection intervals in the optimum region has a gentle form and, consequently, the number of checks from the condition that the availability requirements are met can be reduced.

The purpose of the article is to show the solution to the problem of choosing the duration of intervals between checks for this case. A similar problem for a system without redundancy was solved in work [4].

In this article a technical system is considered, which is in a state of readiness to accomplish the task set for it on an interval [T], where T is the assigned lifetime.

At a random moment of time, evenly distributed over the interval, a command may be received to use the technical system. At the same time, there may be a hidden failure according to some set of parameters that determine the efficiency of the system. To eliminate it, checks are performed on the technical system. Different groups of parameters can be monitored continuously, periodically or not monitored over the entire life cycle. The tasks of evaluating the efficiency of operating a technical system with the aggregate repair method are considered in works [5, 6].

In our case, periodic good state monitoring is considered. We assume that the control strategy is determined by the vector of intervals between checks $\bar{\theta}$.

Let's the uptime be distributed according to the exponential law where λ is the channel failure rate. For a system without a reserve, the optimal control strategy is a uniform arrangement of checks [1-3], so in our case one inspection interval can be considered.

The expression for the availability of the system with duplication of channels, assuming that the replacement time is negligible, we write as follows:

$$K_{af}(\theta) = \frac{2\left(1 - e^{-\lambda\theta}\right) - 0{,}5\left(1 - e^{-2\lambda\theta}\right)}{\lambda(\theta + \tau)}. \quad (3)$$

Denote $\mathbf{K}^{s}_{\mathbf{af}}$ the set value of availability factor, and then the selection condition for the quantity θ^{*} is:

$$K_{af}(\theta^{*}) = K^{s}_{af}. \quad (4)$$

An approximate solution of the problem can be searched for by expanding the exponents in a series and taking a different number of expansion terms.

Formula (3) will be as follows: for three members of expansion:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{\lambda^2\theta^3}{3}}{\theta + \tau}; \quad (5)$$

for four members of expansion:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{\lambda^2\theta^3}{3} + \frac{\lambda^3\theta^4}{4}}{\theta + \tau}; \quad (6)$$

for five members of expansion:

$$K_{af}(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{\lambda^2\theta^3}{3} + \frac{\lambda^3\theta^4}{4} - \frac{2\lambda^4\theta^5}{15}}{\theta + \tau}. \quad (7)$$

Let's the channel of system consist of one computer with a failure rate of λ = 0.8649 1/Y. The recovery time of the system is τ = 0.0044 Y. [4]. With an optimal control strategy, $\mathbf{K}_{\mathbf{af}}(\theta^{\text{opt}})$ = 0.9176. If it is required to ensure $\mathbf{K}^{s}_{\mathbf{af}}$ = 0.95, then in this case it is necessary to apply channel redundancy, for example, duplication.

 ISSN 1562-9945

We investigate the dependence of the system efficiency on the control strategy. The graphs of the dependence of the system availability factor on the number of checks on the assigned lifetime, built on the basis of the formulas (3, 5-7) are shown in figure.

We write expressions for equations, from which it is possible to calculate the value of the interval between checks.

Using expression (5), we obtain the following equation:

$$\lambda^2\theta^3 - 3\left(1 - K_{af}^{g}\right)\theta + 3K_{af}^{g}\tau = 0. \quad (8)$$

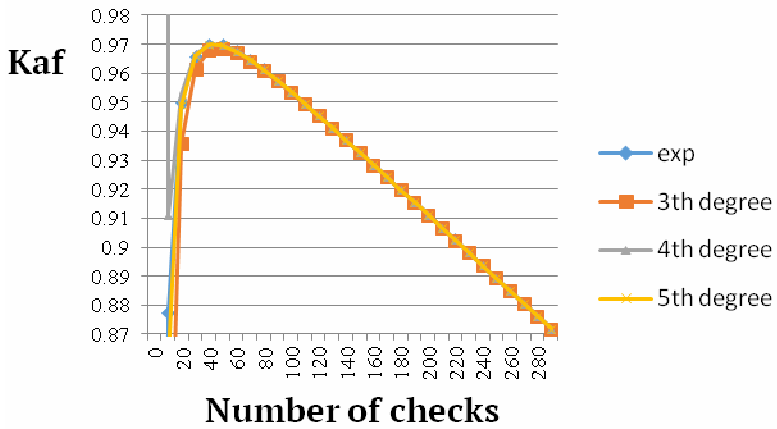


Figure 1 - Dependence of availability factor on the number of checks

For the expression (6), then the equation will have the following form:

$$3\lambda^3\theta^4 - 4\lambda^2\theta^3 + 12\left(1 - K_{af}^{g}\right)\theta - 12K_{af}^{g}\tau = 0. \quad (9)$$

For the expression (7), we obtain the equation of the 5th degree:

$$3\lambda^4\theta^5 - 15\lambda^3\theta^4 + 20\lambda^2\theta^3 - 60\left(1 - K_{af}^{g}\right)\theta + 60K_{af}^{g}\tau = 0. \quad (10)$$

The solution of such equations causes certain difficulties; however, algorithms have been developed that allow finding their solutions [7]. The best approximate solutions are obtained by using the expression (10).

The values of the required and optimal intervals between the checks for our example are given in the table 1.

Table 1

Values of inspection intervals and availability factors

The equation	θ^{*} Y.	θ^{opt} Y.	$K_{af}(\theta^{*})$	$K_{af}(\theta^{opt})$	θ^{*}/θ^{opt}
Exponents	0,47	0,219	0,95	0,9701	2,1
3rd degree	0,4	0,203	0,9497	0,9687	1,97
4th grade	0,5	0,222	0,9495	0,9702	2,25
5th degree	0,47	0,219	0,9492	0,9701	2,1

Thus, the refusal to assign the optimum values of inspection intervals and the use of intervals that ensure a given level of readiness can reduce the number of checks and reduce the cost of operation several times.

Conclusions

Studies have been carried out to determine the interval between checks of the technical system serviceability with duplication from the condition of meeting the requirements for its effectiveness.

It is shown that this approach can significantly reduce the number of checks compared with the optimal strategy and provide an economic effect.

REFERENCES

1. Чумаков Л.Д. Оценка периодичности проверок ракетного комплекса, находящегося на боевом дежурстве, при проектировании // Тр. СВВКУ, Саратов, СВВКУ, 1969, С.31-32.

2. Барзилович Е.Ю. Оптимизация периодичности контроля систем, недоступных непрерывным проверкам // Автоматика и телемеханика – 1969. - №8. – С.175-177.

3. Чумаков Л.Д. Оптимизация стратегии контроля исправности хранящейся системы // Сб. "Надежность сложных технических систем". – К. : Наук. думка, 1974 – С.36-43.

4. Чумаков Л.Д. Выбор стратегии контроля исправности технической системы на основе заданной эффективности // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(118). – Днепропетровск, 2018. – С.179-183.

5. Чумаков Л.Д. Коэффициент готовности, стоимость эксплуатации технического устройства при комбинированном контроле и различной интен-

сивности восстановления его работоспособности // Сб. "Прочность и надежность технических устройств". – К. : Наук. думка, 1981 – С.162-171.

6. Переверзев Е.С., Чумаков Л.Д. Параметрические модели отказов и методы оценки надежности технических систем / отв. ред. В.С. Будник. - АН УССР. Институт технической механики. – К.: Наук. думка, 1989–184 с.

7. Вычисление корней полинома [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://planetcalc.ru/7765/, свободный – Загл. с экрана.

REFERENCES

1. Chumakov L.D. Otsenka periodichnosti proverok raketnogo kompleksa, nahodyaschegosya na boevom dezhurstve, pri proektirovanii // Tr. SVVKU, Saratov, SVVKU, 1969, S.31-32.

2. Chumakov L.D. Optimizatsiya strategii kontrolya ispravnosti hranyascheysya sistemyi // Sb. "Nadezhnost slozhnyih tehnicheskih sistem". – K. : Nauk. dumka, 1974 – S.36-43.

3. Barzilovich E.Yu. Optimizatsiya periodichnosti kontrolya sistem, nedostupnyih nepreryivnyim proverkam // Avtomatika i telemehanika – 1969. #8. – S.175-177.

4. Chumakov L.D. Vyibor strategii kontrolya ispravnosti tehnicheskoy sistemyi na osnove zadannoy effektivnosti // Sistemnyie tehnologii. Regionalnyiy mezhvuzovskiy sbornik nauchnyih rabot. – Vyipusk 5(118). – Dnepropetrovsk, 2018. – S.179-183.

5. Chumakov L.D. Nadezhnost, stoimost ekspluatatsii tehnicheskogo ustroystva pri kombinirovannom kontrole ispravnosti i vozmozhnosti oshibok kontroliruyuschey apparaturyi // Sb. "Prochnost i dolgovechnost konstruktsiy". – K. : Nauk. dumka, 1980 – S.174-183.

6. Chumakov L.D. Koeffitsient gotovnosti, stoimost ekspluatatsii tehnicheskogo ustroystva pri kombinirovannom kontrole i razlichnoy intensivnosti vosstanovleniya ego rabotosposobnosti // Sb. "Prochnost i nadezhnost tehnicheskih ustroystv". – K. : Nauk. dumka, 1981 – S.162-171.

7. Pereverzev E.S., Chumakov L.D. Parametricheskie modeli otkazov i metodyi otsenki nadezhnosti tehnicheskih sistem / otv. red. V.S. Budnik. AN USSR. Institut tehnicheskoy mehaniki. – K. : Nauk. dumka, 1989. – 184 s.

8. Vyichislenie korney polinoma [Elektronnyiy resurs] – Elektron. dan. – Rezhim dostupa: https://planetcalc.ru/7765/, svobodnyiy – Zagl. s ekrana.

УДК 004.087

А.О. Журба

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕСТУВАННЯ СТУДЕНТІВ НА ПРИКЛАДІ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРІЯ АЛГОРИТМІВ»

Анотація. В рамках статті розроблено та програмно реалізовано електронний навчальний посібник на прикладі дисципліни «Теорія алгоритмів» та проведені дослідження стосовно результатів тестування студентів з використанням пакету Statistica.

Ключові слова: електронний навчальний посібник, тестування, час тестування, рівень складності питання, основні описові статистики, діаграма розмаху, діаграма розсіювання, таймер.

Вступ

Сьогодні, в процесі навчання поряд з традиційними друкованими виданнями широко застосовуються електронні навчальні посібники, які використовуються як для дистанційної освіти, так і для самостійної роботи. Раніше до появи електронного посібника було набагато важче працювати з підручниками, так як це займало набагато більше часу. Для перевірки студентів необхідно було скласти тести, перевірити їх знання вручну, так само треба було підготуватися для контролю студентів. Тому виникла необхідність в розробці програми, що дозволяє вивчити лекцію, переглянути відео та пройти тест разом з отриманням оцінки, так само заощадивши час.

Електронний навчальний посібник - це віртуальна система, призначена для автоматизованого навчання, що охоплює повний або частковий обсяг навчальної дисципліни.

Електронні навчальні посібники дозволяють збагатити курс навчання, доповнюючи його різноманітними можливостями комп'ютерних технологій, і роблять його, тим самим, більш цікавим і привабливим для студентів. При грамотному використанні електронний навчальний посібник може стати потужним інструментом у вивченні більшості дисциплін.

© Журба А.О., 2019

Практична цінність електронних посібників полягає в тому, що кожен може скористатися електронним посібником самостійно, без будь-чиєї допомоги, знаходячи відповіді на питання, що цікавлять його питання. Також важливе значення електронних посібників полягає в тому, що розробник посібника може швидко доповнювати та змінювати текстовий або ілюстративний матеріал при виникненні такої необхідності.

Метою цієї роботи є розробка електронного навчального посібника на прикладі дисципліни «Теорія алгоритмів» та проведення досліджень стосовно результатів тестування студентів.

Матеріали та методики дослідження

Для досягнення мети роботи необхідно вирішення наступних завдань:

- вивчити предметну область;
- вивчити особливості електронних навчальних посібників;
- виконати аналіз предметної області, на підставі якого буде підібраний матеріал для електронного навчального посібника;
- вибрати програми і мови створення посібника;
- детально проаналізувати складові компоненти;
- розробити структуру електронного підручника;
- визначити принцип управління підручником;
- визначити зовнішній вигляд навчального посібника;
- створити електронний навчальний посібник;
- провести його тестування і налагодження;
- розробити супровідну документацію.

Навчальний посібник розроблено на мові Object Pascal з використанням середовища програмування Borland Delphi 7. Навчальний посібник передбачено для самонавчання студента і самоконтролю за допомогою тестування.

Розроблена програма надає:

- можливість перегляду курсу лекцій;
- проходження тестів з кожної теми;
- перевірка тестів та виставлення оцінки від 0 до 10;
- таймер, який буде засікати час проходження тестів;

- збереження і друк лекцій;
- друк результатів тестування;
- система допомоги (керівництво користувача і спливаючі підказки).

На рис. 1 наведено структурну схему навчального посібника з теорії алгоритмів. Головне меню програми містить посилання на бібліотеку, літературу, відомості про програмний продукт та передбачає можливість виходу з програми. Меню «Бібліотека» дозволяє перейти до відповідної теми лекції, отримати контрольні питання, завдання для лабораторної роботи з відповідної теми та пройти тестування.

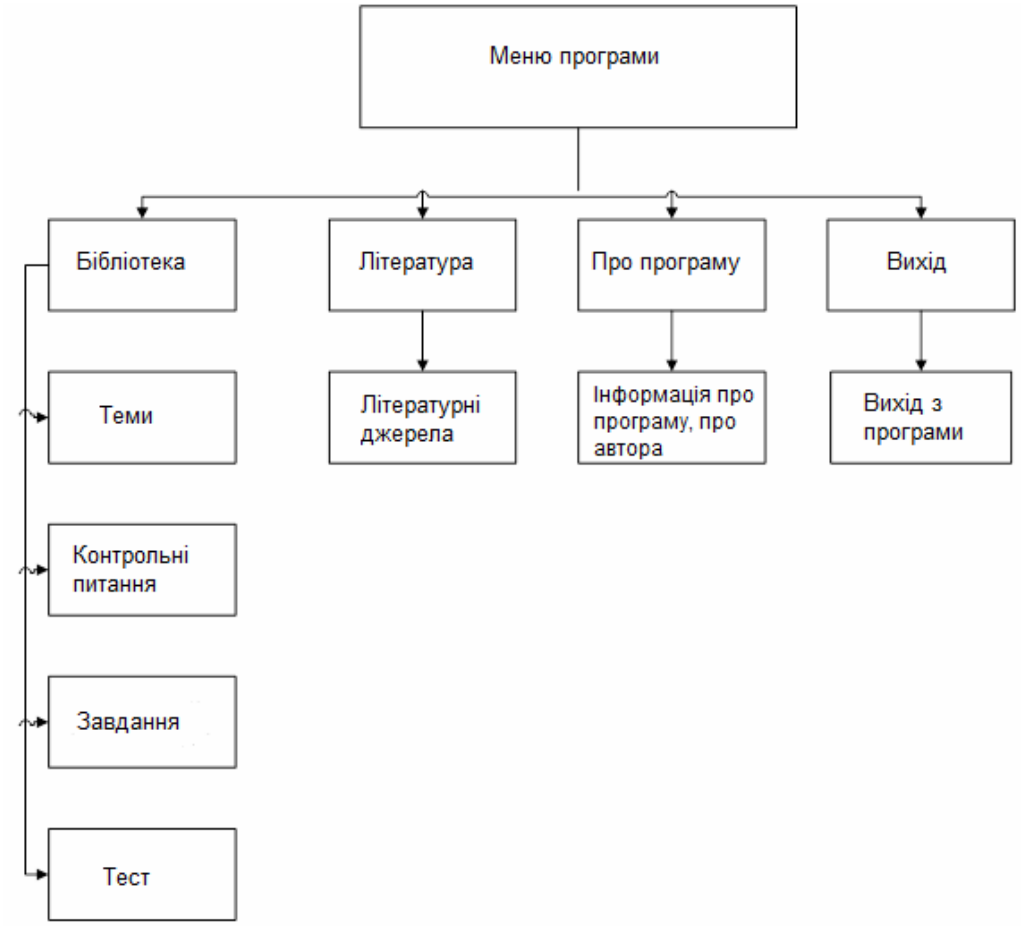


Рисунок 1 - Структура схема навчального посібника з теорії алгоритмів

Навчальний посібник містить:

а) лекційний матеріал, який викладається в 6-ти темах:

- Аналіз часової ефективності алгоритмів;
- Абстрактний тип даних «Зв'язний список»;
- Абстрактний тип даних «Стек» та «Черга»;

 ISSN 1562-9945

- Алгоритми сортування;

- Алгоритми пошуку;

- Алгоритми на графах;

б) тести в трьох варіантах для кожної теми;

в) контрольні питання, за допомогою яких студент може себе перевірити;

г) завдання для лабораторних робіт з кожної теми;

д) список літератури.

Лекційний матеріал по кожній темі представлений у вигляді pdf-файлу, доступного для перегляду. Тести доступні в трьох варіантах по кожній з шести тем. Кожен варіант містить по 10 запитань з трьома варіантами відповідей. Оцінка за тестування проводиться по 10-ти бальною шкалою. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал. За результатами проходження тесту виводиться загальна кількість балів і час, який було витрачено для вирішення кожного питання.

Результат тестування зберігається у вигляді окремого txt-файлу, в якому міститься загальний результат тесту, правильність кожного тесту і час проходження кожного тесту окремо (рис. 2).

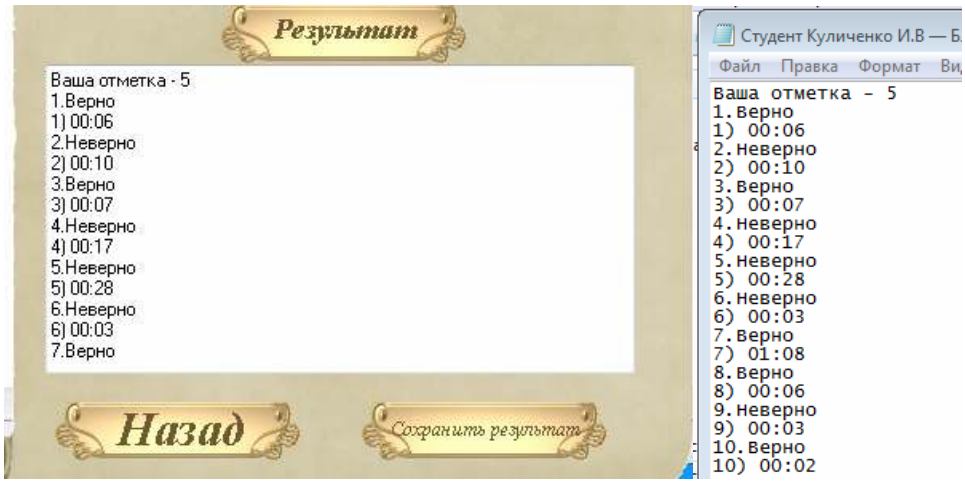


Рисунок 2 - Файл з результатами тестування

Інтерфейс навчального посібника наведено на рис. 3. Головне містить 4 кнопки:

- Бібліотека. Містить весь теоретичний матеріал. Містить матеріал для підготовки до контрольної роботи (контрольні питання). Містить тестові завдання. Містить індивідуальне завдання.

- Література. Містить джерела використаної літератури, а так само літературу по якій можна готуватися до занять.

- Про програму. Містить інформацію про інтерфейс, про творця програми.

- Вихід. Здійснює кінцевий вихід з програми.

У програмі не передбачено ролей адміністратора і гостя, так як це програма призначена для самонавчання та самоконтролю студентів.

Рисунок 3 - Інтерфейс навчального посібника

У програмі було передбачено таймер, який буде засікати час проходження кожного тесту, який було витрачено для вирішення кожного питання. Це необхідно для подальшого дослідження ефективності результатів тестування.

Для розробки таймера було використано компонент Label і компонент Timer. Результат таймера за допомогою компонента Timer виводився в поле Label (рис. 4). Таймер працює за наступним алгоритмом дій: як тільки користувач натискає кнопку “Ответить”, на екрані виводиться результат першого питання, зупиняється таймер першого питання та одразу запускається таймер другого питання.

 ISSN 1562-9945

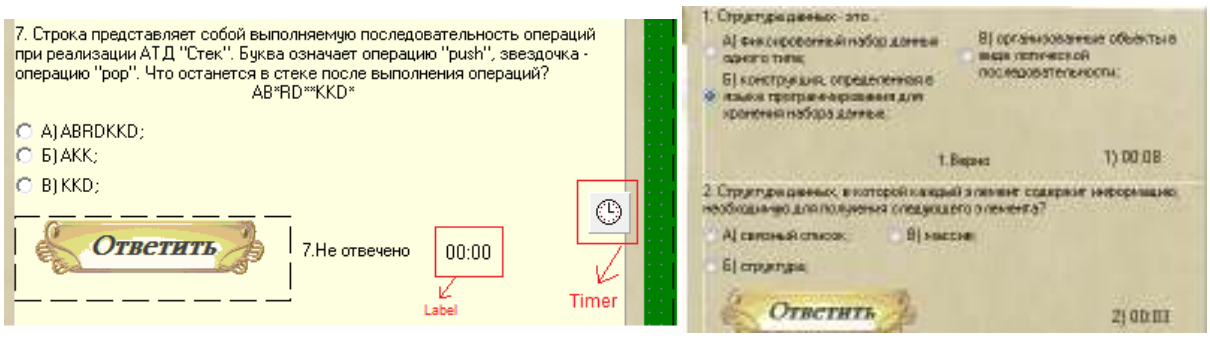


Рисунок 4 - Робота таймеру

Результати досліджень та їх огляд

За допомогою посібника були проведені дослідження, які показали результати проведення тестування з різних тем різними студентами. Результати тестування представлені у таблицях, приклад яких наведено на рис. 5. У таблицях представлений час, який було затрачено студентом на виконання окремих питань. Червоним кольором позначено питання, відповідь на яке була невірною, синім кольором – питання, на які відповіді були вірними.

