

MUHAMMAD AL-XORAZMIY  
NOMIDAGI TATU FARG'ONA FILIALI  
FERGANA BRANCH OF TUIT  
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHORAZMI

# “AL-FARG‘ONIIY AVLODLARI”

ELEKTRON ILMIY JURNALI | ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

## TA'LIMDAGI ILMIY, OMMABOP VA ILMIY TADQIQOT ISHLARI



1-SON 1(5)  
2024-YIL

TATU, FARG'ONA  
O'ZBEKISTON



## O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI  
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
FARG'ONA FILIALI

**Muassis:** Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali.

**Chop etish tili:** O'zbek, ingliz, rus. Jurnal texnika fanlariga ixtisoslashgan bo'lib, barcha shu sohadagi matematika, fizika, axborot texnologiyalari yo'nalishida maqolalar chop etib boradi.

**Учредитель:** Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми.

**Язык издания:** узбекский, английский, русский.

Журнал специализируется на технических науках и публикует статьи в области математики, физики и информационных технологий.

**Founder:** Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmi.

**Language of publication:** Uzbek, English, Russian.

The magazine specializes in technical sciences and publishes articles in the field of mathematics, physics, and information technology.

2024 yil, Tom 1, №1  
Vol.1, Iss.1, 2024 y

ELEKTRON ILMIY JURNALI

ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

«Al-Farg'oniyl avlodlari» («The descendants of al-Fargani», «Potomki al-Fargani») O'zbekiston Respublikasi Prezidenti administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligida 2022-yil 21 dekabrda 054493-son bilan ro'yxatdan o'tgan.

Jurnal OAK Rayosatining 2023-yil 30 sentabrdagi 343-sonli qarori bilan Texnika fanlari yo'nalishida milliy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Tahririyat manzili:  
151100, Farg'ona sh.,  
Aeroport ko'chasi 17-uy,  
202A-xona  
Tel: (+99899) 998-01-42  
e-mail: info@al-fargoniy.uz

Qo'lyozmalar taqrizlanmaydi va qaytarilmaydi.

FARG'ONA - 2024 YIL

## TAHRIR HAY'ATI

### **Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti rektori, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

### **Muxtarov Farrux Muhammadovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali direktori, texnika fanlari doktori

### **Arjannikov Andrey Vasilevich,**

Rossiya Federatsiyasi Sibir davlat universiteti professori, fizika-matematika fanlari doktori

### **Satibayev Abdugani Djunosovich,**

Qirg'iziston Respublikasi, Osh texnologiyalari universiteti, fizika-matematika fanlari doktori, professor

### **Rasulov Akbarali Maxamatovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Axborot texnologiyalari kafedrasida professori, fizika-matematika fanlari doktori

### **Yakubov Maksadxon Sultaniyazovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU «Axborot texnologiyalari» kafedrasida professori, t.f.d., professor, xalqaro axborotlashtirish fanlari Akademiyasi akademigi

### **G'ulomov Sherzod Rajaboyevich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti dekani, Ph.D., dotsent

### **G'aniyev Abduxalil Abdjalilovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti, Axborot xavfsizligi kafedrasida t.f.n., dotsent

### **Zaynidinov Hakimjon Nasritdinovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kompyuter injiniringi fakulteti, Sun'iy intellekt kafedrasida texnika fanlari doktori, professor

### **Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich,**

Farg'ona politexnika instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

### **Abdullayev Abduljabbor,**

Andijon mashinosozlik instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

### **Qo'ldashev Abbosjon Hakimovich,**

O'zbekiston milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, texnika fanlari doktori, professor

### **Ergashev Sirojiddin Fayazovich,**

Farg'ona politexnika instituti, elektronika va asbobsozlik kafedrasida professori, texnika fanlari doktori, professor

### **Polvonov Baxtiyor Zaylobiddinovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha direktor o'rinbosari

### **Zulunov Ravshanbek Mamatovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Dasturiy injiniring kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi

### **Saliyev Nabijon,**

O'zbekiston jismoniy tarbiya va sport universiteti Farg'ona filiali dotsenti

### **Abdullaev Temurbek Marufovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Axborot texnologiyalari kafedra mudiri, texnika fanlar bo'yicha falsafa doktori

