

Научный журнал
издается
с января 2000 года.
Периодичность: 4
номера в год.

**Редакционный
совет**

М.Б. Имандосова
И.о. Президент-
ректора КазАТК
К.Е. Альмагамбетов
Первый заместитель
Председателя
Правления АО «НК
«ҚТЖ»
Б.П. Урынбасаров
Управляющий
директор по
инфраструктуре,
директор филиала АО
«НК «ҚТЖ» - «ЦЖС»
В.Н. Глазков (к.т.н.,
проф., МИИТ, Россия)
Б.Б. Телтаев(д.т.н.,
проф., АО
«КаздорНИИ», РК)
А.В. Давыдов (д.э.н.,
проф., «СГУПС»)
Кевин Бирн (доктор
PhD, Президент
Королевского
института логистики и
транспорта,
Великобритания)
Т. Болотбек (д.т.н.,
проф., КГУСТА,
Кыргызстан)
О.Т. Шатманов(д.т.н.,
проф., КГУСТА,
Кыргызстан)
А.В.Сладковский
(д.т.н. проф.,
Силезский
технический
университет, Польша)
Р.Б. Ботабеков (д.э.н.,
Вице-президент ТОО
Пассажирская
компания «Туран
Экспресс»)
Н.К. Игембаев (к.т.н.,
Вице-приезидент АО
«KTZ Express»)
Ж.Т. Нурсейтов
(д.э.н., проф.,
АО «ВЖД»))
К.П. Шенфельд (д.т.н.,
проф., ВНИИЖТ,
Россия)

ВЕСТНИК №2 2020

Казахской академии транспорта и коммуникаций
имени М. Тынышпаева

СОДЕРЖАНИЕ

К расчету сборных железобетонных ребристых плит на продавливание А.В. Хапин, Б.Е. Махиев, Д.В. Веревкин.....	10-17
Оценка и факторы влияния воздействия резонансных частот на различные конструкции железнодорожного пути П.Т. Ахметова, М.Я. Квашнин, З.К. Бителеуова, С.Ш. Сарбаев.....	17-23
Развитие средств диагностики пути и сооружений П.Т. Ахметова, Б.Т. Копенов, З.К. Бителеуова, А.Е. Юсупова.....	23-30
Пути повышения эффективности работы бесстыкового пути П.Т. Ахметова, Б.Т. Копенов, З.К. Бителеуова.....	30-36
Физические основы определения механических характеристик металлов Н.С. Камзанов, А.Е. Канажанов, А.Н.Оразбаева.....	36-43
Применение системы тушения пожара тонкораспыленной водой для защиты населения в жилом секторе С.Ж. Кабикенов, А.Ю. Комаров.....	44-48
Обоснование необходимости внедрения оборотной системы водоснабжения в промышленности А. Бегимбетова, Г. Муташева, А. Мамитова, Б.Б. Курмашев, А.К.Имангалиева.....	48-56
Определение вредности факторов, влияющих на рабочую среду на предприятиях нефтегазовой отрасли П.А. Таңжарықов, А.Е. Төлеген.....	57-63
Выбор технологий дезактивации почвы П.А. Таңжарықов, Н.Б. Ермуханова, З.М. Керімбекова.....	64-73
Исследование микроструктуры и акустических свойств конструкционных сталей с целью повышения безопасных условий труда Р.С. Әмірбай, Ф.К. Батесова.....	73-81
Инновационный способ использования энергии электродинамического торможения А.М. Елшібеков, М.О. Мусабеков, Б.Е. Анықбаев.....	82-87
Анализ состояния парка электровозов в казахстане и надежности эксплуатации новых электровозов серии KZ А.М. Елшібеков, Г.К. Аширбаев, А.К. Маханова.....	88-94
Использование анализа масла для наблюдения за состоянием оборудования локомотива Ж. С. Ибраев, А. У. Утепова, А. Е. Юсупова.....	94-100
К вопросу испытаний пассажирских вагонов с наклоняемым кузовом Ж.С. Мусаев, П.Т. Ахметова, Н.В. Ивановцева, Ж.М. Айтуганова.....	100-106

**Редакционная
коллегия**

М.Б. Имандосова,
главный редактор
С.Е. Бекжанова
(д.т.н., профессор),
зам. главного
редактора
А.К. Ибраимов
(к.т.н., доцент)
Г.С. Мусаева (д.т.н.,
проф.)
В.Г. Солоненко
(д.т.н., проф.)
М.С. Кульгильдинов
(д.т.н., проф.)
С.Е. Бекжанова
(д.т.н., проф.)
М.С. Изтелеуова
(д.т.н., проф.)
Т.К. Койшиев (д.т.н.,
проф.)
А.К. Калтаев (к.э.н.,
доцент)
О.И. Чуркина (к. ф.-
м.н., доцент)
А. Панаева –
технический
редактор

Адрес редакции:

Республика
Казахстан, 050012,
г. Алматы,
ул. Шевченко, 97.