Студент	Питання									
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
№1	00:37	00:35	00:06	00:15	00:38	00:16	00:10	00:18	00:40	00:16
№2	00:15	00:23	00:29	00:10	00:18	00:41	00:26	00:32	00:14	00:11
№3	00:12	00:19	00:23	00:16	00:21	00:29	00:09	00:15	00:23	00:28
№4	00:13	00:19	00:12	00:23	00:19	00:17	00:28	00:24	00:15	00:31
№5	00:17	00:12	00:20	00:15	00:11	00:07	00:25	00:10	00:39	00:23

Рисунок 5 - Приклад таблиці з результатами тестування по кожному питанню

На рис.6 наведено приклад таблиці, яка містить зведені результати тестування студентів: загальний час проходження тесту з 10 питань та їх оцінки. Загалом отримано та представлено 60 результатів тестувань. Вважається, що кожне питання у тестах та варіанти тестів загалом мають однакові ступені складності.

Студент	Тема	Тест	Час	Результат
№1	№1	Варіант №1	231сек	5
№2	№1	Варіант №1	219сек	8
№3	№1	Варіант №1	195сек	5
№4	№1	Варіант №2	201сек	9
№5	№1	Варіант №3	179сек	8
№6	№1	Варіант №2	143сек	9
№7	№1	Варіант №1	190сек	7
№8	№1	Варіант №3	176сек	10
№9	№1	Варіант №2	194сек	8

Рисунок 6 - Приклад таблиці з результатами тестування студентів по кожному варіанту

За допомогою програмного продукту Statistica були проведені дослідження результатів тестування 60 студентів. За допомогою даного програмного продукту було обчислено найпростіші описові статистики [1, 2].

Так як значення змінних не постійні, потрібно описувати їх мінливість. Для цього існують описові і дескрітивні статистики: мінімум, максимум, середнє, дисперсія, стандартне відхилення, медіана, квартилі, мода і т.д. Ідея цих статистик проста: замість того, щоб розглядати всі значення змінної, спочатку варто подивитися описові статистики. Вони дають загальне уявлення про значення, які приймає змінна.

У табл. 1 наведено результат описової статистики з розширеним набором статистичних характеристик, що були розраховані, для результатів тестування студентів: час тестування та оцінка з тестування.

Середнє арифметичне - найбільш часто використовується середнє, оскільки в розрахунок тут приймаються всі без винятку значення. Визначається як сума спостережень, поділена на їх кількість. Середнє значення випадкової величини являє собою найбільш типове, найбільш ймовірне її значення, своєрідний "центр", навколо якого розкидані всі значення ознаки.

Медіана - таке значення випадкової величини, яке розділяє всі спостереження вибірки на дві рівні за чисельністю частини. Медіана - це

 ISSN 1562-9945

величина, яка перебуває посередині набору даних, коли в ньому всі спостереження впорядковані за зростанням; якщо число спостережень парне, то є два серединних значення, і медіана дорівнює їх напівсумі.

Таблиця 1

Описові статистики змінних «Загальний час» та «Результат тестування»

Змінна «Загальний час»	Змінна «Результат тестування»
Обсяг вибірки 60 Час витрачений на виконання тестів коливається від 143 до 505 секунд. Середній час проходження тесту 276 секунд. Медіана 247.5 секунд Стандартне відхилення 88 секунд Дисперсія 7772. Розмах - 362 секунди. Нижня квартиль - 216 секунд Верхня квартиль 321 секунда Інтерквартильна широта - 105 секунд Асиметрія 0.87> 0 - правобічна асиметрія Стандартна помилка асиметрії 0,308694 Ексцес 0,014> 0 - крива характеризується гострою вершиною Стандартна помилка ексцесу 0,608	Обсяг вибірки 60 Результат тестування варіюється від 5 до 10 балів. Середня оцінка 8,8 балів. Медіана 9 балів. Стандартне відхилення 1.25 бала. Дисперсія 1,576. Розмах - балів. Нижня квартиль - 8 балів Верхня квартиль - 10 балів Інтерквартільная широта - 2 бали Асиметрія 1.18 <0 - лівостороння асиметрія Стандартна помилка асиметрії 0,308694 Ексцес 1,3006> 0 - крива характеризується гострою вершиною. Стандартна помилка ексцесу 0,608

Мода є значення, що зустрічається найбільш часто і тому в деяких наборах даних можуть бути дві або більше моди, що мають одну і ту ж частоту.

Квантіль – величина, що задана частина спостерігань менше цієї величини або дорівнює їй.

Стандартне відхилення (середнє квадратичне відхилення) – міра мінливості (варіації ознаки). Воно показує на яку величину у середньому відхиляються спостерігання від середнього значення ознаки.

Дисперсія є мірою мінливості, варіації ознаки і являє собою середній квадрат відхилень спостережень від середнього значення ознаки. На відміну від інших показників варіації дисперсія може бути розкладена на складові частини, що дозволяє тим самим оцінити вплив різних чинників на варіацію ознаки. Дисперсія - один з найістотніших показників, що характеризують явище або процес, один з основних критеріїв можливості створення досить точних моделей.

Стандартна похибка середнього – це величина, на яку відрізняється середнє значення виборки від середнього значення генеральної сукупності.

Мінімум – мінімальне значення змінної.

Максимум – максимальне значення змінної.

Нижня та верхня квартіль – величини Q1 та Q3, при яких одна четверта частина спостерігань менше або дорівнює Q1 і три четвертих спостерігань менше або дорівнюють Q3. Q1 – нижня квартиль, Q3 – верхня квартиль. Різницю між цими величинами називають інтерквартільною широтою.

Розмах – відстань між найбільшим та найменшим значенням змінної.

Асиметрія – характеризує ступінь зсуву варіаційного ряду відносно середнього значення за величиною і напрямом. При симетричній кривій коефіцієнт асиметрії дорівнює нулю. Якщо права частина більше лівої, то коефіцієнт асиметрії більше нуля. Якщо ліва частина більше правої, то коефіцієнт асиметрії менше нуля.

Ексцес - характеризує ступінь концентрації випадків навколо середнього значення і є своєрідною мірою крутизни кривої. При нормальному розподіленні кривої ексцес дорівнює нулю. Якщо ексцес більше нуля, то крива розподілення є гостровершинною. При від'ємному ексцесі крива більш гладка у порівнянні з нормальним розподіленням.

 ISSN 1562-9945

На рис. 7 наведено діаграму розмаху для всіх змінних. Діаграма розмаху для всіх змінних дозволяє оцінити симетричність розподілу змінної. Даний графік складається із трьох компонентів:

1. центральна точка визначає медіану;
2. прямокутник показує квартильний розмах;
3.відрізкі прямокутника відповідають розмаху варіації.

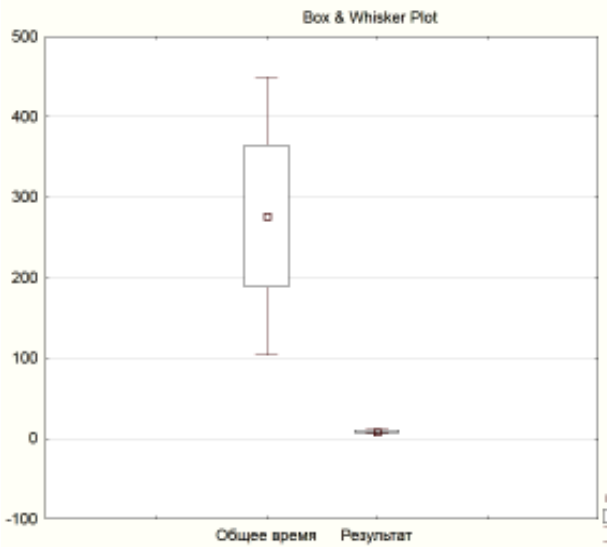


Рисунок 7 - Діаграма розмаху для всіх змінних

На рис. 8 наведено нормальні імовірнісні графіки для змінних “Загальний час” і “Результат”.

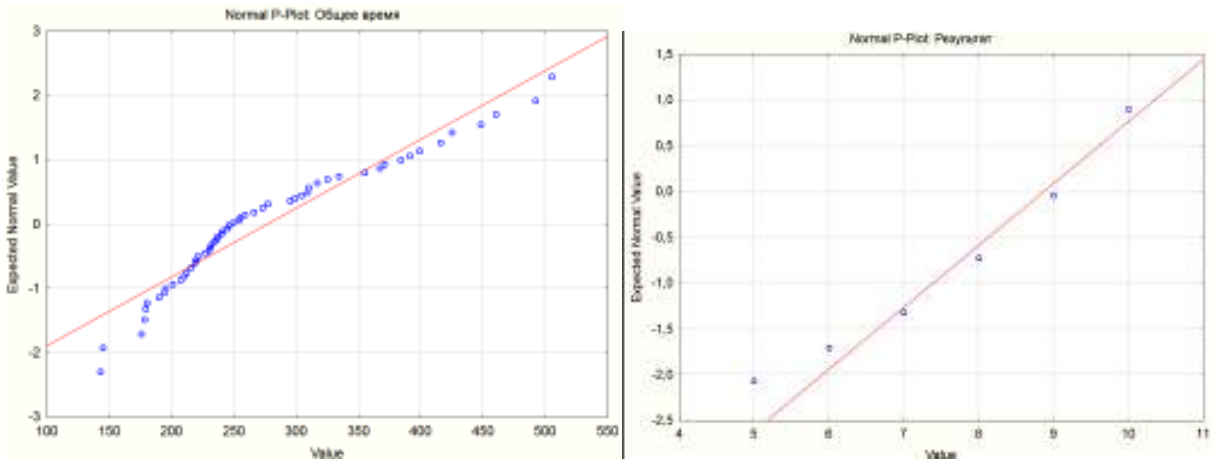


Рисунок 8 - Нормальні імовірнісні графіки для змінних “Загальний час” (ліворуч) та «Результат» (праворуч)

На рис. 9 наведено діаграму розсіювання. На діаграмі розсіювання кожному спостереженню (або елементарної одиниці набору даних) від-

повідає точка, координати якої (в декартовій системі координат) дорівнюють значенням двох якихось параметрів цього спостереження. Якщо передбачається, що один з параметрів залежить від іншого, то зазвичай значення незалежного параметра відкладається по горизонтальній осі, а значення залежного - по вертикальній. Діаграми розсіювання використовуються для демонстрації наявності або відсутності кореляції між двома змінними.

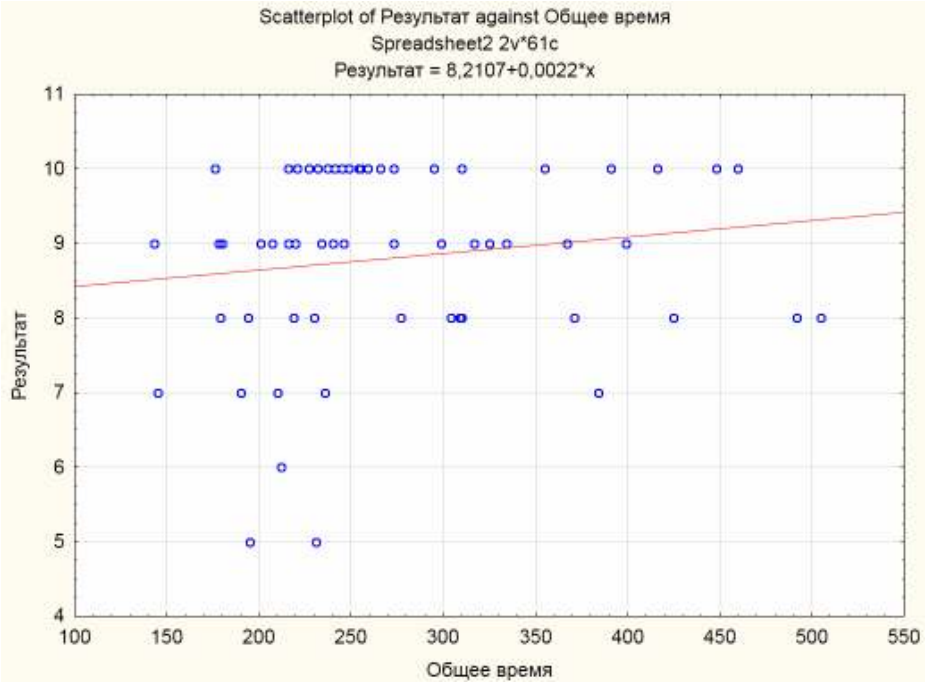


Рисунок 9 - Діаграма розсіювання для змінних «Загальний час» та «Результат»

Висновки

Розроблений навчальний посібник з теорії алгоритмів дозволяє студентам самостійно освоювати лекційний матеріал, виконувати лабораторні роботи та контролювати рівень своїх знань за допомогою тестування. Були проведені дослідження результатів тестування студентів в залежності часу виконання тестів і їх правильності. За допомогою програмного продукту Statistica були проведені дослідження результатів тестування 60 студентів. За допомогою даного програмного продукту було обчислено найпростіші описові статистики.

 ISSN 1562-9945

ЛІТЕРАТУРА

1. Боровиков В.П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.

2. Горицкий Ю.А. Практикум по статистике с пакетом STATISTICA. Учебное пособие по курсу «Математическая статистика» / Ю.А. Горицкий. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 44 с.

REFERENCES

1. Borovykov V.P. Statistica: yskusstvo analyza dannыkh na kompiu-tere / V.P. Borovykov. – SPb.: Pyter, 2001. – 656 s.

2. Horytskyi Yu.A. Praktykum po statystyke s paketom STATISTICA. Uchebnoe posobye po kursu «Matematycheskaia statystyka» / Yu.A. Horytskyi. – M.: Yzd-vo MЭY, 2000. – 44 s.

УДК 004.825

С.С. Ланська

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ В СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

Анотація. В роботі висвітлюються проблеми неперервної освіти. Пропонується вирішення проблеми відбору змісту інтегрованих навчальних планів за допомогою побудови експертної системи. Структурована в експертній системі навчальна інформація дозволяє створювати індивідуальні навчальні плани для кожного студента при скорочених терміни навчання.

Ключові слова: безперервна освіта, експертна система, нечітка логіка.

Вступ

В кожній країні своя специфіка трактування і реалізації поняття «безперервної освіти». Про це свідчить велика кількість термінів, що визначає цей процес [1,2].

Що вкладається в поняття «система неперервної освіти»? У вітчизняній теорії і практиці – це комплекс державних та суспільних освітньо-виховних установ, який забезпечує організаційну і змістову єдність, наступність та взаємозв'язок усіх ланок освіти, що спільно вирішують завдання виховання, загальноосвітньої політехнічної та професійної підготовки кожної людини [1].

На сьогодні існує багато інтегрованих освітніх комплексів, які містять навчальні заклади різних рівнів та реалізують освітні програми підготовки від початкової професійної до вищої освіти.

Постановка задачі

Освітня діяльність вищих навчальних закладів і наукових установ, що провадиться з метою підготовки здобувачів вищої освіти на певних рівнях вищої освіти за певними спеціальностями здійснюється на основі освітньо-професійної програми і базового навчального плану. Освітньо-

© Ланська С.С., 2019

 ISSN 1562-9945

професійна програма містить такі основні засади: обсяг кредитів ЄКТС, необхідний для здобуття відповідного ступеня вищої освіти; перелік компетентностей випускника; нормативний зміст підготовки здобувачів вищої освіти, сформульований у термінах результатів навчання (сукупність знань, умінь, навичок, інших компетентностей); форми атестації здобувачів вищої освіти; вимоги до наявності системи внутрішнього забезпечення якості вищої освіти; вимоги професійних стандартів [2].

На підставі освітньої програми заклади вищої освіти (ЗВО) розробляють навчальний план, який визначає: перелік та обсяг навчальних дисциплін у кредитах ЄКТС; послідовність вивчення дисциплін; форми проведення навчальних занять та їх обсяг; графік навчального процесу; форми поточного і підсумкового контролю. Але навчальні плани ЗВО не погоджуються між собою, навіть на одному освітньому рівні, тому сьогодні в межах однієї спеціальності при переведенні з одного ВНЗ в інший можливе виникнення суттєвої академічної різниці.

Другий аспект цієї проблеми виникає при інтегрованому навчанні, тобто відсутність інтегрованого плану підготовки молодшого бакалавра, бакалавра і магістра за певною спеціальністю. Складання таких інтегрованих навчальних планів відбувається шляхом поєднання фрагментів навчальних планів різних освітньо-професійних програм, що не забезпечує наступності у вивченні навчальних дисциплін, не дозволяє зменшити обсяг навчального матеріалу та усунути його дублювання. Крім того, освітньо-кваліфікаційні характеристики та освітньо-професійні програми підготовки молодших бакалаврів, бакалаврів і магістрів розробляються різними робочими групами МОН України і фактично не узгоджені за змістом, обсягом і послідовністю вивчення навчальних дисциплін. Цей факт створює труднощі у складанні навчальних планів.

Експертна система формування інтегрованих навчальних планів на основі нечіткої логіки

Сьогодні процес складання інтегрованих навчальних планів, заснований на досвіді і інтуїції працівників вищої школи потребує серйозного удосконалення та наукового підґрунтя прийнятих рішень. Процес конструювання індивідуального навчального плану студента або групи

студентів може являти собою педагогічну технологію, орієнтовану на реалізацію інформаційних технологій за допомогою експертної системи. В умовах скорочених строків навчання застосування експертних систем забезпечує можливість побудови індивідуального навчального плану, що підвищує ефективність процесів навчання, викладання і самоосвіти.

Використання експертної системи для узгодження освітніх програм між певними освітніми рівнями та формування переліку питань для перевірки рівня знань по зарахованим дисциплінам або модулям дисциплін представлені в даному дослідженні. Експертна система, представлена на рисунку 1, включає в себе наступні підсистеми: бази знань аналізованих освітніх рівнів; експертний рівень, на якому уточнюється формулювання компетентностей, їх приналежність до того чи іншого модулю та необхідний рівень їх сформованості для випускника; механізму логічного висновку, який забезпечує формування індивідуальних навчальних планів здобувачів в системі «неперервної освіти» та перелік питань для організації вступного фахового випробування.

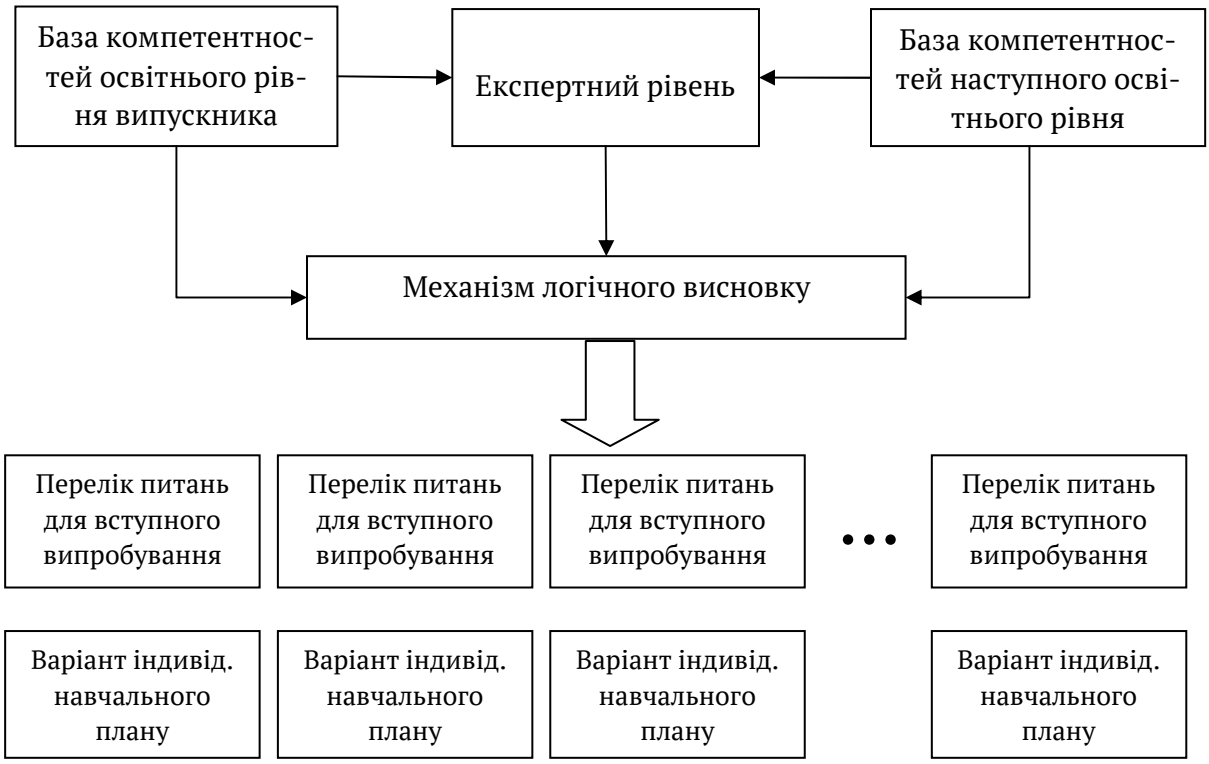


Рисунок 1 – Модель формування індивідуального навчального плану безперервної підготовки фахівців

 ISSN 1562-9945

Експертна система (ЕС) може функціонувати в 2-х режимах:

1. Режим введення знань – в цьому режимі експерт за допомогою редактора бази знань вводить відомості про предметну область в базу знань ЕС.

2. Режим консультації – користувач веде діалог з ЕС, повідомляючи їй відомості про поточне завдання і отримуючи рекомендації ЕС.

При роботі в режимі введення знань експертна система повинна мати такі можливості:

1.Складати бази компетентностей перехідних освітніх рівнів, які формуються на основі освітньо-професійних програм кожного з рівнів.

2. Поставлення у відповідність кожній компетентності однієї або декілька навчальних дисциплін із зазначенням модуля, який "перекриває" дану компетентність.

3. Складати матриці парних порівнянь компетентностей різних освітніх рівнів.

Для роботи в цьому режимі можуть бути залучені науково-педагогічні працівники ВНЗ.

У режимі консультації можна буде використовувати систему при вирішенні наступних завдань:

1. Визначати, згідно матриці порівнянь, перелік питань, з яких можуть складатися фахові вступні випробування на наступному освітньому рівні за обраною спеціальністю.

2. Визначати індивідуальний інтегрований навчальний план здобувача або групи здобувачів з урахуванням компетентностей, які здобувач успішно отримав на попередньому освітньому рівні та у визначеній кількості кредитів ЄКТС.