### **Zokirov Sanjar Ikromjon o'g'li,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Jurnal quyidagi bazalarda indekslanadi:



*Eslatma! Jurnal materiallari to'plamiga kiritilgan ilmiy maqolalardagi raqamlar, ma'lumotlar haqqoniyligiga va keltirilgan iqtiboslar to'g'riligiga mualliflar shaxsan javobgardirlar.*

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Umarov Shuxratjon Azizjonovich, Abduqodirov Abdulhay, AXBOROT XAVFSIZLIGI TIZIMLARINI INTELLEKTUALLASHTIRISH MASALALARI	4-10
Ахунджанов Умиджон Юнус угли, ЛОКАЛЬНАЯ КРИВИЗНА КАК СТРУКТУРНЫЙ ПРИЗНАК ВЕРИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ	11-16
Liu Lingyun, Linear cryptanalysis of the SM4 block cipher algorithm	17-22
Shaxzoda Amanboyevna Anarova, Jamoliddin Sindorovich Jabbarov, Doston Naim o'g'li Muxtorov, FRAKTAL XUSUSIYATLI ORGANLARNING O'LCHOVLARINI ANIQLASH SXEMASINI ISHLAB CHIQUISH	23-28
E.M.Urinov, M.A.Umarov, O'zbek ishora tili harflarini tanib olish algoritmi	29-33
Kengboev Sirojiddin Abray ugli, MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE IN THE CONTACT ZONE OF INTERACTION BETWEEN THE SHUTTLE SOCKET AND THE BOBBIN OF SEWING MACHINES	34-38
Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Haqberdiyev S.N, ZARAFSHON DARYO TARMOG'INI GEOMETIRIK MODELLASHTIRISH	39-43
Xamrakulov Umidjon Sharabidinovich, Ashuraliyev Alisherjon Abdumalikovich, REAL VAQT REJIMIDA NOQAT'IY MA'LUMOTLARNI QAYTA ISHLASHNING ANALITIK MODELLARINI ISHLAB CHIQUISH	44-56
Sharibayev Nosirjon Yusubjanovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMALARINING SHAKL SAQLASH XUSUSIYATLARINI RAQAMLI BAHOLASH USULLARI	57-61
Xasanova Maxinur Yuldashbayevna, Yo'ldosheva Dilfuza Shokir qizi, Burxonova Malohat Mamirovna, BAHOLASH NAZARIYASI USULI ASOSIDA AVTOMATIK TIZIMLARNI DIAGNOSTIKALASH ALGORITMLARI	62-68
Улжаев Эркин, Убайдуллаев Уткиржон, Абдулхамидов Азизжон, Нейронные технологии распознавания и классификация степени раскрытия хлопковых коробочек	69-79
Узаков Б.М., Хошимов Б. М, ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ	80-84
Rahmatullayev Ilhom Rahmatullayevich, Umurzakov Oybek, SHA oilasiga mansub xesh funksiyalar tahlili	85-92
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Samatova Zarnigor Nematovna, BULUTLI TEXNOLOGIYALARDA KIBERXAVFSIZLIK TAMINLASHDA CASB YECHIMLARI	93-98
Эргашев Отабек Мирзапулатович, ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ИХ РОЛЬ В ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	99-105
Ёркулов Руслан Махаммади угли, СОСТАВ И СТРУКТУРА МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ Si /Al(111) И Si/Cu(111)	106-109
Muxtarov Farrux Muhammadovich, KIBERHUQUQ VA KIBERETIKA MADANIYATINING SHAKILLANTIRISHDA "KIBERXAVFSIZLIK ASOSLARI" FANINI O'QITISHNING DOLZARBLIGI	110-115
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, Kurbanov Abduraxmon Alishboyevich, Fayziyev Voxid Orzumurod o'g'li, YUZ IFODASINI ANIQLASH MODELLARINI OPTIMALLASHTIRISH: GRADIENTNI OSHIRISH VA UNING GIPERPARAMETRLARNI SOZLASH VA MUNTAZAMLASHTIRISH (REGULARIZATSIYA)DAGI AHAMIYATI	116-122
Polvonov Baxtiyor Zaylobidinovich, Xudoyberdieva Muhayyohon Zoirjon qizi, Abdubannobov Muydinjon Iqboljon o'g'li, G'ulomqodirov Xumoyun O'tkirjon o'g'li, Zaylobiddinov Bekhzod Bakhtiyarjon o'g'li, Ergasheva Gulruxsor Qobiljon qizi, DEVELOPMENT OF PRACTICAL COMPETENCES OF STUDENTS IN NANOTECHNOLOGY AND SEMICONDUCTOR PHYSICS IN HIGHER EDUCATION	123-128
Xudoyqulov Zarifjon Turakulovich, Rahmatullayev Ilhom Rahmatullayevich, Mavjud oqimli shifrlash algoritmlarining qiyosiy tahlili	129-134
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Akhmadjonov Ikhtiyorjon Rovshanjonovich, Ergashev Otabek Mirzapulatovich, THE METHODS OF AUTOMATIC LICENSE PLATE RECOGNITION	135-141
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, Fayziyev Voxid Orzumurod o'g'li, Turakulova Shaxnoza Abdurshidovna, Ermatova Zarina Qaxramonovna, Tibbiy tasvirlar ichida alohida qiziqish hududlarini (Region of interest-ROI) avtomatik aniqlash va izolyatsiya qilish	142-146
Rasulov Akbarali Makhamatovich, Ibrokhimov Nodirbek Ikromjonovich, Minamatov Yusupali Esonali ugli, Mukhtarov Farrukh Muhammadovich, BIMETALLIC CLUSTERS AND AREAS OF THEIR APPLICATION	147-150
Uzakov Barxayotjon Muxammadiyevich, Xoshimov Baxodirjon Muminjonovich, O'ZBEKISTON NEFT-GAZ KORXONALARIDA INVESTISIYA LOYIHALARINI MOLİYALASHTIRISH BO'YICHA XORIJ TAJRIBASINI O'RGANISH	151-156
Xalilov Durbek Aminovich, Abduqodirova Mohizoda Ilhomidin qizi, MASOFAVIY TA'LIM TIZIMINI TASHKIL ETISHNING TEXNIK USULLARI	157-160

