

ELECTRO

SCIENTIFIC-INDUSTRIAL JOURNAL

ENERGETICS
TECHNICS
MECHANICS
+ CONTROL



Volume 9, No. 2

BAKU 2019



ELECTROENERGETICS, ELECTROTECHNICS ELECTROMECHANICS + CONTROL

Scientific – Industrial Journal

Editor in-Chief

Yusifbayli Nurali (Baku, Azerbaijan)

Deputy Editors in-Chief

Valiyev Vilayat (Baku, Azerbaijan)

Huseynov Asaf (Baku, Azerbaijan)

Mustafayev Rauf (Baku, Azerbaijan)

Hasanov Zakir (Baku, Azerbaijan)

International Advisory Board

Babanli Mustafa (Baku, Azerbaijan)

Hashimov Arif (Baku, Azerbaijan)

Chetin Elmas (Turkey)

Ayuyev Boris (Russia)

Ozdemir Aydogan (Istanbul, Turkey)

Arif Mehtiyev (Baku, Azerbaijan)

Aliyev Telman (Baku, Azerbaijan)

Kumbaroglu Gurkan (USA)

Voropay Nikolay (Russia)

Editorial Board

Aliguliyev Rasim (Baku, Azerbaijan)

Aliyev Fikret (Baku, Azerbaijan)

Abullayev Yashar (Baku, Azerbaijan)

Dimirovski Georgi (Skopje, Macedonia)

Tabatabaei Naser (Iran)

Farhadzadeh Elmar (Baku, Azerbaijan)

Guliyev Askar (Baku, Azerbaijan)

Musayev Musavar (Baku, Azerbaijan)

Guliyev Huseyngulu (Baku, Azerbaijan)

Nurubayli Zulfugar (Baku, Azerbaijan)

Izykowski Jan (Poland)

Lazimov Tahir (Baku, Azerbaijan)

Rahmanov Nariman (Baku, Azerbaijan)

Rajabli Kamran (USA)

Yerokhin Pyotr (Russia)

Abdullayev Kamal (Baku, Azerbaijan)

Agamaliyev Mukhtar (Baku, Azerbaijan)

Aliyev Aydin (Baku, Azerbaijan)

Ahmadov Elbrus (Baku, Azerbaijan)

Executive Editors

Babayeva Aytak (Baku, Azerbaijan)

Karimzadeh Orkhan (Baku, Azerbaijan)

Yusifbayli Fidan (Baku Azerbaijan)

Editorial Assistants

Nasibov Valeh (Baku, Azerbaijan)

Marufov Ilkin (Baku, Azerbaijan)



Dear Colleagues,

In the last years our country has turned to the leader state of the region and one of the main energy safety guarantors of the Europe in the result of perfect strategy implemented by the initiative and administration of the honorable President Ilham Aliyev.

We are very glad to represent the issue of a journal named “ELECTROENERGETICS, ELECTROTECHNICS, ELECTROMECHANICS + CONTROL” that initiated and founded by the Azerbaijan State Oil and Industrial University, Azerbaijan Scientific-Research & Design Prospecting Power Engineering Institute and The State Agency of Alternative and Renewable Energy Sources. Also this journal devoted to the sustainable development of energy sector which is considered one of the leading areas of the country's economy.

The journal is initially planned to be published twice in a year and the solution of important problems on power engineering will be reflected in it. The main purpose of journal is the publication of high-level articles dedicated to electric power systems, power stations, substations and their main equipments, electrotechnical complexes, automation and management means, the development of renewable energy sources and their activity. In the electricity development conditions the working out of the economic principles and methods of the energy security, energy efficiency issues are being intensively developed all over the world. At the same time application of modern innovative technologies, estimation of the renewable energy sources role, development of the economic aspects of the energy systems, assessment of the energy systems in the field of interstate cooperation condition and its legal base are important issues awaiting their solution. The topics will also cover systems analysis, management and information software, automation and technological processes management and their modeling, as well as electrical and heating appliances, electrical machinery and apparatus, electric drivers, high-voltage equipment, electrotechnical materials, development of the bases of economic sector electricity supply. Original research results, the modern applying state and conditions of the science-research means in this or other areas will be delivered to the attention of local and international experts.

Information about materials of the symposiums, conferences and seminars held in the area of power engineering inside republic and internationally, as well as monographs, discussions, opinions will also be printed in the journal.

Congratulations to everybody who contributed to the publishing of the journal. We wish successes to editorial staff in their future work. We would like to invite the potential authors of the international world to print their scientific articles in the journal of “ELECTROENERGETICS, ELECTROTECHNICS, ELECTROMECHANICS + CONTROL”.

Nurali A. Yusifbayli

Head of Department of ASOIU

Deputy Chairman of the SARAES of the Republic of Azerbaijan

Doctor of technical science, professor

Az 1010, Azadlq str. 20,

Baku, Azerbaijan

Phone: (+99412) 493 11 07

Mail adresss: Journal@eeec.az

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОПРЕСНЕНИЯ УМЯГЧЕННОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ С МЕХАНИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИЕЙ ПАРА

THERMAL DESALINATION OF SOFTENED SEAWATER WITH MECHANICAL STEAM COMPRESSION

AGAMALIYEV M.M., AHMADOVA C.A., MAMMADBAYOVA M.M.

On the example of the Caspian Sea water, the possibility of increasing the efficiency of thermal desalination technology with mechanical steam compression by increasing the boiling point and the evaporation rate is justified. The emerging problem of prevention of sulfate scale formation is proposed to be solved by preliminary Na- cationization or nanofiltration softening of sea water. The comparative analysis shows that at one-stage desalination it is expedient to use Na- cationization technology with cation regeneration only by own sodium salts of initial sea water. The hypothesis about possible preference of nanofiltration softening in multistage steam-compression installations is put forward. The main lines of follow-up research were identified.

Keywords: sea water, high-temperature desalination, scale, nanofiltration, Na-cationation, steam compression.

YUMŞALDILMIŞ DƏNİZ SUYUNUN MEXANİKİ BUXAR KOMPRESSİYALI TERMİKİ ŞİRİNLƏŞDİRMƏ TEXNOLOGİYASI

AĞAMALIYEV M.M., ƏHMƏDOVA C.A., MƏMMƏDBƏYOVA M.M.

Xəzər dənizi suyunun misalında mexaniki buxar kompressiyalı termiki şirinləşdirmə texnologiyasının səmərəliliyinin artırılması üçün qaynama temperaturunun və buxarlanma mislinin artırılmasının məqsədəuyğunluğu əsaslandırılmışdır. Sulfat ərpi probleminin həlli üçün dəniz suyunun əvvəlcədən Na-kationlaşdırma və ya nanosüzülmə ilə yumşaldılması təklif olunmuşdur. Müqayisəli analizlə göstərilmişdir ki, bir pilləli şirinləşdirmədə kationitin regenerasiyasını ancaq dəniz suyunun natrium duzları ilə aparılmasına əsaslanan Na-kationlaşdırma texnologiyası daha əlverişlidir. Çoxpilləli buxar kompressiyalı qurğularda nanosüzülmə üsulunun daha səmərəli olacağı haqqında hipoteza irəli sürülmüşdür. Növbəti tədqiqatların əsas istiqamətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər: dəniz suyu, yüksək temperaturlu şirinləşdirmə, ərp, nanosüzülmə, Na-kationlaşdırma, buxarın kompressiyası.

АГАМАЛИЕВ М.М., АХМЕДОВА Д.А., МАМЕДБЕКОВА Р.Г.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

На примере воды Каспийского моря обосновывается возможность повышения эффективности технологии термического опреснения с механической компрессией пара путем повышения температуры кипения и кратности упаривания. Возникающую при этом проблему предотвращения сульфатного накипеобразования предлагается решить предварительным Na-катионитным или нанофильтрационным умягчением морской воды. Сравнительным анализом показано, что при одноступенчатом опреснении целесообразно использование технологии Na-катионирования с регенерацией катионита только собственными натриевыми солями исходной морской воды. Выдвинута гипотеза о возможной предпочтительности нанофильтрационного умягчения в многоступенчатых парокомпрессионных установках. Намечены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: морская вода, высокотемпературное опреснение, накипь, нанофильтрация, Na-катионирование, компрессия пара.

Введение

Одной из актуальных проблем современности является нехватка пресной (питьевой) воды. Мировая практика показывает, что для более чем 50% населения Земного шара данная

проблема может быть решена путем опреснения минерализованных вод морей и океанов [1]. Наиболее широкое распространение получили два метода опреснения – обратный осмос и различные модификации термического опреснения. Характерный для термического опреснения недостаток связан с большими расходами тепла: $40 \div 120 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, в зависимости от числа ступеней [2]. Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при использовании технологии термического опреснения с различными методами компрессии вторичного пара, включая механическую [3]. Метод основан на использовании принципа работы теплового насоса и предусматривает сжатие вторичного пара испарителя в компрессоре с последующим использованием в качестве греющего пара, конденсатом которого является дистиллят (опресненная вода). По данным [3] на одноступенчатых установках парокомпрессионного опреснения энергозатраты снижаются до $20\text{-}30 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, причем данные установки считаются оптимальными для производительностей опреснительных установок до $3000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Данная технология представляет большой интерес для целого ряда регионов прикаспийских стран (Абшеронский полуостров Азербайджанской республики, Мангышлакский полуостров Казахстана, приморское побережье Туркменистана) с точки зрения локального водоснабжения отдаленных населенных пунктов и промышленных предприятий.

Исследования в области парокомпрессионного опреснения (ПКО) в основном выполнены на океанской воде. В работе [4] показано, что в многоступенчатой парокомпрессионной установке энергозатраты могут быть снижены до $12 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$. Отмечена важность решения оптимизационных задач ПКО [5]. Работами по ПКО воды Черного моря показана необходимость учета солесодержания исходной воды [6]. Следует отметить, что практически все исследования проведены для низкой области температуры кипения ($60\text{-}90^\circ\text{C}$) и кратности упаривания (≤ 2). Вместе с тем в работе [7] отмечена возможность существенного повышения эффективности процесса при высокотемпературном ПКО (до $140\text{-}160^\circ\text{C}$), но для этого необходимо решить проблему предотвращения сульфатной накипи и коррозии метала. В этом плане возможности широко используемого в настоящее время метода введения антинакипинов ограничены по причине их термоллиза при температуре более 90°C [8].

Согласно исследованиям профессора Г.К.Фейзиева [9] решение сульфатной проблемы при термическом опреснении воды Каспийского моря может быть достигнуто ионообменным процессом: предварительным Na-катионированием, при условии регенерации катионита только собственными натриевыми солями морской воды в виде продувочных растворов испарительных установок, питаемых умягченной водой. Альтернативным решением сульфатной проблемы может быть предварительное нанофильтрационное умягчение [10]. Согласно этому источнику нанофильтрационные мембраны характеризуются высокой селективностью по двухвалентным ионам (до 95-98 %) и относительно низкой селективностью по одновалентным ионам (50-70%), что предопределяет возможность не только существенного снижения концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в пермеате (питательной воде испарителей), но и частичного опреснения его.

Целью настоящих исследований является оценка сравнительной эффективности высокотемпературного термического опреснения воды Каспийского моря с механической компрессией пара при предварительном умягчении Na-катионированием и нанофильтрацией, на примере одноступенчатых установок.

1. Технологические схемы ПКО и методика проведения исследований.

Объектом исследования являются две технологические схемы, приведенные на рис.1(а, б). Согласно первой морская вода (МВ) обрабатывается катионным флокулянт (КФ) и насосом (1) подается на механический фильтр (2), после осветления умягчается на Na-катионитном фильтре (3). Умягченная вода насосом (4) подается в мембранный дегазатор

(5), где вакуумным насосом (6) из нее отсасываются коррозионно-агрессивные газы. Далее дегазированная вода делится на два потока, один из которых подается в теплообменник (7)

для утилизации тепла дистиллята греющего пара, другой – в теплообменник (8) для утилизации тепла продувочного раствора. Нагретая питательная вода поступает в испаритель (9), вторичный пар которого сжимается в компрессоре (10) и используется в качестве греющего пара. Продувочный раствор – смесь солей NaCl и Na_2SO_4 с общей концентрацией от 6 до 12%, в зависимости от величины продувки – используется для регенерации Na-катионитного фильтра. Для отмывки фильтра используется часть умягченной воды (на схеме не показано).

По второй схеме вместо Na-катионирования используется нанофильтрационный модуль (11) и для предотвращения образования отложений CaCO_3 на мембранах – подкисление осветленной воды (К). Сбросным раствором по первой схеме является отработанный раствор Na-катионированитного фильтра (ОР), а по второй - концентрат стадии нанофильтрационного умягчения (КТ).

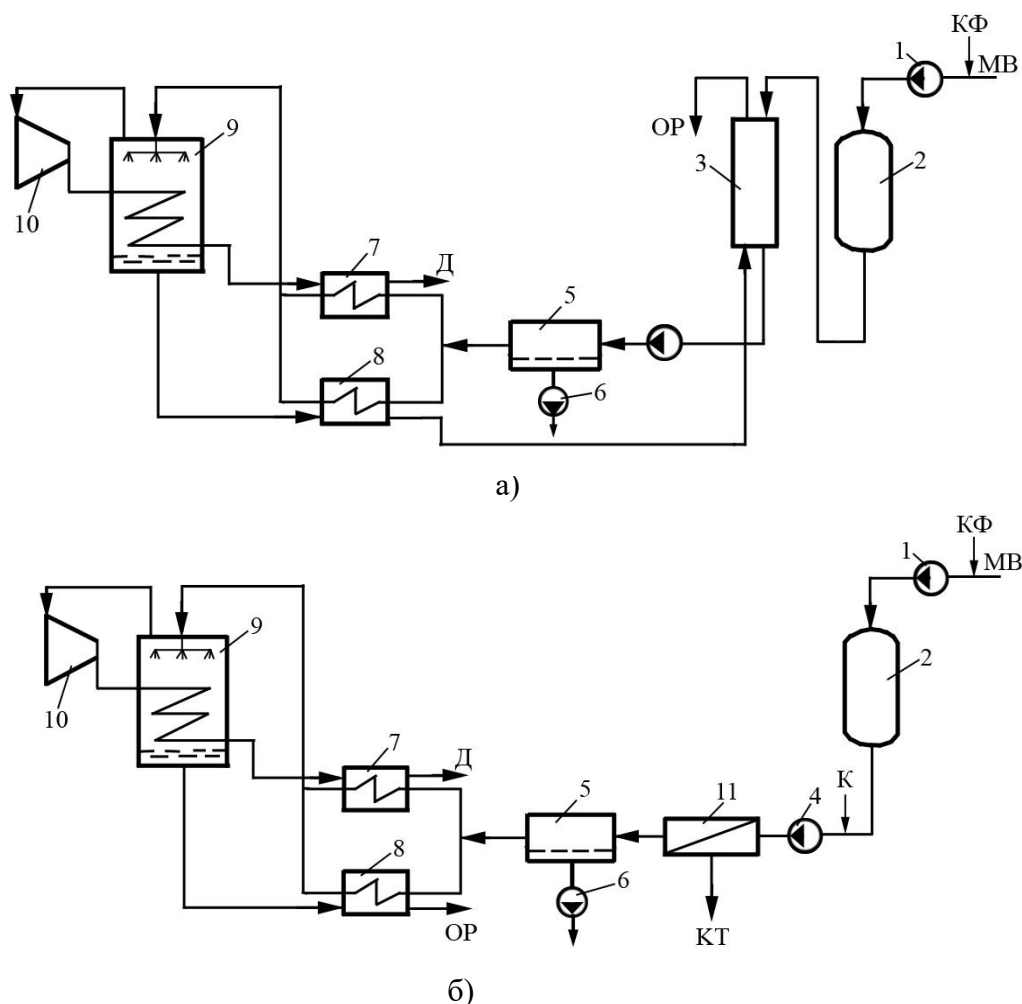


Рис.1. Технологические схемы ПКО морской воды

а) с Na-катионированием; б) с нанофильтрацией

Для исследования приведенных технологических схем принят аналитический метод - разработка математической модели с последующей компьютерной симуляцией. При этом за

базу принята модель, предложенная в [3] для технологии термического опреснения морской воды с механической компрессией пара. Она была дополнена моделями стадии Na-катионирования, нанофильтрации и образования накипи сульфата кальция в условиях высокой температуры кипения и кратностей упаривания.