Для досягнення поставленої мети в експертній системі пропонується використати математичну модель оптимального розподілу кредитів на базі нечіткої логіки.

Постановка задачі полягає в зарахуванні X кредитів на наступному навчальному рівні при складанні індивідуального навчального плану студента або групи студентів. Сутність методики формування таких планів полягає в порівняння пар об’єктів (компетентності різних

освітніх рівнів) експертом. Результатом такого порівняння може бути таблиця, лівий стовбець та верхній рядок якої формують компетентності відповідних освітніх рівнів. На перетині стовпця та рядка експерт визначає ступінь відповідності $\mu_{i,j}$ між компетентностями (значення ступеню розподілені на відрізку [0,1]). Введемо наступні нечіткі значення відповідності показника $\mu_{i,j}$: 0-0,3 – не відповідає; 0,4-0,5 – не визначено; 0,6-0,7 – більш-менш відповідає; 0,8-0,9 – майже відповідає; 1- відповідає.

Таблиця 1

Таблиця порівняння компетентностей

	Освітній рівень наступний (II рівень)					
Освітній рівень попередній (I рівень)	Компетентності	K_1	K_2	K_3		K_n
	K_1	$\mu_{1,1}$	$\mu_{1,2}$	$\mu_{1,3}$	…	$\mu_{1,n}$
	K_2	$\mu_{2,1}$	$\mu_{2,2}$	$\mu_{2,3}$	…	$\mu_{2,n}$
	K_3	$\mu_{3,1}$	$\mu_{3,2}$	$\mu_{3,3}$	…	$\mu_{3,n}$
		…	…	…	…	…
	K_m	$\mu_{m,1}$	$\mu_{m,2}$	$\mu_{m,3}$	…	$\mu_{m,n}$
$\max_j(\mu_{i,j})$		$\max_{i=\overline{1,m};j=1}(\mu_{i,j})$	$\max_{i=\overline{1,m};j=2}(\mu_{i,j})$	$\max_{i=\overline{1,m};j=3}(\mu_{i,j})$	…	$\max_{i=\overline{1,m};j=1}(\mu_{i,j})$
w_j		w_1	w_2	w_3	…	w_n

У матриці $\|\mu_{i,j}\|$, представленій в таблиці 1, індекс i $(i=1,2,...,m)$ – це номер компетентності попереднього освітнього рівня, (умовно позначимо його як I рівень), а j $(j=1,2,...,n)$ – номер компетентності наступного освітнього рівня (II рівень). Знаходимо максимальне значення в кожному стовпці.

Також компетентностям II-го рівня задамо ваговий коефіцієнт $w_j(j=1,2,...,n)$, який буде дорівнюватися значенню кількості відведених на нього кредитів.

 ISSN 1562-9945

Будемо вважати, що відповідність компетентностей освітніх рівнів було встановлено, якщо $\max_j >= 0.8$. Класифікуємо все компетентності II рівня за наступними правилами:

IF (K_j ='ЗК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 1$ THEN K_j = класу 1;

IF (K_j ='ФК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 1$ THEN K_j = класу 2;

IF (K_j ='ЗК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 0.9$ THEN K_j = класу 3;

IF (K_j ='ФК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 0.9$ THEN K_j = класу 4;

IF (K_j ='ЗК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 0.8$ THEN K_j = класу 5;

IF (K_j ='ФК' AND $\max_j(\mu_{i,j}) = 0.8$ THEN K_j = класу 6.

Підсумуємо вагові коефіцієнти компетентностей 1-го класу $\sum_{клас 1} w_j$ та порівняємо зі значенням вхідного показника X, якщо значення X більше, то додамо ще суму вагових коефіцієнтів компетентностей 2-го класу і так далі, доки значення суми не стане рівним або не перевищить показник X. Якщо ж було накопичено суму вагових коефіцієнтів до 6-го класу і $\sum_{клас\, i} w_j < X \quad (i = \overline{1,6})$, це означає, що в даному випадку задача не має рішення, тобто сформувати інтегрований навчальний при таких початкових даних немає можливості. Сформувати індивідуальний план вдасться, якщо на якомусь з етапів підсумовування вагових коефіцієнтів виконається нерівність $\sum_{клас\, i} w_j >= X$, де $(i = \overline{1,t})$, а t – номер етапу. Тоді всі компетентності $K_j \in класу\, i$, де $(i = \overline{1,t})$ будуть перезараховані, а модулі дисциплін, які відповідають цим компетентностям виключені з індивідуального навчального плану.

Висновки

Підводячи підсумок, можна зробити висновок, що використання експертної системи як для моніторингу навчального процесу [4], так і при складанні інтегрованих індивідуальних навчальних планів має ряд переваг. По-перше, з часом система буде розширюватися і накопичувати

відповідності компетентностей як з суміжних спеціальностей, так і з інших галузей знань. По-друге, можна складати робочі навчальні плани напрямів підготовки без повторного залучення експертів з різних предметних областей. По-третє, систему легко можна буде перенавчати відповідно до нових вимог складання інтегрованих планів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теорія і методика професійної освіти: навч. посіб. / З.Н. Курлянд, Т.Ю. Осипова, Р.С. Гурін [та ін.]; за ред. З.Н. Курлянд. - К.: Знання, 2012. - 390 с.

2. ЗаконУкраїни «Про вищу освіту» від 01.07.2014№ 1556-VII (Редакціястаномна 27.07.2017). [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18.

3. Мелихов А.Н., Мелихова О.А. О логическом выводе в интеллектуальных системах на основе нечеткой аналогии // Теория и системы управления. - М, 1995. - №5. - С.112-123.

4. Ланська С.С. Розробка математичної моделі нечіткої системи оцінки якості освіти / С.С.Ланська // Системні технології. Регіональна міжвузівська збірка наукових праць. – Випуск 1(114). – Дніпро, 2018. – С. 179–186.

REFERENCES

1. Teoriia i metodyka profesiinoi osvity: navch. posib. / Z.N. Kurliand, T.Iu. Osypova, P.C. Hurin [ta in.]; za red. Z.N. Kurliand. - K.: Znannia, 2012. - 390 s.

2. ZakonUkrainy «Pro vyshchu osvitu» vid 01.07.2014№ 1556-VII (Redaktsiiastanomna 27.07.2017). [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18.

3 Melihov A.N., Melihova O.A. O logicheskom vyivode v intellektualnyih sistemah na osnove nechetkoy analogii // Teoriya i sistemyi upravleniya. – M. 1995. - #5. - S.112-123.

4. Lanska S.S. Rozrobka matematychnoi modeli nechitkoi systemy otsinky yakosti osvity / S.S.Lanska // Systemni tekhnolohii. Rehionalna mi-zhvuzivska zbirka naukovykh prats. – Vypusk 1(114). – Dnipro, 2018. – S. 179–186.

УДК 519.25

А.П. Сарычев

КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОТОРОЙ ОПИСЫВАЕТСЯ ВЕКТОРНОЙ АВТОРЕГРЕССИЕЙ

Аннотация. Рассмотрена задача классификации состояний динамической системы, которая может находиться в двух классах состояний. Функционирование системы в классах описывается различными системами авторегрессионных уравнений. Построено правило классификации и исследованы его свойства.

Введение

Задача обнаружения изменения свойств динамических систем часто возникает в таких областях, как техническая и медицинская диагностика, контроль технологических процессов, мониторинг, обработка сигналов [1]. Распространённым классом моделей, описывающих функционирование стохастических динамических систем, является класс авторегрессионных моделей. Примерами решения задач обнаружения для этого класса моделей могут служить работы [2]–[5]. Так, в [2] рассмотрена задача обнаружения перехода объекта из одного класса состояний в другой класс, в каждом из которых объект описывается своей одномерной авторегрессионной моделью с известными параметрами. В [3]–[4] подобные задачи рассмотрены для класса векторных авторегрессионных моделей с известными параметрами. В [5] задача обнаружения рассматривается для одномерной авторегрессионной модели совместно с задачей структурно-параметрической идентификации, т. е. поиском наилучшей структуры в заданном классе. Пример успешного решения задачи обнаружения на основе регрессионных уравнений содержится в работе [6], где предложен и обоснован поход к построению математических моделей контроля технического состояния силовых и энергетических установок в длительной эксплуатации, предусматривающий последовательные

© Сарычев А.П., 2019

этапы формирования полиномиальных регрессионных моделей статики (установившихся режимов) и многомерных трендовых моделей эксплуатационной динамики для оценки изменений отклонений параметров объектов от установленных регрессионных, что позволяет выявить изменения технического состояния в жизненном цикле.

Основная задача данной работы – обнаружение изменения свойств динамической системы, которая может находиться в двух классах состояний, в каждом из которых её поведение описывается своей системой авторегрессионных уравнений (векторной авторегрессией) с априорно неизвестными параметрами. В [7] рассмотрена задача оценивания коэффициентов в системе авторегрессионных моделей в предположении, что ошибки наблюдения выходных переменных моделируемого объекта статистически зависимы, выходные переменные могут определяться, вообще говоря, разными множествами регрессоров, а ковариационная матрица ошибок наблюдений выходных переменных неизвестна. В этих условиях для определения коэффициентов построена итерационная схема оценивания, эффективность которой подтверждена методом статистических испытаний. Опираясь на эти результаты, можно сформулировать следующую задачу статистической классификации (распознавания): на основе обучающих выборок наблюдений двух классов состояний, каждый из которых характеризуется своей системой авторегрессионных моделей, требуется построить решающее правило, которое позволяет устанавливать принадлежность анализируемого наблюдения к одному из двух классов состояний.

1. Априорные предположения о динамической системе

Пусть функционирование динамического объекта в некотором классе состояний подчиняется закону в виде системы авторегрессионных уравнений [7]

 ISSN 1562-9945

$$\begin{pmatrix} \overset{*}{x}_1(k) \\ \overset{*}{x}_2(k) \\ \vdots \\ \overset{*}{x}_i(k) \\ \vdots \\ \overset{*}{x}_n(k) \end{pmatrix} = \sum_{q=1}^{h} \begin{bmatrix} \overset{*}{x}_0(q) & \overset{*}{x}_{-1}(q) & \cdots & \overset{*}{x}_{1-p}(q) \\ \overset{*}{x}_1(q) & \overset{*}{x}_0(q) & \cdots & \overset{*}{x}_{2-p}(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overset{*}{x}_{i-1}(q) & \overset{*}{x}_{i-2}(q) & \cdots & \overset{*}{x}_{i-p}(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overset{*}{x}_{n-1}(q) & \overset{*}{x}_{n-2}(q) & \cdots & \overset{*}{x}_{n-p}(q) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overset{o}{\theta}_1(k,q) \\ \overset{o}{\theta}_2(k,q) \\ \vdots \\ \overset{o}{\theta}_p(k,q) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \zeta_0(k) \\ \zeta_1(k) \\ \vdots \\ \zeta_{i-1}(k) \\ \vdots \\ \zeta_{n-1}(k) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

или

$$\overset{*}{\mathbf{x}}(k) = \sum_{q=1}^{h} \overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)\overset{o}{\boldsymbol{\theta}}(k,q) + \boldsymbol{\zeta}(-1;k), \;\; k = 1,2,...,h, \quad (2)$$

где $\overset{*}{\mathbf{x}}(k)$ – ненаблюдаемый $(n \times 1)$-вектор значений k-й выходной переменной объекта в дискретные моменты времени $t = t_i$, $i = 1,2,...,n$; n – общее число наблюдений за объектом; p – число предыдущих значений выходных переменных, влияющих на их текущее значение; $\overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)$ – $(n \times p)$-матрица p предыдущих ненаблюдаемых значений q-й переменной, $q = 1,2,...,h$, в обозначении этой матрицы p означает тот факт, что в (1)–(2) при формировании величины $\overset{*}{x}_i(k)$ участвуют величины $(x_{i-1}(q), x_{i-2}(q),..., x_{i-p}(q))$; h – число выходных переменных, образующих множество X; $\overset{o}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)$ – $(p \times 1)$-вектор неизвестных детерминированных, не зависящих от времени коэффициентов; $\boldsymbol{\zeta}(-1;k)$ – ненаблюдаемый случайный $(n \times 1)$-вектор, в обозначении которого ”–1” означает тот факт, что в (1)–(2) при формировании величины $x_i(k)$ аддитивно участвует величина $\zeta_{i-1}(k)$.

В (1)–(2) предполагается, что в формировании текущего значения k-й выходной переменной участвуют все p предыдущих значений всех h выходных переменных. В общем случае не все переменные и не все их предыдущие значения могут участвовать в этом формировании. Для записи моделей в общем случае введем структурные матрицы, смысл которых покажем на примере. Пусть на текущее значение k-й выходной переменной влияют первое, второе и четвертое предыдущие значения q-й

переменной из максимально заданного возможного числа влияющих предыдущих значений $p=5$. Тогда вместо матрицы $\overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)$ в (1)–(2) следует записать произведение матриц

$$\overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)\mathbf{S}(k,q)=$$

$$=\left[\begin{array}{c|c|c|c|c}
\overset{*}{x}_0(q) & \overset{*}{x}_{-1}(q) & \overset{*}{x}_{-2}(q) & \overset{*}{x}_{-3}(q) & \overset{*}{x}_{-4}(q)\\ \hline
\overset{*}{x}_1(q) & \overset{*}{x}_0(q) & \overset{*}{x}_{-1}(q) & \overset{*}{x}_{-2}(q) & \overset{*}{x}_{-3}(q)\\ \hline
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ \hline
\overset{*}{x}_{i-1}(q) & \overset{*}{x}_{i-2}(q) & \overset{*}{x}_{i-3}(q) & \overset{*}{x}_{i-4}(q) & \overset{*}{x}_{i-5}(q)\\ \hline
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ \hline
\overset{*}{x}_{n-1}(q) & \overset{*}{x}_{n-2}(q) & \overset{*}{x}_{n-3}(q) & \overset{*}{x}_{n-4}(q) & \overset{*}{x}_{n-5}(q)
\end{array}\right]\times\left[\begin{array}{c|c|c}
1 & 0 & 0\\ \hline
0 & 1 & 0\\ \hline
0 & 0 & 0\\ \hline
0 & 0 & 1\\ \hline
0 & 0 & 0
\end{array}\right]=\left[\begin{array}{c|c|c}
\overset{*}{x}_0(q) & \overset{*}{x}_{-1}(q) & \overset{*}{x}_{-3}(q)\\ \hline
\overset{*}{x}_1(q) & \overset{*}{x}_0(q) & \overset{*}{x}_{-2}(q)\\ \hline
\vdots & \vdots & \vdots\\ \hline
\overset{*}{x}_{i-1}(q) & \overset{*}{x}_{i-2}(q) & \overset{*}{x}_{i-4}(q)\\ \hline
\vdots & \vdots & \vdots\\ \hline
\overset{*}{x}_{n-1}(q) & \overset{*}{x}_{n-2}(q) & \overset{*}{x}_{n-4}(q)
\end{array}\right], \tag{3}$$

где (5×3)-матрица $\mathbf{S}(k,q)$ представляет собой структурную матрицу, отражающую влияние первого, второго и четвертого предыдущих значений переменной с номером q на текущее значение переменной состояния с номером k. Априорная информация о значении p и о том, какие именно предыдущие значения каждой из переменных определяют текущие значения выходных переменных в законе функционирования объекта (1)–(2), представляется набором структурных матриц $\mathbf{S}(k,q),\ k,q=1,2,\ldots,h$, которые могут быть различными для выходных переменных. Будем предполагать, что эти структурные матрицы заданы. С учетом введенных структурных матриц закон функционирования (2) для общего случая формирования выходных переменных запишем в виде

$$\overset{*}{\mathbf{x}}(k)=\sum_{q=1}^{h}\overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)\mathbf{S}(k,q)\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)+\boldsymbol{\zeta}(-1;k)=\overset{=}{\mathbf{x}}(k)+\boldsymbol{\zeta}(-1;k),\ \ k=1,2,\ldots,h, \tag{4}$$

где $\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)$ – $(m(k,q)\times 1)$-вектор неизвестных детерминированных коэффициентов; $\overset{=}{\mathbf{x}}(k)$ – ненаблюдаемая составляющая $(n\times 1)$-вектора значений k-й переменной; $m(k,q)$ – число столбцов в матрице $\mathbf{S}(k,q)$; $m(k,1)+m(k,2)+\ldots\ +m(k,k)+\ldots+m(k,h)=m(k)$ – общее число неизвестных коэффициентов в модели для выходной переменной с номером k.

 ISSN 1562-9945

Пусть для наблюдений k-й выходной переменной объекта выполняется

$$x_i(k) = \overset{*}{x}_i(k) + \varepsilon_i(k), \;\; i = 1,2,...,n, \;\; k = 1,2,...,h, \tag{5}$$

где $x_i(k)$ – наблюдаемое значение k-й переменной в момент времени $t = t_i$, $\overset{*}{x}_i(k)$ – ненаблюдаемое значение; $\varepsilon_i(k)$ – ненаблюдаемая случайная величина.

Запишем с учетом (5) модель наблюдения объекта в векторной форме

$$\mathbf{x}(k) = \overset{*}{\mathbf{x}}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}(k), \;\; k = 1,2,...,h. \tag{6}$$

Введем обозначения

$$\mathbf{X} = \left[\mathbf{x}(1), \mathbf{x}(2), ..., \mathbf{x}(h)\right], \tag{7}$$

$$\overset{=}{\mathbf{X}} = [\overset{=}{\mathbf{x}}(1), \overset{=}{\mathbf{x}}(2), ..., \overset{=}{\mathbf{x}}(h)], \;\; \overset{*}{\mathbf{X}} = [\overset{*}{\mathbf{x}}(1), \overset{*}{\mathbf{x}}(2), ..., \overset{*}{\mathbf{x}}(h)], \tag{8}$$

$$\boldsymbol{\Gamma}(-1) = \left[\boldsymbol{\zeta}(-1;1), \boldsymbol{\zeta}(-1;2), ..., \boldsymbol{\zeta}(-1;h)\right], \;\; \mathbf{E} = \left[\boldsymbol{\varepsilon}(1), \boldsymbol{\varepsilon}(2), ..., \boldsymbol{\varepsilon}(h)\right], \tag{9}$$

и, учитывая (6)–(9), модели функционирования и наблюдения запишем в виде

$$\overset{*}{\mathbf{X}} = \overset{=}{\mathbf{X}} + \boldsymbol{\Gamma}(-1), \;\; \mathbf{X} = \overset{*}{\mathbf{X}} + \mathbf{E}. \tag{10}$$

Пусть относительно $\boldsymbol{\zeta}(-1;k)$, $k = 1,2,...,h$, выполнено:

$$E\{\boldsymbol{\zeta}(-1;k)\} = \mathbf{0}_n, \;\; E\{\boldsymbol{\zeta}(-1;k)\boldsymbol{\zeta}^{\mathrm{T}}(-1;k)\} = \sigma_\zeta(k,k)\mathbf{I}_n; \tag{11}$$

$$E\{\boldsymbol{\zeta}(-1;k)\boldsymbol{\zeta}^{\mathrm{T}}(-1;q)\} = \sigma_\zeta(k,q)\mathbf{I}_n, \;\; k,q = 1,2,...,h; \;\; k \neq q; \tag{12}$$

$$E\{\zeta_{i_1}(-1;k)\zeta_{i_2}(-1;q)\} = 0, \;\; i_1, i_2 = 1,...,n, \;\; i_1 \neq i_2, \;\; k,q = 1,2,...,h, \tag{13}$$

где $E\{\cdot\}$ – знак математического ожидания по возможным всем реализациям случайных векторов $\boldsymbol{\zeta}(-1;k)$ и $\boldsymbol{\zeta}(-1;q)$; $\mathbf{0}_n$ – $(n \times 1)$-вектор, состоящий из нулей; $\sigma_\zeta(k,k)$ – дисперсия величины $\zeta_i(-1;k)$, $i = 1,2,...,n$, ограниченная величина; $\sigma_\zeta(k,q)$ – ковариация случайных величин $\zeta_i(-1;k)$ и $\zeta_i(-1;q)$, $i = 1,2,...,n$, ограниченная величина; $\mathbf{I}_n$ – единичная $(n \times n)$-матрица.

Пусть относительно $\boldsymbol{\varepsilon}(k)$, $k = 1,2,...,h$, выполнено:

$$E\{\boldsymbol{\varepsilon}(k)\} = \mathbf{0}_n,\ E\{\boldsymbol{\varepsilon}(k)\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathrm{T}}(k)\} = \sigma_\varepsilon(k,k)\mathbf{I}_n,\ k = 1,2,\ldots,h; \tag{14}$$

$$E\{\boldsymbol{\varepsilon}(k)\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathrm{T}}(q)\} = \sigma_\varepsilon(k,q)\mathbf{I}_n,\ k,q = 1,2,\ldots,h,\ k \neq q; \tag{15}$$

$$E\{\varepsilon_{i_1}(k)\varepsilon_{i_2}(q)\} = 0,\ i_1,i_2 = 1,2,\ldots,n,\ i_1 \neq i_2,\ k,q = 1,2,\ldots,h, \tag{16}$$

где $E\{\cdot\}$ – знак математического ожидания по возможным реализациям случайных векторов $\boldsymbol{\varepsilon}(k)$ и $\boldsymbol{\varepsilon}(q)$; $\sigma_\varepsilon(k,k)$ – дисперсия величины $\varepsilon_i(k)$, $i = 1,2,\ldots,n$, ограниченная величина; $\sigma_\varepsilon(k,q)$ – ковариация случайных величин $\varepsilon_i(k)$ и $\varepsilon_i(q)$.

Запишем предположения (11)–(13) и (14)–(16) в обобщенном виде:

$$E\{\boldsymbol{\Gamma}(-1)\} = \mathbf{O}_{(n\times h)},\quad E\{[\boldsymbol{\Gamma}(-1)]^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\Gamma}(-1)\} = n\,\boldsymbol{\Sigma}_\zeta, \tag{17}$$

$$E\{\mathbf{E}\} = \mathbf{O}_{(n\times h)},\quad E\{\mathbf{E}^{\mathrm{T}}\mathbf{E}\} = n\,\boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon, \tag{18}$$

где $\mathbf{O}_{(n\times h)}$ – нулевая $(n\times h)$-матрица; $\boldsymbol{\Sigma}_\zeta$, $\boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon$ – заданные ковариационные $(h\times h)$-матрицы в моделях функционирования и наблюдения соответственно.