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Аллярова Гулмира Холмуратовна, Буронов Нурлибек Рустам угли, Зарипов Шухрат Собиржон угли, Исследование ионно-электронной эмиссии пленок Cs на гранях (110) и (111) монокристаллов молибдена	161-165
Jo'rayev Mansurbek Mirkomilovich, Simsiz sensor tarmoq asosida nozik sug'orish tizimlarini modeli va innovatsion loyihalar	166-172
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Akhmadjonov Ikhtiyorjon Rovshanjonovich, Ergashev Otabek Mirzapulatovich, METHODOLOGY FOR BUILDING LICENSE PLATE RECOGNITION SYSTEMS	173-179
Abduhafizov Tohirjon Ubaydulla o'g'li, Abdurasulova Dilnoza Botirali qizi, IQTISODIY JINOYATLAR VA ULARNING OLDINI OLISH UCHUN DASTURIY MAHSULOTLAR ALGORITMLARINI ISHLAB CHIQUISH	180-185
Djurayev Sherzod Sobirjonovich, Ermatova Zarina Qaxramonovna, Linter qurilmasini ishchi qismlarini masofadan boshqarish va nazorat qilish orqali uning samaradorligini oshirish	186-190
Xusanova Moxira Qurbonaliyevna, Sotvoldiyeva Dildora Botirjon qizi, SIGNALLARNI STATISTIK QAYTA ISHLASH	191-195
Xalilov Durbek Aminovich, Qurbonova Gulruxsor Murodjon qizi, Axborotlashgan ta'lim muhitida talabalar mustaqil ishini tadqiqoti va metodikasini takomillashtirish	196-200

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Узаков Б.М.,  
докторант Ташкентского университета  
информационных технологий имени Мухаммада  
аль-Хорезми  
barhayotuzoqov@gmail.com

Хошимов Б. М.,  
докторант Ташкентского университета  
информационных технологий имени Мухаммада  
аль-Хорезми  
bxoshimov89@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время при оценке качества выходных продуктов нефтеперерабатывающих и химических процессов и, в частности, ректификационных колонн (РК), используются виртуальные анализаторы (ВА). Они предназначены для оценки не измеряемого непосредственно, но необходимого показателя качества продукта по измеряемым параметрам технологического процесса (температура, давление, расход), непрерывно контролируемым современными системами управления.