Тел./факс:
+7 (727) 292-49-14,
292-44-85

E-mail:
vestnik@kazatk.kz

Сайт: www.kazatk.kz

Собственник – АО
«Казахская
академия
транспорта и
коммуникаций
имени
М. Тынышпаева»

Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах Казахстана Г. Кайраткызы, З. Битилеуова, Ж. Байбураева, Ж. Жанбирова, М. Изтелеуова.....	107-115
Резервирование надежности системы, виды резервирования и их обоснование Г.А. Баймаханов, Е.Б. Калиев, Р.А. Қозбағаров.....	115-122
Метод простой оценки показателей комбинированного правила замен конструктивных элементов транспортных средств А.Е. Тойлыбаев, С.С.Пернебеков, У.А.Үсіпбаев, Д.К. Тұрсынбаева.....	122-129
Роль автотехнической экспертизы при расследовании причин дорожно-транспортных происшествий Ғ.Б. Бақыт, Е.Е. Баубеков, А.К. Жалинова.....	129-135
Анимация графика движения поездов - как инновация учебного процесса О.Г. Киселева, Л.В. Вахитова, М.К. Матаев.....	136-145
Повышение транзитности вагонопотоков О.Г.Киселева, Л.В.Вахитова, А.Э.Мамедов.....	145-150
Применение технических усовершенствований в организации перевозок скоропортящихся грузов Е.Е. Тұрсынбаев, Е.Е. Жайлаубек, А.Н. Немасипова, С.Ш. Сарбаев.....	151-160
Исследование элементов логистических цепей доставки скоропортящихся грузов Е.Е. Тұрсынбаев, Е.Е. Жайлаубек, А.Н. Немасипова, С.Ш. Сарбаев.....	160-167
Исследования системы городского транспортного потока в г. Алматы Л.К. Бекмагамбетова, Ж.Г. Жанбыров, М. Изтелеуова.....	167-174
Проблемы предпринимательства в отрасли международных автомобильных перевозок Г.Д. Нұғыманова, Ғ.Е. Жуматаева, Ж.Г. Жанбирова, М. Изтелеуова.....	174-182
К вопросу решения задачи оптимального распределения складской емкости между грузопотоками, поступающими в морской порт А.У. Табылов.....	182-187
Совершенствование надежности системы управления автотранспортных перевозок Ж. Байбураева, Ж.Г. Жанбирова, А.Б. Ебесова, М. Изтелеуова.....	187-194
Комплексное воздействие космических факторов на элементы электронной аппаратуры в условиях микрогравитации В.Ф. Грищенко, С. Төлендіұлы, А. Нурланқызы.....	195-201
Особенности применения логического метода MSG-3 анализа при планировании программы технического обслуживания современных воздушных судов К.Б. Алдамжаров, А.Е. Бейсенов.....	201-206
Применение системы аналитических вычислений для вывода уравнений динамики робототехнических систем Ш.А. Джомартова, Н.Т. Карымсакова, А.Т. Турсынбай.....	207-213
Определение математических моделей технологических процессов экспериментальным путем Л. Абжанова, Г. Базиль, А. Калабаева.....	213-218
Оптимальное управление асинхронным электроприводом с регулированием напряжения статора двигателя в режиме пуска М.Б. Орунбеков.....	218-225

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev
ISSN 1609-1817. Vol. 113, No.2 (2020), pp.207-213

APPLICATION OF THE SYSTEM OF ANALYTICAL COMPUTATIONS FOR THE DERIVATION OF EQUATIONS OF DYNAMICS OF ROBOTOTECHNICAL SYSTEMS

Jomartova Sholpan Abdrazakovna, Dr. Sci. Tech, Associated professor of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, jomartova@mail.ru