Будем также предполагать, что матрица в законе функционирования объекта $\boldsymbol{\Gamma}(-1)$ и матрица ошибок наблюдения $\mathbf{E}$ статистически независимы

$$E\{\mathbf{E}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\Gamma}(-1)\} = \mathbf{O}_{(h\times h)}. \tag{19}$$

Пусть в результате наблюдения в моменты времени $t = t_i$, $i = 1-2p, 2-2p, \ldots, 0, 1, 2, \ldots, n$, получена $((n+2p)\times h)$-матрица значений выходных переменных объекта

$$\begin{bmatrix} x_{1-2p}(1) & x_{1-2p}(2) & \cdots & x_{1-2p}(h) \\ x_{2-2p}(1) & x_{2-2p}(2) & \cdots & x_{2-2p}(h) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_0(1) & x_0(2) & \cdots & x_0(h) \\ \hdashline x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(h) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(h) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \cdots & x_n(h) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}(0) \\ \hdashline \mathbf{X} \end{bmatrix}. \tag{20}$$

Пусть заданы: 1) p – число предыдущих значений выходных переменных, которые влияют на их текущее значение; 2) набор структур-

 ISSN 1562-9945

ных матриц $\mathbf{S}(k,q),\ k,q=1,2,...,h$, которые определяют, какие именно предыдущие значения каждой из переменных определяют текущие значения выходных переменных объекта (1)–(19). Для оценивания неизвестных коэффициентов $\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)$, $k,q=1,2,...,h$ по результатам наблюдения объекта (20) в [7]–[8] разработаны итерационные процедуры параметрической идентификации, в которых $\mathbf{X}(0)$ используется в качестве начальных условий.

2. Оценивание коэффициентов в системах авторегрессионных уравнений

Для $(n\times 1)$-вектора $\mathbf{x}(k)$, согласно [7], выполняется

$$\mathbf{x}(k)=\sum_{q=1}^{h}\overset{=}{\mathbf{Z}}(p;q)\mathbf{S}(k,q)\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)+\boldsymbol{\xi}(k),\quad k=1,2,...,h, \tag{21}$$

где $\overset{=}{\mathbf{Z}}(p;q)$ – $(n\times p)$-матрица ненаблюдаемых значений q-й переменной объекта, по своей структуре она аналогична матрице $\overset{*}{\mathbf{Z}}(p;q)$ в (1):

$$\overset{=}{\mathbf{Z}}(p;q)=\begin{bmatrix} \overset{=}{x}_0(q) & \overset{=}{x}_{-1}(q) & \cdots & \overset{=}{x}_{1-p}(q) \\ \overset{=}{x}_1(q) & \overset{=}{x}_0(q) & \cdots & \overset{=}{x}_{2-p}(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overset{=}{x}_{n-1}(q) & \overset{=}{x}_{n-2}(q) & \cdots & \overset{=}{x}_{n-p}(q) \end{bmatrix},\quad q=1,2,...,h; \tag{22}$$

$\boldsymbol{\xi}(k)$ – случайный $(n\times 1)$-вектор с нулевым математическим ожиданием

$$\boldsymbol{\xi}(k)=\boldsymbol{\varepsilon}(k)+\sum_{q=1}^{h}[\boldsymbol{\Gamma}(-2,Z;q)]\mathbf{S}(k,q)\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k,q)+\boldsymbol{\zeta}(-1;k), \tag{23}$$

$$E\{\boldsymbol{\xi}(k)\}=\mathbf{0}_n,\ k=1,2,...,h; \tag{24}$$

$\boldsymbol{\Gamma}(-2,Z;q)$ – $(n\times p)$-матрица ненаблюдаемых случайных величин

$$\boldsymbol{\Gamma}(-2,Z;q)=\begin{bmatrix} \zeta_{-1}(q) & \zeta_{-2}(q) & \cdots & \zeta_{-p}(q) \\ \zeta_0(q) & \zeta_{-1}(q) & \cdots & \zeta_{1-p}(q) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \zeta_{n-2}(q) & \zeta_{n-3}(q) & \cdots & \zeta_{n-1-p}(q) \end{bmatrix},\quad q=1,2,...,h. \tag{25}$$

Введем обозначения

$$\mathbf{y}(k)=\mathbf{x}(k),\quad \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k)=(\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}{}^{\mathrm{T}}(k,1),\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}{}^{\mathrm{T}}(k,2),...,\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}{}^{\mathrm{T}}(k,h))^{\mathrm{T}},\quad k=1,2,...,h; \tag{26}$$

$$\mathbf{R}(k)=[\overline{\overline{\mathbf{Z}}}(p;1)\mathbf{S}(k,1)\ \vdots\ \overline{\overline{\mathbf{Z}}}(p;2)\mathbf{S}(k,2)\ \vdots\ \ldots\ \vdots\ \overline{\overline{\mathbf{Z}}}(p;k)\mathbf{S}(k,k)\ \vdots\ \ldots\ \vdots\ \overline{\overline{\mathbf{Z}}}(p;h)\mathbf{S}(k,h)], \tag{27}$$

где $\mathbf{R}(k)$ – матрица регрессоров для k-й выходной переменной.

Учитывая (26)–(27), запишем систему авторегрессионных моделей (21)

$$\mathbf{y}(k)=\mathbf{R}(k)\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k)+\boldsymbol{\xi}(k)=\overset{\circ}{\mathbf{y}}(k)+\boldsymbol{\xi}(k),\ \ k=1,2,\ldots,h. \tag{28}$$

Введем обозначения

$$\mathbf{y}=\begin{pmatrix}\mathbf{y}(1)\\ \hline \mathbf{y}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \mathbf{y}(h)\end{pmatrix},\quad \overset{\circ}{\mathbf{y}}=\begin{pmatrix}\overset{\circ}{\mathbf{y}}(1)\\ \hline \overset{\circ}{\mathbf{y}}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \overset{\circ}{\mathbf{y}}(h)\end{pmatrix},\quad \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}=\begin{pmatrix}\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(1)\\ \hline \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(h)\end{pmatrix},\quad \boldsymbol{\xi}=\begin{pmatrix}\boldsymbol{\xi}(1)\\ \hline \boldsymbol{\xi}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \boldsymbol{\xi}(h)\end{pmatrix}, \tag{29}$$

$$\underline{\underline{\mathbf{R}}}=\left[\begin{array}{c|c|c|c}\mathbf{R}(1) & \mathbf{O}_{(n\times m(2))} & \cdots & \mathbf{O}_{(n\times m(h))}\\ \hline \mathbf{O}_{(n\times m(1))} & \mathbf{R}(2) & \cdots & \mathbf{O}_{(n\times m(h))}\\ \hline \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \hline \mathbf{O}_{(n\times m(1))} & \mathbf{O}_{(n\times m(2))} & \cdots & \mathbf{R}(h)\end{array}\right], \tag{30}$$

где $\mathbf{y}$ – объединённый $(N\times 1)$-вектор наблюдаемых зашумленных значений; $\overset{\circ}{\mathbf{y}}$ – $(N\times 1)$-вектор ненаблюдаемых значений; $\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}$ – $(M\times 1)$-вектор неизвестных коэффициентов; $\boldsymbol{\xi}$ – $(N\times 1)$-вектор ненаблюдаемых случайных аддитивных составляющих; $\underline{\underline{\mathbf{R}}}$ – объединённая $(N\times M)$-матрица регрессоров; $N=n\,h$; $M=m(1)+m(2)+\ldots+m(h)$.

Запишем систему h авторегрессионных уравнений (28) учетом (29)–(30)

$$\mathbf{y}=\overset{\circ}{\mathbf{y}}+\boldsymbol{\xi}=\underline{\underline{\mathbf{R}}}\,\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}+\boldsymbol{\xi}. \tag{31}$$

Для оценки коэффициентов $\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}$ выполняется [7]:

$$\hat{\mathbf{d}}=\mathbf{C}\,\mathbf{y},\quad \hat{\mathbf{d}}=\begin{pmatrix}\hat{\mathbf{d}}(1)\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(h)\end{pmatrix},\quad \hat{\mathbf{d}}(k)=\begin{pmatrix}\hat{\mathbf{d}}(k,1)\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(k,2)\\ \hline \vdots\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(k,h)\end{pmatrix},\ k=1,2,\ldots,h, \tag{32}$$

 ISSN 1562-9945

где для $(M \times N)$-матрицы $\mathbf{C}$, состоящей из $(h \times h)$ блоков, выполнено

$$\mathbf{C} = (\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\Sigma}_{\xi}^{-1} \underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1} \underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\Sigma}_{\xi}^{-1}, \tag{33}$$

где $\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}$ – ковариационная $(N \times N)$-матрица объединённого $(N \times 1)$-вектора ненаблюдаемых аддитивных случайных составляющих $\boldsymbol{\xi}$ в (29).

Для матрицы $\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}$, состоящей из $(h \times h)$ блоков, выполняется

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\xi} = \boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon} \otimes \mathbf{I}_n + \boldsymbol{\Psi} + \boldsymbol{\Sigma}_{\zeta} \otimes \mathbf{I}_n, \tag{34}$$

где $\boldsymbol{\Sigma} \otimes \mathbf{I}_n$ – кронекеровское произведение матриц $\boldsymbol{\Sigma}$ и $\mathbf{I}_n$; $\boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon}$, $\boldsymbol{\Sigma}_{\zeta}$ – ковариационные $(h \times h)$-матрицы в моделях наблюдения и функционирования, введённые в (17)–(18).

В (34) $(N \times N)$-матрица $\boldsymbol{\Psi}$ состоит из $(h \times h)$ блоков, а её (k,q)-й блок ($k,q = 1,2,\ldots,h$) представляет собой $(n \times n)$-матрицу:

$$\boldsymbol{\Psi}(k,q) =$$

$$= \begin{bmatrix} \psi_{kq}(0) & \psi_{kq}(+1) & \cdots & \psi_{kq}(p-1) & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \psi_{kq}(-1) & \psi_{kq}(0) & \cdots & \psi_{kq}(p-2) & \psi_{kq}(p-1) & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \psi_{kq}(1-p) & \psi_{kq}(2-p) & \cdots & \psi_{kq}(0) & \psi_{kq}(+1) & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \psi_{kq}(1-p) & \cdots & \psi_{kq}(-1) & \psi_{kq}(0) & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & \psi_{kq}(0) & \psi_{kq}(+1) \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & \psi_{kq}(-1) & \psi_{kq}(0) \end{bmatrix}. \tag{35}$$

В (35) для $\psi_{kq}(\Delta)$, $\Delta = -p+1, -p+2, \ldots, p-2, p-1$, выполняется

$$\psi_{kq}(\Delta) = \mathrm{Cov}\{\xi_{i_1}(k)\xi_{i_2}(q)\} =$$

$$= \sum_{q_1=1}^{h} \sum_{q_2=1}^{h} \sigma_{\zeta}(q_1,q_2) \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}^{\mathrm{T}}(k,q_1) \mathbf{S}^{\mathrm{T}}(k,q_1) \mathbf{I}(i_1 - i_2) \mathbf{S}(q,q_2) \overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(q,q_2), \tag{36}$$

где $\mathbf{I}_p(i_1 - i_2)$ – $(p \times p)$-матрица, у которой все элементы равны нулю, кроме элементов одной диагонали, равных единице: если $\Delta = i_1 - i_2 = 0$, то это главная диагональ; если $\Delta > 0$, то это диагональ, расположенная выше главной диагонали на Δ строк; если $\Delta < 0$, то это диагональ, расположенная ниже главной диагонали на $|\Delta|$ строк.

Таким образом, (k,q)-й блок $\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}$ представляет собой $(n \times n)$-матрицу

$$\mathbf{\Sigma}_{\xi}(k,q)=\sigma_{\varepsilon}(k,q)\mathbf{I}_n+\mathbf{\Psi}(k,q)+\sigma_{\zeta}(k,q)\mathbf{I}_n,\quad k,q=1,2,...,h. \tag{37}$$

С учетом (33)–(37) для оценки коэффициентов выполняется

$$\hat{\mathbf{d}}=(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\ \mathbf{y}. \tag{38}$$

В формулу (33) для матрицы $\mathbf{C}$ входит ненаблюдаемая матрица $\underline{\underline{\mathbf{R}}}$, а в формулу (34) для матрицы $\mathbf{\Sigma}_{\xi}$ – матрица $\mathbf{\Psi}$, элементы которой, как следует из (35)–(36), зависят от неизвестных коэффициентов $\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}$. Эти обстоятельства использованы для построения итерационных процедур вычисления неизвестных коэффициентов в виде (32)–(38): в [7] разработана итерационная процедура для случая, когда ковариационные матрицы $\mathbf{\Sigma}_{\zeta}$, $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}$ априорно известны, а в [8] – неизвестны. Процедуры исследованы методом статистических испытаний.

Учитывая (29) и (32), оценку (38) запишем в виде

$$\hat{\mathbf{d}}=\begin{pmatrix}\hat{\mathbf{d}}(1)\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \hat{\mathbf{d}}(h)\end{pmatrix}=\mathbf{C}\ \mathbf{y}=\begin{bmatrix}\mathbf{C}_{1\bullet}\\ \hline \mathbf{C}_{2\bullet}\\ \hline \vdots\\ \hline \mathbf{C}_{h\bullet}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\mathbf{y}(1)\\ \hline \mathbf{y}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \mathbf{y}(h)\end{pmatrix},\ \text{т.е.}\ \hat{\mathbf{d}}(k)=\mathbf{C}_{k\bullet}\begin{pmatrix}\mathbf{y}(1)\\ \hline \mathbf{y}(2)\\ \hline \vdots\\ \hline \mathbf{y}(h)\end{pmatrix}, \tag{39}$$

где

$$\mathbf{C}_{k\bullet}=\left[\mathbf{C}_{k1}\ \vdots\ \mathbf{C}_{k2}\ \vdots\ \cdots\ \vdots\ \mathbf{C}_{kh}\right] \tag{40}$$

является k-й строкой блоков матрицы $\mathbf{C}$, состоящей из $(h\times h)$ блоков.

Для оценки $\hat{\mathbf{d}}(k)$ с учетом (28) и (38) выполняется

$$\hat{\mathbf{d}}(k)=\sum_{q=1}^{h}\sum_{l=1}^{h}[(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}]_{kl}[\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}]_{lq}\mathbf{R}(q)\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(q)+\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\boldsymbol{\xi}(q)=$$

$$=\sum_{q=1(q\neq k)}^{h}\sum_{l=1}^{h}[(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}]_{kl}[\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}}]_{lq}\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(q)+$$

$$+\sum_{l=1}^{h}[(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}]_{kl}[\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\mathbf{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}}]_{lk}\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(k)+\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\boldsymbol{\xi}(q)=\overset{\mathrm{o}}{\boldsymbol{\theta}}(k)+\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\boldsymbol{\xi}(q). \tag{41}$$

Для авторегрессионных моделей с учётом (41) выполняется

 ISSN 1562-9945

$$\hat{\mathbf{y}}(k) = \mathbf{R}(k)\hat{\mathbf{d}}(k) = \mathbf{R}(k)\overset{\circ}{\boldsymbol{\theta}}(k) + \mathbf{R}(k)\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\xi(q) = \overset{\circ}{\mathbf{y}}(k) + \mathbf{R}(k)\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\xi(q), \tag{42}$$

где $\hat{\mathbf{y}}(k)$ – $(n\times 1)$-вектор выхода модели для k-й переменной, $k = 1, 2, \ldots, h$.

Учитывая (42), для авторегрессионных моделей можно записать

$$\mathbf{y}(k) = \hat{\mathbf{y}}(k) + \mathbf{u}(k) = \mathbf{R}(k)\hat{\mathbf{d}}(k) + \mathbf{u}(k), \quad k = 1, 2, \ldots, h, \tag{43}$$

где $\mathbf{u}(k)$ – $(n\times 1)$-вектор остатков [9], для которого выполняется

$$\mathbf{u}(k) = \xi(k) - \mathbf{R}(k)\sum_{q=1}^{h}\mathbf{C}_{kq}\,\xi(q), \quad E\{\mathbf{u}(k)\} = \mathbf{0}_n, \tag{44}$$

где $\mathbf{0}_n$ – нулевой $(n\times 1)$-вектор.

Введем матрицу остатков моделей

$$\mathbf{U} = [\mathbf{u}(1),\ \mathbf{u}(2), \ldots,\ \mathbf{u}(h)] \tag{45}$$

и матрицу $\mathbf{W}$, в которой (k,q)-элемент вычисляется по столбцам с номерами k и q матрицы $\mathbf{U}$ (45):

$$[\mathbf{W}]_{k,q} = [\mathbf{U}^{\mathrm{T}}\mathbf{U}]_{k,q} = \mathbf{u}^{\mathrm{T}}(k)\,\mathbf{u}(q). \tag{46}$$

Для (k,q)-элемента математического ожидания матрицы выполняется:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\Omega}_{kq} &= E\,\{[\mathbf{W}]_{k,q}\} = E\,\{[\xi^{\mathrm{T}}(k)\xi(q)]\} - \\
&- E\{[\xi^{\mathrm{T}}(k)(\mathbf{R}(q)\sum_{s=1}^{h}\mathbf{C}_{qs}\,\xi(s))]\} - E\{[(\mathbf{R}(k)\sum_{r=1}^{h}\mathbf{C}_{kr}\,\xi(r))^{\mathrm{T}}\xi(q)]\} + \\
&+ E\{[(\mathbf{R}(k)\sum_{r=1}^{h}\mathbf{C}_{kr}\,\xi(r))^{\mathrm{T}}(\mathbf{R}(q)\sum_{s=1}^{h}\mathbf{C}_{qs}\,\xi(s))]\} = \\
&= n\cdot(\sigma_{\varepsilon}(k,q) + \psi_{kq}(0) + \sigma_{\zeta}(k,q)) - \mathrm{tr}[\underline{\underline{\mathbf{R}}}(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\,\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}]_{kq}.
\end{aligned} \tag{47}$$

Введя обозначения

$$\mathbf{P} = \underline{\underline{\mathbf{R}}}(\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}\,\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}})^{-1}\underline{\underline{\mathbf{R}}}^{\mathrm{T}}, \tag{48}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\psi} = \begin{bmatrix} \psi_{11}(0) & \psi_{12}(0) & \cdots & \psi_{1h}(0) \\ \psi_{21}(0) & \psi_{22}(0) & \cdots & \psi_{2h}(0) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{h1}(0) & \psi_{h2}(0) & \cdots & \psi_{hh}(0) \end{bmatrix}, \tag{49}$$

$$\mathbf{T}_P = \begin{bmatrix} \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{11}] & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{12}] & \cdots & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{1h}] \\ \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{21}] & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{22}] & \cdots & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{2h}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{h1}] & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{h2}] & \cdots & \mathrm{tr}[\mathbf{P}_{hh}] \end{bmatrix}, \tag{50}$$

для матрицы $\mathbf{\Omega}$ окончательно получаем

$$\mathbf{\Omega} = n \cdot (\mathbf{\Sigma}_\varepsilon + \mathbf{\Sigma}_\psi + \mathbf{\Sigma}_\zeta) - \mathbf{T}_P . \tag{51}$$

Используем результаты (21)–(51) для построения решающего правила, предназначенного для классификации новых наблюдений.

3. Решающее правило классификации на основе двух систем авторегрессионных уравнений

Пусть в процессе своего функционирования исследуемый объект может находиться в одном из двух классов состояний, каждый из которых характеризуется своей системой авторегрессионных уравнений. Пусть $X(\mathrm{I})$ и $X(\mathrm{II})$ – выборки наблюдений за состоянием объекта, полученные для первого P_I и второго P_{II} класса состояний в соответствии с (1)–(20). Тогда возможно формулирование следующей *задачи статистической классификации*: на основе обучающих выборок $X(\mathrm{I})$ и $X(\mathrm{II})$ требуется построить решающее правило, которое позволяло бы установить принадлежность анализируемого (существующего или ожидаемого) наблюдения (состояния) к одному из двух классов состояний. Решение задачи предполагает оценивание коэффициентов двух систем авторегрессионных уравнений для двух классов состояний P_I и P_{II} по соответствующим обучающим выборкам наблюдений $X(\mathrm{I})$ и $X(\mathrm{II})$. Для такого оценивания воспользуемся результатами (21)–(51).

Пусть, в соответствии с формулой (26), $(h \times 1)$-вектор $\mathbf{y}_* = (y_*(1), y_*(2), \ldots, y_*(h))^{\mathrm{T}} = (x_{n+1}(1), x_{n+1}(2), \ldots, x_{n+1}(h))^{\mathrm{T}}$ представляет собой наблюдение с номером $n+1$, принадлежность которого к первому или второму классу состояний требуется установить.

Пусть $(m(k) \times 1)$-векторы $\mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(k) = (r_{n+1,1}(k), r_{n+1,2}(k), \ldots, r_{n+1,m(k)}(k))$, $k = 1, 2, \ldots, h$, представляют собой строки регрессоров, сформированные в

 ISSN 1562-9945

соответствии с (27) для соответствующих компонент вектора наблюдения $\mathbf{y}_* = (y_*(1), y_*(2), \ldots, y_*(h))^{\mathrm{T}}$.

Рассмотрим случай, в котором наблюдение принадлежит классу состояний P_I. (В силу симметрии случай принадлежности классу состояний P_{II} может быть рассмотрен аналогично). Исследуем сначала *правильное решение*, состоящее в том, что наблюдение отнесено к классу состояний P_I.