**Ключевые слова.** продуктов нефтеперерабатывающих и химических процессов за длительных и трудоемких отбора, транспортировки

### 1. Введение

Принцип действия ВА основан на непрерывном определении показателя качества по математической модели, описывающей его взаимосвязь с текущими значениями измеряемых характеристик режима технологического процесса. Использование ВА обусловлено тем, что системы лабораторного контроля качества на предприятии не в состоянии выдавать своевременную непрерывную информацию о качестве продукции из-за длительных и трудоемких отбора, транспортировки и анализа производимых проб (иногда они могут осуществляться не более двух раз в смену). Это может привести либо к выпуску брака, либо к ведению процесса с большим запасом по качеству. Однако оба эти варианта существенно снижают эффективность производства. [1]

Использование в этих целях автоматических анализаторов с прямым замером показателя качества в потоке не получило должного развития из-за своей сложности в эксплуатации и высокой

стоимости. В отличие от них виртуальные анализаторы, практически не уступая в точности, значительно дешевле и надежнее.

В докладе предлагается методика построения ВА качества продуктов промышленной ректификационной колонны с применением регрессионных моделей и алгоритма чередующегося условного математического ожидания (АСЕ) [2].

### 2. Постановка задачи

В реальных условиях качество выходного продукта РК анализируется лабораторным путем, а это достаточно сложная, дорогостоящая и, что немаловажно, долговременная процедура. Альтернативой такому подходу является переход к виртуальным анализаторам, использующим промышленные данные (данные со встроенных измерительных датчиков) ректификационной колонны. При разработке ВА применяются некоторые виды гибридных нейронных технологий, адаптивные алгоритмы



автоматического управления для непрерывной настройки модели, регрессионные модели и т.д.

Для построения ВА использовались метод наименьших квадратов (МНК) [3], робастная регрессия (РР) [4], метод проекции на латентные структуры (ПЛС) [5-6]. При этом перечисленные выше методы применялись для построения линейных моделей ВА, а алгоритм ACE - для построения нелинейных моделей.

Ставится задача разработки метода построения ВА ректификационной колонны с помощью алгоритма ACE и анализа качества моделей, получаемых на основе нескольких регрессионных методов с последующим выбором наиболее адекватной из них.

### 3. Описание промышленной РК

Процесс массообмена в РК показан на рисунке 1. Средние значения технологических параметров в определенных точках РК, на основе которых будут создаваться ВА, приведены ниже в таблице 1.