При выборе модели стадии Na-катионирования ориентировались в основном на данные [9], а для стадии нанофильтрации использовались возможности специализированной компьютерной программы ROSA (Revers Osmosis Sistems Analizis), разработанной американской фирмой DOW, подробная информация о которой дана в [11].

Упрощенная модель стадии Na-катионирования включает уравнения материальных балансов по потокам:

$$G_0 = G_{Na} \cdot (1 + \alpha_{Na}) \quad (1)$$

и по катионам жесткости:

$$V_k \cdot E_{раб} \cdot n = 24 \cdot G_{Na} \cdot \alpha_{Na} \cdot (Ж_0 - Ж_{ост}), \quad (2)$$

где G_0 и G_{Na} – расходы осветленной и Na-катионированной воды соответственно, м³/ч; α_{Na} – коэффициент учитывающий использование умягченной воды на отмывку катионита; V_k – объем катионита, м³; $E_{раб}$ – рабочая обменная емкость катионита г-экв/м³; n – число регенераций одного фильтра в сутки (≤ 3); $Ж_0$ и $Ж_{ост}$ – исходная и остаточная жесткости воды, соответственно, г-экв/м³.

Объем катионита, м³:

$$V_k = 0,785D^2 \cdot a \cdot h, \quad (3)$$

где a – число работающих фильтров; h – высота загрузки катионита, м.

При умягчении воды общее солесодержание лишь незначительно повышается, концентрации анионов не изменяются, на величину снижения жесткости повышается лишь концентрация ионов натрия, г-экв/м³:

$$S_{Na} = S_{Na,0} - Ж_0 + Ж_{ост} \quad (5)$$

где $S_{Na,0}$ – исходная концентрация натрия в морской воде, г-экв/м³.

При противоточной регенерации катионита остаточная кальциевая жесткость умягченной воды оценивается пределом чувствительности трилонометрического метода (3-5 мкг-экв/дм³) [9].

Программа ROSA обеспечивает возможность расчета и исследования как обратноосмотических, так и нанофильтрационных установок. В пакете программы приведены две марки мембран приемлемых для умягчения каспийской воды: NF-90 и NF-270.

В данном исследовании указанная программа была использована для моделирования влияния выхода пермеата на такие технологические показатели процесса, как концентрации ионов в пермеате и концентрате, число мембранных элементов и модулей, осмотическое давление концентрата и рабочее давление питательной воды, удельный расход электроэнергии, степень насыщения концентрата по сульфату кальция, доза кислоты, при которой исключается опасность образования на поверхности мембран отложений CaCO₃, а также ряд других показателей.

Модель стадии высокотемпературной термической дистилляции умягченной морской воды охватывает такие элементы, как собственно испаритель, теплообменники, компрессор, включает уравнения материального и теплового балансов, скрытой теплоты парообразования, расхода электроэнергии на сжатие пара, уравнение теплопередачи и другие.

Уравнения материального баланса по потокам и солям:

$$G_{п} = G_{д} + G_{р} \quad (6) \quad G_{п} \cdot S_{п} = G_{р} \cdot S_{р} \quad (7)$$

где $G_{п}$, $G_{д}$ и $G_{р}$ – расходы питательной воды, дистиллята и остаточного раствора, соответственно, кг/с; $S_{п}$ и $S_{р}$ – солесодержания питательной воды и остаточного раствора, соответственно, мг/дм³.

Совместное уравнение теплового баланса теплообменников (7) и (8):

$$G_{\text{п}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{п}} - T_{\text{у}}) = G_{\text{д}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{к}} - T_0) + G_{\text{р}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{р}} - T_0) \quad (8)$$

Уравнение теплового баланса испарителя:

$$G_{\text{п}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{р}} - T_{\text{п}}) + G_{\text{д}} \cdot r_{\text{р}} = G_{\text{д}} \cdot r_{\text{д}} + G_{\text{д}} \cdot C_{\text{рп}}(T_{\text{пп}} - T_{\text{к}}), \quad (9)$$

где $T_{\text{п}}$, $T_{\text{у}}$, $T_{\text{к}}$, T_0 , $T_{\text{р}}$, и $T_{\text{пп}}$ – температуры питательной воды после теплообменников, умягченной воды до теплообменников, конденсации пара, дистиллята после охлаждения кипения раствора в испарителе и перегретого пара после компрессора, соответственно, $^{\circ}\text{C}$; $r_{\text{р}}$ и $r_{\text{д}}$ – скрытые теплоты парообразования при температурах кипения воды ($T_{\text{к}}$) и конденсации пара ($T_{\text{д}}$) соответственно, кДж/кг ; $T_{\text{пп}}$ – температура сжатого(перегретого) пара; $C_{\text{р}}$ – удельная теплоемкость воды, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$; $C_{\text{рп}}$ – удельная теплоемкость пара при температуре $T_{\text{пп}}$, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Как показано в [3] путем простых преобразований приведенных формул температура питательной воды - $T_{\text{п}}$, а также дистиллята и сбросного раствора - T_0 на выходе могут быть выражены как функции прочих температур, а также солесодержания питательной воды - $S_{\text{п}}$ и продувочного раствора - $S_{\text{р}}$, которые являются входными независимыми факторами процесса:

$$S_{\text{р}} = S_{\text{п}} \cdot m \quad (10)$$

где m – кратность упаривания воды в испарителе.

При этом связь между расходом дистиллята и питательной воды может быть выражена формулой:

$$G_{\text{д}} = G_{\text{п}}(1 - 1/m) \quad (11)$$

При ионообменном умягчении: $G_{\text{п}} = G_{\text{Na}} = G_0 / (1 + \alpha_{\text{Na}})$ (12)

При нанофильтрации: $G_{\text{п}} = G_0 \cdot \beta$, (13)

где G_0 – расход исходной морской воды, кг/с ; β – доля пермеата.

Удельный расход электроэнергии на сжатие пара в компрессоре, $\text{кВт} \cdot \text{ч/м}^3$, [3]:

$$W = (\gamma / (\eta(\gamma - 1))) \cdot P_{\text{вп}} \cdot V_{\text{вп}} \cdot \left((P_{\text{пп}} / P_{\text{вп}})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) / 3,6 \quad (14)$$

где $P_{\text{вп}}$ и $P_{\text{пп}}$ – давления вторичного и сжатого пара, кПа ; $V_{\text{вп}}$ – удельный объем вторичного пара, $\text{м}^3/\text{кг}$; γ – показатель степени сжатия; η – к.п.д. компрессора.

Величины $P_{\text{вп}}$, $P_{\text{пп}}$, $V_{\text{вп}}$, $r_{\text{р}}$ и $r_{\text{д}}$ рассчитываются как функции от температур на основании уравнений регрессии, приведенных в [3]. При расчете $P_{\text{вп}}$ учитывается температурная депрессия – $\Delta T_{\text{деп}}$, определяемая как функция $S_{\text{р}}$ и $T_{\text{р}}$:

$$T_{\text{вп}} = T_{\text{р}} - \Delta T_{\text{деп}} \quad (15)$$

Расчет поверхностей нагрева выполняется на основании уравнения теплопередачи, м^2 :

$$F_i = Q_i / K_i \cdot \Delta T_i, \quad (16)$$

где Q_i – тепловые нагрузки, кВт ; ΔT_i – температурные напоры, $^{\circ}\text{C}$: для испарителя $\Delta T_{\text{ис}} = T_{\text{д}} - T_{\text{р}}$. Для теплообменников ΔT_i рассчитывается по известным формулам, как логарифмическая разность температур двух сред.

Согласно [3] для горизонтально-плёночных испарителей, работающих в области температур $60-140^{\circ}\text{C}$ коэффициент теплопередачи может быть рассчитан по формуле, $\text{кВт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$:

$$K_{\text{ис}} = 0,83 \cdot (3 + 0,05(T_{\text{р}} - 60)) \quad (17)$$

Для теплообменников (7) и (8) могут быть использованы уравнения регрессии:

$$K_{\text{T7}} = 1,7194 + 3,2063 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{к}} + 1,5971 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{к}}^2 - 1,9918 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{к}}^3 \quad (18)$$

$$K_{\text{T8}} = 1,9695 + 1,2057 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{р}} - 8,5989 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{р}}^2 + 2,5651 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{р}}^3 \quad (19)$$

В качестве модели для оценки влияния температуры кипения (T_p) и кратности упаривания (m) на процесс образования сульфата кальция может быть использован показатель степени насыщения раствора по данной соли - K_{CaSO_4} , %. При этом:

$$m = S_p / S_y \quad (20)$$

где S_p и S_y – солесодержания остаточного раствора и умягченной воды, соответственно, мг/дм³.

$$K_{CaSO_4} = AK_{CaSO_4} \cdot 100 / PP_{CaSO_4} \quad (21)$$

где AK_{CaSO_4} – произведение активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} , выраженных в моль/дм³; PP – произведение растворимости сульфата кальция, (моль/дм³)².

Величина AK_{CaSO_4} может быть рассчитана по выражению, (моль/дм³)²:

$$AK_{CaSO_4} = \lambda_{Ca} S_{Ca} \cdot \lambda_{SO_4} S_{SO_4} \cdot f_{II}^2$$

(22) где $\lambda_{Ca^{2+}}$ и $\lambda_{SO_4^{2-}}$ – коэффициенты, учитывающие наличие ассоциатов в морской воде:

$[1\lambda_{Ca^{2+}} = 0,84; \lambda_{SO_4^{2-}} = 0,772]$; f_{II} – коэффициент активности двухвалентных ионов, рассчитываемый из формулы:

$$\lg f_{II} = 2 \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} + 0,2 \sqrt{\mu} \quad (23)$$

где μ – ионная сила раствора:

$$\mu = \sum S_i Z_i^2 \quad (24)$$

где S_i – концентрации ионов в моль/дм³; Z_i – валентности ионов.

На основании справочных данных величина PP_{CaSO_4} в интервале температур 60-150⁰C может быть аппроксимирована формулой, (моль/дм³)² [12]:

$$PP_{CaSO_4} = 215,13 \exp(-0,034 \cdot T_p) \cdot 10^{-7} \quad (25)$$

В исследованиях величина G_d была принята равной 1 кг/с, с возможностью пересчета всех потоков на произвольное значение этого показателя. Состав каспийской воды принят характерный для Апшеронского полуострова, со средней температурой 15⁰C, солесодержанием 12767 мг/дм³: ($S_{Ca} = 320$; $S_{Mg} = 728$; $S_{Na} = 3177$; $S_{Cl} = 5034$; $S_{SO_4} = 3264$; $S_{HCO_3} = 244$) и pH = 8,2. К.п.д. компрессора принят: $\eta = 59,8\%$, а показатель степени сжатия пара: $\gamma = 1,32$ [3];

В качестве входных варьируемых факторов были приняты:

- выход пермеата стадии нанофильтрации, $\beta = 0,4 \div 0,8$;
- температура кипения $T_p = 60 \div 140^0C$;
- температурный напор в испарителе: $\Delta T_{ис} = T_d - T_p = 1 \div 4^0C$;
- кратность упаривания: $m = 2 \div 12$.

В качестве основных выходных показателей исследуемого процесса были приняты:

- концентрации ионов в пермеате и концентрате стадии нанофильтрации, мг/дм³;
- степень насыщения упариваемого раствора по сульфату кальция, K_{CaSO_4} , %;
- удельный расход электроэнергии на сжатие пара – W , кВт·ч/м³;
- удельная поверхность теплообмена, м²/(кг/с):

$$\delta F = (F_{ис} + F_{од} + F_{ор}) / G_d \quad (26)$$

где $F_{ис}$, $F_{од}$, $F_{ор}$ – поверхности нагрева испарителя, охладителей конденсата и остаточного раствора, соответственно, м².

- выходы опресненной воды относительно умягченной (G_y) и исходной воды (G_0), %:

$$d_y = G_d \cdot 100 / G_y \quad (27) \quad d_0 = G_d \cdot 100 / G_0$$

(28)

Компьютерное исследование моделей было выполнено с использованием программы Pascal.

2. Обсуждение результатов исследований

Как было отмечено выше, при противоточном Na-катионировании каспийской воды с использованием полифункционального катионита на второй ступени достигается практически полное умягчение по ионам кальция – ее величина снижается до 3-4мкг-экв/дм³. При этом выход умягченной воды составляет около 90%, поскольку 8-10% полученной воды расходуется на отмывку катионита от продуктов регенерации [9].

Что касается нанофильтрационного умягчения, то о возможностях этой технологии можно судить на основании результатов расчетов, выполненных по программе ROSA, часть которых приведена в таблице 1.

Из полученных данных следует, что происходит достаточно глубокое удаление накипеобразующих ионов: при использовании мембраны NF-90 содержание Ca²⁺ и SO₄²⁻ снижается, в среднем, до уровня 12-13 мг/дм³ и 100-105 мг/дм³, соответственно, или в 25 и 32 раз относительно исходной воды. Для мембраны NF-270 характерны относительно худшие показатели, особенно по ионам кальция. Более высокая селективность мембраны NF90 обуславливает в среднем 6-ти кратное снижение солесодержания, против 2-х кратного на мембране NF-270. Повышение концентраций ионов в пермеате с увеличением выхода пермета (β) обусловлено ростом концентрации солей в примембранном слое.