Рассмотрим случайный вектор

$$\mathbf{u}_*(I \mid I) = \begin{pmatrix} u_*(I \mid I,1) \\ u_*(I \mid I,2) \\ \vdots \\ u_*(I \mid I,h) \end{pmatrix} = \mathbf{y}_*(I) - \hat{\mathbf{y}}_*(I) = \begin{pmatrix} y_*(I,1) - \hat{y}_*(I,1) \\ y_*(I,2) - \hat{y}_*(I,2) \\ \vdots \\ y_*(I,h) - \hat{y}_*(I,h) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \xi_*(I,1) \\ \xi_*(I,2) \\ \vdots \\ \xi_*(I,h) \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(I) \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(I) \\ \vdots \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(I) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \xi(I,1) \\ \xi(I,2) \\ \vdots \\ \xi(I,h) \end{pmatrix}, \tag{52}$$

где $\mathbf{y}_*(I)$ – $(h \times 1)$-вектор измерений выходных переменных исследуемого наблюдения; $\hat{\mathbf{y}}_*(I) = (\hat{y}_*(I,1), \hat{y}_*(I,2), \ldots, \hat{y}_*(I,h))^{\mathrm{T}}$ – $(h \times 1)$-вектор расчетных выходов первой системы моделей, который получается после подстановки в нее измерений входных переменных $(\mathbf{r}_*(I,1), \mathbf{r}_*(I,2), \ldots, \mathbf{r}_*(I,h))$ для исследуемого наблюдения. При записи (52) использована формула (39) для оценок коэффициентов и факт их несмещённости, установленный в [7].

Вычислим ковариационную матрицу случайного вектора $\mathbf{u}_*(I/I)$. Для этого воспользуемся следующим известным результатом многомерного статистического анализа (см., например, теорему 2.4.5 на стр. 41 в [10]).

Теорема а. Если векторная случайная величина $\boldsymbol{\eta}$ распределена по многомерному нормальному закону $\boldsymbol{\eta} \sim N(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$, то векторная случай-

ная величина $\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\eta}$ распределена по многомерному нормальному закону $\boldsymbol{\gamma} \sim N(\mathbf{D}\boldsymbol{\mu}, \mathbf{D}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{D}^{\mathrm{T}})$.

Введем случайный вектор $\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) = (\boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(I,1), \boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(I,2), \ldots, \boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(I,h),$ $\xi_*(I,1), \xi_*(I,2), \ldots, \xi_*(I,h))^{\mathrm{T}}$. Запишем случайный вектор $\mathbf{u}_*(I/I)$ в виде

$$\mathbf{u}_*(I \mid I) = \left[\mathbf{M}_1(I \mid I) - \begin{bmatrix} \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(I) \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(I) \\ \vdots \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(I) \end{bmatrix} \mathbf{M}_2(I \mid I) \right] \boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) =$$

$$= \left[\mathbf{M}_1(I \mid I) - \mathbf{R}_*(I \mid I)\mathbf{M}_2(I \mid I) \right] \boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) = \mathbf{D}_*(I \mid I)\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) \quad , \tag{53}$$

где

$$\mathbf{R}_*(I \mid I) = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(I) \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(I) \\ \vdots \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(I) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}_*(I \mid I) = \mathbf{M}_1(I \mid I) - \mathbf{R}_*(I \mid I)\mathbf{M}_2(I \mid I); \tag{54}$$

а для блочных матриц $\mathbf{M}_1(I \mid I)$ и $\mathbf{M}_2(I \mid I)$ выполняется: $\mathbf{M}_1(I \mid I) = \left[\mathbf{O}_{(h \times N(I))} \,\vdots\, \mathbf{I}_h \right]$, $\mathbf{M}_2(I \mid I) = \left[\mathbf{I}_{N(I)} \,\vdots\, \mathbf{O}_{(N(I) \times h)} \right]$; $\mathbf{O}_{(h \times N(I))}$ – нулевая матрица размера $(h \times N(I))$; $\mathbf{I}_h$ – единичная $(h \times h)$-матрица; $\mathbf{O}_{(N(I) \times h)}$ – нулевая матрица размера $(N(I) \times h)$; $\mathbf{I}_{N(I)}$ – единичная $(N(I) \times N(I))$-матрица.

Для ковариационной матрицы случайного вектора $\boldsymbol{\eta}_*(I/I)$ выполняется

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\eta}(I \mid I) = E\{(\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) - E\{\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I)\})(\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I) - E\{\boldsymbol{\eta}_*(I \mid I)\})^{\mathrm{T}}\} = \left[\begin{array}{c:c} \boldsymbol{\Sigma}_{\xi}(I) & \mathbf{O}_{(N(I) \times h)} \\ \hdashline \mathbf{O}_{(h \times N(I))} & \boldsymbol{\Sigma}_*(I) \end{array} \right], \tag{55}$$

где

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\xi}(I) = \boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon}(I) \otimes \mathbf{I}_{n(I)} + \boldsymbol{\Psi}(I) + \boldsymbol{\Sigma}_{\zeta}(I) \otimes \mathbf{I}_{n(I)}, \tag{56}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_*(I) = \boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon}(I) + \boldsymbol{\Sigma}_{\psi}(I) + \boldsymbol{\Sigma}_{\zeta}(I), \tag{57}$$

 ISSN 1562-9945

а матрицы $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(I), \mathbf{\Psi}(I), \mathbf{\Sigma}_{\zeta}(I)$ и $\mathbf{\Sigma}_{\psi}(I)$ определяются по формулам (14)–(16), (35), (11)–(13) и (49) соответственно; $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(I) \otimes \mathbf{I}_{n(I)}$ – кронекеровское произведение матриц $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(I)$ и $\mathbf{I}_{n(I)}$.

Применяя приведенную выше теорему и учитывая (53) и (55)–(57), для ковариационной матрицы случайного вектора $\mathbf{u}_*(I \mid I)$ получаем

$$\mathbf{\Omega}_*(I \mid I) = \mathbf{D}_*(I \mid I)\, \mathbf{\Sigma}_{\eta}(I \mid I)\, \mathbf{D}_*^{\mathrm{T}}(I \mid I) = \mathbf{\Sigma}_*(I) + \mathbf{R}_*(I \mid I)\, \mathbf{\Sigma}_{\xi}(I)\, \mathbf{R}_*^{\mathrm{T}}(I \mid I). \quad (58)$$

Квадратичная форма

$$l_*(I \mid I) = \mathbf{u}_*^{\mathrm{T}}(I \mid I)\, \mathbf{\Omega}_*^{-1}(I \mid I)\, \mathbf{u}_*(I \mid I) \quad (59)$$

имеет χ^2-распределение с h степенями свободы (см. теорему 3.3.3 в [10]).

Исследуем теперь *ошибочное решение*, состоящее в том, что исследуемое наблюдение, принадлежащее классу состояний P_I, отнесено к классу P_{II}.

Рассмотрим случайный вектор

$$\mathbf{u}_*(II \mid I) = \begin{pmatrix} u_*(II \mid I,1) \\ u_*(II \mid I,2) \\ \vdots \\ u_*(II \mid I,h) \end{pmatrix} = \mathbf{y}_*(I) - \hat{\mathbf{y}}_*(II) = \begin{pmatrix} y_*(I,1) - \hat{y}_*(II,1) \\ y_*(I,2) - \hat{y}_*(II,2) \\ \vdots \\ y_*(I,h) - \hat{y}_*(II,h) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \overset{\circ}{y}_*(I,1) - \overset{\circ}{y}_*(II,1) \\ \overset{\circ}{y}_*(I,2) - \overset{\circ}{y}_*(II,2) \\ \vdots \\ \overset{\circ}{y}_*(I,h) - \overset{\circ}{y}_*(II,h) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_*(I,1) \\ \xi_*(I,2) \\ \vdots \\ \xi_*(I,h) \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(II) \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(II) \\ \vdots \\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(II) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \xi(II,1) \\ \xi(II,2) \\ \vdots \\ \xi(II,h) \end{pmatrix}, \quad (60)$$

где $\mathbf{y}_*(I)$ – $(h \times 1)$-вектор измерений выходных переменных исследуемого наблюдения; $\hat{\mathbf{y}}_*(II) = (\hat{y}_*(II,1), \hat{y}_*(II,2), \ldots, \hat{y}_*(II,h))^{\mathrm{T}}$ – $(h \times 1)$-вектор расчетных выходов второй системы моделей, который получается после подстановки в нее измерений входных переменных $(\mathbf{r}_*(I,1), \mathbf{r}_*(I,2), \ldots, \mathbf{r}_*(I,h))$ для исследуемого наблюдения. При записи (60) использована формула (39) для оценок и факт их несмещённости [7].

Введем случайный вектор $\boldsymbol{\eta}_*(II\,|\,I)=(\boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(II,1),\boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(II,2),\ldots,\boldsymbol{\xi}^{\mathrm{T}}(II,h),$ $\xi_*(I,1),\xi_*(I,2),\ldots,\xi_*(I,h))^{\mathrm{T}}$. Тогда случайный вектор $\mathbf{u}_*(II/I)$ можно записать

$$\mathbf{u}_*(II\,|\,I)=\begin{pmatrix}\overset{\circ}{y}_*(I,1)-\overset{\circ}{y}_*(II,1)\\ \overset{\circ}{y}_*(I,2)-\overset{\circ}{y}_*(II,2)\\ \vdots\\ \overset{\circ}{y}_*(I,h)-\overset{\circ}{y}_*(II,h)\end{pmatrix}+\left[\mathbf{M}_1(II\,|\,I)-\begin{bmatrix}\mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(II)\\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(II)\\ \vdots\\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(II)\end{bmatrix}\mathbf{M}_2(II\,|\,I)\right]\boldsymbol{\eta}_*(II\,|\,I)=$$

$$=\overset{\circ}{\mathbf{y}}_*(I)-\overset{\circ}{\mathbf{y}}_*(II)+[\mathbf{M}_1(II\,|\,I)-\mathbf{R}_*(II\,|\,I)\mathbf{M}_2(II\,|\,I)]\boldsymbol{\eta}_*(II\,|\,I)=$$

$$=\boldsymbol{\delta}_*(II\,|\,I)+\mathbf{D}_*(II\,|\,I)\boldsymbol{\eta}_*(II\,|\,I),\qquad(61)$$

где

$$\mathbf{R}_*(II\,|\,I)=\begin{bmatrix}\mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,1)\mathbf{C}_{1\bullet}(II)\\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,2)\mathbf{C}_{2\bullet}(II)\\ \vdots\\ \mathbf{r}_*^{\mathrm{T}}(I,h)\mathbf{C}_{h\bullet}(II)\end{bmatrix};\ \mathbf{D}_*(II\,|\,I)=\mathbf{M}_1(II\,|\,I)-\mathbf{R}_*(II\,|\,I)\mathbf{M}_2(II\,|\,I);\qquad(62)$$

для блочных матриц $\mathbf{M}_1(II\,|\,I)$ и $\mathbf{M}_2(II\,|\,I)$ выполняется $\mathbf{M}_1(II\,|\,I)=\left[\mathbf{O}_{(h\times N(II))}\ \vdots\ \mathbf{I}_h\right]$, $\mathbf{M}_2(II\,|\,I)=\left[\mathbf{I}_{N(II)}\ \vdots\ \mathbf{O}_{(N(II)\times h)}\right]$; $\mathbf{O}_{(h\times N(II))}$ – нулевая матрица размера $(h\times N(II))$; $\mathbf{I}_h$ – единичная $(h\times h)$-матрица; $\mathbf{O}_{(N(II)\times h)}$ – нулевая матрица размера $(N(II)\times h)$; $\mathbf{I}_{N(II)}$ – единичная $(N(II)\times N(II))$-матрица; $\boldsymbol{\delta}_*(II/I)=\overset{\circ}{\mathbf{y}}_*(I)-\overset{\circ}{\mathbf{y}}_*(II)$.

Для ковариационной матрицы случайного вектора $\boldsymbol{\eta}_*(II/I)$ выполняется

$$\boldsymbol{\Sigma}_\eta(II\,|\,I)=E\{(\boldsymbol{\eta}(II\,|\,I)-E\{\boldsymbol{\eta}(II\,|\,I)\})(\boldsymbol{\eta}(II\,|\,I)-E\{\boldsymbol{\eta}(II\,|\,I)\})^{\mathrm{T}}\}=\left[\begin{array}{c|c}\boldsymbol{\Sigma}_\xi(II) & \mathbf{O}_{(N(II)\times h)}\\ \hline \mathbf{O}_{(h\times N(II))} & \boldsymbol{\Sigma}_*(I)\end{array}\right],\qquad(63)$$

где

$$\boldsymbol{\Sigma}_\xi(II)=\boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon(II)\otimes\mathbf{I}_{n(II)}+\boldsymbol{\Psi}(II)+\boldsymbol{\Sigma}_\zeta(II)\otimes\mathbf{I}_{n(II)},\qquad(64)$$

 ISSN 1562-9945

а матрицы $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(II), \mathbf{\Psi}(II), \mathbf{\Sigma}_{\zeta}(II)$ и $\mathbf{\Sigma}_{\psi}(I)$ определяются по формулам (14)–(16), (35), (11)–(13) и (49) соответственно; $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(II) \otimes \mathbf{I}_{n(II)}$ – кронекеровское произведение матриц $\mathbf{\Sigma}_{\varepsilon}(II)$ и $\mathbf{I}_{n(II)}$; матрица $\mathbf{\Sigma}_{*}(I)$ определена в (57).

Применяя приведенную выше теорему и учитывая (60) и (63)–(64), для ковариационной матрицы случайного вектора $\mathbf{u}_{*}(II|I)$ получаем

$$\mathbf{\Omega}_{*}(II \mid I) = \mathbf{D}_{*}(II \mid I)\, \mathbf{\Sigma}_{\eta}(II \mid I)\, \mathbf{D}_{*}^{\mathrm{T}}(II \mid I) = \mathbf{\Sigma}(I) + \mathbf{R}_{*}(II \mid I)\mathbf{\Sigma}_{\xi}(II)\mathbf{R}_{*}^{\mathrm{T}}(II \mid I)\,. \tag{65}$$

Квадратичная форма

$$l_{*}(II \mid I) = \mathbf{u}_{*}^{\mathrm{T}}(II \mid I)\, \mathbf{\Omega}_{*}^{-1}(II \mid I)\, \mathbf{u}_{*}(II \mid I) \tag{66}$$

имеет нецентральное χ^2-распределение с h степенями свободы и параметром нецентральности

$$\tau_{*}^{2}(II \mid I) = \boldsymbol{\delta}_{*}^{\mathrm{T}}(II \mid I)\mathbf{\Omega}_{*}^{-1}(II \mid I)\boldsymbol{\delta}_{*}(II \mid I) \tag{67}$$

(см., например, теорему 5.4.1 в [10]).

Теперь, на основе результатов (52)–(67), сформулируем *решающее правило*:

$$\begin{aligned} &\text{если } l_{*}(I \mid I) < l_{*}(II \mid I), \text{ то наблюдение } \mathbf{y}_{*} \text{ будем относить к классу } P_{I}\,; \\ &\text{если } l_{*}(I \mid I) > l_{*}(II \mid I), \text{ то наблюдение } \mathbf{y}_{*} \text{ будем относить к классу } P_{II}\,. \end{aligned} \tag{68}$$

4. Теоретические значения вероятностей правильной и ошибочной классификаций

Получим теоретические значения вероятностей ошибочной и правильной классификаций по решающему правилу (68). Для вычисления вероятности ошибочной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первой совокупности, необходимо знать совместную плотность распределения случайных величин $l_{*}(I \mid I)$ и $l_{*}(II \mid I)$. Запись совместной плотности представляет сложную задачу, поскольку эти величины *статистически зависимы*. Для подтверждения факта их статистической зависимости вычислим коэффициент корреляции случайных величин $l_{*}(I \mid I)$ и $l_{*}(II \mid I)$.

Сначала сформулируем вспомогательный результат в виде леммы.

Лемма. Если векторная случайная величина $\boldsymbol{\gamma}$ распределена по многомерному нормальному закону $\boldsymbol{\gamma} \sim N(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Sigma})$, то выполняется

$$E\{\boldsymbol{\gamma}^{\mathbf{T}}\mathbf{A}\boldsymbol{\gamma}\ \boldsymbol{\gamma}^{\mathbf{T}}\mathbf{B}\boldsymbol{\gamma}\} = \mathrm{tr}[\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{A}]\,\mathrm{tr}[\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{B}] + 2\,\mathrm{tr}[\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{A}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{B}]. \tag{69}$$

Доказательство леммы получается непосредственными вычислениями.

Запишем для коэффициента корреляции величин $l_*(I/I)$ и $l_*(II/I)$

$$\mathrm{cor}\,(l_*(I\,|\,I), l_*(II\,|\,I)) = \frac{\mathrm{cov}\,(l_*(I\,|\,I), l_*(II\,|\,I))}{\sqrt{D\{l_*(I\,|\,I)\}}\,\sqrt{D\{l_*(II\,|\,I)\}}}. \tag{70}$$

Используя свойства χ^2-распределения и нецентрального χ^2-распределения (см. например, стр. 124-126 в [11]), для математических ожиданий и дисперсий случайных величин $l_*(I\,|\,I)$ и $l_*(II\,|\,I)$ можно записать

$$E\{l_*(I\,|\,I)\} = h, \quad E\{l_*(II\,|\,I)\} = \tau_*^2(II\,|\,I) + h, \tag{71}$$

$$D\{l_*(I\,|\,I)\} = 2h, \quad D\{l_*(II\,|\,I)\} = 4\tau_*^2(II\,|\,I) + 2h. \tag{72}$$

Воспользовавшись сформулированной леммой, для ковариации случайных величин $l_*(I\,|\,I)$ и $l_*(II\,|\,I)$ получаем

$$\mathrm{cov}\,(l_*(I\,|\,I), l_*(II\,|\,I)) = 2\,\mathrm{tr}[\boldsymbol{\Sigma}(I)\boldsymbol{\Omega}_*^{-1}(I\,|\,I)\boldsymbol{\Sigma}(I)\boldsymbol{\Omega}_*^{-1}(II\,|\,I)]. \tag{73}$$

Объединяя результаты (70)–(73), для коэффициента корреляции случайных величин $l_*(I\,|\,I)$ и $l_*(II\,|\,I)$ получаем

$$\mathrm{cor}\,(l_*(I\,|\,I), l_*(II\,|\,I)) = \frac{\mathrm{tr}[\boldsymbol{\Sigma}(I)\boldsymbol{\Omega}_*^{-1}(I\,|\,I)\boldsymbol{\Sigma}(I)\boldsymbol{\Omega}_*^{-1}(II\,|\,I)]}{\sqrt{2h\,\tau_*^2(II\,|\,I) + h^2}} > 0. \tag{74}$$

Итак, вычисление вероятности ошибочной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первому классу состояний, осложняется статистической зависимостью случайных величин $l_*(I\,|\,I)$ и $l_*(II\,|\,I)$.

Менее сложной задачей является вычисление вероятности ошибочной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первому классу состояний, для конкретного значения случайной величины $l_*(I\,|\,I) = l$. В этом случае вероятность отнести анализируемое наблюде-

 ISSN 1562-9945

ние к классу состояний P_{II}, в то время как оно принадлежит P_I, есть не что иное, как вероятность выполнения неравенства $l_*(II\,|\,I) < l$. Поскольку случайная величина $l_*(II\,|\,I)$ имеет нецентральное χ^2-распределение, эту вероятность можно вычислить:

$$\mathrm{prob}\,(II\,|\,I) = \mathrm{prob}\,(l_*(II\,|\,I) < l) = \int_0^l f\,(x; h, \tau_*^2(II\,|\,I))\,dx\,, \tag{75}$$

где $f\,(x; h, \tau_*^2(II\,|\,I))$ – функция плотности χ^2-распределения с h степенями свободы и параметром нецентральности $\tau_*^2(II\,|\,I)$, который введен в (67).

Вероятность правильной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первой совокупности, можно записать, используя (75)

$$\mathrm{prob}\,(I\,|\,I) = 1 - \mathrm{prob}\,(II\,|\,I)\,. \tag{76}$$

5. Вероятности правильной и ошибочной классификаций по результатам идентификации систем авторегрессионных уравнений

Рассмотрим квадратичную форму

$$\hat{l}_*(I\,|\,I) = \mathbf{u}_*^{\mathrm{T}}(I\,|\,I)\,\mathbf{W}_*^{-1}(I\,|\,I)\,\mathbf{u}_*(I\,|\,I)\,, \tag{77}$$

где вектор $\mathbf{u}_*(I\,|\,I)$ определен в (53) и имеет многомерное нормальное распределение $\mathbf{u}_*(I\,|\,I) \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{\Omega}_*(I\,|\,I))$; $\mathbf{\Omega}_*(I\,|\,I)$ – ковариационная $(h \times h)$-матрица определена в (4.58); $\mathbf{W}_*(I\,|\,I)$ – $(h \times h)$-матрица определяется аналогично (4.46):

$$[\mathbf{W}_*(I\,|\,I)]_{k,q} = [\mathbf{U}_*^{\mathrm{T}}(I\,|\,I)\,\mathbf{U}_*(I\,|\,I)]_{k,q} = \mathbf{u}_*^{\mathrm{T}}(I\,|\,I,k)\,\mathbf{u}_*(I\,|\,I,q)\,. \tag{78}$$

Теорема. Для квадратичной формы (77) выполняется:

$$\frac{\hat{l}_*(I\,|\,I)}{n(I)h} \cdot \frac{n(I)h - h + 1}{h} \sim F\,(h, n(I)h - h + 1)\;, \tag{79}$$

где $F(h, n(I)h - h + 1)$ – центральное F-распределение Фишера с h и $n(I)h - h + 1$ степенями свободы.

Справедливость теоремы следует из независимости вектора $\mathbf{u}_*(I\,|\,I)$ и матрицы $\mathbf{W}_*(I\,|\,I)$, и того факта, что матрица $\mathbf{W}_*(I\,|\,I)$ имеет

распределение Уишарта с $n(I)h$ степенями свободы (см., например, стр. 213-214 в [10]):

$$\mathbf{W}_*(I \mid I) \sim W_h((n(I)h, \mathbf{\Omega}_*(I \mid I)). \quad (80)$$

Из (80) следует выполнение (79) (см., например, теорему 5.2.2 в [10]).