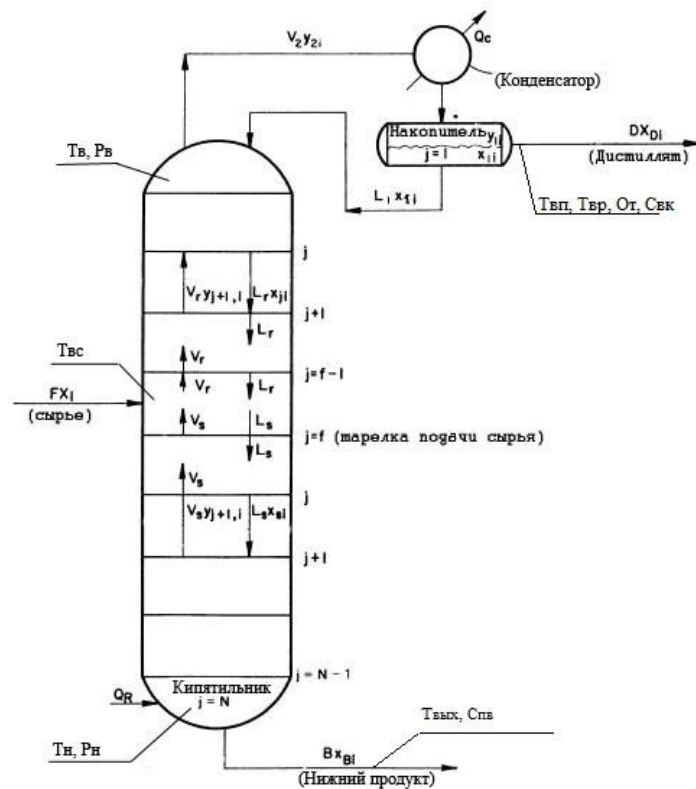


Рис. 1 – Схематическое изображение РК

Таблица 1 Средние значения технологических параметров в заданных точках РК

Наименование датчика РК	$P_v$ - давление вверху РК, кг/см <sup>3</sup>	$D$ - расход дистиллята, т/ч	$T_n$ - температура внизу РК, °C
	<i>PIC643</i>	<i>FIC622</i>	<i>TIC663</i>
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Показатель датчика	2	30	120

Равновесие фаз на каждой ступени разделения РК описывается следующими уравнениями [7]:

$$y_{ij} = K_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^C y_{ij} = 1, \quad \sum_{i=1}^C x_{ij} = 1,$$

при условиях  $K_{ij}$  – константа физического равновесия на  $j$ -ой тарелке  $i$ -го компонента (находится по уравнению Антуана [7]),

$x_{ij}$  – концентрация в жидкой фазе на  $j$ -ой тарелке  $i$ -го компонента,

$y_{ij}$  – концентрация в газообразной фазе  $j$ -ой тарелке  $i$ -го компонента,

$C$  – количество компонентов в смеси.

В исследуемом случае количество компонентов  $C = 28$ , ( $i=1, 2, \dots, C$ ), количество тарелок в РК  $N = 44$ , ( $j=1, 2, \dots, N$ ).

Уравнения материального баланса имеют вид:

$$\begin{aligned} V_{j+1} y_{j+1,i} &= L_j x_{ji} + DX_{Di} & (j=1, 2, \dots, f-2) \\ V_f y_{fi} + V_F y_{Fi} &= L_{f-1} x_{f-1,i} + DX_{Di} \\ V_{j+1} y_{j+1,i} &= L_j x_{ji} - Bx_{Bi} & (j=f, f+1, \dots, N-1) \\ FX_i &= DX_{Di} + Bx_{Bi} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $V_j$  – паровой поток, покидающий  $j$ -ую тарелку,

$L_j$  – поток жидкости, покидающий  $j$ -ую тарелку,



$D$  – дистиллят (верхний продукт РК),  
 $B$  – нижний продукт в РК,  
 $N$  – количество ступеней в РК,  
 $FX_i$  – количество  $i$ -го компонента в сырье,  
поступающем в РК на тарелку  $f$ ,  
 $f$  – номер тарелки в РК, на которую  
подаётся сырьё,  
 $X_{Di}$  – концентрация  $i$ -го компонента в  
дистилляте.

Уравнения энергетического баланса имеют  
вид:

$$\begin{aligned} V_{j+1}H_{j+1} &= L_j h_j + DH_D + Q_c & (j=1,2,\dots,f-2) \\ V_f H_f + V_F H_F &= L_{f-1} h_{f-1} + DH_D + Q_c \\ V_{j+1}H_{j+1} &= L_j h_j - Bh_B + Q_R & (j=f, f+1,\dots,N-1) \\ FH &= Bh_B + DH_D + Q_c - Q_R \end{aligned} \quad (3)$$

где  $H_j$  – энтальпия паров на  $j$ -ой тарелке,

$h_j$  – энтальпия жидкости на  $j$ -ой тарелке,

$Q_c$  – тепловая нагрузка конденсатора,

$Q_R$  – тепловая нагрузка кипятильника.

Решение системы уравнений (1)-(3)  
является сложным и трудоемким, что не позволяет  
проводить вычисления в режиме on-line  
(сложность и время вычисления увеличиваются в  
разы с каждым новым компонентом  $C$  в  
исследуемой системе) и использовать ее как  
рабочую модель ВА.

Создание ВА описывается на примере двух  
показателей качества: содержание  
бензолообразующих веществ и концентрация изо-  
пентана в дистилляте. Для этого имеются  
необходимые данные лабораторных исследований  
верхнего продукта (дистиллята) РК и данные  
датчиков РК в заданное время.