Таблица 1

Концентрации ионов Ca²⁺, SO₄²⁻ и суммарное содержание солей в умягченной воде стадии нанофильтрации, мг/дм³

β	NF 90			NF 270		
	S _{Ca²⁺}	S _{SO₄²⁻}	S _p	S _{Ca²⁺}	S _{SO₄²⁻}	S _p
0,4	8,1	61,7	1,63	104,5	72,1	6,28
0,5	9,3	71,2	1,79	109,5	81,8	6,49
0,6	10,9	84,9	2,01	116,6	95,4	6,77
0,7	13,3	106,6	2,34	126,0	116,4	7,15
0,8	17,8	146,9	2,91	140,6	154,2	7,72

Следует отметить, что по программе ROSA были определены не только прогнозируемые концентрации ионов Ca²⁺ и SO₄²⁻ в пермеате, но и всех остальных ионов, в том числе и в концентрате. Статистическая обработка полученных данных показала, что все кривые зависимости концентрации компонентов от величины выхода пермеата с достаточно высоким значением коэффициентом детерминации могут быть аппроксимированы уравнением вида:

$$S_i = a \cdot (1 - \beta)^b, \text{ мг/дм}^3,$$

где а и b – эмпирические коэффициенты, которые были определены по программе Excel и наряду с коэффициентами детерминации, приведены в таблице 2.

Эти уравнения представляют большой интерес и с точки зрения исследования различных гибридных систем опреснения с нанофильтрационной предварительной очисткой – обратный осмос, электродиализ, мембранная дистилляция и др.

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов и коэффициента детерминации

Концентрации	a		b		R ²	
	NF90	NF270	NF90	NF270	NF90	NF270
$S_{Ca^{2+}}$	5,6/323,2	91,1/318,9	-0,715/-0,967	-0,272/-0,736	1/1	0,994/1
$S_{Mg^{2+}}$	12,9/735,4	172,9/729,3	-0,718/-0,967	-0,306/-0,771	1/1	0,995/1
S_{Na^+}	354,5/3288,5	1786,6/3152,8	-0,566/-0,828	-0,158/-0,471	1/1	0,993/1
S_{Cl^-}	551,9/5194,9	551,9/5451,5	-0,567/-0,831	-0,18/-0,203	1/1	0,98/1
$S_{SO_4^{2-}}$	49,2/3312,6	50,6/3304,2	-0,792/-0,993	-0,692/-0,987	1/1	1/1

Примечание: числитель – пермеат; знаменатель – концентрат.

Сравнительный анализ технологических показателей двух технологий умягчения показывает, что основным достоинством нанофильтрации является возможность не только умягчения, но и достаточно глубокой десульфатизации, что важно в плане предотвращения накипи сульфата кальция на стадии термической дистилляции. На первый взгляд возможность частичного обессоливания также можно отнести к достоинствам, но это оправдано в случае последующего обратноосмотического обессоливания. При термическом обессоливании данный фактор нивелируется весьма слабой зависимостью технологических показателей от солесодержания питательной воды [3].

По этой же причине некоторое увеличение солесодержания умягченной воды при Na-катионировании, обусловленное эквивалентностью ионного обмена и различием эквивалентных масс ионов жесткости и натрия, нельзя отнести к недостаткам этой технологии. Главное же достоинство технологии Na-катионирования заключается в возможности значительно более глубокого умягчения по ионам кальция. Вместе с тем, тот факт, что концентрация сульфат ионов остается на исходном уровне делает, на первый взгляд, Na-катионированную воду более накипееобразующей по сравнению с пермеатом нанофильтрации.

Следует учесть, что в связи с различным солесодержанием питательной воды испарителей между кратностью упаривания (m) и солесодержанием остаточного раствора существует прямо пропорциональная связь. Одним и тем же значениям (m) соответствуют различные концентрации остаточного раствора – от 30 до 150 г/дм³. Причем меньшие значения характерны для NF90, а большие – для Na-катионирования (рис.2).

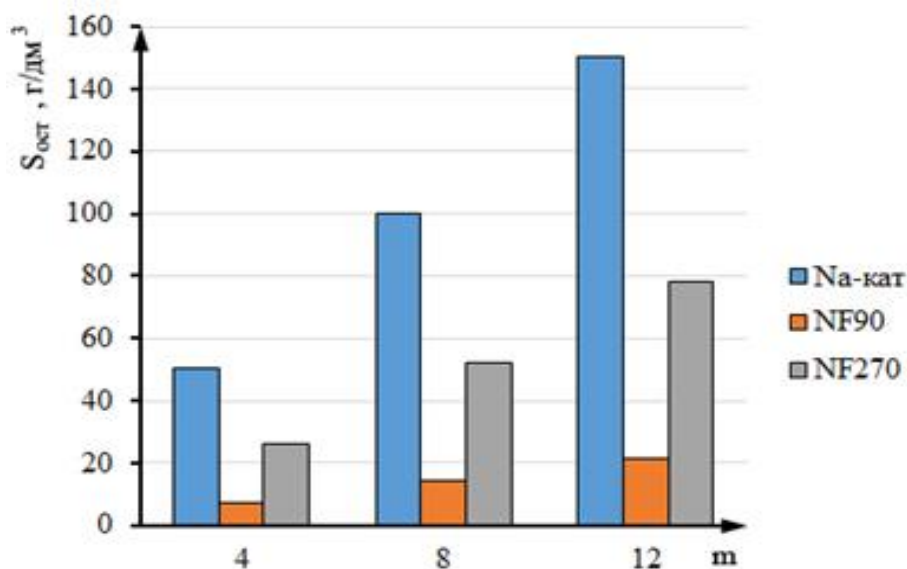


Рис.2. График зависимости солесодержания остаточного раствора от кратности упаривания умягченной воды ($\beta=0,5$)

В связи с оценкой накипеобразующих свойств умягченной воды на рис. 3 представлены зависимости степени насыщения остаточных концентратов испарителя по сульфату кальция от температуры и кратности упаривания.

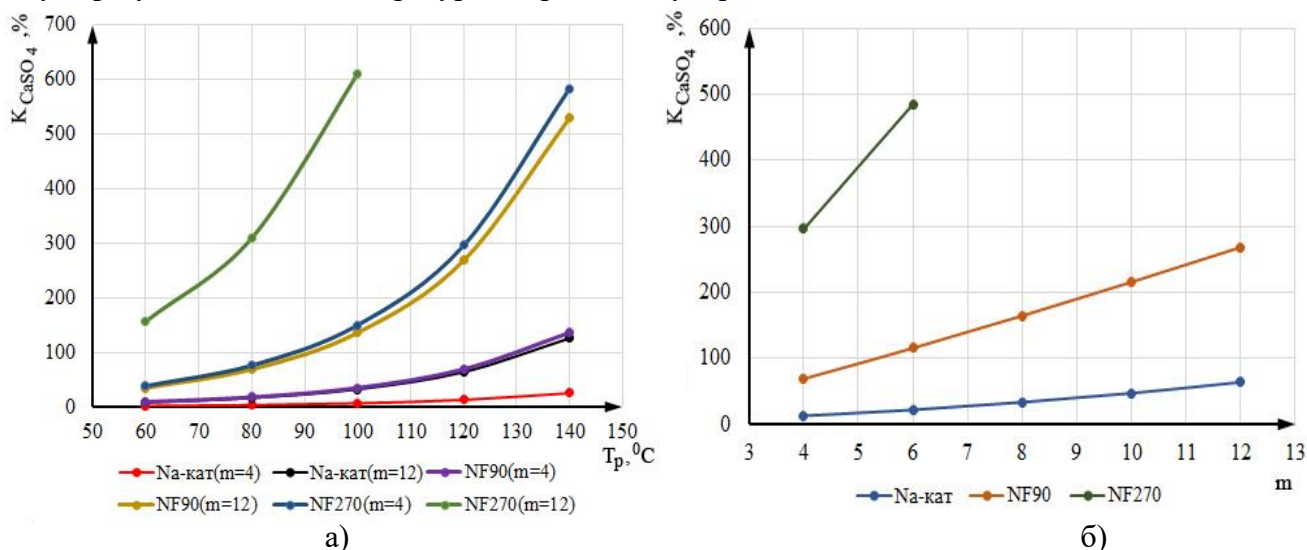


Рис. 3. График зависимости степени насыщения сульфата кальция от температуры (а) и кратности упаривания (б) (при $\beta=0,5$)

Как видно из рисунка, с увеличением температуры кипения повышается величина K_{CaSO_4} , что связано со снижением произведения растворимости этой соли. При термической дистилляции Na-катионированной воды практически во всей температурной области соблюдается условие $K_{CaSO_4} \leq 100\%$, что является условием безнакипного режима работы испарителя. Из мембранных методов, с ограничением на кратность упаривания ($m \leq 5$) и температуру кипения ($t \leq 120^\circ\text{C}$), может быть использована технология умягчения с мембранами NF-90. При высоких значениях β область применения мембранной технологии умягчения еще больше сужается, а использование мембраны NF-270 становится практически неприемлемым.

Наиболее важным технологическим показателем ПКО является расход электроэнергии на работу компрессора (W). Согласно результатам исследований этот показатель зависит главным образом от температуры кипения (T_p) и температурного напора (ΔT) – рис. 4.

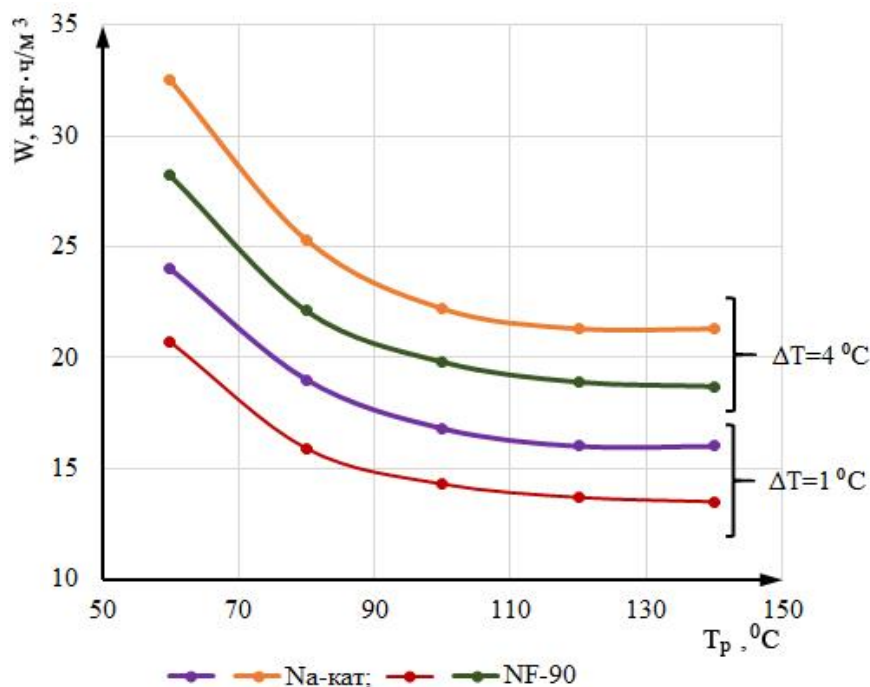


Рис.4. Зависимость расхода электроэнергии от температуры кипения и температурного напора

В исследуемой области величина W изменяется в пределах $13,5 \div 33,5$ кВт·ч/м³. Причем снижается с увеличением температуры кипения, независимо от величины ΔT . Наиболее значительное снижение (~на $7 \div 10$ кВт·ч/м³) имеет место до температуры кипения 120⁰С. Повышение температурного напора в области $1 \div 4^0$ С приводит к линейному росту W независимо от температуры кипения. Сравнительно высокие энергетические затраты, характерные для термической дистилляции Na-катионированной воды (~2 кВт·ч/м³) обусловлены более высоким солесодержанием этой воды, соответственно высокими значениями температурной депрессии.

Таким образом с энергетической точки зрения является выгодна организация ПКО при температуре кипения 120⁰С и температурном напоре $1 \div 2^0$ С. В этой области температур расход электроэнергии составляет 15-16 кВт·ч/м³, что примерно на 3-4 кВт·ч/м³ меньше по сравнению с температурой кипения 70-90⁰С, практикуемой в системах без умягчения. При этом предпочтительно предварительное нанофильтрационное умягчение с использованием мембраны NF90. Однако, как было показано выше, с точки зрения предотвращения сульфатного накипобразования в одноступенчатых парокомпрессионных испарителях возможности этой технологии весьма ограничены.

Из данных рис.5 следует, что независимо от способа умягчения морской воды с повышение температуры кипения имеет место снижение суммарной теплообменной поверхности испарителя, конденсатора и охладителя продувочной воды. В зависимости от температурного напора минимальные значения поверхности нагрева достигаются при различных величинах температур кипения: от 90⁰С до 140⁰С. Причем большим значением ΔT соответствуют меньшие значения температуры кипения.

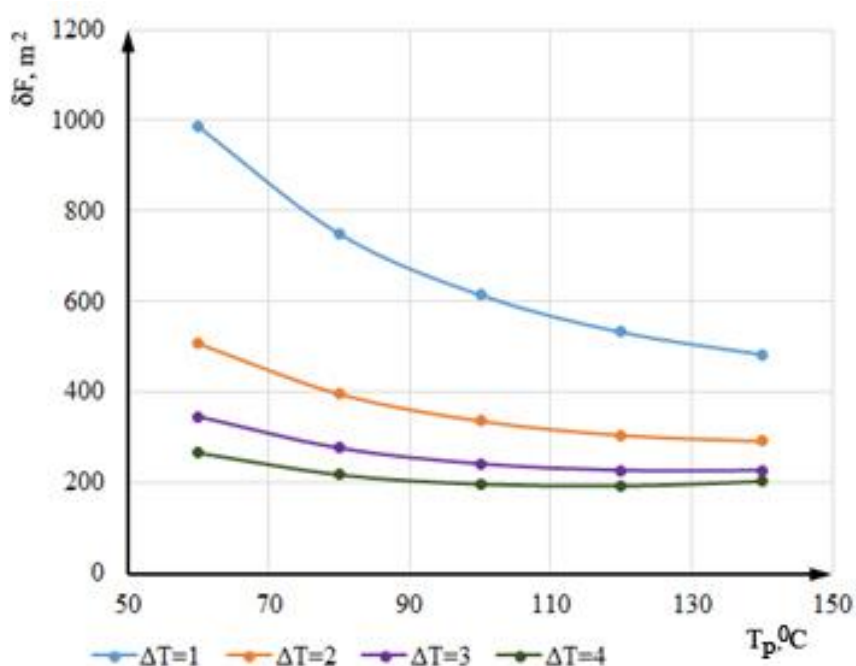


Рис.5. Зависимость удельной поверхностей от температуры кипения и температурного напора

Повышение температуры кипения от 80-90⁰С до 120⁰С приводит к снижению поверхности нагрева в среднем на 18%, что объясняется увеличением коэффициента теплопередачи. Согласно этим данным для минимизации капитальных затрат (поверхности нагрева) целесообразно осуществлять процесс при высоких значениях ΔT : 3-4⁰С. Однако, как было показано выше, это обуславливает более высокие энергетические затраты. Поэтому в

дальнейшем возникает необходимость решения оптимизационной задачи на основании такого критерия как удельная стоимость опресненной воды.