Karymsakova Nurgul Tletaevna, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, nkarymsakova1@gmail.com

Tursynbay Aisulu Tauasarovna, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, turaiatau@gmail.com

Abstract. The article discusses a system of analytical calculations (SAC), with which you can get mathematical models of various robotic systems in an automated mode. Various robotic systems are investigated, the relevance of the task is shown. The application of analytical calculation systems for deriving the equations of the course of chemical reactions is shown. A mathematical model of robotic systems using Lagrange equations of the second kind is compiled. The work uses the library functions of the SAC in the construction of applications. The interpreter is designed for the fastest results. A text file containing a sequence of interpreter language statements has been created. The result can be displayed both on the screen and in the specified file. And also in the work used library functions. The user directly gets much more opportunities for manipulating expressions and for building complete applications. In this case, he compiles his program in the language of the system. Now you can control the sequence of calculations using control operators. Iterations are used to model the operators of summation and multiplication. Procedures and functions over matrices are provided. Ease of implementation is achieved by the fact that all implementation details are hidden and optional for the user. The written procedure automatically expands the library of "functionality" of the system. It does not need debugging, as it directly implements a mathematical formula. The program for obtaining and solving the equations of dynamics of robots in symbolic form is convenient for mechanics. Further, in the obtained equations and solution, the user can substitute specific values of the generalized coordinates and other parameters for calculating the generalized forces. All intermediate matrices, energy equations, etc. are calculated.

Keywords: analytical calculations, robotic systems, equations, dynamics of robots.

УДК 004.94; 51.72

Ш.А. Джомартова^{1,2}, Н.Т. Карымсакова², А.Т. Турсынбай²

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан,

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫВОДА УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассматривается система аналитических вычислений (САВ), с помощью которой можно получать математические модели различных робототехнических систем в автоматизированном режиме. Исследованы различные робототехнические системы, показана актуальность задачи. Показано применение систем аналитических вычислений при выведении уравнений протекания химических реакций. Составлена математическая модель робототехнических систем с помощью уравнений Лагранжа II рода. В работе использованы библиотечные функции САВ при построении приложений.

Ключевые слова: аналитические вычисления, робототехнические системы, уравнения, динамика роботов.

Введение. Актуальность работы. робототехнических систем наиболее
При исследовании различных ответственной и трудоемкой (рутиной)

работой является составление математической модели, т.е. вывод уравнений, описывающих переходные процессы. От точности составления математической модели исследуемого процесса напрямую зависит качество конечных получаемых практических рекомендаций (результатов исследования) [1-6]. Поэтому разработка систем аналитических вычислений (САВ), позволяющих автоматизировать процесс составления моделей, является актуальной задачей [7-8].

САВ позволяют получать решения задач в символьном виде, автоматически производя все трудоемкие операции над алгебраическими объектами (выражениями, матрицами, рядами): вычисления, подстановки, упрощение, дифференцирование, интегрирование. В отличие от методов численного решения задач, такой способ является прямым, а не заменяет одну математическую модель другой, дает точные решения, а не приближенные, что позволяет получать принципиально новые результаты. Применение ЭВМ обеспечивает безошибочность и быстроту получения результатов, настраиваемость и расширяемость систем [9-11].

Одним из важных аспектов применения автоматизированных систем научных исследований являются системы аналитических (символьных) вычислений, которые автоматизируют преобразования алгебраических выражений: от упрощения выражений до дифференцирования и интегрирования. Исследователь практически любой математической модели ежедневно сталкивается с такими операциями. Системы компьютерной алгебры снабжаются специальным процессором для выполнения аналитических (символьных) вычислений. Его основой является ядро, хранящее всю совокупность формул и формульных преобразований, с помощью которых производятся аналитические вычисления [12-15].

Постановка задачи. САВ может применяться при выведении уравнений

протекания химических реакций, а также для получения математической модели робототехнических систем с помощью уравнений Лагранжа II рода.

Новизна. Пакет представляет собой совокупность модулей, каждый из которых есть набор типов данных, переменных и функций. Разделение всего набора реализованных функций на несколько модулей диктуется их взаимозависимостью и логической связью выполняемых ими операций над деревом выражения. Таким образом, пакет состоит из 9 модулей: S_Init, S_Misc, S_Scaner, S_Tree, S_Sort, Infrface, S_Matrix, SAV.