#### 4. Алгоритм АСЕ

Модель, получаемая по алгоритму АСЕ  
[2,8], имеет следующую общую форму:

$$\theta(Y) = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i(X_i) + \varepsilon \quad (4)$$

где  $\theta$  – функция выходной переменной  $Y$  и  
 $\phi_i$  – функции входов  $X_i, i=1,\dots,p$ ,  $\varepsilon$  – ошибка, т.е.  
этот алгоритм позволяет переходить от  
классического уравнения регрессии, линейного по  
входным переменным, к уравнению типа (4).

Алгоритм АСЕ для заданного набора  
данных, состоящего из выходной переменной  $Y$  и  
входных переменных  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , начинает свою  
работу с вычисления некоторых начальных  
преобразований  $\theta(Y), \phi_1(X_1), \dots, \phi_p(X_p)$ .

Используя их, вычисляется

$$\varepsilon^2(\theta, \phi_1, \dots, \phi_p) = E \left\{ \left[ \theta(Y) - \sum_{i=1}^p \phi_i(X_i) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Минимизация  $\varepsilon^2$  из (5) по  
 $\phi_1(X_1), \dots, \phi_p(X_p)$  и  $\theta(Y)$  достигается  
посредством минимизации функций, заданных  
уравнениями:

$$\begin{aligned} \phi_i(X_i) &= E \left[ \theta(Y) - \sum_{j \neq i}^p \phi_j(X_j) \middle| X_i \right] \\ \theta(Y) &= E \left[ \sum_{i=1}^p \phi_i(X_i) \middle| Y \right] / \left\| E \left[ \sum_{i=1}^p \phi_i(X_i) \middle| Y \right] \right\| \end{aligned}$$

Процесс минимизации  $\varepsilon^2$  осуществляется  
последовательно по каждой из переменных, для  
которых вычисляются условные математические  
ожидания [2].

После минимизации  $\phi_i(X_i), i=1,\dots,p$ , и  
 $\theta(Y)$  получаем оптимальные преобразования  
 $\phi_i^*(X_i), i=1,\dots,p$  и  $\theta^*(Y)$ . В результате получаем  
уравнение:

$$\theta^*(Y) = \sum_{i=1}^p \phi_i^*(X_i) + \varepsilon^*$$

где  $\varepsilon^*$  – ошибка, не устраняемая  
использованием алгоритма АСЕ. Минимум  
ошибки регрессии  $\varepsilon^*$  и максимум коэффициента





множественной корреляции  $\rho^*$  связаны соотношением  $\varepsilon^{*2} = 1 - \rho^{*2}$ .

Оптимальные преобразования в алгоритме ACE не требуют априорных предположений о какой-либо конкретной функции, связывающей выход и входные переменные. Таким образом, алгоритм ACE оказывается мощным средством для исследования данных и их взаимосвязей.

Алгоритм ACE, основанный на нелинейных преобразованиях входных переменных, дает более точную модель при построении ее по данным с явной нелинейной зависимостью. Это относится и к данным РК, так как протекающие в ней процессы являются нелинейными. Следовательно, к данным РК можно применять алгоритм ACE, получая более точную, по сравнению с традиционными методами линейной регрессии, модель.

### 5. Исследование методов построения моделей ВА

Строятся модели ВА, необходимые для промышленных РК. Для построения модели ВА необходимо сформировать данные из базы данных технологических переменных РК. Для моделирования они выбраны с учетом физико-химических процессов, влияющих на качество продуктов в РК (табл. 1). Вычисляются средние значения переменных за последний час перед лабораторным измерением. Это связано с тем, что ВА производит оценку показателей качества РК в статическом режиме. Полученные средние значения (матрица  $X$ ) сопоставляются с лабораторными измерениями качества продукта колонны (вектор  $Y$ ).

Для идентификации моделей ВА (содержание бензолобразующих веществ и концентрация изо-пентана в дистилляте) использованы 4 регрессионных метода и алгоритм ACE, два набора лабораторных данных (значения  $Y$ ), 3 технологических переменных (значения  $X$ ). Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 Результаты идентификации модели ВА по содержанию бензолобразующих веществ в дистилляте

Используемый метод	Коэффициент множ. корреляции R	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>
МНК	0.6069	1.7067	0.3683
МЛР	0.4970	1.8636	0.2468
ПЛС 2	0.4970	1.8636	0.2468
РР	0.6067	1.7070	0.3679
ПЛС	0.6069	1.7067	0.3683
ACE	<b>0.8694</b>	<b>1.0735</b>	<b>0.7500</b>

При использовании в качестве критерия коэффициента детерминации R<sup>2</sup> оказалось, что наиболее точной является модель, полученная по алгоритму ACE. Это подтверждает тот факт, что алгоритм ACE наиболее подходит для идентификации ВА качества выходных продуктов РК с высокой долей нелинейности.