Рассмотрим теперь квадратичную форму

$$\hat{l}_*(II \mid I) = \mathbf{u}_*^{\mathrm{T}}(II \mid I)\, \mathbf{W}_*^{-1}(II \mid I)\mathbf{u}_*(II \mid I), \quad (81)$$

где вектор $\mathbf{u}_*(II \mid I)$ определен в (61) и имеет многомерное нормальное распределение $\mathbf{u}_*(II \mid I) \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{\Omega}_*(II \mid I))$; $\mathbf{\Omega}_*(II \mid I)$ – ковариационная $(h \times h)$-матрица определена в (4.65); $\mathbf{W}_*(II \mid I)$ – $(h \times h)$-матрица определяется аналогично (4.46):

$$[\mathbf{W}_*(II \mid I)]_{k,q} = [\mathbf{U}_*^{\mathrm{T}}(II \mid I)\mathbf{U}_*(II \mid I)]_{k,q} = \mathbf{u}_*^{\mathrm{T}}(II \mid I,k)\,\mathbf{u}_*(II \mid I,q). \quad (82)$$

Сформулируем решающее правило, опираясь на (52)–(67) и (77)–(82):

$$\begin{aligned} &\text{если } \hat{l}_*(I \mid I) < \hat{l}_*(II \mid I), \text{ то наблюдение } \mathbf{y}_* \text{ будем относить к классу } P_I; \\ &\text{если } \hat{l}_*(I \mid I) > \hat{l}_*(II \mid I), \text{ то наблюдение } \mathbf{y}_* \text{ будем относить к классу } P_{II}. \end{aligned} \quad (83)$$

Для вычисления вероятности ошибочной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первой совокупности, необходимо знать совместную плотность распределения случайных величин $\hat{l}_*(I \mid I)$ и $\hat{l}_*(II \mid I)$, а запись совместной плотности представляет собой сложную задачу, поскольку эти случайные величины *статистически зависимы*.

Менее сложной задачей является вычисление вероятности ошибочной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первой совокупности, для конкретного значения случайной величины $\hat{l}_*(II \mid I) = \tilde{l}$. Вероятность отнести анализируемое наблюдение к классу состояний P_{II}, в то время как оно принадлежит P_I, есть не что иное, как вероятность выполнения неравенства $\hat{l}_*(I \mid I) > \tilde{l}$. Поскольку случайная

 ISSN 1562-9945

величина $\hat{l}_*(I \mid I)$ имеет центральное F-распределение Фишера, эту вероятность можно вычислить:

$$\text{prob}(II \mid I) = \text{prob}(\hat{l}_*(I \mid I) > \tilde{l}) = \int_0^{\tilde{l}} F(x; h, n(I)h - h + 1)\, dx, \qquad (84)$$

где $F(x; h, n(I)h - h + 1)$ – функция плотности F-распределения Фишера с h и $2nh - h + 1$ степенями свободы.

Используя (84) можно записать вероятность правильной классификации наблюдения, фактически принадлежащего первому классу состояний

$$\text{prob}(I \mid I) = 1 - \text{prob}(II \mid I). \qquad (85)$$

Случай принадлежности исследуемого наблюдения $\mathbf{y}_*$ ко второму классу состояний P_{II} может быть рассмотрен аналогично.

Отметим также, что рассмотренная задача обнаружения изменения свойств динамических систем может быть поставлена и решена в условиях структурной неопределённости, когда структурные матрицы, введённые в первом пункте, априорно неизвестны. В этом случае построение систем авторегрессионных уравнений оптимальной сложности для двух классов состояний может быть проведено на основе результатов [12–14].

Заключение

Решена задача статистической классификации состояний динамической системы, которая может находиться в двух классах состояний, в каждом из которых её функционирование описывается своей системой авторегрессионных уравнений с априорно неизвестными параметрами. Предполагается, что выполнены следующие условия: а) два класса состояний описываются одинаковыми множествами наблюдаемых входных и выходных переменных; б) выходные переменные, как в первом, так и во втором классе определены разными множествами регрессоров (входных переменных); в) модели функционирования в первом и втором классах различны как по коэффициентам, так и по структуре авторегрессионных моделей; г) ковариационные матрицы случайных величин в моделях функциониро-

вания и моделях наблюдения для первого и второго классов различны. Построено правило классификации и исследованы его свойства.

Опыт успешного решения задач обнаружения изменения свойств динамических систем на основе регрессионных уравнений в работе [6], где предложен и обоснован подход к построению математических моделей контроля технического состояния силовых и энергетических установок в длительной эксплуатации, показывает целесообразность применения такого подхода при решении задач контроля функционирования объектов ракетно-космической техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем: пер. с англ. / М. Бассвиль, А. Вилски, А. Банвенист и др.; под. ред. М. Бассвиль, А. Банвениста. – М. : Мир, 1989. – 278 с.

2. Бородкин Л. И. Алгоритм обнаружения моментов изменения параметров уравнения случайного процесса / Л. И. Бородкин, В. В. Моттль // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 6. – С. 23–31.

3. Воробейчиков С. Э. Об обнаружении разладок в динамических системах / С. Э. Воробейчиков, В. В. Конев // Автоматика и телемеханика. – 1990. – № 3. С. 56–68.

4. Цыганова Ю. В. Метод обнаружения факта нарушения и его диагностики в линейных стохастических системах в процессе фильтрации / Ю. В. Цыганова // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 2 (18). – С. 163–171.

5. Карташов В. Я. Обнаружение структурно-параметрических изменений в стохастических системах в реальном масштабе времени алгоритмами непрерывных дробей и структурного анализа / В. Я. Карташов, М. А. Новосельцева // Управление большими системами. – 2011. – Вып. 34. – С. 62–91.

6. Миргород В. Ф. Математические модели процессов управляемого изменения состояния силовых и энергетических установок: дисс. … д-ра техн.наук/Миргород Владимир Фёдорович.–Днепропетровск,2012.–344 с.

7. Сарычев А. П. Идентификация параметров систем авторегрессионных уравнений при известных ковариационных матрицах / А. П. Сарычев // Международный научно-технический журнал “Проблемы управления и информатики”. – 2012. – № 3. – С. 14–30.

 ISSN 1562-9945

8. Сарычев А. П. Исследование методом статистических испытаний итерационной процедуры для идентификации параметров системы авторегрессионных уравнений / А. П. Сарычев // Системні технології. – 2014. – Випуск 3 (92). – С. 77–89.

9. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ : пер. с англ. / Дж. Себер. – М. : Мир, 1980. – 456 с.

10. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ : пер. с англ. / Т. Андерсон. – М. : Физматгиз. – 1963. – 500 с.

11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М. : Наука, 1985. – 640 с.

12. Сарычев А. П. Моделирование в классе систем авторегрессионных уравнений в условиях структурной неопределенности / А. П. Сарычев // Международный научно-технический журнал “Проблемы управления и информатики”. – 2015. – № 4. – С. 79–103.

13. Системный анализ и управление сложными системами в условиях неопределенности / А. П. Алпатов, В. Т. Марченко, Ю. А. Прокопчук, А. П. Сарычев, С. В. Хорошилов; под. ред. А. П. Алпатова. – Днепропетровск : ИТМ НАНУ и ГКАУ, 2015. – 196 с.

14. Александр Сарычев. Моделирование сложных систем в условиях структурной неопределённости: регрессионные и авторегрессионные модели / А. П. Сарычев. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Saarbrücken, Deutschland. – 2016. – 274 с.

REFERENCES

1. Obnaruzhenye yzmenenyia svoistv syhnalov y dynamycheskykh system: per. s anhl. / M. Bassvyl, A. Vylsky, A. Banvenyst y dr.; pod. red. M. Bassvyl, A. Banvenysta. – M. : Myr, 1989. – 278 s.

2. Borodkyn L. Y. Alhorytm obnaruzhenyia momentov yzmenenyia parametrov uravnenyia sluchainoho protsessa / L. Y. Borodkyn, V. V. Mottl // Avtomatyka y telemekhanyka. – 1976. – № 6. – S. 23–31.

3. Vorobeichykov S. Э. Ob obnaruzhenyy razladok v dynamycheskykh systemakh / S. Э. Vorobeichykov, V. V. Konev // Avtomatyka y telemekhanyka. – 1990. – № 3. S. 56–68.

4. Tsihanova Yu. V. Metod obnaruzhenyia fakta narushenyia y eho dyahnostyky v lyneinыkh stokhastycheskykh systemakh v protsesse fyltratsyy / Yu. V. Tsыhanova // Vestnyk Samarskoho hosudarstvennoho aэrokosmyche-skoho unyversyteta. – 2009. – № 2 (18). – S. 163–171.

5. Kartashov V. Ya. Obnaruzhenye strukturno-parametrycheskykh yzmenenyi v stokhastycheskykh systemakh v realnom masshtabe vremeny alhorytmamy neprerыvnыkh drobei y strukturnoho analyza / V. Ya. Kartashov, M. A. Novoseltseva // Upravlenye bolshymy systemamy. – 2011. –Vip. 34.–S. 62–91.

6. Myrhorod V. F. Matematycheskye modely protsessov upravliaemoho yzmenenyia sostoianyia sylovыkh y эnerhetycheskykh ustanovok: dyss. … d-ra tekhn. nauk / Myrhorod Vladymyr Fëdorovych. –Dnepropetrovsk, 2012.–344 s.

7. Sarichev A. P. Ydentyfykatsyia parametrov system avtorehressyon-nыkh uravnenyi pry yzvestnыkh kovaryatsyonnыkh matrytsakh / A. P. Sarыchev // Mezhdunarodnыi nauchno-tekhnycheskyi zhurnal “Problemы upravlenyia y ynformatyky”. – 2012. – № 3. – S. 14–30.

8. Sarichev A. P. Yssledovanye metodom statystycheskykh yspitanyi yteratsyonnoi protseduri dlia ydentyfykatsyy parametrov systemi avtorehressyonnikh uravnenyi / A. P. Sarichev // Systemni tekhnolohii. –2014. – Vypusk 3 (92). – S. 77–89.

9. Seber Dzh. Lyneinii rehressyonnii analyz : per. s anhl. / Dzh. Seber. – M.: Myr, 1980. – 456 s.

10. Anderson T. Vvedenye v mnohomernii statystycheskyi analyz: per. s anhl. / T. Anderson. – M. : Fyzmathyz. – 1963. – 500 s.

11. Spravochnyk po teoryy veroiatnostei y matematycheskoi statystyke / V. S. Koroliuk, N. Y. Portenko, A. V. Skorokhod, A. F. Turbyn. – M. : Nau-ka, 1985. – 640 s.

12. Sarichev A.P. Modelyrovanye v klasse system avtorehressyonnыkh uravnenyi v uslovyiakh strukturnoi neopredelennosty / A. P. Sarichev // Mezhdunarodnii nauchno-tekhnycheskyi zhurnal “Problemi upravlenyia y ynformatyky”. – 2015. – № 4. – S. 79–103.

13. Systemnii analyz y upravlenye slozhnimy systemamy v uslovyiakh neopredelennosty / A.P. Alpatov, V.T. Marchenko, Yu.A. Prokopchuk, A.P. Sarichev, S.V. Khoroshylov; pod. red. A. P. Alpatova. – Dnepropet-rovsk : YTM NANU y HKAU, 2015. – 196 s.

14. Aleksandr Sarichev. Modelyrovanye slozhnikh system v uslovyiakh strukturnoi neopredelënnosty: rehressyonnie y avtorehressyonnie modely / A.P. Sarichev. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Saarbrücken, Deutschland. – 2016. – 274 s.

 ISSN 1562-9945

УДК 330.322:004.42

К.Ю. Островська

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ІНДИКАТОРУ MACD ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Анотація. В результаті виконання роботи було програмно реалізовано функцію для прийняття рішень на баржевому ринці, проведено тестування та дослідження індикатору MACD.

Ключові слова: індикатор, технічний аналіз, тренд, осцилятор, , функція, біржа, ринок, мова, програма, бібліотека, стратегія, дані, python.

Технічний аналіз – це дослідження динаміки основних показників ринку за допомогою графічних методів з метою прогнозування майбутніх напрямів їх руху [1].

Задача технічного аналізу визначити поточний напрям руху ринку.

Більшість аналітиків використовує фігури для характеристики ліній опору, підтримки, повороту та зародження трендів.

Відомий аналітик Е.Л. Найман, який працює в інвестиційній компанії «Альфа-Капітал» на українському фондовому ринку, стверджує, що учасники ф'ючерсних ринків, аналізуючи трендові моделі, повинні використовувати правило — не працюй проти тренду - "the trend is your friend" – "тренд ваш друг" [2].

Найпоширеніші позначення характеристик тренду:

- очікування підвищення цін; - очікування спаду цін;

Сигнали початку трендів групуються за силою: + + + сильний; + + середній; + слабкий (рисунки 1 та 2).

© Островська К.Ю., 2019

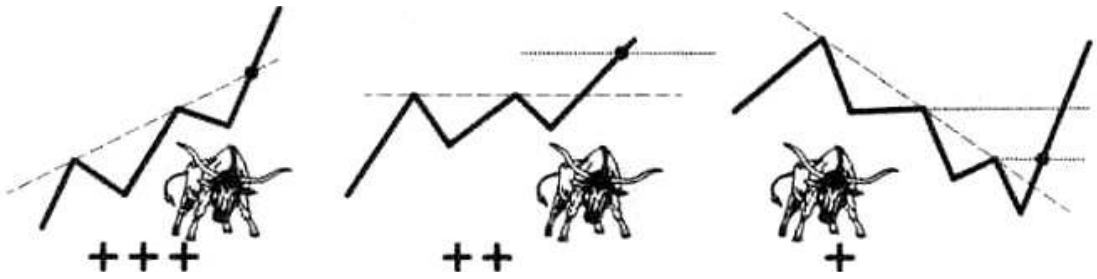


Рисунок 1 – Лінія тренду за максимальними цінами – лінія опору (resistance)

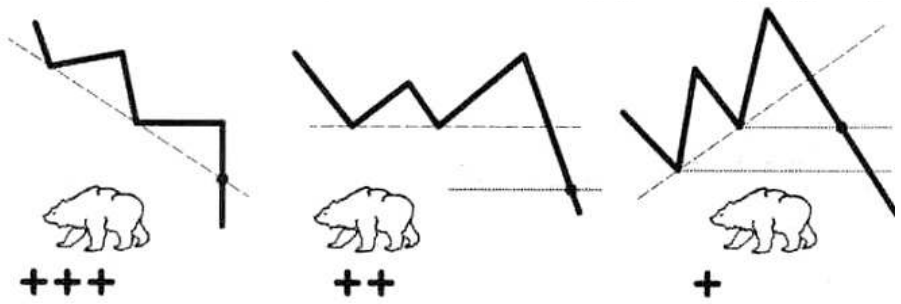


Рисунок 2 - Лінія тренду за мінімальници цінами – лінія опору (support)

Рівень опору – це локально-максимальна ціна. При з’єднанні локальних максимумів і визначається лінія опору. Рівень підтримки – це локально-мінімальна ціна. Для отримання цієї лінії необхідно з’єднати між собою рівні мінімальних цін.

Динамічний індикатор MACD відносять до категорії трендових - за даним параметру можна судити про співвідношення між парою ковзаючи середніх ціни. Побудова індикатора проводиться з урахуванням різниці між двома EMA, що мають періоди в 12 і 26 днів. Для більш точного нанесення кращих місць для угоди (продажу або покупки) на графік MACD може наноситися додаткова (сигнальна) лінія з дев'яти експоненційних ковзаючи середніх від MACD-Line при обов'язковому згладжування (параметр за замовчуванням - 9) [3, 4].

Всі сигнали MADC можна умовно розбити на три категорії:

1. Торгівля на перетинах - один з найпростіших методів застосування індикатора. Аналіз проводиться на основі перетину головних складових MADC. Сигнал на покупку надходить в тому випадку, коли гістограма проходить нульову лінію, прямуючи від низу до верху. Якщо ситуація відбувається навпаки (лінія прямує зверху вниз), то це сигнал на продаж.

 ISSN 1562-9945

Здійснювати покупку краще в тому випадку, коли відповідний сигнал з'являється біля «нуля». Як правило, така подія відбувається на тілі явного бичачого тренда. Якщо сигнал з'являється, коли індикатор знаходиться під «нульовий» лінією, то це свідчить про слабкість тренда, рисунок 3.

Аналізуючи криву MACD, можна витягти що якщо стовп (бар) гістограми розташувався над «нульовий» лінією, і помітно зменшення кожного наступного бару в розмірах, то варто врахувати зменшення моменту.

2. Перепродаж / Перекупка - учасник ринку оцінює реальну перекупленность або перепроданість ринку, завдяки чому можна точно визначити точки майбутнього розвороту. Якщо індикатор досягає своїх максимумів, розташованих по обидві сторони від «нульової» лінії, то це свідчить про перекупленності (перепроданості) ринку. При цьому варіанти варто дослідним шляхом встановити точки екстремуму для кожного з інструментів.

Як тільки крива індикатора MACD досягає максимальної та мінімальної області, перетин з сигнальною лінією сприяє появі відповідного сигналу (покупки або продажу). Якщо перетин стався поза вказаними вище рівнів, то інформацію можна ігнорувати.

Сигнали, що з'являються в середній зоні частини графіка варто використовувати лише в разі підтвердження тренда іншим індикатором, рисунок 4.

Рисунок 3 - Торгівля на перетинах з MACD

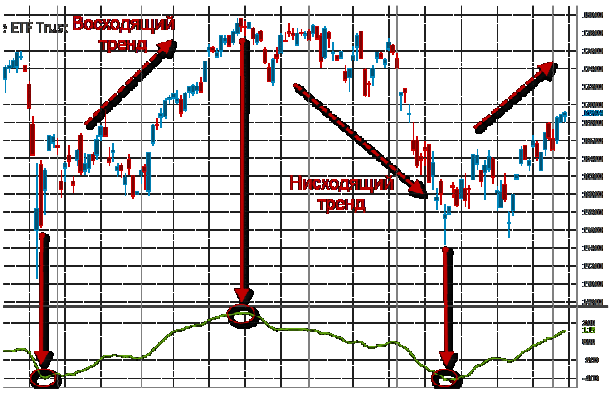


Рисунок 4 - Застосування MACD

Важливо врахувати, що MACD бажано застосовувати як довгостроковий інструмент, який слідує за зростаючим (падаючим) ринком.

3. Дивергенція - відмінний метод застосування індикатора MADC. У технічних дослідженнях і у випадку з MACD дивергенцію краще не використовувати поодинці - вона ефективна тільки в комплексі з іншими інструментами теханаліза.

Дивергенція зустрічається в разі, коли ціна активу направляється в зворотному від індикатора напрямку. Застосування сигналу можливо у випадках, коли потрібно визначити характер ринку (зростаючий або падаючий) після проведеної корекції. Дивергенція застосовується і для визначення розвороту тренда, рисунок 5.

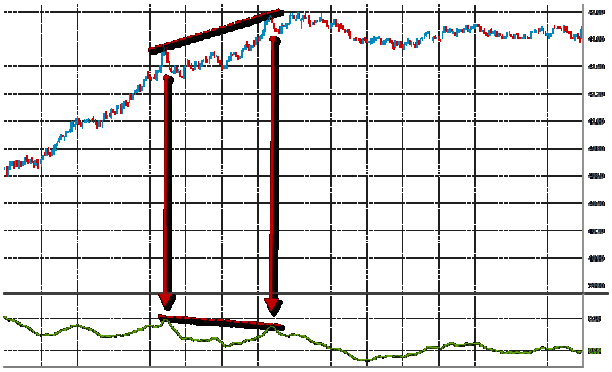


Рисунок 5 - Дивергенція MACD

При роботі з інструментом випередження подій вельми небезпечно - краще дочекатися входження на ринок, поки не відбудеться чітка установка дивергенції. В іншому випадку учасник виявляється на іншій стороні тренда.

Аналіз індикатора MACD та програмна реалізація функції для прийняття рішень

1. Необхідно навчитися аналізувати MACD програмно. Пишемо функцію для прийняття рішення - чи варто торгувати в даний момент часу або не варто. Прикріпимо індикатор до бота.

2. Будуємо MACD і ставимо задачу.

3. Побудуємо свічки, побудуємо лінії, а третій - порожній - для демонстрації роботи алгоритму.

 ISSN 1562-9945

Рисунок 6

Методів для аналізу графіків богато:

Зазвичай сигналом «Купувати» вважають, коли змінна з меншим періодом (на рисунку 6 синя лінія) в нижній зоні перетинає знизу вгору ковзаючу з великим періодом (червона лінія). Сигналом «Продавати» вважають, коли змінна з меншим періодом у верхній зоні перетинає зверху вниз ковзаючу з великим періодом.

Звичайно, в житті не все так просто - і сам по собі індикатор призначений для тижневих і місячних періодів, і обсяг впливає на прийняття рішень, і, по хорошому, треба заодно перевірити ще п'ять індикаторів. Але нам необхідно навчитися розуміти тенденцію ринку!

По-перше, що нам потрібно зробити, це знайти перетин ліній на графіку. Скористаємось можливостями бібліотеки numpy.

Подекуди вилаявся (рисунок 7), це пов'язано з відсутністю даних на початку, побудувався той же графік, що і вище, і в консоль вивелися точки перетину - на початку багато, тому що, знову ж таки, ми беремо мало даних з біржі.

```
    idx = numpy.argwhere(numpy.diff(numpy.sign(macd - macdsignal)) != 0).reshape
(-1) + 0
RuntimeWarning: invalid value encountered in sign
[  0   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17
  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  56  77  88
 112 113 116 118 127 156 158 159 163 164]
```

Рисунок 7

Ці цифри позначають положення по осі X, в яких відбувся перетин, необхідно накласти їх на графік, рисунок 8.

Рисунок 8

Надалі необхідно навчитися розуміти, коли графік зростає, а коли падає. Але спочатку потрібно розібратися з даними, які ми отримуємо. Як це працює?

Приберемо (тимчасово) все, що пов'язано з кодом, і пильно поглянемо на те, з чим працюємо.