Модуль S_Init

Модуль используется всеми остальными, так как определяет все константы, множества, типы данных и глобальные переменные:

- константа максимального вещественного числа, числа встроенных функций, максимального числа символов в идентификаторе, числа различных переменных, числа подобных членов, количества десятичных знаков при выводе;
- множества букв, цифр, пробельных символов, аддитивных и мультипликативных, инфиксных операторов, символов идентификатора и выражения;
- константы названий символов операторов, знаков различных скобок, знаков, используемых сканером (подпрограммой лексического анализа), цветов.
- тип вершина бинарного дерева;
- тип указатель (адрес) на вершину;
- тип значения типа вершины;
- тип (и указатель на этот тип) последовательности чисел при лексическом разборе выражения;
- массив переменных, содержащий все переменные с их значениями (выражениями);
- инициализация таблицы имен 25 встроенных функций: абсолютное значение, тригонометрические функции,

возведение в квадрат, логарифм, экспонента, знаковая функция, факториал.

Модуль S_Misc

Все вспомогательные функции, используемые практически всеми остальными процедурами манипулирования деревом помещены здесь:

- создание новой вершины указанного типа;
- нахождение кода по имени указанной функции;
- нахождение имени функции по указанному коду;
- нахождение кода переменной по глобальной таблице переменных;
- печать сообщения об ошибке;
- создание новой вершины-операции по указанному типу операции;
- создание новой вершины-числа с указанным значением;
- размещение новой переменной с указанным именем в глобальной таблице;
- пропуск пробельных символов в указанном файле.

Модуль S_Scanner

Включает две части сканера:

- лексический анализ указанной строки (Scan) с флагом построения таблицы переменных и чисел, встреченных в выражении и указателями на начала этих таблиц (реализованных в виде списков), возвращает закодированную строку-образ выражения и заполненные таблицы для дальнейшего построения дерева;
- синтаксический анализ строки-образа и построение соответствующего дерева.

Модуль S_Tree

Предоставляет основные функции:

- копирование дерева выражения в указанную вершину (Copy Tree);
- раскрытие скобок в выражении;
- модифицирование дерева для дальнейшего его упрощения с помощью

процедуры приведения подобных членов (Modify Tree);

- подстановка подвыражения в указанное выражение;
- дифференцирование по указанной переменной.
- процедура распечатки дерева выражения. Для простоты переключения между разными вариантами распечатки эта процедура (Print Tree) не сама выполняет операцию, а в свою очередь вызывает необходимую функцию. Максимальная длина получаемой строки - 64 Кб или 65535 символов.

Модуль S_Sort

Приведение подобных членов и окончательное упрощение выражения реализовано в данном модуле. Процедура Reduce вызывает далее процедуру Sort, которая приводит все члены выражения в канонический вид, приводит подобные члены и сортирует их.

Модуль IntraFace

Играет роль промежуточного слоя между внутренними процедурами ядра системы и возможными модулями расширения или программирующим пользователем, которые могут не знать деталей внутренней реализации основных алгоритмов и типов данных, и тем не менее успешно решать свои прикладные задачи. Изменение (например, оптимизация) основных алгоритмов, таким образом, не потребует изменений в модулях-расширениях или прикладных пакетах пользователя.

Модуль S_Matri

Является расширением ядра системы, которое предоставляет возможность работы с матрицами произвольного размера, массивами матриц размерности 2 и 3. Реализует и предоставляет процедуры сложения, вычитания, умножения матриц, нахождения следа матрицы, копирования и обнуления.

Методы исследования.

Интерпретатор предназначен для наиболее быстрого получения результатов, т.к. производит указанные действия

непосредственно после считывания команды – присвоение, подстановка. Для его использования достаточно просмотреть синтаксис нескольких команд и сразу начать работу, вводя их последовательность с экрана. При желании автоматизировать и/или сохранить входные команды пользователь создает текстовый файл, содержащий последовательность операторов языка интерпретатора. Результат может выводиться как на экран, так и в указанный файл.

Результаты исследования.

Библиотечные функции. При использовании библиотечных функции напрямую пользователь получает намного больше возможностей и для манипулирования выражениями, и для построения завершенных приложений. В таком случае он составляет свою программу на языке реализации системы. Появляются следующие возможности:

- управление последовательностью вычислений с помощью операторов управления: циклы, выбор, условие;
- избирательное применение библиотечных функций;
- введение подпроцедур и функций;
- использование итераций для моделирования операторов суммирования и умножения;
- использование полного набора средств построения интерфейса и ввода/вывода языка реализации;
- компиляция новых подпрограмм для достижения максимальной скорости исполнения;
- различный формат вывода числовых значений.