Важным показателем технологий опреснения является величина конверсии - выход опресненной воды как относительно умягченной, так и исходной вод. В этой связи на рис. 6 приведены значения указанных показателей для двух способов умягчения.

Из них следует, что в рассматриваемой области выходы опресненной воды относительно умягченной воды повышаются с 75% до 92% независимо от способа умягчения. А в показателях выхода относительно исходной морской воды наблюдается однозначное преимущество технологии опреснения с Na-катионитным умягчением: 65-80% против 37-46% при нанофильтрации. Низкие значения конверсии для умягчения с мембранами NF-90 обусловлены большой долей отводимого концентрата, которая из-за опасности образования отложений сульфата кальция на мембранах принималась равной 50-60% исходной морской воды.

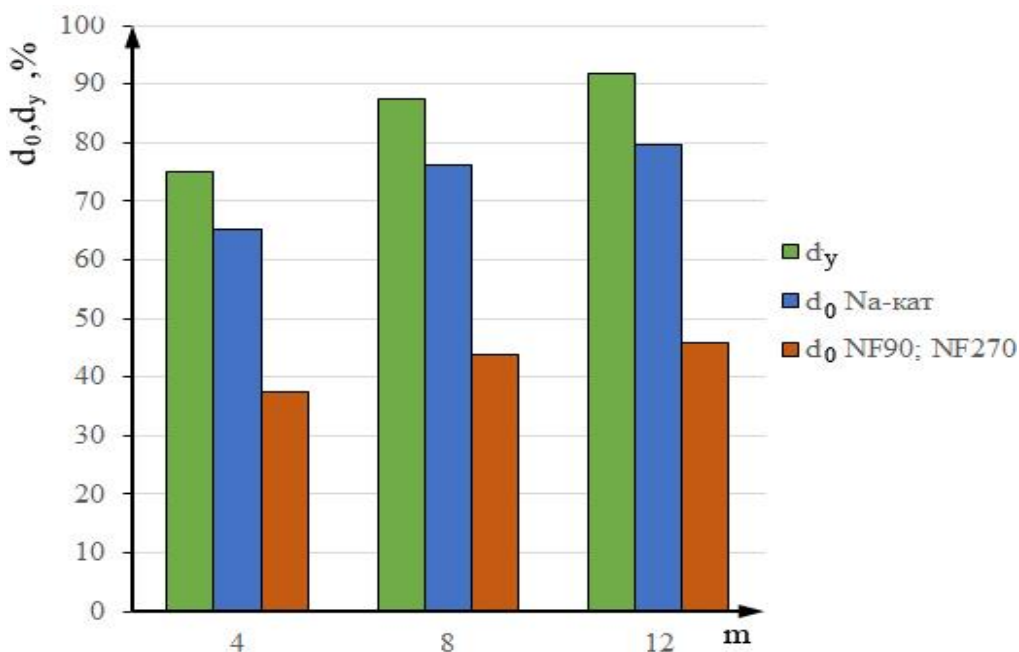


Рис.6. График выхода опресненной воды относительно умягченной и исходной вод

Следует отметить, что этот показатель может быть увеличен за счет использования антинакипинов на стадии нанофильтрации. Однако такой подход для каспийской воды не приемлем с экологической точки зрения [9].

Заключение

1. Несмотря на достаточно высокую эффективность технологии термического опреснения морской воды с механической компрессией пара (с внутренним тепловым насосом) существует возможность ее дальнейшего совершенствования путем решения проблемы сульфатного накипеобразования, что позволяет повысить температуру кипения и выход опресненной воды. Это может быть достигнуто путем предварительного умягчения морской воды Na-катионированием или нанофильтрацией.

2. Установлено, что Na-катионитное умягчение позволяет организовать процесс одноступенчатой термической дистилляции в области высоких температур и кратностей упаривания: $T_k=120^{\circ}\text{C}$ и $m=8$ против 90°C и 2,5 при отсутствии умягчения. Это позволяет повысить выход опресненной воды с 50% до 85%, снизить энергетические затраты на 3-4 кВт/ч, теплообменную поверхность – на 18%. В связи с разнохарактерным влиянием температурного напора на энергетические и эксплуатационные затраты обоснована необходимость выполнения оптимизационных исследований.

3. Выявлена практическая неприемлемость использования мембран NF-270 ввиду их низкой селективности и ограниченная возможность использования мембраны NF-90. Выдвинута гипотеза об эффективности нанофильтрационного умягчения для многоступенчатых опреснительных установок с последовательным питанием, поскольку в них высокая температура кипения сочетается с низким значением кратности упаривания. Этот вопрос должен быть предметом отдельных исследований.

4. Технология Na-катионитного умягчения каспийской воды предложенная профессором Г.К.Фейзиевым достаточно глубоко отработана многими исследователями и апробирована в промышленных условиях еще в 70-80-е годы прошлого века с использованием сильнокислотного катионита КУ-2. Ее основным недостатком считается громоздкость оборудования (фильтры, баки и пр.) и большой объем катионита. Однако в современных условиях существует реальная предпосылка радикального совершенствования этой технологии на основе новых достижений в технике ионного обмена: например, использование моносферических катионитов типа DOWEX MAC-3, DOWEX HCR s/s и др., производимых корпорацией DOW Chemical (США); повышение числа регенераций фильтров с 1-3 в сутки до 5-6 за счет средств автоматизации; использование технологии непрерывного или полунепрерывного ионирования. Считаем, что молодым исследователям необходимо на новой научно-технической базе заняться совершенствованием технологии Na-катионитного умягчения воды Каспийского моря, которая до настоящего времени не потеряла своей актуальности.

Литература

1. Youssef P.G., Al-Dadah R.K., Mahmoud S.M. Comparative Analysis of Desalination Technologies. The 6th International Conference Applied Energy – ICAE 2014, p.2604-2607.
2. Helal A.M. Hibridization – a new trend in desalination. Desalination and Water Treatment, 2009, №3, p.120-135.
3. El-Dessouky H.T., Ettouney H.M. Fundamentals of Salt Water. Desalination ELSEVER, Amsterdam, Tokio, 2002, p.691.
4. Kai-kai ZHU. Energy Consumption Analysis by Mechanical Vapor Compression Technology. 2nd ICESE, 2017, Shanghai, p.13-18.
5. El-Feky A.K. Mechanical Vapor Compression Desalination System Optimal Design. Azab Journal of Nuclear. Science and Application, 2016, p. 1-13.
6. Surkov S.V., Hussam Ghanem. Optimal operational regimes of sea water desalination plants with mechanical vapor compression. Odessa National Polytechnic University, 2017. 2(52). 54-58.
7. Noyes G. Lara J.R. Holtzapple M.T. An investigation of high operating temperatures in mechanical vapor-compression desalination. Desalination 227, 2008, p. 217-232.
8. Hamed O.A. Overview of hybrid desalination systems – Current status and future prospects. Desalination, 2005, №186, p. 207-214.
9. Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. Изд. 2-е, Баку: «Тахсил» ТПП, 2009, 442с.
10. Dong Zhou, Liying Zhu. Development of lower cost seawater desalination processes using nanofiltration technologies – A review. Desalination, 376, 2015, p.109-116.
11. ROSA Membrane Projection Software. www.desalitech.com
12. Gloede M, Melin T. Physical aspects of membrane scaling. Desalination 224. 2008. p.71-75.



Агамалиев Мухтар Мамед оглы – д.т.н., профессор. В 1970 году закончил Азербайджанский Институт Нефти и Химии им Азизбекова по специальности «Инженер-теплоэнергетик». В 2003 году защитил докторскую диссертацию на тему «Разработка экологически совершенных технологий опреснения и многоцелевого использования минерализованных вод в промышленности». В настоящее время является профессором кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: agamaliyevm@mail.ru



Мамедбекова Рахилия Гасан гызы – к.т.н., доцент. В 1970 году закончила Азербайджанский Институт Нефти и Химии им Азизбекова по специальности «Технология электрохимических процессов». В 1989 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Разработка технологии комплексной переработки морской воды». В настоящее время является доцентом кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: mamedbekovar@mail.ru



Ахмедова Джахан Ариф гызы – д.ф.н. по технике, ассистент. В 1999 году закончила Азербайджанскую Государственную Нефтяную Академию по специальности «Промышленная теплоэнергетика». В 2015 году защитила диссертацию на доктора философских наук по технике на тему «Разработка комбинированных технологий опреснения минерализованных вод с использованием бросового тепла дизельных электростанций». В настоящее время является ассистентом кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: ahmedova_cahan1975@mail.ru

MODELING THE STARTING PROCESS OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE AT VARIOUS LAWS OF CHANGE OF FREQUENCY AND VOLTAGE

Hasanov Z.A., Khanakhmedova S.A., Qasimov S.K.

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Abstract

The article investigates the process of starting an asynchronous electric drive with frequency control taking into account changes in frequency and voltage during start-up. The simulation of this process is considered in the Simulink section of the MATLAB program. The schemes for obtaining temporary sinusoidal signals with a change in the set frequency value according to the linear law, the process of changing the frequency and voltage of the power supply, the scheme of a three-phase power supply and the process of starting an asynchronous motor are simulated.

Keywords: asynchronous electric drive, rotation frequency, supply voltage frequency, sinusoidal functions, frequency start, smooth start, static mode, three-phase power supply model, electromagnetic moment

As a result of modeling the induction actuator start-up process using the function blocks of the section Simulink of Matlab program.

1. Introduction

Currently, frequency control of the rotational speed of an asynchronous electric drive is widely used, as this process allows to smoothly change the rotation speed of the rotor in a wide range both above and below the nominal values. Modern frequency converters are high-tech devices that have a wide range of regulation, having an extensive set of functions to control asynchronous motors. The highest quality and reliability make it possible to apply them in various industries to control the drives of fans, pumps, conveyors, etc. It is known that the rotation speed of the stator field is determined by two parameters: frequency of the voltage supplied to the stator windings and number of poles pairs of the motor. In accordance with this, in this article analyses frequency regulation of an asynchronous electric drive buy change the frequency of the supply voltage.

It is possible to estimate the starting current and the maximum electromagnetic torque of the actuator and the duration of the start-up. This method allows to determine the effect of the rate of growth of frequency and voltage on the above parameters, buy this it possible choose the optimal law for change frequency and power supply voltage.

Article consists of the problem statement, modeling of voltage sources and asynchronous electric drive in the start-up mode at different laws of change of the critical moment, the list of references and conclusions.

2. Statement of Problem

2.1 Aim of the work is to develop a model for studying the process of starting an induction motor at various frequencies and voltages using the MATLAB/Simulink software package.

2.2 Formulation of the problem. As it's known, while performing various technological processes is required changing of the rotating speed of the electric drive very often. Nowadays changing of frequency of input voltages is currently being widely implemented to change the speed of the asynchronous electric drive.

When regulation of the speed of the induction motor is performed with changing of frequency depending on the character of static torque the frequency and voltage are changed according to the laws of M.P. Kostenko [1]:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M_{C1}}{M_{CH}}} \quad (1)$$

where U_{1H} , f_{1H} , M_{CH} - are the nominal values of voltage, frequency and static torque, respectively;

U_1 , f_1 , M_{C1} - respectively, the current values of voltage, frequency and static torque.

The active resistance of the stator winding was assumed to be zero ($r_1=0$) in deriving of formula (1). To plot the torque and speed characteristics of the induction motor at various frequencies and voltages, taking into account r_1 , it's used the MATLAB/Simulink software package [2]. Moreover, the obtained characteristics allow to analyze only static modes of the induction motor.

3. Modeling the process of starting an asynchronous electric drive. For modeling the starting process of the asynchronous electric drive with frequency control, changes of frequency and voltage is taken into account during start-up. Consider modeling this process in the MATLAB/Simulink software package. To obtain sinusoidal signals the trigonometric functions "Sin" or "Sine Wave Function" are selected from the library "Math Operations" and the sinusoidal wave "Sine Wave" is selected from the "Sources". When the "Sine Wave" block is used in the "Source

Block Parameters” window for the Time (t) parameter, the command line is set to “Use external signal”.

The models shown in fig. 1 make it possible to study the obtained sinusoidal functions with different frequency values, for example, at $f = 50$ Hz.

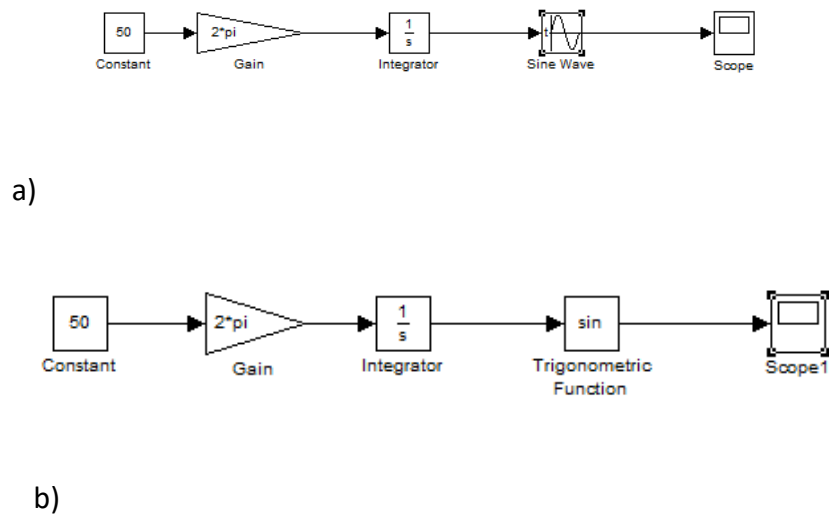


Fig. 1. Models for the study of sinusoidal signals

“Integrator” changes the argument of the sinusoidal function in time in Fig.1a and b. As a result of Scope and Scope1, identical sinusoidal functions with a frequency of 50 Hz are obtained (Fig. 2). In case of necessity to change the frequency of the sinusoidal function in time from zero to a certain value, can be used the circuit shown in Fig. 1a or b with the addition of additional blocks (Fig. 3).