Ось що, приблизно, буде виведено у нас в консоль (рисунок 9).

```
from matplotlib.finance import candlestick2_ohlc
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as ticker
import datetime as datetime
PAIR = 'BTC_ETH' # Пара, по которой работаем
start_time = time.time() - 15*60*60 # за какой период брать данные - 15 часов в данном случае
resource = requests.get("https://poloniex.com/public?command=returnChartData&currencyPair=%s&start=%s&end=9999999999&period=300" % (PAIR, start_time))
data = json.loads(resource.text)
quotes = {}
quotes['open']=numpy.asarray([item['open'] for item in data])
quotes['close']=numpy.asarray([item['close'] for item in data])
quotes['high']=numpy.asarray([item['high'] for item in data])
```

 ISSN 1562-9945

```
        quotes['low']=numpy.asarray([item['low']   for   item   in
data])
        macd, macdsignal, macdhist = talib.MACD(quotes['close'],
fastperiod=12, slowperiod=26, signalperiod=9)
        print('=====MACD=======', macd)
        print('*'*80)
        print('=====MACDSIGNAL=======', macdsignal)
        print('*'*80)
        idx = numpy.argwhere(numpy.diff(numpy.sign(macd - macd-
signal)) != 0).reshape(-1) + 0
        print('======IDX=======',idx)
        print('*'*80)
        inters = []
        for offset, elem in enumerate(macd):
            if offset in idx:
                inters.append(elem)
            else:
                inters.append(numpy.nan)
        print('======INTERS=======',inters)
        print('*'*80)
```

```
  -1.45407093e-05  -2.79156943e-06  -5.55390636e-06  -3.51466712e-06
   3.79407777e-06   4.96994254e-06   5.74395647e-07  -2.69407437e-06]
********************************************************************************
=====MACDSIGNAL======= [                nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan                 nan                 nan                 nan
            nan   7.91964156e-06   4.14538137e-06   2.60110672e-08
  -4.07798778e-06  -7.95972541e-06  -1.00486163e-05  -1.19658012e-05
  -1.41967407e-05  -1.91172385e-05  -2.54980919e-05  -3.30112736e-05
  -4.08438995e-05  -4.82626516e-05  -5.56410407e-05  -6.42993299e-05
  -7.47543657e-05  -8.34476354e-05  -9.08057290e-05  -9.68925398e-05
  -1.01468395e-04  -1.04801729e-04  -1.06813122e-04  -1.05715029e-04
  -1.00109105e-04  -9.20068930e-05  -8.33780421e-05  -7.33571885e-05
  -6.36038942e-05  -5.57372341e-05  -4.92923183e-05  -4.36782867e-05
  -3.83179021e-05  -3.36094692e-05  -2.82381559e-05  -2.21575548e-05
  -1.66029528e-05  -1.13587158e-05  -5.49435135e-06  -7.93408023e-07
   2.85393054e-06   5.86654769e-06   6.93093660e-06   7.44338331e-06
   4.53806645e-06  -8.33349002e-07  -7.43651650e-06  -1.44790970e-05
  -2.37995581e-05  -3.43321377e-05  -4.24419962e-05  -5.01495140e-05
  -5.68599578e-05  -6.23391642e-05  -6.44507323e-05  -6.41929845e-05
  -6.31835640e-05  -6.08165887e-05  -5.57583687e-05  -4.83784128e-05
  -4.04246751e-05  -3.25801824e-05  -2.52424374e-05  -1.63281028e-05
  -6.98427410e-06   2.40565627e-06   1.19473904e-05   2.12163923e-05
   2.87481070e-05   3.47316929e-05   3.96491627e-05   4.25866661e-05
   4.50679886e-05   4.85437211e-05   5.19487919e-05   5.49999085e-05
   5.77986650e-05   5.99061643e-05   6.12834429e-05   6.11583360e-05
   6.25920056e-05   6.31867171e-05   6.41987993e-05   6.33480445e-05
   6.23669858e-05   6.29469842e-05   6.61562560e-05   7.06356149e-05
   7.31779095e-05   7.49688119e-05   7.62365179e-05   7.93643430e-05
   8.21091216e-05   8.22391840e-05   8.08427789e-05   8.01952878e-05
   7.98211375e-05   7.77761567e-05   7.45655235e-05   7.06259890e-05
   6.75221366e-05   6.36775641e-05   5.84592469e-05   5.17325361e-05
   4.42927165e-05   3.80656337e-05   3.08952572e-05   2.53411943e-05
   2.04123360e-05   1.60918257e-05   1.29766159e-05   7.86890659e-06
   1.78545039e-06  -3.18741060e-06  -8.62701372e-06  -1.58040669e-05
  -2.36682367e-05  -3.26597980e-05  -4.17419960e-05  -4.89979550e-05
  -5.41267555e-05  -5.94598574e-05  -6.09128493e-05  -6.09127313e-05
  -6.05008635e-05  -6.24807926e-05  -6.05101235e-05  -5.81844475e-05
  -5.59152938e-05  -5.49830950e-05  -5.51139617e-05  -5.32296243e-05
  -4.96716435e-05  -4.68862438e-05  -4.33057622e-05  -4.06345632e-05
  -3.97299858e-05  -3.66529746e-05  -3.35112020e-05  -2.96101255e-05
  -2.65962422e-05  -2.18353077e-05  -1.85790274e-05  -1.55661553e-05
  -1.16941087e-05  -8.36129847e-06  -6.57415965e-06  -5.79814259e-06]
********************************************************************************

Warning (from warnings module):
  File "                          \inters.py", line 35
    idx = numpy.argwhere(numpy.diff(numpy.sign(macd - macdsignal)) != 0).reshape(-1) + 0
RuntimeWarning: invalid value encountered in sign
======IDX======= [  0   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17
  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  54  75  86
 110 111 114 116 125 154 156 157 161 162]
********************************************************************************
======INTERS======= [nan, nan, nan,
```

На другому ми отримуємо дані самі, з допомогою виклику функції:

```
macd, macdsignal, macdhist = talib.MACD (quotes [ 'close'], fastperiod = 12, slowperiod = 26, signalperiod = 9)
```

В результаті отримуємо три набори даних - macd, macdsignal, macdhist - це три масиву значень, кожне з яких є значенням для осі Y. Тобто перший елемент буде відображати в X (0), другий в X (1), на висоті Y, зазначеної в самому елементі. На скріншоті (рисунок 9), було виведено в консоль отримані значення.

На рисунку 10 - Nan - це значить Not a number, і це те, чого не видно на графіку (на початку, лінії відображаються з відступом). Далі йдуть значення - вони крутяться навколо нуля, саме ці значення ми і прорисуємо на графіку і використовуємо для аналізу. В даному випадку перші 33 елемента отрисовані не будуть, потім (X = 34, Y = 7.91964156e-06), (X = 35, Y = 4.14538137e-06) і т.д.

Те ж саме справедливо і для macd.

```
=====MACDSIGNAL======= [        nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan        nan        nan        nan
       nan  7.91964156e-06  4.14538137e-06  2.60110672e-08
-4.07798778e-06 -7.95972541e-06 -1.00486163e-05 -1.19658012e-05
-1.41967407e-05 -1.91172395e-05 -2.54980919e-05 -3.30112736e-05
-4.08438995e-05 -4.82626516e-05 -5.56410407e-05 -6.42993299e-05
-7.47543657e-05 -8.34476354e-05 -9.08057290e-05 -9.68925398e-05
-1.01468395e-04 -1.04801729e-04 -1.06813122e-04 -1.05755025e-04
-1.00109101e-04 -9.20068930e-05 -8.33780421e-05 -7.33571885e-05
```

Рисунок 10

У цьому рядку:

```
idx = numpy.argwhere (numpy.diff (numpy.sign (macd - macdsignal))! = 0) .reshape (-1) + 0
```

 ISSN 1562-9945

отримуюємо перетин значень і отримуюємо на виході масив індексів:

```
======IDX======= [ 0  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16 17

 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 54 75 86

110 111 114 116 125 154 156 157 161 162]
```

Це означає, якщо взяти масив значень macd, то перетин буде в точках 0, 1, 2, ... 75, 86 ... 161, 162. Те ж саме справедливо і для масиву macdsignal. IDX вказує на точки X на графіку.

Для відображення перетинів (червоних точок на графіку) було створено новий набір даних - він по довжині такий же, як macd і macdsignal, але там, де є перетин macd і macdsignal, було вставлено значення macd, там де перетину немає, вставляю nan. Таким чином, було отрисовано всі крапки X, але червона точка з'явиться тільки там, де є перетин.

Далі необхідно ловити тренд! Тобто в який бік рухається ринок. Повернемо отрисовку графіків, і на третьому будемо відображати результати нашого аналізу.

Для початку будемо просто порівнювати, яка лінія зверху, а яка знизу, і відображати свій графік - зростає або падає. З рисунку 11 наочно видно, коли графік зростав, а коли падав.

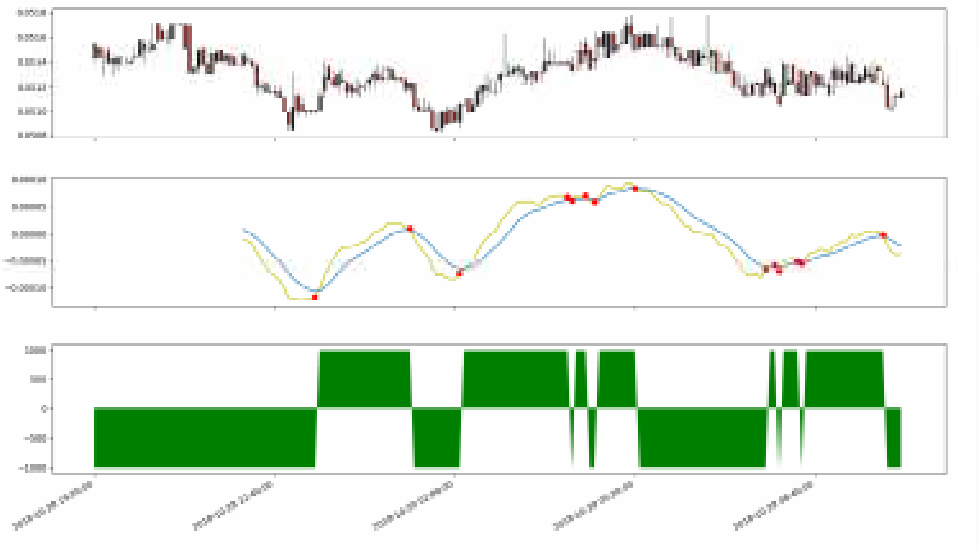


Рисунок 11

Боту буде вигідніше торгувати в такі моменти (рисунок 12):

- Коли графік падав, але почав зростати (в самому кінці падіння).

- Коли графік почав зростати, зростає, і не намітив тенденцію до падіння (торгувати під час росту, припинити ближче до кінця).

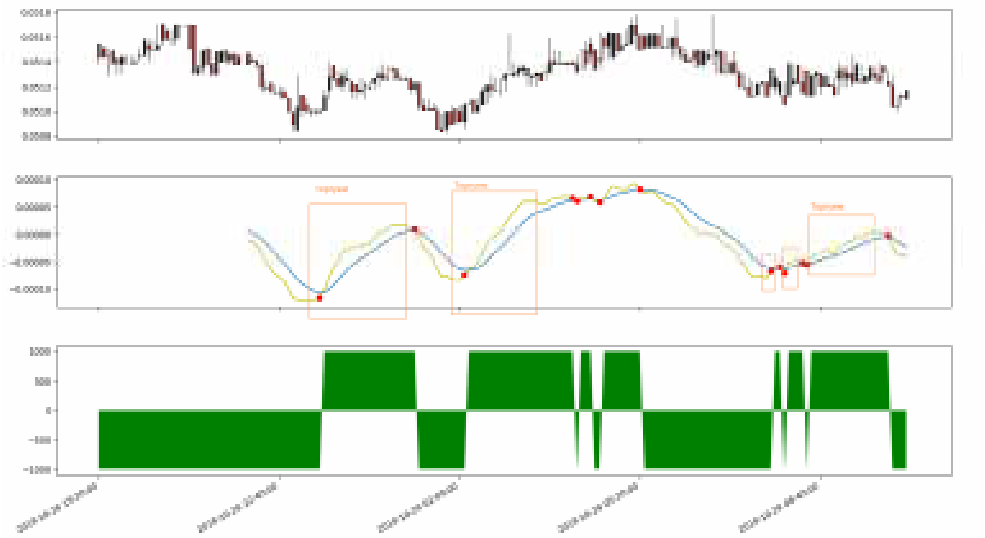


Рисунок 12

Зрозуміло, що поточна логіка з цим не справляється.

Далі, ми беремо різницю між двома лініями MACD, і порівнюємо з максимальною різницею ліній MACD за період від одного зміни тренда до іншого.

Кожен раз, коли тренд розвертається (перетин ліній) необхідно обнулити цей максимум в нуль.

Таким чином, після розвороту тренда, перша різниця між двома лініями буде максимальною (100% різницею). Після цього якщо лінії ще сильніше розійдуться, то вже наступна різниця між лініями стане максимальною. У той момент, коли лінії почнуть сходитися, різниця вже не буде максимальною, а буде спадати (90%, 80%) і т.д.

Тому для торгів необхідно використовувати дві настроювальні змінні:

1. Якщо ринок бичачий (зростає) то торгуй, поки різниця більше X%. В такому випадку він буде торгувати на бичачому ринку з моменту розвороту тренда до тих пір, поки лінії не почнуть щільно сходитися.

 ISSN 1562-9945

2. Якщо ринок ведмежий (спадає) то торгуй тоді, коли різниця між лініями менше Y%. В такому випадку він включиться в торгівлю тільки після того як тренд розгорнеться, лінії розійдуться на максимум, потім зійдуться майже повністю.

Ось так визначимо ці змінні:

BEAR_PERC = 70 # При падінні ринку

BULL_PERC = 30 # При зростанні ринку

Кожне з цих значень може коливатися від 0 до 100, не обов'язково, що б вони в сумі щось давали, вони незалежні.

Далі необхідно внести зміни в код (рисунок 13).

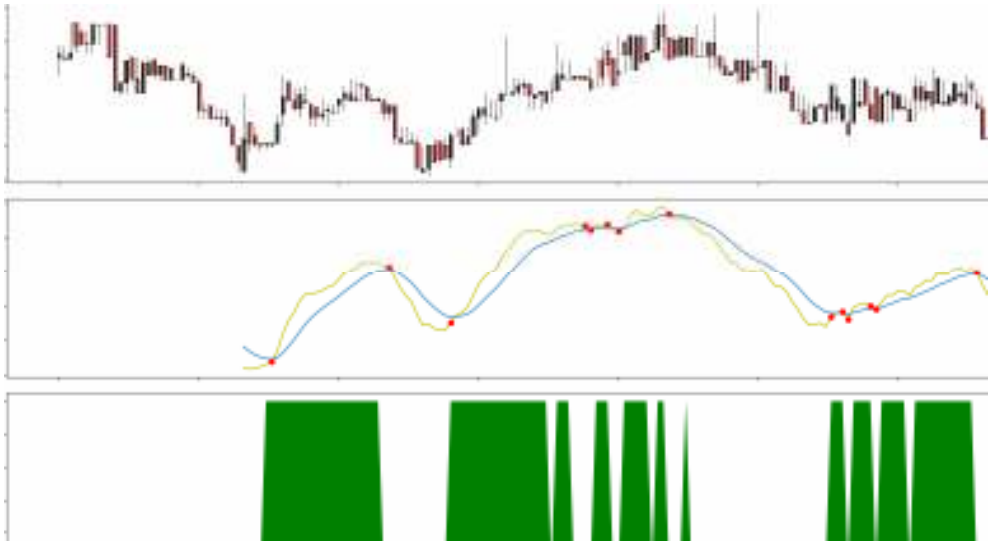


Рисунок 13

Працює. Правда, спрацювало в середині, там де тренд майже розвернувся, але передумав, але це від налаштувань залежить, якщо виставити BEAR_PERC = 99, наприклад, то такого не буде, але і на падінні він не зрубає. А якщо виставити 100 то буде завжди грати тільки на зростанні. На рисунку 13 наочно видно, що в найсумніші моменти бот не торгуватиме!

Якщо, як зазвичай, змінити код, і зробити (для демонстрації), порадника - він буде говорити нам, торгувати чи ні, зараз, в цю хвилину. Винесемо частину коду в функцію і додамо анімацію (рисунок 14).

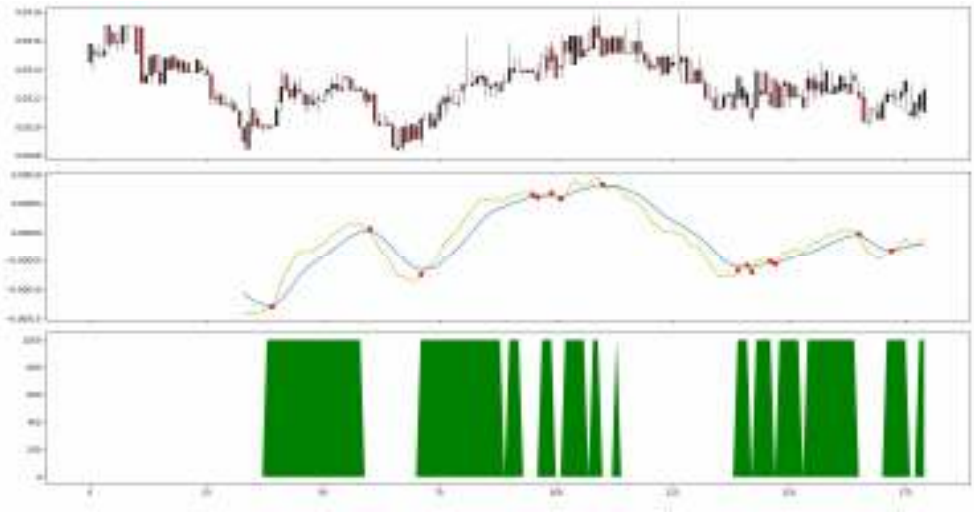


Рисунок 14

Тепер наш скрипт кожну секунду (по можливості) отримує дані з біржі, будує графік і дає нам пораду - варто зараз торгувати чи ні. Відповідно, він сам перерисовує графік, і нічого перезапускати не треба (рисунок 15).

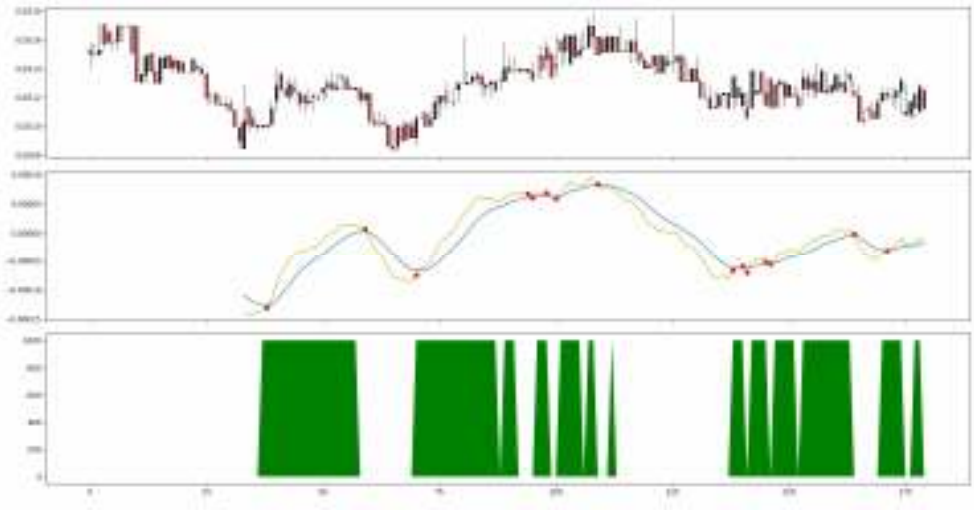


Рисунок 15

Торгова біржа Полонікс.

У бота на сайті було додано функцію, підключено numpy, talib і requests, виставлені параметри BEAR_PERC і BULL_PERC.

Ця функція, приймає дані з біржі, аналізує їх, і повертає рішення - торгувати чи ні.

Торгова біржа Exmo. Exmo не повертає архівні дані по торгах. Тому доведеться збирати інформацію з біржі, поки не нагромадиться дос-

 ISSN 1562-9945

татньо даних для аналізу. Скористаємося методом API trades. Він повертає 100 останніх торгів.

Функцію, можна прикрутити, до будь-якого боту. Тут бот буде купувати рідше, але вже з деяким проблиском інтелекту.

Далі необхідно розглянемо, як будувати MACD для Ексмо.

Наш скрипт необхідно модифікувати так, що б бачити MACD лінії і гістограму для торгів на Ексмо, залишивши логіку порадника - купувати чи ні.

Графік порадника було замінено на гістограму, для повноти картини.

Так само було додано в скрипт змінну PERIOD, це час в хвилинах, за яке будуємо свічки. Для демонстрації, було виставлено 30 хвилин - саме так будує Ексмо, і так ви можете порівняти точність роботи скрипта. Але якщо поміняти це число на 5 - тоді буде можливість бачити п'ятихвилинні свічки, більш оперативно оцінювати обстановку, і, можливо, отримаєте перевагу перед тими, хто торгує на Ексмо через рідний інтерфейс біржі, результат представлено на рисунку 16.

Рисунок 16

Висновки

В результаті виконання роботи було проаналізовано можливість використання технічного індикатору MACD та програмно реалізовано функцію для прийняття рішень з логікою порадника «купувати чи ні» для двох бірж криптовалют Exmo та Poloniex.

Застосування MACD - індикатора, як втім, і будь-якого іншого індикатора, може іноді супроводжуватися помилковими сигналами. Тому, для більш успішної торгівлі на фондовому і валютному ринку найкраще використовувати індикатор MACD в сукупності з іншими індексами показники яких будуть підтверджувати правильність обраної позиції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кац, Джеффри Оуэн, Мак Кормик, Донна Л. Энциклопедия торговых стратегий / Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 400 с.

2. Швагер Д. Технический анализ, полный курс. - М.: Альпина Паблишер, 2001. - 768с.

3. Островська К.Ю., Кислова Н.О., Головацький О.О. Дослідження технічних індикаторів для оптимальної стратегії біржевого ринку з використанням Python та бібліотеки TA-Lib // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5 (118). – Днепр, 2018. – С.72-81.

4. Островська К.Ю., Костюк О.В., Краснощок Д.А. Дослідження індикатору MACD для back-testing різних стратегій // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5 (118). – Днепр, 2018. – С.106-114.

REFERENSES

1. Kats, Dzheffry Ouэn, Mak Kormyk, Donna L. Entsyklopedyia torhovikh stratehyi / Per. s anhl. – M.: Alpyna Pablysher, 2002. – 400 s.