Предоставлены следующие процедуры:

SetIt(x, E) – присвоение переменной x произвольного выражения E;

SetTo(x, n) – присвоение переменной x числового значения n;

SetNode(Expr) – возвращает указатель на дерево соответствующее данному выражению;

PrintIt(x) – возвращает строку-отображение значения переменной x;

DiffIt(dx, d, E, dEx) – дифференцирование выражения E по переменной dx d раз и запись результата в переменную dEx;

SubstIt(Var, List, Result) – подстановка переменных, указанных в списке List в переменную Var и запись результата в переменную Result;

JoinTrees(T1, Sign, T2) – возвращает дерево выражения, составленного из операндов T1 и T2, соединенных инфиксной операцией: сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень;

FuncTree(Fname, T) – возвращает дерево выражения-указанной функции от аргумента T;

OpenIt(E) – раскрытие скобок в выражении E.

Модуль работы с матрицами

Модуль S_Matrix предоставляет следующие функции над матрицами:

NewMx(A, m, n) – создание новой матрицы A размера m x n;

CopyMx(A) – возвращает указатель на копию матрицы A;

ReadMx(F, A) – считывает элементы матрицы A из указанного файла F;

PrintMx(A) – печатает матрицу A в указанный файл;

ZeroMx(A) – обнуляет матрицу A;

AddMx(A, B) – возвращает сумму матриц A и B;

SubMx(A, B) – возвращает разность матриц A и B;

MultMx(A, B) – возвращает произведение матриц A и B;

MultBy(S, A) – возвращает матрицу A, помноженную на скаляр S;

SetEl(A, i, j, E) – присваивает элементу A[i, j] значение E;

DiffMx(dv, A) – возвращает продифференцированную по переменной dv матрицу A;

TranspMx(A) – возвращает транспонированную матрицу A;

DisposeMx(A) – освобождает память, занятую матрицей A;

Track(A) – возвращает след матрицы A.

Получение уравнений динамики Лагранжа II рода

Уравнение Лагранжа II рода для описания динамики движения n-звенного манипулятора записывается в матричной форме:

$$\sum_{i=j}^n \sum_{k=1}^i \text{tr}(U_{ij} H_i U_{ik}^T) \ddot{q}_k + \sum_{i=j}^n \sum_{k=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_{ij} H_i V_{ikl}^T) \dot{q}_k \dot{q}_l - \sum_{i=j}^n m_i G U_{ij}^T R_i = Q_j, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где

$$U_{ij} = A_1 A_2 \dots dA_j / dq_j \dots A_i, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

$$A_i = \begin{pmatrix} \cos(Q_i) & -\sin(Q_i)\cos(\alpha_i) & \sin(Q_i)\sin(\alpha_i) & a_i \cos(Q_i) \\ \sin(Q_i) & \cos(Q_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(Q_i)\sin(\alpha_i) & a_i \sin(Q_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

матрица перехода от системы координат звена $i-1$ к i ,

$$H_i = \begin{pmatrix} J_{xx} & J_{xy} & J_{xz} & m_i x_i \\ J_{yx} & J_{yy} & J_{yz} & m_i x_i \\ J_{zx} & J_{zy} & J_{zz} & m_i x_i \\ m_i x_i & m_i y_i & m_i z_i & m_i \end{pmatrix}$$

матрица, характеризующая инерцию звена i , x_i, y_i, z_i – центр тяжести, m_i – масса звена, J_{xx} – элементы тензора инерции относительно собственных осей звена i ,

$$V_{ikl} = \frac{dU_{ik}}{dq_l} \quad (3)$$

$G = [0 \ 0 \ -g \ 0]^T$, где g – ускорение свободного падения.

$$T_i = A_1 \cdot A_2 \dots A_i$$

$R_i = [x_i \ y_i \ z_i \ 1]^T$, где x_i, y_i, z_i – центр тяжести в собственной системе координат.