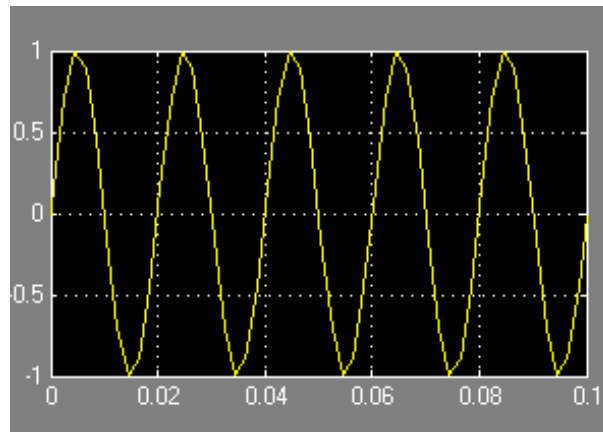


Fig. 2 Time characteristic of a sinusoidal function

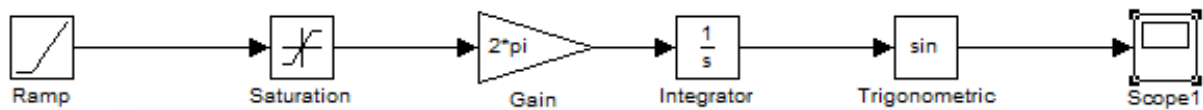


Fig. 3 Model with a change in the set frequency value according to the linear law

In Fig. 3, the “Ramp” block changes the set value of frequency according to a linear law. Besides this, can be performed the changing of the frequency according to another law, using the corresponding blocks from the MATLAB / Simulink library. In case of requirement for changing of the frequency according to a linear law within 0,065 sec. from zero to 65 Hz, the slope parameter of the “Ramp” block is set: $\text{Slope} = 60 / 0.065 = 923$. For modelling of asynchronous motors, existed in the list of the “Sim Power Systems” library, depending on the work performed, the maximum value of frequency is set to $f = 60$ Hz, according to the parameters of the motors of the “Asynchronous Machine SI Units” block. The “Saturation” block limits the maximum frequency (60 Hz) and therefore, in the window of this block, Upper limit = 60; Lower limit = 0 is set. In start-up the model (Fig. 3), is obtained a sinusoidal curve changing in frequency, shown in Fig. 4.

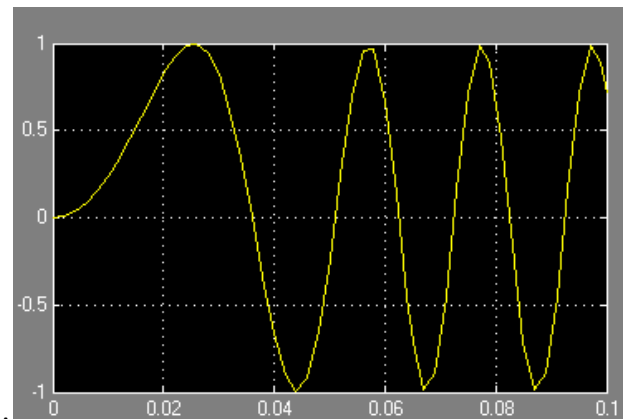


Fig. 4. Sinusoidal curve buy change in frequency

If it is necessary to consider the change in the voltage of the power source except to changing the frequency, the following blocks are added to the model shown in Fig. 3: “Ramp1”, “Saturation1” and “Product” (Fig. 5). Here “Ramp1” considers the growth rate of the voltage change, and “Saturation1” considers the maximum voltage value. The “Product” block combines channels for changing the specified parameters.

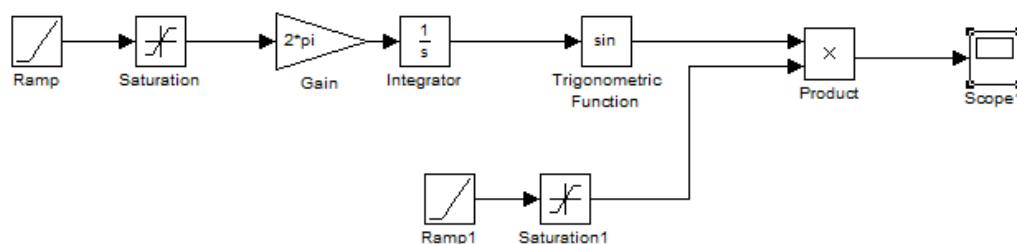


Fig. 5. Model of the process of changing the frequency and voltage of the power source

Here “Ramp1” considers the growth rate of the voltage change, and “Saturation1” considers the maximum voltage value. The “Product” block combines channels for changing the specified parameters.

If there is need for changing of voltage from zero to 460 V within 0.07 sec. the parameter is set in the block "Ramp1":

$$\text{Slope} = \frac{460}{0.07} = 6571.$$

In the Saturation1 block, the maximum voltage is set to 460 V. A sinusoidal curve changing in frequency and voltage obtained from model given in Fig. 5, is shown in Fig. 6.

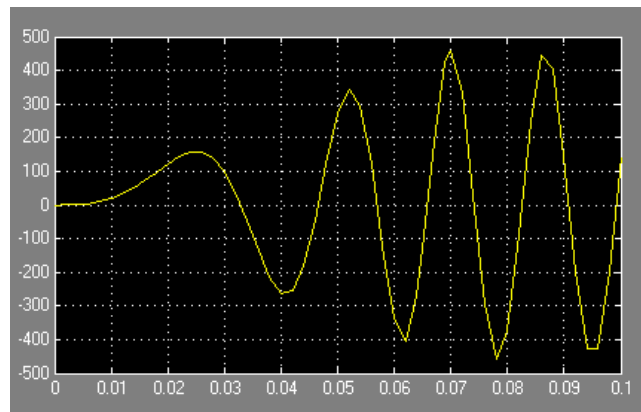


Fig. 6. Sine curve of the model shown in Fig. 5

Simulation of a three-phase power supply. Figure 7 shows a model of a three-phase power supply changing in frequency and voltage. Figure 8 shows the time characteristics of a three-phase voltage changing in frequency and voltage, obtained from model shown in Fig. 7.

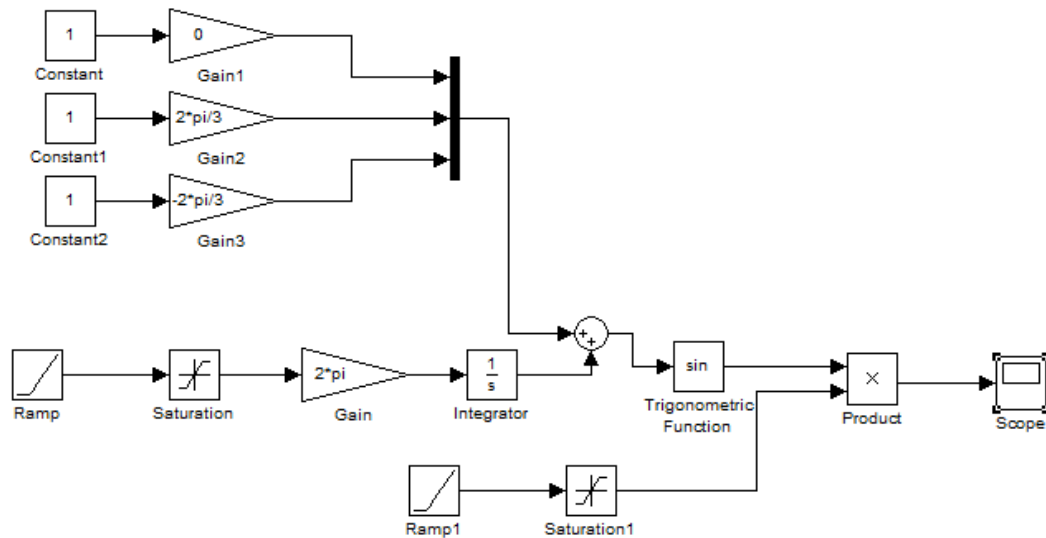


Fig. 7. Model of a three-phase power supply changing in frequency and voltage

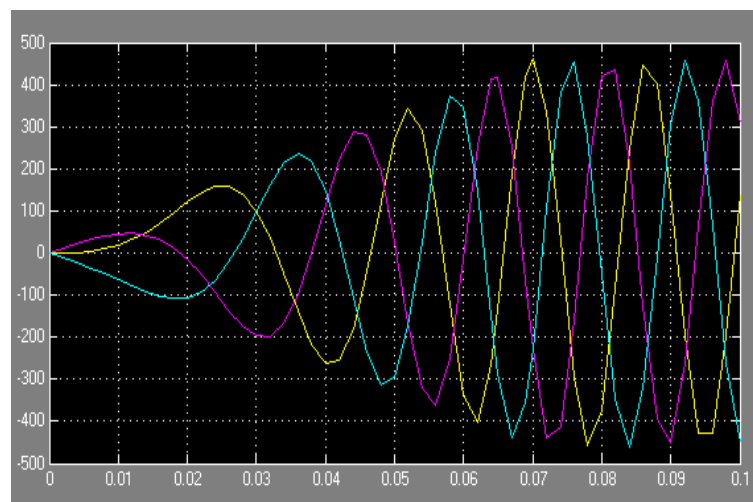


Fig. 8. Time characteristics of the three-phase voltage buy change frequency and voltage

1. Consider the start-up process of an asynchronous electric drive when the frequency and voltage change according to certain laws. The model of this mode shown in Fig. 9.
2. Fig. 10 shows the stator current curves I_{sa} , I_{sb} , I_{sc} , speed and electromagnetic torque of the induction motor in start-up according to the parameters of the "Asynchronous Machine SI Units" block: 5HP4600 60 Hz, 1750 RPM, obtained using the model shown in Fig. 9.
3. The model shown in Fig. 9 allows investigation of the following modes of operation of the asynchronous electric drive at start-up:

4. Frequency start of the induction motor with various laws of changing of frequency and voltage.
5. Soft start of a fixed frequency induction motor in various laws of changing the supply voltage (Fig. 11).

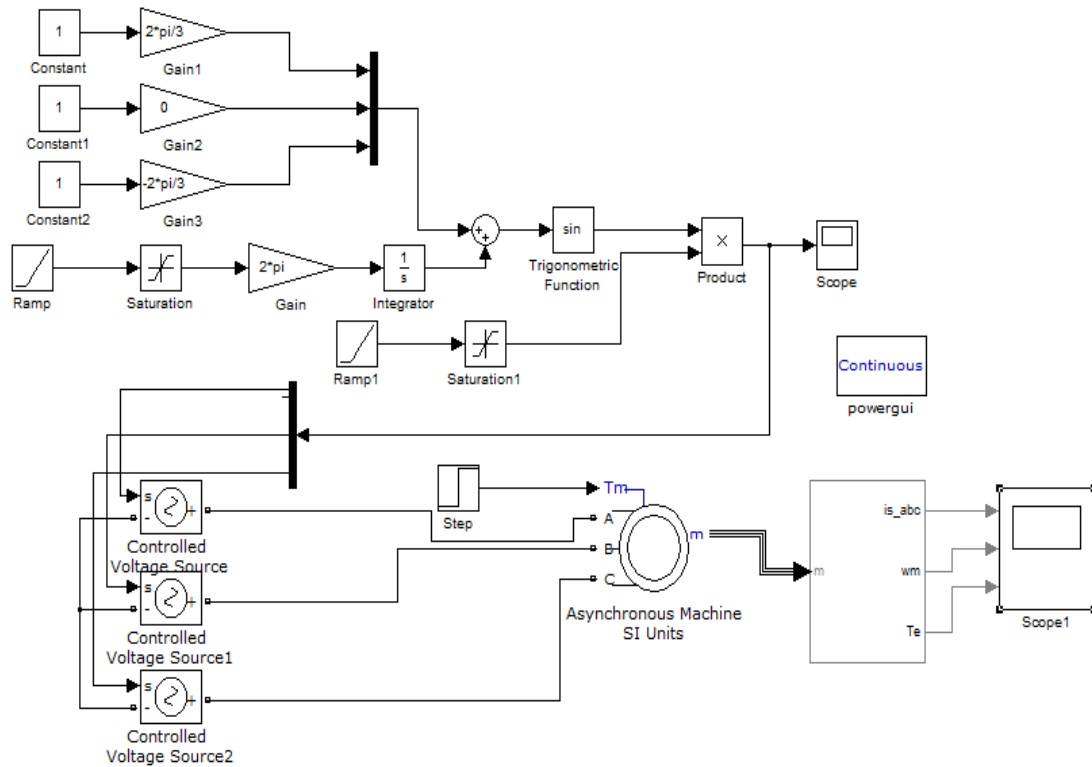


Fig. 9. Modelling the start of the induction motor

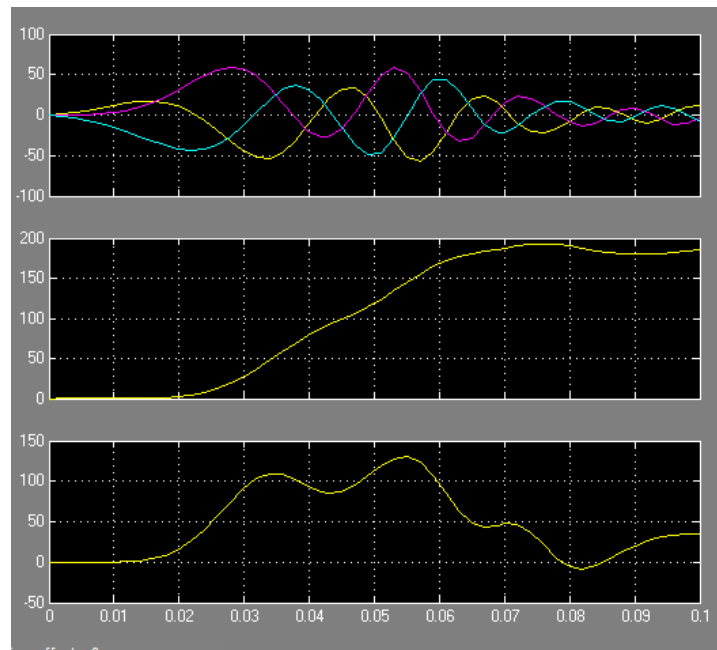


Fig. 10. Timing characteristics of the starting process of an induction motor

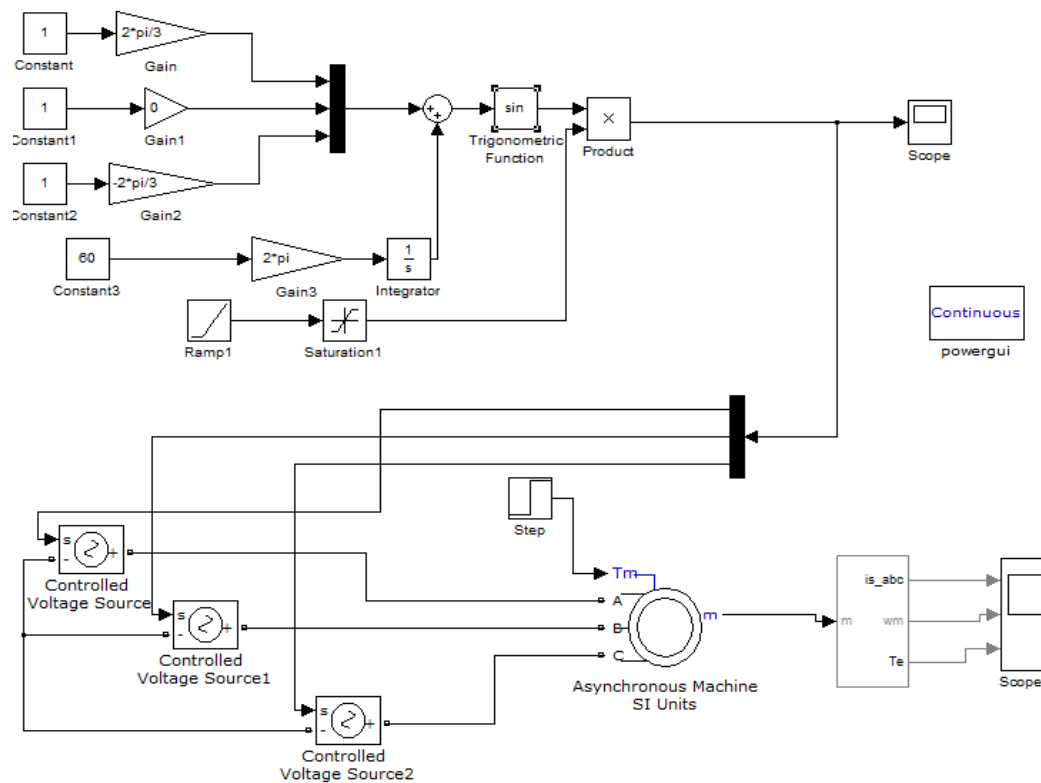


Fig. 11. Model of a fixed frequency induction motor in various laws of voltage change

It is required to note that in the above modes, it is necessary to consider the influence of the static torque of the electric drive during start-up. To do this, is obligatory to give a signal into input to "Tm" of the "Asynchronous Machine SI Units" block characterizing the static torque of the motor. In Fig.12 is demonstrated a model of the start-up process of the asynchronous electric drive in various laws of changing of static torque, for example, $M_{C1} = \text{const}$ or $M_{C2} = A \sin(\omega t + \beta)$, where the input is switched to M_{C1} or M_{C2} using the "Manual Switch" block and changing the parameters of the static torque, the opportunity to perform investigation in various modes is created.