Результаты построения моделей разными регрессионными методами по концентрации изо-пентана в выходном продукте РК представлены в таблице 3.

Таблица 3 Результаты идентификации модели ВА по концентрации изо-пентана в дистилляте

Используемый метод	Коэффициент множ. корреляции R	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>
МНК	0.9308	0.7851	0.8663
МЛР	0.9083	0.9009	0.8240
ПЛС 2	0.9083	0.9009	0,8240
РР	0.9307	0.7859	0.8661
ПЛС	0.9308	0.7851	0.8663
ACE	<b>0.8434</b>	<b>1.2622</b>	<b>0.4920</b>

Из таблицы 3 следует, что для построения ВА по концентрации изопентана наилучшие



результаты дают традиционные методы регрессионного моделирования ПЛС, МНК.

### 6. Заключение

Проведенные исследования промышленных данных ректификационной колонны регрессионными методами с целью идентификации ВА показали, что в случае явно выраженной нелинейности алгоритм ACE дает более точные результаты, чем регрессионные методы МНК, МЛР, ПЛС, ПЛС2, РР.

В процессе идентификации ВА по содержанию изо-пентана в дистилляте алгоритм ACE дал результат почти в два раза хуже, по сравнению с традиционными регрессионными методами. Поэтому его следует применять, когда традиционные регрессионные методы дают плохую точность модели из-за наличия существенно нелинейных взаимосвязей в структуре моделируемых данных и отказаться от его применения, если результаты моделирования оказываются на порядок хуже традиционных регрессионных методов. В связи с этим при создании ВА для промышленных ректификационных колонн представляется целесообразным для проверки описанных условий применять многометодные технологии вместо использования контроля разработчика.

Исследования показали, что из традиционных регрессионных методов моделирования наиболее подходящим, точным и удобным для интерпретации результатов является метод проекции на латентные структуры (ПЛС). Полученные результаты не противоречат существующим методикам выбора регрессионных методов моделирования в области хемо метрики.

### Список литературы

1. Бахтадзе Н.Н. Виртуальные анализаторы (идентификационный подход) // *АиТ*. 2004. № 11. С. 3-23.
2. Breiman L., Friedman J. Estimating optional transformations for multiple regression and correlation // *Journal of the American Statistical Association*. 1985. Vol. 80. P. 580-598.

3. Lee C., Choi S.W., Lee, I-B. Sensor fault identification based on time-lagged PCA in dynamic processes // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2004. Vol. 70. No. 2. P. 165–178.

4. Street J. O., R. J. Carroll, Ruppert D. A Note on Computing Robust Regression Estimates via Iteratively Reweighted Least Squares // *The American Statistician*. 1988. Vol.42. P. 152-154.

5. Zamprogna E., Barolo M., Seborg D. E. Development of a soft sensor for a bath distillation column using liner and nonlinear PLS regression techniques // *Control Engineering Practice*. 2004. Vol. 12. No. 7. P. 917-929.

6. Mejdell T., Skogestad S. Estimation of Distillation Compositions from Multiple Temperature Measurements Using Partial least squares Regression // *Ind. Eng. Chem. Res*. 1991. Vol. 30. P. 2543-2555.

7. Holland, C. D. Fundamentals of multicomponent distillation. New York: McGraw-Hill Book Company, 1981. 633P.

8. Wang D., Murphy M. Estimating optimal transformations for multiple regression using the ACE algorithm // *Journal of Data Science*. 2004. Vol. 2. P. 329-346.

9. Muminjonovich, Hoshimov Bahodirjon, and Uzokov Barhayot Muhammadiyevich. "Teaching Children to Programming on the Example of the Scratch Program." *Eurasian Scientific Herald* 9 (2022): 131-134.