Обсуждение результатов. Теперь получение значений обобщенных сил Q_i в символьном виде сводится к использованию библиотечных функций и оформлению всей последовательности построения выражения в виде процедуры. Простота реализации достигнута тем, что все детали реализации (распознавание выражения, упрощение и т.д.) скрыты и необязательны для пользователя, а также тем, что раз написанная процедура автоматически расширяет библиотеку «функциональностей» системы и не нуждается в отладке, так как напрямую реализует математическую формулу. Более того, будучи скомпилированной, процедура выполняется на такой же максимальной скорости, как и основные функции ядра системы.

Выводы. Программа получения и решения уравнений динамики роботов в символьном виде удобна для механиков. Пользователь задает только те параметры, которые он считает определенными, остальные – система заменяет переменными. Далее в полученных уравнениях и решении пользователь может подставлять конкретные значения обобщенных координат и др. параметров для вычисления обобщенных сил.

Вычисляются все промежуточные исследования на 2018-2020 годы по матрицы, уравнения энергий и т.д. проекту АР05131027 «Разработка Работа выполнена за счет средств биометрических методов и средств защиты грантового финансирования научных информации».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Черноруцкий Г.С., Сибрин А.П., Жабреев В.С. Следящие системы автоматических манипуляторов. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
- [2] Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.
- [3] Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высшая Школа, 1986. – 264 с.
- [4] Механика промышленных роботов. В трех книгах. Кн.3. Основы конструирования / Под ред. Фролова К.В., Воробьева Е.И. – М.: Высшая Школа, 1989. – 383 с.
- [5] Юревич Е.И. Основы робототехники. – СПб: БХВ-Петербург: 2010. – 368 с.
- [6] Бербюк, В. Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем / В.Е. Бербюк. – М.: Наукова думка, 2014. – 192 с.
- [7] Дэвенпорт Дж., Сира И., Турнье Э. Компьютерная алгебра. – М.: Мир, 1991. – 352 с.
- [8] Климов Д.М., Руденко В.М. Методы компьютерной алгебры в задачах механики. – М.: Наука, 1989. – 215 с.
- [9] Арайс Е.А., Яковлев Н.Е. Автоматизация аналитических вычислений в научных исследованиях. – Новосибирск: Наука, 1985. – 224 с.
- [10] Еднерал В.Ф., Крюков А.Н., Родионов А.Я. Язык аналитических вычислений REDUCE. – М.: МГУ, 1989. – 78 с.

REFERENCES

- [1] Chernoruckij G.S., Sibrin A.P., Zhabreev V.S. *Sledyashchie sistemy avtomaticheskikh manipulyatorov* [In Russian: Tracking systems of automatic manipulators]. Moscow: Nauka, 1987. – 272 s.
- [2] Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A. *Metody upravleniya robototekhnicheskimi prilozheniyami* [In Russian: Robotic Application Management Methods]. SPb: Universitet ITMO, 2016. – 108 s.
- [3] Burdakov S.F., D'yachenko V.A., Timofeev A.N. *Proektirovanie manipulyatorov promyshlennykh robotov i robotizirovannykh kompleksov* [In Russian: Design of manipulators of industrial robots and robotic complexes]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1986. – 264 s.
- [4] *Mekhanika promyshlennykh robotov. V trekh knigah. Kn.3. Osnovy konstruirovaniya* [In Russian: The mechanics of industrial robots. In three books. Book 3. Design Basics]. / Pod red. Frolova K.V., Vorob'eva E.I. – Moscow: Vysshaya Shkola, 1989. – 383 s.
- [5] Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki* [In Russian: Robotics Basics]. SPb.: BHV-Peterburg: 2010. – 368 s.
- [6] Berbyuk, V.E. *Dinamika i optimizaciya robototekhnicheskikh sistem* [In Russian: Dynamics and optimization of robotic systems]. / V.E. Berbyuk. – Moscow: Naukova dumka, 2014. – 192 s.
- [7] Devenport Dzh., Sira I., Turn'e E. *Komp'yuternaya algebra* [In Russian: Computer algebra]. Moscow: Mir, 1991. – 352 s.
- [8] Klimov D.M., Rudenko V.M. *Metody komp'yuternoj algebry v zadachah mekhaniki* [In Russian: Methods of computer algebra in problems of mechanics]. Moscow: Nauka, 1989. – 215 s.
- [9] Araj's E.A., Yakovlev N.E. *Avtomatizaciya analiticheskikh vychislenij v nauchnykh issledovaniyah* [In Russian: Automation of analytical calculations in scientific research]. Novosibirsk: Nauka, 1985. – 224 s.
- [10] Edneral V.F., Kryukov A.N., Rodionov A.YA. *Yazyk analiticheskikh vychislenij REDUCE* [In Russian: Analytical Computing Language REDUCE]. Moscow: MGU, 1989. – 78 s.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫВОДА УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Джомартова Шолпан Абдразаковна, д.т.н., доцент КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, jomartova@mail.ru