2. Shvaher D. Tekhnycheskyi analyz, polnii kurs. - M.: Alpyna Pablysher, 2001. - 768s.

3. Ostrovska K.Iu., Kyslova N.O., Holovatskyi O.O. Doslidzhennia tekhnichnykh indykatoriv dlia optymalnoi stratehii birzhevoho rynku z vykorystanniam Python ta biblioteky TA-Lib // Systemnыe tekhnolohyy. Rehyonalnii mezhvuzovskyi sbornyk nauchnikh rabot. – Vipusk 5 (118). – Dnepr, 2018. – S.72-81.

4. Ostrovska K.Iu., Kostiuk O.V., Krasnoshchok D.A. Doslidzhennia indykatoru MACD dlia back-testing riznykh stratehii // Systemnie tekhnolohyy. Rehyonalnii mezhvuzovskyi sbornyk nauchnikh rabot. – Vipusk 5 (118). – Dnepr, 2018. – S.106 - 114.

 ISSN 1562-9945

СОДЕРЖАНИЕ

Полевой О.Б., Редчиц Д.А.

Оценка аэродинамических и тепловых нагрузок на корпус капсулы Hyperloop в вакуумированном путепроводе 3

Трипутень Н.М., Кузнецов В.В., Безденежных М.Е., Руденко И.В.

Исследование оптимальных по быстродействию систем автоматического управления на лабораторном стенде 13

Морозенко О.П., Грибанова Н.Ю.

Інноваційні підходи підвищення якості викладання дисципліни «Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки»..... 28

Куроп'ятник О.С.

Конструктивне та об'єктно-орієнтоване моделювання текстів для виявлення запозичень 34

Мазуренко В.Б.

Проблема визначення кількості рідини в рухомій ємності та можливі шляхи її вирішення 48

Токарева Е.Л., Прядко Н.С., Терновая Е.В.

Алгоритм функционирования комбинированной системы управления вектором тяги ракетного двигателя 58

Михалёв А.И., Стенин А.А., Дроздович И.Г., Стенин С.А.

Контроль и оценка деятельности операторов АЭС при подготовке на тренажерных комплексах 67

Кондратьева И.Ю., Рудакова А.В.,

Поливода О.В., Сарафанникова Н.В.

Анализ акустических сигналов в приращениях для функциональной диагностики многоприводных установок..... 77

Баклан І.В., Шулькевич Т.В.

Марковські моделі для лінгвістичних послідовностей 86

Ларіонов Г.І., Ларіонов М.Г.

Про один метод наближеного відтворення функції у околі точки із області визначення у аналітичному вигляді 97

Chumakov L.D.

Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency 106

Журба А.О.

Дослідження результатів тестування студентів на прикладі дисципліни «Теорія алгоритмів» 112

Ланська С.С.

Експертна система формування інтегрованих індивідуальних навчальних планів в системі безперервної підготовки фахівців 124

Сарычев А.П.

Классификация состояний динамической системы, функционирование которой описывается векторной авторегрессией 131

Островська К.Ю.

Дослідження технічного індикатору MACD та програмна реалізація функції для прийняття рішень 155

 ISSN 1562-9945

РЕФЕРАТЫ

УДК 532.516

Польовий О.Б., Редчиць Д.О. **Оцінка аеродинамічних та теплових навантажень на корпус капсули HYPERLOOP в вакуумованому шляхопроводі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.3 - 12.

Проведено математичне моделювання полів течії поблизу пасажирської капсули HYPERLOOP, що рухається при різних значеннях тиску в герметичному вакуумованому шляхопроводі на основі чисельного рішення рівнянь Нав'є-Стокса, замкнутих диференціальною моделлю турбулентної в'язкості. Результати обчислювальних експериментів показали істотну залежність структури течії від швидкості руху та геометрії капсули при наявності подібності за значенням тиску в шляхопроводі. Отримані результати дозволили провести оцінку сил аеродинамічного опору і нагрівання поверхні капсули.

Бібл. 7, іл. 6, табл. 1.

УДК 621.31

Трипутень М., Кузнецов В., Бездєнєжних М., Руденко І. **Дослідження оптимальних за швидкодією систем автоматичного управління на лабораторному стенді** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.13 - 27.

У статті представлений лабораторний стенд для дослідження оптимальної і квазіоптимальної по швидкодії системи автоматичного управління. Приведена методика синтезу і результати розрахунку оптимального по швидкодії релейного закону управління тепловим об'єктом по вибраному каналу. Показані результати експерименту по переводу теплового об'єкту з різних початкових станів в кінцеві стани. Показана можливість реалізації оптимального по швидкодії управління в реальному масштабі часу шляхом вдосконалення програмного забезпечення включенням в нього алгоритмів рішення трансцендентної системи рівнянь або формуванням предикатної моделі теплового об'єкту.

Встановлена функціональна залежність тривалості першого інтервалу управління від величини перерегулювання для реалізації квазіоптимальної САУ в реальному масштабі часу з використанням базових вирішальних блоків програмованого логічного контролера.

Бібл.14, іл.5, табл.3

УДК 378.14 (07) : 004

Морозенко О.П., Грибанова Н.Ю. **Інноваційні підходи підвищення якості викладання дисципліни «Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.28 - 33.

Розглядаються освітні технології графічних дисциплін з використанням інноваційних методів навчання. Наведено інноваційні методики читання лекцій і проведення занять по графічним дисциплінам.

Показані різні підходи викладання комп'ютерної графіки в курсі нарисної геометрії та інженерної графіки і обгрунтовується обраний метод навчання для напряму підготовки «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Дані методики призводять до підвищення якості графічної підготовки молодих фахівців.

Бібл.5

УДК 510.25+004.415.2+004.912

Куропятник Е.С. **Конструктивное и объектно-ориентированное моделирование текстов для обнаружения заимствований** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.34 - 47.

Рассмотрены некоторые алгоритмы и структуры данных, которые могут быть использованы при решении задачи обнаружения заимствований. Представлена модификация конструктивной графовой модели текста. На ее основе построена объектно-ориентированная модель для сопоставления текстов. Модель доведено до программной реализации. Установлено соответствие между элементами моделей и программными компонентами. Получены временные показатели работы программы.

Библ. 13, ил. 4.

УДК 542.3+681.518.22

Мазуренко В.Б. **Проблема визначення кількості рідини в рухомій ємності та можливі шляхи її вирішення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.48 - 57.

У статті розглянуто проблему вимірювання кількості рідини всередині рухомої ємності й можливі шляхи її вирішення. Надано опис причин появи проблеми. Представлено результати огляду, проведеного з метою аналізу поводження з даною проблемою в різних видах транспорту, таких як авіація, морські судна, космічні ракети та автомобілі. Окремі публікації вказують на можливі шляхи вирішення цієї проблеми. Вони відносяться до обчислювальних методів і можуть бути реалізовані в якості певної інформаційно-вимірювальної технології.

Бібл. 7, іл. 1.

УДК 629.78.533.6.013:621.45

Токарева О.Л., Прядко Н.С., Тернова К.В. **Алгоритм функціонування комбінованої системи управління вектором тяги ракетного двигуна** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.58 - 66.

Розроблено алгоритм функціонування комбінованої (механічної і газодинамічної) системи управління вектором тяги ракетного двигуна. Проаналізовано можливі методи визначення існування тренду вхідного сигналу. Досліджено типову залежність вихідних керуючих впливів для рульового РД від вхідних сигналів на різних часових інтервалах його роботи. Представлений алгоритм передбачає обробку вхідного сигналу СУВТ з виділенням детермінованої складової (тренду) і високочастотних осциляцій сигналу, а також врахування виду тренда фіксованих збурень кута відхилення вектора тяги РД. Розроблений алгоритм дозволяє оптимальним чином розділяти функції підсистем (МСУВТ і

ГСУВТ) комбінованої системи управління, підвищити якість і надійність системи управління польотом ступені ракети.

Бібл. 5, іл. 5

УДК 621.039.4

Михальов А.І. **Контроль та оцінка діяльності операторів АЕС при підготовці на тренажерних комплексах** / А.І. Михальов, О.А. Стенін, І.Г. Дроздович, С.О. Стенін // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.67 - 76.

Запропоновано методику оцінки та контролю діяльності операторів АЕС при їх навчанні навчальних комплексах, заснована на введених в статті поняття "ініціативних" і "заборонених" комбінацій в матрицях перетворень, що характеризують поточну діяльність операторів АЕС.

Бібл. 8.

УДК 519.246.85

Кондратьєва І.Ю., Рудакова Г.В., Поливода О.В., Сарафаннікова Н.В. **Аналіз акустичних сигналів в прирощеннях для функціональної діагностики багатоприводних установок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.77 - 85.

У даній статті авторами проведено дослідження акустичного шуму, що генерується електромеханічними системами в режимі реального часу. Здійснено огляд моделей і методів прогнозування часових рядів, виявлені переваги і недоліки кожного класу. Розроблено методи аналізу акустичних сигналів, що породжуються працюючим обладнанням електромеханічних комплексів, в прирощеннях (в фазовому просторі), що придатні для використання в системах функціональної діагностики багатоприводних установок.

Бібл. 5, іл. 4, табл. 1.

УДК 506:510

Баклан І.В., Шулькевич Т.В. **Марковські моделі для лінгвістичних послідовностей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.86 - 96.

В статті розглянуто приховані Марковські моделі, які є одним з найпоширеніших математичних апаратів, що використовується для багатьох класифікаторів та моделювання різноманітних проблем. ПММ використовуються для розпізнавання жестів. Зрозуміло, що дана стаття не дає повний перелік проблем, що стоять перед розробниками інтелектуальних систем із застосуванням ПММ, але є певним кроком на шляху до інтеграції сучасних методів вирішення складних задач.

Бібл. 13, іл.4.

УДК 622.28.044:622.831

Ларіонов Г.І., Ларіонов М.Г. **Про один метод наближеного відтворення функції у околі точки із області визначення у аналітичному вигляді** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.97 - 105.

У роботі розглянуто застосування точкової оцінки результатів отриманих чисельними методами. Результат точкової оцінки являє собою аналітичний вираз у вигляді добутку незалежних функцій від однієї змінної. Вираз застосовується до аналізу поведінки у околі обраної для досліджень точки.

У якості модельних для демонстрації запропонованого методу розглянуті задачі про наближене представлення декількох елементарних функцій з оцінкою його похибок. Запропоновано рекомендації щодо його використання.

Бібл. 4, іл. 5.

УДК 621.391.175

Чумаков Л.Д. **Выбор стратегии контроля исправности технической системы с дублированием каналов и проверкой их исправности на основе заданной эффективности** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.106 - 111.

Обсуждаются вопросы определения длительности интервала между проверками исправного состояния технической системы с дублированием каналов и контролем исправности каждого канала по критерию заданной величины коэффициента готовности.

Исследована возможность приближенной оценки, а также влияние степени приближения целевой функции на эффективность использования технической системы.

Библ. 8.

УДК 004.087

Журба А.А. **Исследование результатов тестирования студентов на примере дисциплины «Теория алгоритмов»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.112 - 123.

В рамках статьи разработан и программно реализовано электронное учебное пособие на примере дисциплины «Теория алгоритмов» и проведены исследования касательно результатов тестирования студентов с использованием пакета Statistica.

Библ. 2.

УДК 004.825

Ланська С.С. **Експертна система формування інтегрованих індивідуальних навчальних планів в системі безперервної підготовки фахівців** / С.С.Ланська // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.124 - 130.

В роботі висвітлюються проблеми неперервної освіти. Пропонується вирішення проблеми відбору змісту інтегрованих навчальних планів за допомогою побудови експертної системи.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 519.25

Саричев О. П. **Класифікація станів динамічної системи, функціонування якої описується векторною авторегресією** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.131 - 154.

Розглянуто задачу класифікації станів динамічної системи, яка може перебувати у двох класах станів. Функціонування системи в класах описується різними системами авторегресійних рівнянь. Побудовано правило статистичної класифікації й досліджені його властивості.

Бібл. 14.

УДК 330.322:004.42

Островська К.Ю. **Дослідження технічного індикатору MACD та програмна реалізація функції для прийняття рішень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (123). - Днепр, 2019. - С.155 - 168.

В результаті виконання роботи було програмно реалізовано функцію для прийняття рішень на баржевому ринці, проведено тестування та дослідження індикатору MACD.

Бібл. 4.

UDC 532.516

Polevoy O.B., Redchyts D.O. **Estimation of aerodynamic and thermal loads on the HYPERLOOP capsule fuselage in a partly evacuated tube** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.3 – 12.

Mathematical simulation of the flow fields near the moving HYPERLOOP passenger capsule at different pressures in a partly evacuated tube was carried out based on the numerical solution of the Navier-Stokes equations closed by a differential turbulent viscosity model. The results of computational experiments showed the significant dependence of the flow structure from the movement speed and geometry of the capsule with the presence of similarity by the pressure value in the partly evacuated tube. The obtained results allowed to estimate the forces of aerodynamic resistance and heating of the capsule surface.

Ref. 7, pic. 6, tabl. 1.

UDC 621.31

Tryputen M., Kuznetsov V., Bezdieniezhnykh M., Rudenko I. **Research of optimal fast-acting systems of automatic control on laboratory bench** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.13 – 27.

This paper presents a laboratory bench for research of optimal and quasi-optimal automatic control system in respect of its operation speed. Reported the methodology of synthesis and results of calculation of optimal relay hypothesis for thermal unit control through the chosen channel. Were demonstrated the results of experiment in transition of thermal unit from various initial states to final states. Was shown the possibility of implementing optimal control system in respect of its operation speed in real time scale by means of software development by including algorithms for transcendence set of simultaneous equations into it or by means of development of predicative model of thermal unit. Results. Was established functional relation of the length of the first control interval depending on the predetermined value of readjustment for implementing of quasi-optimal automatic control system in real time scale with application of basic operational units of programmed logic controller.

Ref.14, fig.5, t.3

UDC 378.14 (07) : 004

Morozenko O.P., Gribanova N.Y. **Innovative approaches to improving the quality of teaching discipline "Computer methods of descriptive geometry and engineering graphics"** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.28 – 33.

The educational technologies of graphic disciplines using innovative teaching methods are considered. The innovative methods of lecturing and conducting classes in graphic disciplines are given.

Various approaches to teaching computer graphics in the course of descriptive geometry and engineering graphics are shown, and the chosen teaching method for the “Computer Science and Information Technology” training area is substantiated. These techniques lead to an increase in the quality of graphic training of young professionals.

Bibl.5

UDC 510.25+004.415.2+004.912

Kuropiatnyk O. **Constructive and object-oriented modeling text for detection of text borrowings** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.34 – 47.

Some algorithms and data structures that can be used in solving the problem of borrowing detection are considered. Modification of constructive graph model of text is presented. On its basis an object-oriented model for the comparison of texts is constructed. The model is brought to the software implementation. Matching between elements of models and software components is established. Time indicators program's operations are obtained.

Ref. 13, pic. 4.

UDC 542.3+681.518.22

Mazurenko V.B. **A problem of measuring quantity of liquid inside moving tank and possible ways to resolve it** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.48 – 57.

The article describes the problem of measuring quantity of liquid inside moving tank and looks at possible ways to resolve it. The causes rising this problem are defined. It is presented results of review of how this problem is treated in various transportation systems such as aviation, sea vessels, space rockets and automobiles. It is shown that the problem is not resolved in general. Some published papers show the possible ways to resolve it. They are related to computational methods and could be implemented as an information and measuring technology.

Ref. 7, fig. 1.

UDK 629.78.533.6.013:621.45

Tokareva E.L., Pryadko N.S., Ternova K.V. **An operation algorithm for the combined thrust vector control system of a rocket engine** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.58 – 66.

An algorithm for the functioning of the combined (mechanical and gas-dynamic) thrust vector control system of the rocket engine has been developed. There were analyzed possible methods for determining the trend existence of the input signal. The typical dependence of the output control actions for the steering engine on the input signals at different operation time intervals is investigated. The designed algorithm provides for processing the input signal of the VTSC with the selection of the deterministic component (trend) and high-frequency oscillations of the signal, as well as taking into account the trend type of fixed perturbations of the deflection RE thrust vector angle. The developed algorithm allows optimally separating the subsystem (ISMT and GSWT) functions of the combined control system, improving the quality and reliability of the control system of the rocket stage flight.

Bibl. 5, ill. 5.

UDK 621.039.4

Mikhalyov O.I. **Monitoring and evalution activities of NPP operators in the preparation for the training facilities** / O.I. Mikhalyov, O.A. Stenin, I.G. Drozdovich, S.O. Stenin // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.67 – 76.

The method of evaluation and control of NPP operators ' activity during their training on training complexes based on the concepts of "initiative" and "forbidden" combinations

introduced in the article in the transformation matrices characterizing the current activities of NPP operators is proposed.

Bibl. 8.

UDC 519.246.85

Kondratieva I.U., Rudakova H.V., Polyvoda O.V., Sarafannikova N.V. **Analysis of acoustic signals in increments for functional diagnostics of multi-drive units** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.77 – 85.

In this article, the authors performed a research of acoustic noise generated by electromechanical systems in real time. A review of models and methods for forecasting time series has been carried out, and the advantages and disadvantages of each class have been identified. Methods for analyzing acoustic signals generated by working equipment of electromechanical complexes, in increments (in phase space), suitable for use in functional diagnostics systems of multi-drive units have been developed.

Bibl. 5, ill. 4, tabl.1.

УДК 506:510

Baklan I.V., Shulkevych T.V. **Markov models for linguistic sequences** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.86 – 96.

The article deals with latent Markovian models, which are one of the most widely used mathematical devices, used for many classifiers and simulation of various problems. PMM is used to recognize gestures. It is clear that this article does not provide a complete list of problems facing the developers of intellectual systems using PMM, but is a definite step towards the integration of modern methods of solving complex problems.

Bibl.13, ил.4.

UDK 622.28.044:622.831

Larionov G.I.,Larionov N.G. **On one method of approach reconstruction table form function to analytical form in domain point vicinity** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.97 – 105.

The paper is devoted to point evaluating of numerical modeling method results. The point evaluating result is in analytical form as univariable functions multiplication one. Obtained expression is applied for function analyses in point's vicinity. Relative error distribution in point vicinity for some simple functions, are chosen for demonstration of method work. The recommendations for it application are done.

Bibl.4.

UDK 621.391.175

Chumakov L.D. **Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.106 – 111.

Discusses the issues of determining the duration of the interval between checks of the serviceable state of a technical system with duplication of channels and monitoring the health of each channel according to the criterion of a set value of availability function.

The possibility of approximate estimation, as well as the effect of the degree of approximation of the objective function on the efficiency of the use of the technical system, is investigated.

Bibl.8.

UDK 004.087

Zhurba A.A. **Research of results of testing of students on the example of the discipline "Theory of Algorithms"** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.112 – 123.

Within the framework of the article, an electronic tutorial was developed and programmatically implemented by the example of the Algorithm Theory discipline and studies were conducted on students' test results using the Statistica package.

Bibl.2.

UDK 004.825

Lanskaya S. **Expert system for the formation of integrated individual curricula in the system of continuous training of specialists** / S. Lanskaya // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.124 – 130.

The paper highlights the problems of continuing education. It is proposed to solve the problem of selecting the contents of integrated curricula by building an expert system.

Bibl.4, ill. 1.

UDC 519.25

Sarychev A. P. **Classification of the States of Dynamic System, which Functioning Is Described by Vector Autoregresion** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.131 – 154.

The task of states classification of dynamic system that can be in two classes of states, is considered. Functioning of object in classes is described by various systems of autoregressive equations. The rule of statistical classification is constructed and its properties are investigated.

Bibl.14.

UDC 330.322: 004.42

Ostrovskaya K.Yu. **MACD technical indicator study and software implementation of the decision function** // System technologies. N 4(123) - Dnipro, 2019.- P.155 – 168.

As a result of the work, the function for decision-making at the barge market was programmatically implemented, testing and research of the MACD indicator was carried out.

Bibl.4.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Польовий Олег Борисович - старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук, 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.

Трипутень Микола Мусійович - доцент кафедри автоматизації і компьютерних систем, Національний ТУ «Дніпровська політехніка».

Кузнецов Віталій Вадимович - доцент кафедри Електротехніки та електропривода, Національна металургійна академія України.

Бездєнєжних Марина Євгенівна - ст.викл. кафедри Електротехніки та електропривода, Національна металургійна академія України.

Руденко Ігор Вікторович - студент факультету Електротехніки, спеціальність Промислова електроніка, Варшавська політехніка.

Морозенко Олена Петрівна - Національна металургійна академія України, доцент, к.т.н., зав кафедри, кафедра нарисної геометрії та інженерної графіки.

Грибанова Наталія Юріївна - Національна металургійна академія України, асистент, кафедра нарисної геометрії та інженерної графіки.

Куроп'ятник Олена Сергіївна - асистент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Мазуренко Валерій Борисович - Дніпровський національний університет, фізико-технічний факультет, к.т.н., доцент кафедри радіоелектронної автоматики.

Токарева Олена Леонідівна - молодший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України.

Прядко Наталя Сергіївна - старший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України.

Тернова Катерина Віталіївна - науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України.

Михалёв Александр Ильич – д.т.н., профессор, зав. кафедрою 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».

Дроздович Ирина Геннадиевна – к.т.н., с.н.с Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г.Киев.

Стенин Сергей Александрович – заместитель начальника Управления экспертиз и исследований химической и промышленной продукции Государственной фискальной службы Украины, Департамент налоговых и таможенных экспертиз ДНТЭ.

Кондратьєва Інна Юріївна – аспірант кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

 ISSN 1562-9945

Рудакова Ганна Володимирівна – завідувач кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Поливода Оксана Валеріївна – доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Сарафаннікова Наталя Вікторівна – доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Баклан Ігор Всеволодович - кандидат технічних наук, 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».

Ларіонов Григорій Іванович - доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу фізико-механічних основ гірничого транспорту, Інститут геотехнічної механіки Академії наук України.

Ларіонов Миколай Григорович - кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник відділу фізико-механічних основ гірничого транспорту, Інститут геотехнічної механіки Академії наук України.

Чумаков Лев Дмитриевич - профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий и автоматизации Украинского государственного химико-технологического университета.

Журба Анна Алексеевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Ланська Світлана Сергіївна - викладач Коледжу ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету ім. О Гончара.

Сарычев Александр Павлович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

Островская Катерина Юрьевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.