There by, investigation of the process of starting of asynchronous electric drive with various laws of changing voltage, frequency and static torque is possible by using the compiled model. The research results allow to make a choice for a particular electric drive and mechanism,

the laws of frequency and voltage changes and changing both parameters according to certain laws for optimal control of the electric drive as well.

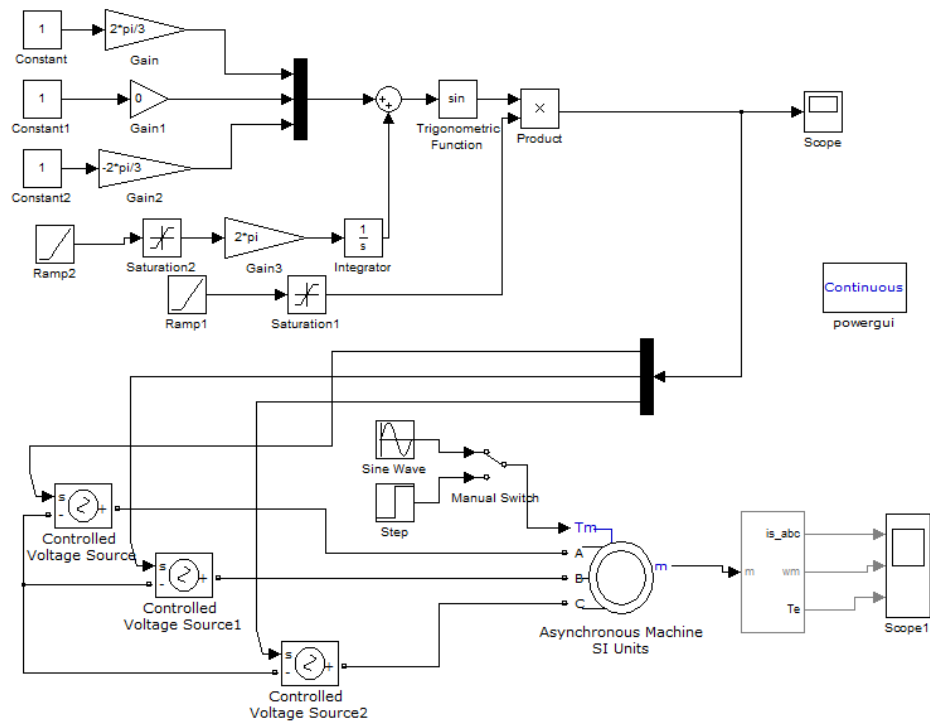


Fig. 12. Model of a fixed frequency induction motor in various laws of voltage change

Conclusion:

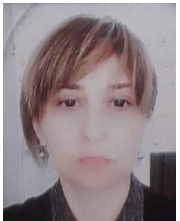
1. The model of the start-up process of an asynchronous electric drive with frequency control was developed in the MATLAB / Simulink program package, which considered changes in frequency and voltage according to various laws.
2. The models were developed providing an investigation of the start-up process of an asynchronous electric drive with various laws of voltage change at a fixed frequency.
3. The developed models allow to conduct research considering the changes of the static torque.

References

1. Usoltsev A.A. Frequency Control of Induction Motors Study Guide. SPb: SPGU IGMO, 2006, 94 p.
2. Chernov I.V. Environment for creating engineering applications Ed. Ph.D. V.G. Potemkina. M.: DIALOG-MNFN, 2003, 496 p.



Hasanov Zakir Alikram - candidate of technical sciences, associate professor of the department "Electromechanical" of ASOIU. In 1984 defended his PhD thesis on the topic asynchronous electric drive with frequency-controlled resistance in the motor rotor circuit for crane lifting mechanisms. The main research areas cover the areas of regulation of the asynchronous motor rotation speed, modelling and programming of various technological processes. Currently works as the dean of the faculty of Energy. hasanovza@mail.ru



Khanahmedova Samira Alkhadi - associate professor of the department "Electromechanical" of ASOIU. In 2014 defended her thesis for the academic degree of doctor of philosophy on engineering on the topic "Design and research of electromechanical elements on board free moving objects". The main research areas cover the areas of regulation of the asynchronous motor rotation speed, modelling and programming of various technological processes.

samira1009@mail.ru



Qasimov Sahib Kamal - doctoral student of the Department "Electromechanical" of ASOIU. Currently is working on the dissertation on the topic "Solving the problem of moving the robot in room conditions". The main research areas cover the areas of regulation of the asynchronous motor rotation speed. Currently works as, head of the Institute BakuMetroProject.

sahibgasimov@gmail.com

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛЯМИ ВЕРОЯТНОСТНО-НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ

EVALUATION OF THE STATE OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM MODELS OF PROBABILITY-FUZZY SYSTEMS

GULIYEV H.B.

Probabilistic-fuzzy models are proposed that describe the variability of the state of the power system caused by stochastic load and generation. The proposed models allow, based on the simultaneous consideration of stochasticity and uncertainty of variability the state of the energy system, to more accurately model its state.

The calculations of the probabilistic flow distribution show that with a fuzzy-stochastic change in the load power and generation, with an increase in the maximum load, the probabilistic estimate of the voltage in the network can significantly change. The installation of a regulating compensating device significantly improves the magnitude of the voltage and allows you to get its assessment with a higher probability.

Keywords: power systems, probability-fuzzy model, membership function, voltage probability distribution curve, probability density functions.

EHİTİMAL QEYRİ-SƏLİS SİSTEM MODELƏRİ İLƏ ELEKTROENERGETİKA SİSTEMİNİN VƏZİYYƏTİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

QULIYEV H.B.

Yükün və generasiyanın stoxastikliyi ilə əlaqədar enerjisistemin vəziyyətinin dəyişikliyi ifadə edən ehtimal-qeyri-səlis model təklif olunur. Təklif olunan model enerjisistemin vəziyyətinin stoxastikliyi və qeyri-müəyyənliyinin eyni zamanda nəzərə alınması ilə onun vəziyyətinin daha dəqiq modelləşdirilməsinə imkan verir.

Ehtimal güc paylanması aparılmış hesabatları göstərir ki, yükün və generasiya gücünün qeyri-səlis stoxastik dəyişmələri zamanı yük maksimumunun artması ilə şəbəkədə gərginliyin ehtimal qiymətləndirilməsi əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə bilər. Tənzimləyici kompensasiya qurğusunun quraşdırılması gərginliyin qiymətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır və onun qiymətini daha böyük ehtimalla almağa imkan verir.

Açar sözlər: enerjisistem, ehtimal-qeyri-səlis model, mənsubiyyət funksiyası, gərginliyin ehtimal paylanma əyrisi, ehtimal sıxlığı funksiyası.

ГУЛИЕВ Г.Б.

*Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский
институт энергетики*

Предлагаются вероятностно-нечеткие модели, описывающие изменчивость состояния энергосистемы, вызванные стохастичностью нагрузки и генерации. Предложенные модели позволяют, на основе одновременного учета стохастичности и неопределенности изменчивости состояния энергосистемы более точно моделировать ее состояния.

Проведенные расчеты вероятностного потокораспределения показывают, что при нечетко-стохастическом изменении мощности нагрузки и генерации, с ростом максимума нагрузки может существенно измениться вероятностная оценка напряжений в сети. Установка регулирующего компенсирующего устройства существенно улучшает величину напряжения и позволяет получить его оценку с большей вероятностью.

Ключевые слова: энергосистем, вероятностно-нечеткий модель, функция принадлежности, кривая распределения вероятности напряжения, функции плотности вероятности.

Введение.

В настоящее время для анализа и управления энергосистемой широкое применение находят новые подходы, позволяющие отображать реальные процессы с высокой точностью,

учитывать вероятностный характер, неопределенность исходной информации. Состояние неопределенности, случайная изменчивость параметров режима системы зависят от многих

факторов, а также от степени их учета в моделях задач, как например, прогнозирование нагрузки, распределение потоков мощности, распределение нагрузки и т.д. Во многих практических применениях стохастические и детерминистические методы нечеткого моделирования используются самостоятельно и раздельно, вне зависимости друг от друга. Вместе с тем, в настоящее время в традиционной теории нечеткой математики и вероятностной модели рассматривается только один из видов неопределенности. В литературных источниках встречаются исследования, в которых делается попытка интегрирования методов теорий вероятностей и нечеткой математики [1,2]. В перечне этих исследований были предложены некоторые подходы и методы, например, в [3] методы вероятностных измерений нечетких событий, нечеткие случайные множества [4,5], нечеткие случайные переменные [6-9], нестационарные нечеткие множества, и нечеткая модель с вероятностными весовыми правилами [10]. В основе этих методов используются два правила интегрирования. В одном из них нечеткое описание дается в статистической форме, в другом - стохастическая неопределенность приводится в нечеткой системе. В данном методе вероятностное нечеткое множество описывается в координатах стохастических переменных, изображаемых двоичной функцией плотности вероятностей, содержащей стохастические и нестохастические неопределенности. В работе дается развитие предложенного подхода для решения задач регулирования реактивной мощности и напряжения в электрической системе.

В общем случае вероятностный характер нечетко-определенных состояний энергосистемы определяется стохастической изменчивостью суммарного потребления электрической энергии, поэтому в работе рассматриваются модели нечетких множеств гауссовского вида с рандомизированной случайной изменчивостью центра. В диссертации впервые для нечеткого моделирования состояния электроэнергетических систем (ЭЭС) предлагается случайное нечеткое множество с рандомизированной шириной по Гауссу.

Рассматривается методология комбинированного использования вероятностных методов и методов нечеткой логики применительно к решению проблем ЭЭС.

1. Сущность проблемы вероятностного представления нечеткой модели.

В настоящее время теоретически развиты и получили широкое применение две формы представления нечеткой системы. Первая форма представляется в виде нечеткой математической модели, в которой неопределенность задается кластеризацией параметра состояния.

Вторая форма нечеткой модели составляется на основе последовательности нечетких правил, принятие которых дает возможность осуществить поддержку нечетких решений.

Вероятностное нечеткое множество-это множество, которое обладает стохастическими и нечеткими свойствами. Эти свойства могут быть представлены в виде вероятностной модели нечеткой системы, которая может быть представлена в форме изменчивости центра и ширины гауссовского разложения нечеткого множества [11,12]. Таким образом, в вероятностном нечетком множестве, например, для X входной переменной существует единственное значение или много значений функции принадлежности. Функция принадлежности становится случайной переменной, которая может быть описана вторичной функцией плотности вероятности. На рис.1 приведены функции принадлежности случайной изменчивости нагрузки по часам и ее функция принадлежности.

Подобно обычной нечеткой логической системе, вероятностная нечеткая логическая система (ВНЛС) также имеет операцию фаззификации, обладает механизмом логического вывода и дефаззификации. Различие состоит еще и в том, что ВНЛС использует

вероятностное нечеткое множество, которое моделируется трехмерной функцией принадлежности.

В процессе фаззификации реальные входы преобразуются в вероятностное нечеткое множество, составленное на основе вероятностных функций принадлежности.

В числе многих ситуаций, в которых функции принадлежности нечетких понятий могут быть интерпретированы как распределение переменных, нечеткое управление будет обеспечивать наибольшую реалистичность. Применительно к электроэнергетической системе

или к ее объектам, методы нечеткого управления являются одними из успешных практических реализаций нечеткой методологии в промышленных условиях [13,14].

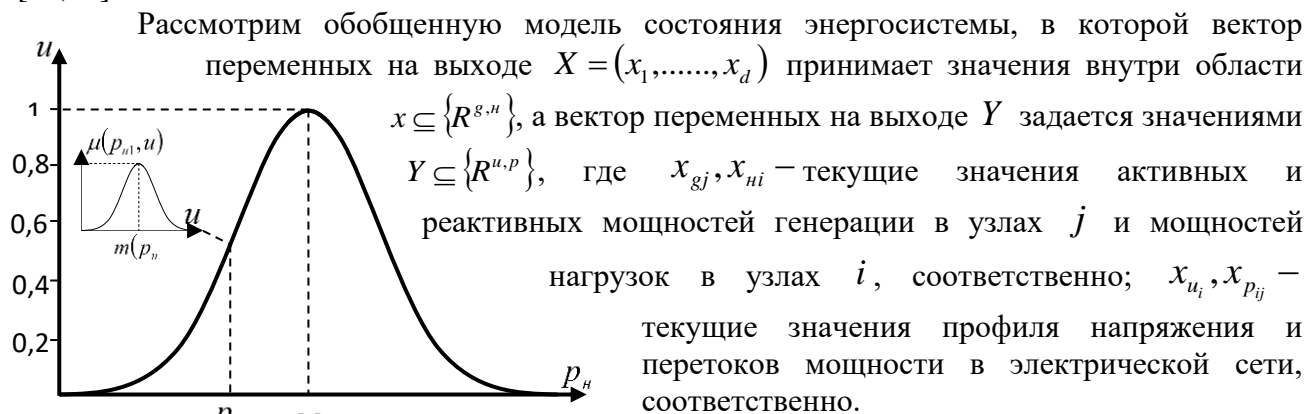


Рис.1. Вероятностное нечеткое множество (первичные и вторичные ФП)

На базе нечетких правил, осуществляемых посредством подбора "если ..., тогда ..." составляем правила с использованием естественного языка, моделируемого нечетким

множеством в виде:

$$R_j: \text{если } x_1 \text{ это } A_{j1}, \dots, x_d \text{ это } A_{jd} \text{ тогда } y \text{ это } B_j, \quad j=1, \dots, k \quad (1)$$

где A_{ji}, B_j – представляет собой нечеткие подмножества входных x_{gj}, x_{ni} и u_n, u_p выходных переменных соответственно.