Карымсакова Нургуль Тлетаевна, докторант КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, nkarymsakova1@gmail.com

Турсынбай Айсулу Тауасаровна, докторант КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, turaiatau@gmail.com

**РОБОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ДИНАМИКАСЫНЫҢ ТЕНДЕУЛЕРІН
ШЫҒАРУ ҮШІН АНАЛИТИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕР ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУ**

Джомартова Шолпан Абдразақовна, т.ғ.д., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ доценті, Алматы қ., Қазақстан, jomartova@mail.ru

Карымсакова Нургуль Тлетаевна, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ докторанты, Алматы қ., Қазақстан, nkarymsakova1@gmail.com

Тұрсынбай Айсұлу Тауасарқызы, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ докторанты, Алматы қ., Қазақстан, turaiatau@gmail.com

Андатпа. Бұл жұмыста аналитикалық есептеулер жүйесі қарастырылған, оның көмегімен сіз әртүрлі роботтық жүйелердің математикалық модельдерін автоматтандырылған режимде ала аласыз. Әр түрлі роботтық жүйелер зерттеліп, тапсырманың өзектілігі көрсетілген. Химиялық реакциялар курсының теңдеулерін алуға аналитикалық есептеу жүйелерінің қолданылуы көрсетілген. Екінші типтегі Лагранж теңдеулерін қолданатын роботтық жүйелердің математикалық моделі құрылды. Мақалада қосымшалар құру кезінде аналитикалық есептеу жүйелерінің кітапханалық функциялары қолданылды.

Түйін сөздер: аналитикалық есептеулер, роботтық жүйелер, теңдеулер, роботтардың динамикасы.

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev
ISSN 1609-1817. Vol. 113, No.2 (2020), pp.213-218

**DETERMINATION OF MATHEMATICAL MODELS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
BY EXPERIMENTAL MEANS**

Abzhanova Laulasyn, PhD (Eng.), associate Professor, Almaty University of energy and communications. G. Daukeeva, Almaty, Kazakhstan; laulasyn@mail.ru

Bazil Gulmira, PhD (Eng.), associate Professor, Almaty University of energy and communications. G. Daukeeva, Almaty, Kazakhstan;

Kalabayeva Aidana, assistant teacher, Kazakh Academy of transport and communications after named M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; a.kalabaeva@list.ru

Abstract. The article considers the process of constructing a mathematical model based on experimental data. The gas path of a hot-water boiler is proposed as a control object. A mathematical model was built for the process of heating water with flue gases. The Matlab package is used as a tool for building a mathematical model.

There are a number of approaches to solving the problem of identification of self-propelled guns. When identifying self-propelled guns, model assessments, as a rule, are formed on the basis of theoretical and experimental studies. Experimental identification methods do not exclude the use of a priori information on the physical properties of the processes under study, since the experimental and theoretical ways of determining the dynamic characteristics of an object are interconnected.

In this article, the data of the boiler were used as an example. The main purpose of this object is to heat the working fluid, i.e. water, for further use in heating and water supply.

The hot water boiler consists of an air-gas path, a fuel and a water path.

Keywords: mathematical model, identification, hot water boiler, functional diagram, experimental data.

Л. Абжанова¹, Г. Базиль¹, А. Калабаева²

¹Алматинский университет энергетики и связи им.Г.Даукеева,

²Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ**

Аннотация. В статье рассмотрен процесс построения математической модели по экспериментальным данным. В качестве объекта управления предлагается газовый тракт водогрейного котла. Математическая модель была построена для процесса нагревания воды топочными газами. Инструментом для построения математической модели применен пакет Matlab.

Подписано в печать 07.08.2020 г. Формат 70x100 ¹/₁₆
Объем 354 стр. Заказ № 104. Тираж 500 экз.
Бумага офсетная 80 г.
Издательский центр КазАТК
Адрес: г. Алматы, пр. Райымбека, 165. Тел. +7 (727) 233-08-37