Цель нечеткого управления состоит в выводе правила управления $y = f(x)$ из R . Теперь считая

$$A_j = \prod_{i=1}^d A_{ji} \quad (2)$$

или

$$A_j(x_1, \dots, x_d) = t(A_{j1}(x_1), \dots, A_{jd}(x_d)) \quad (3)$$

где t является некоторой нормой, можно видеть, что R является множеством данных вида (A_j, B_j) , $j=1, \dots, k$ пары нечетких чисел. Если пара (A_j, B_j) , обобщающая численные данные, представляет отношение между X и Y предпочтительнее, чем обусловленное причинной связью. В контексте управления B_j является рекомендаций для выполнения когда вход A_j предпочтительнее A_j , определяемой причинной связью с B_j . Рассуждая по-другому, следует отметить, что вид каждого R_j отображения нечеткого отношения на $X \times Y$ более естественно, чем интерпретация "если . . . , тогда, . . ." в качестве подразумеваемого оператора.

Восстановление четкости (дефаззификация) осуществляется вычислением математического ожидания центра выходного параметра. Традиционно значения выходного параметра u_c по значениям функций принадлежности

$$y_c = \frac{\sum_{j=1}^{\bar{j}} y_j \mu_R(x, y_j)}{\sum_{j=1}^{\bar{j}} \mu_R(x, y_j)} \quad (4)$$

$$\mu_R = \max(\mu_{R_1}, \dots, \mu_{R_j}, \dots, \mu_{R_{\bar{j}}}) \quad (5)$$

где y_j – последовательность четких входов; y_c, μ_{R_j} – случайные переменные.

Четкий выход ВНЛС представляет собой математическое ожидание традиционной дефазификации [15]:

$$y = M[x(y_c)] \quad (6)$$

2. Вероятностное моделирование потокораспределения

Интеграция в энергосистему возобновляемых источников, в особенности их значительной доли от ветро- и солнечных энергоисточников, создают эффект случайной и прерывистой изменчивости суммарной генерирующей мощности в энергосистеме, что приводит к соответствующей случайной изменчивости напряжений в узлах и потоков мощности в линиях. Характер случайной изменчивости величин напряжений и потоков в линиях зависит также от многих других факторов - погодных условий, времени, состояния схемы электрической системы, которые приводят к неопределенности суммарной генерации в системе.

С целью отображения в модели системы случайного характера выработки мощности от возобновляемых источников ($P_{ВИ}$), а также потребляемой мощности в узлах нагрузки P_H , в работе дается описание изменчивости этих мощностей в виде функции плотности распределения $f(P_G), f(P_H)$. Представление $P_{ВИ}$ и P_H зависимостями их плотности вероятности $f(P_{Г,ВИ})$ и $f(P_H)$ позволяет учесть:

- стохастическую изменчивость мощности нагрузки как отдельных узлов, так и системы в целом;
- долю влияния стохастической изменчивости мощности нагрузки и генерации в каждом узле на режим системы и состояние относительно устойчивости.

Для моделирования вероятностного потокораспределения предполагаются заданными плотности распределения величин выработки мощности в узлах схемы системы с включенными ветро- и солнечными станциями, а также плотности распределения мощности потребления в узлах нагрузки.

На рис. 2 приводятся графики функций плотности вероятности ветротурбины, PV солнечной установки и мощности потребления нагрузки.

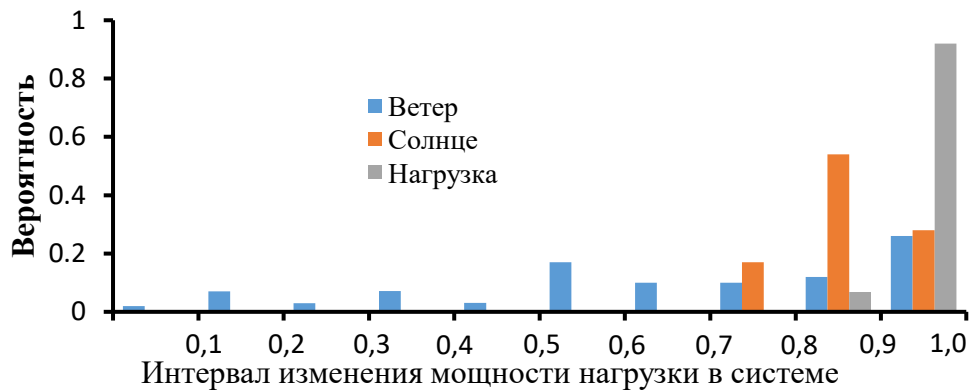


Рис. 2. Графики функций плотности вероятности ветротурбины, PV солнечной установки и мощности потребления нагрузки

Результирующий график плотности вероятности мощности покрытия в узле исследуется в зависимости от долевой изменчивости величин мощностей ветра и солнечных PV станций и мощности нагрузки.

Имея информацию о значении исходных данных, задаваемых в виде функции плотности вероятности о выработке мощности (данные рассматриваются как мощности генерирующих узлов), а также функции плотности вероятности для нагрузочных узлов (исходные данные нагрузочных узлов), можно провести серии повторяющихся расчетов потокораспределения, по результатам которых можно построить плотность распределения для узловых напряжений и потоков мощности в ЛЭП системы распределенной генерации. Такие характеристики могут быть построены для любого часа суточного графика, с их помощью можно оценить текущее состояние системы с учетом стохастичности генерации и нагрузки. На рис.3 в качестве примера показаны кривые плотности вероятности распределения напряжения и потоков мощности в одной из систем распределенной генерации в составе энергосистемы Азербайджана.

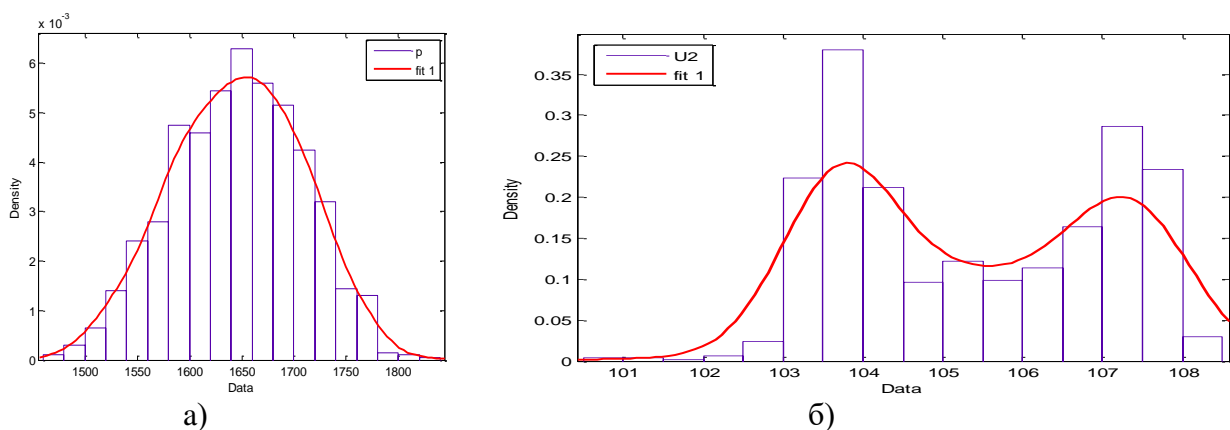


Рис.3. Кривые плотности вероятности распределения напряжения и мощности нагрузки
а-активная нагрузка; б-напряжения

3. Вероятностное моделирование и анализ режимов энергосистемы со стохастически изменяющейся генерацией и нагрузкой.

Характерной особенностью тенденции развития современных энергосистем является рост доли нетрадиционных источников энергии - это альтернативные источники энергии, такие как ветрогенераторы, солнечные PV установки, геотермальные, преобразователи, fuel

cell и другие типы возобновляемых источников. Отличие нетрадиционных источников от традиционных состоит в следующем:

- традиционные источники обычно исполняются в виде мощных электростанций, передающих генерируемую мощность через сети высокого напряжения, в то время как нетрадиционные источники - это источники малой и средней мощности, как обычно работающие с энергосистемой через сети распределенной генерации или прямо в сеть электроснабжения потребителя;
- способность управления выработкой мощности по программе диспетчера: работа традиционных источников планируется и управляется системным оператором; нетрадиционные источники, такие как ветростанции, солнечные PV системы, не обладают способностью для их привлечения к управлению выработкой мощности в требуемом объеме - их выработка изменяется в зависимости от параметров ветра и солнечной радиации;
- на всех традиционных электростанциях применяются синхронные генераторы, а в нетрадиционных источниках используют другие технологии генерации.

Выработка мощности таких нетрадиционных источников, как ветро- и солнечные энергоустановки, является стохастически изменяющейся, и оператор системы по этой причине не может управлять их выработкой. Ниже в таблице 1 дается классификация

нетрадиционных источников с учетом возможности или невозможности управления их мощностью.

Модель установившегося состояния системы с интегрированными нетрадиционными источниками со стохастической выработкой мощности идентифицируется по вероятностным характеристикам входных данных. Для анализа состояния системы по этим данным потребуется проведения большого числа расчетов. Например, для схемы энергосистемы с N узлами нагрузок и со стохастическими источниками, каждое значение выработки, которое задается из соответствующей совокупности ее выборки (K различных измерений), проводится K^N детерминистических расчетов потокораспределения.

Таблица 1

Классификация нетрадиционных станций с учетом возможности
управления выработкой

Технология генерации	Регулируется системным оператором	Стохастически изменяется
Источники на биомассе	+	
Геотермальная станция	+	
Комбинированные тепло- и электрогенерирующая электрические станции	+	
Малые ГЭС		+
Ветростанция		+
PV солнечные источники		+
Приливная электростанция		+
Волновая электростанция		+

Таким образом, можно получить количественную информацию о вероятностной оценке режима. Такой подход стохастического моделирования системы включает в себя три следующих этапа:

- сбор информации - входные данные измерений мощностей нагрузки и генерации;
- количественное определение вероятностных изменений контролируемых параметров - напряжений в узлах и потоков мощности в линиях на основе детерминистической модели, описывающей состояние системы;
- количественное определение вероятностных характеристик для каждого случайного входного параметра (представление каждого входа в виде функции плотности вероятности).

В соответствии с вышеуказанным, вероятностный анализ может быть реализован с помощью аналитических методов и стохастического моделирования (метод Монте-Карло).

Аналитические методы. Применение этих методов в реальных условиях связано с принятием ряда следующих допущений:

- линеаризация модели системы предполагает представление выходных параметров модели установившегося режима в виде линейной зависимости от входов. Такая аппроксимация является допустимой в случаях, когда дисперсия для входов (стохастических измерений мощности генерации и нагрузки) ограничивается изменениями относительно среднего значения величины данного входа;
- статистическая независимость входных параметров системы. Это допущение дает возможность расчета входов системы с применением свертки или другими методами разложения;

входы системы имеют нормальное распределение. Это допущение позволяет использовать линейную корреляцию для представления зависимости между

- случайными величинами. В этом случае линейная зависимость случайных величин может быть использована в процедуре анализа, в результате распределение входа может быть получено аналитически путем свертки.

Стохастическое моделирование - метод Монте-Карло. Этот метод базируется на использовании случайных чисел, которые генерируются моделью стохастической системы с базовой функцией распределения вероятности, дающей выборки (тестовыми замерами), проходящие через детерминистическую модель, формирующую выборки значений для выходных параметров, определяющих состояние системы. Этот метод обладает существенными преимуществами по сравнению с аналитическими методами, поскольку вычислительная процедура в основном является детерминистической и здесь не требуется принятия упрощений при формировании математической модели, с целью возможности реализации метода. Основным недостатком метода Монте-Карло является необходимость проведения огромного количества повторяющихся расчетов, что приводит к затратам вычислительного ресурса и, соответственно, использованию этого метода при оперативных расчетах. Вместе с тем, следует отметить, что объем расчетов зависит от объема используемой выборки для стохастических изменяющихся величин входных параметров. Например, один и тот же результат можно получить при использовании 1000 значений выборки для 10-узловой схемы системы или 1000-узловой схемы с 10 значениями выборок.

Стохастические характеристики нагрузки и генерации. На рис. 4 представлена характеристика суточной нагрузки для периода один месяц, построенная с 30 минутным усреднением для одной распределительной сети системы Азерэнержи.

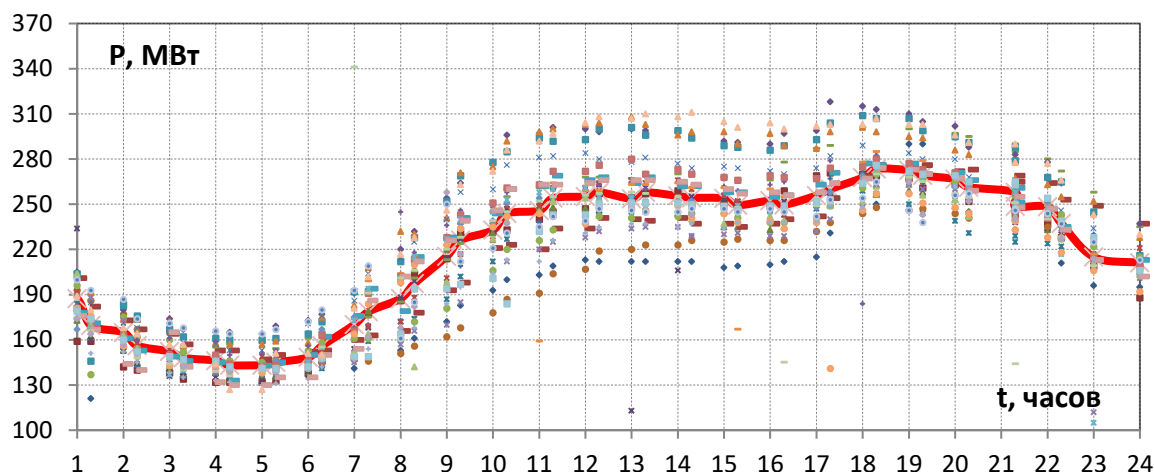
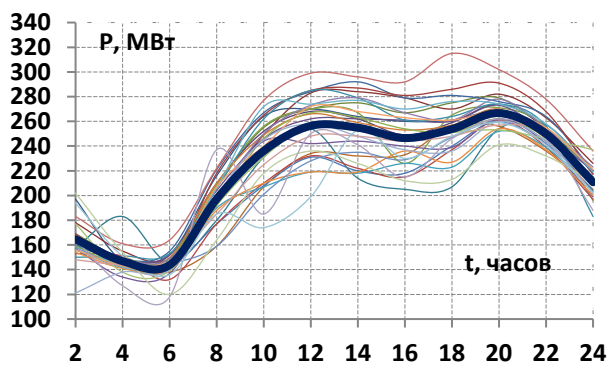


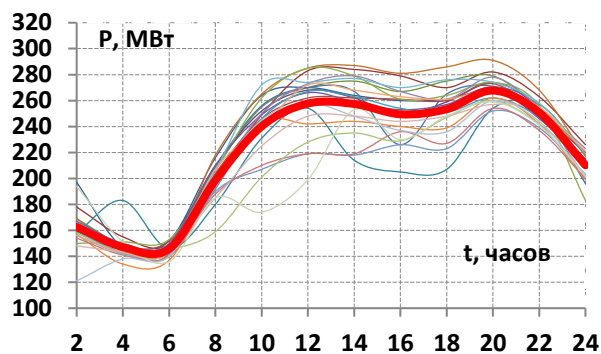
Рис. 4. Суточные нагрузки за один месяц

Как видно, все измерения изменяются относительно средней кривой в интервале небольших отклонений. Это связано с детерминистическим циклом характера суточной нагрузки; потребляемая мощность нагрузки системы не является стохастической, но имеет зависимость от времени суток.

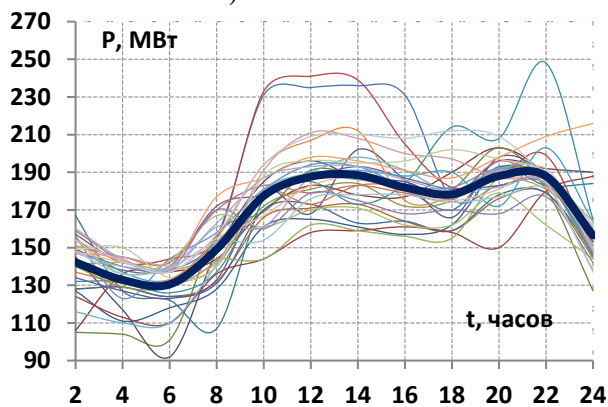
На рис. 5 представлены месячные графики нагрузки для сезонных периодов и для рабочих и нерабочих дней (рис.5, а, б).



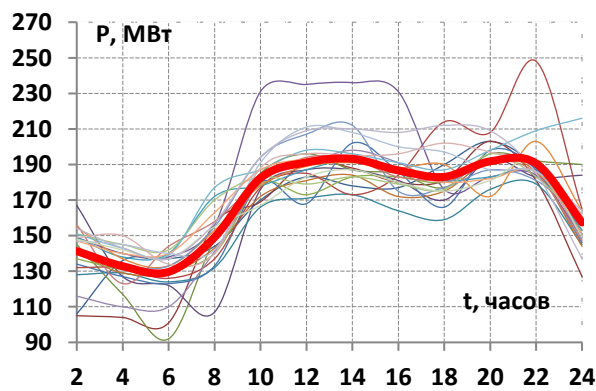
а) Зима



б) Зима - рабочие дни



в) Весна



г) Весна - рабочие дни

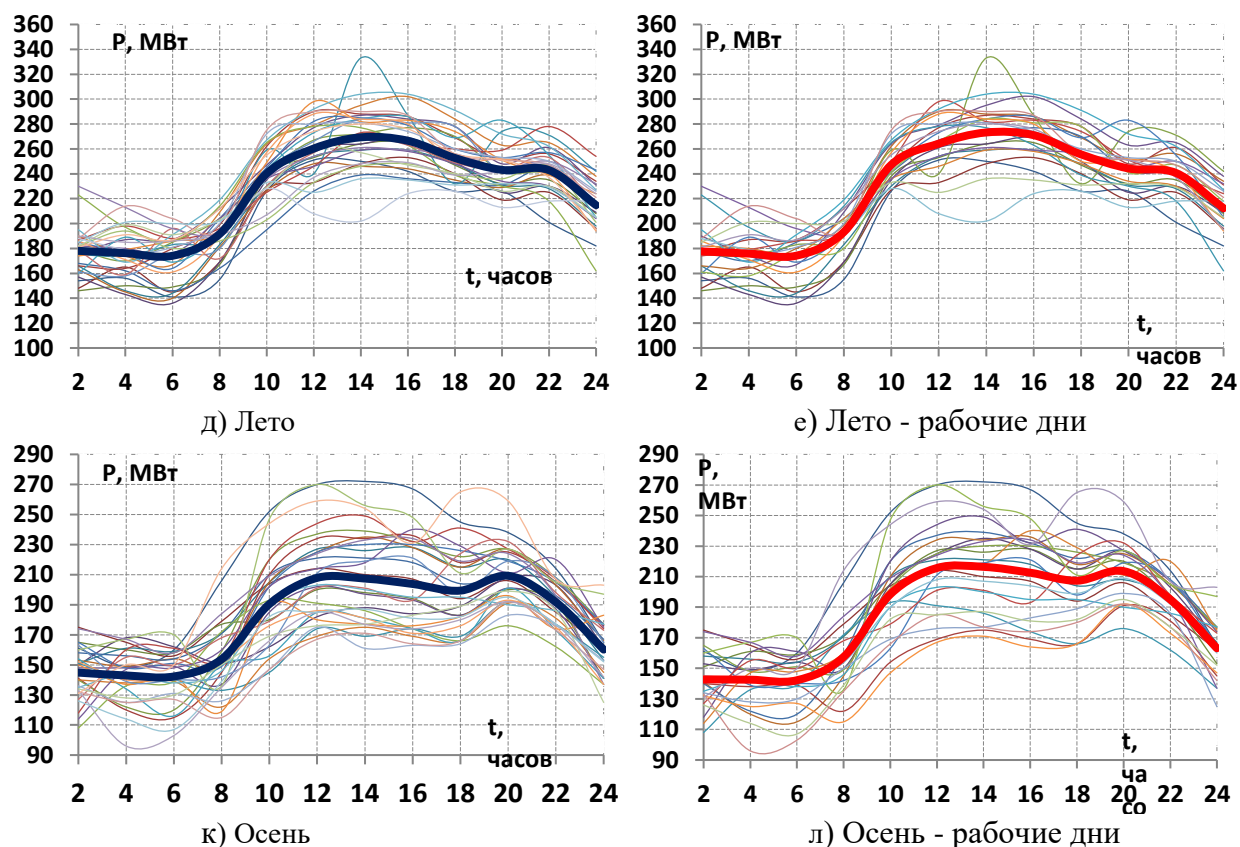


Рис. 5. Суточные графики нагрузки для сезонных периодов

4. Анализ потокораспределения в энергосистеме со стохастической генерацией.

Интегрирования в энергосистему стохастической генерации, в основном проявляемые от выработки мощности таких возобновляемых источников, как ветро- и солнечные станции, приводят к необходимости внесения значительных изменений в

модели анализа и управления режимом энергосистемы. В этих условиях актуальность моделирования системы со значительной долей стохастической генерации возрастает при решении таких задач, как выбор числа и размещения генерирующих источников, экономическое распределение нагрузки и оптимизация потокораспределения в сети системы. В настоящее время для решения этих задач в вероятностной постановке существуют три основных подхода: численный метод, основанный на моделировании метода Монте-Карло; аналитический подход, использующий метод свертки и альтернативные подходы - интервальный метод, аффинная арифметика и метод нечеткой арифметики [16].

Численный метод требует проведения большого числа расчетных экспериментов.

Аналитические методы вероятностного потокораспределения впервые были предложены в работах [17,18], в которых в качестве расчетной модели была принята модель постоянного тока, а нагрузки в узлах задавались как независимые случайные переменные с функцией распределения вероятностей (ФРВ). Таким же путем определяются результаты в виде ФРВ при использовании метода свертки.

Так как стохастичность нагрузок задана с нормальным ФРВ, то полагается, что случайные переменные на выходе также имеют нормальные ФРВ согласно теореме центрального предела [19].

Однако, как показывают результаты других исследований [20], такое допущение является ненадежным, так как ФРВ на выходе в зависимости от размерности схемы существенно отличается от нормального распределения.

Рассмотрим модель вероятностного потокораспределения в энергосистеме при стохастичности входов – генерации и нагрузки, задаваемых своими ФРВ. Подобную модель

можно создать на основе линеаризации уравнений потокораспределения при учете генерации и нагрузки в соответствующих узлах в виде характеристик плотности распределения. В общем виде модель потокораспределения в системе описывается в виде следующих нелинейных уравнений [21,22].

$$\Delta P(\delta, P_s, |U_{наг}|, Q_g) = P_i^{sp} - |U_i| \cdot \sum_{j=1}^N |U_j| \cdot (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad \forall i \in N, \quad (7)$$

$$\Delta Q(\delta, P_s, |U_{наг}|, Q_g) = Q_i^{sp} - |U_i| \cdot \sum_{j=1}^N |U_j| \cdot (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0, \quad \forall i \in n_{pa} \quad (8)$$

где ΔP , ΔQ - нелинейные функции рассогласования инъекций активной и реактивной мощности в узле i , о.е.; P_i^{sp} , Q_i^{sp} - заданные значения инъекций активной и реактивной мощности в узле i , о.е.; δ - угол вектора напряжения узла, rad; P_s - активная мощность генерации базисного узла, о.е.; Q_g - реактивная мощность генерации в узлах PQ ; $|U_{наг}|$ - напряжение в узлах PQ , о.е.; $|U_i|$ - напряжение в узле i , о.е.; δ_{ij} - угол между векторами напряжения шин i и j ; G_{ij} , B_{ij} - реальная и мнимая части матрицы полной проводимости; N - число узлов.

Уравнения (7) и (8) могут быть представлены в векторной форме

$$f(x) = \begin{bmatrix} \Delta P(\delta, P_s, U_{PQ}, Q_g) \\ \Delta Q(\delta, P_s, U_{PQ}, Q_g) \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

Поскольку на основе уравнения (9) нельзя непосредственно получить несколько решений одновременно, поэтому решение проводится итеративно с помощью известных методов. Например, использование метода NR, основанного на линеаризации уравнений (7) и (8):

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta P_s \\ \Delta U_{PQ} \\ \Delta Q_g \end{bmatrix} \quad (10)$$

Если в системе линеаризованных уравнений (10) в качестве задаваемых входных переменных узлов PQ и PU , т.е. ΔP_s , ΔQ_g подставить их функции плотности вероятности $(\Phi ПВ)_{\Delta P_s}$, $(\Phi ПВ)_{\Delta Q_g}$, то мы можем получить модель вероятностного потокораспределения, выходом которого будут функции плотности векторов напряжения $(\Phi ПВ)_{\Delta U_i}$ и $(\Phi ПВ)_{\Delta \delta_i}$.

Применение метода свертки для решения уравнений вероятностного потокораспределения с переменными ФПВ предполагает независимость мощностей инъекций в узлах $(PU)_i$.

Предположим, две случайные входные переменные x_1 и x_2 , заданные своими $f_{x_1} \Phi ПВ(x_1)$ и $f_{x_2} \Phi ПВ(x_2)$ тогда ФПВ выходной переменной модели

$$y = x_1 + x_2 \quad (11)$$

$$f_Y(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{x_1}(x_1) \cdot f_{x_2}(y - x_1) dx_1 \quad (12)$$

В последнее время для решения проблемы вероятностного потокораспределения было предложено использование аппарата аффинной арифметики [16]. В соответствии с аффинно – арифметическим моделированием, переменные состояния системы описываются в виде:

$$\tilde{U}_i = U_{i,0} + \sum_{j=N} U_{i,j}^P \cdot \varepsilon_{P_j^H} + \sum_{j=N} U_{i,j}^Q \cdot \varepsilon_{Q_j^H} \quad (13)$$

$$\tilde{\delta}_i = \delta_{i,0} + \sum_{j=N} \delta_{i,j}^P \cdot \varepsilon_{P_j^H} + \sum_{j=N} \delta_{i,j}^Q \cdot \varepsilon_{Q_j^H} \quad (14)$$

где $\varepsilon_{P_j^H}$, $\varepsilon_{Q_j^H}$ - шумы, отображающие неопределенности активной и реактивной мощностей инъекций в узле j , соответственно; $U_{i,0}$, $\delta_{i,0}$ - являются центральными значениями величины и угла напряжения в узле i ; $U_{i,j}^P$, $\delta_{i,j}^P$ - отклонение величины и угла напряжения на i -ой шине, вызванное изменением активной мощности в j -ом узле; $U_{i,j}^Q$, $\delta_{i,j}^Q$ - отклонение величины и угла напряжения на i -ой шине, вызванное изменением реактивной мощности в j -ой узле.

Полученные аффинные уравнения (13), (14) можно использовать для моделирования аналогичных аффинных уравнений инъекций активной и реактивной мощности в узлах

$$\tilde{P}_i = P_{i,0} + \sum_{j \in N} P_{i,j}^P \cdot \varepsilon_{P_j^H} + \sum_{j \in N} P_{i,j}^Q \cdot \varepsilon_{Q_j^H} + P_i^T \cdot \varepsilon_{Ti} \quad (15)$$

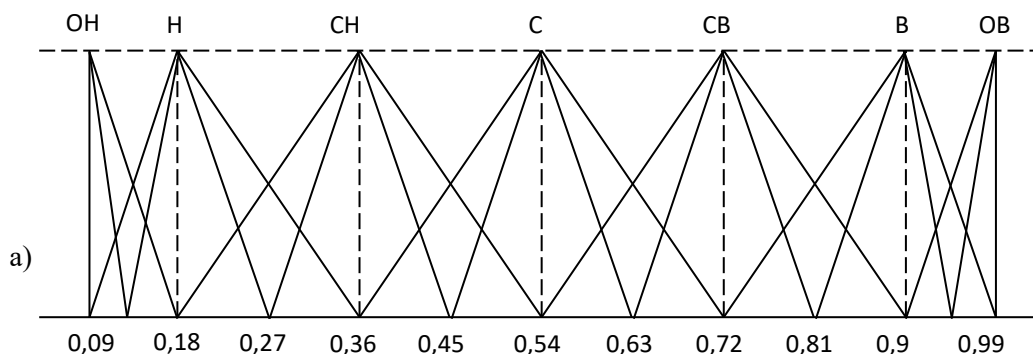
$$\tilde{Q}_i = Q_{i,0} + \sum_{j \in N} Q_{i,j}^P \cdot \varepsilon_{P_j^H} + \sum_{j \in N} Q_{i,j}^Q \cdot \varepsilon_{Q_j^H} + Q_i^T \cdot \varepsilon_{Ti} \quad (16)$$

где ε_{Ti} - переменный шум, вызванный из-за ошибки аппроксимации.

5. Усовершенствованный α – метод разрезания нечеткости.

Нечеткие параметры рассматриваются в виде нечетких чисел с некоторыми функциями принадлежности. В нечеткой логике это отображает степень истинности как расширение оценки ценности параметра. Степень истинности часто путают с вероятностью, хотя эти определения концептуально отличаются, поскольку нечеткая истина представляется функцией принадлежности в нечетко определенном множестве, не являющейся вероятностью некоторого события. На рис.6 изображен параметр Π треугольного нечеткого числа с поддержкой A_α .

Метод основан на принципе расширения, который предполагает, что функциональные взаимосвязи могут быть расширены при включении нечетких аргументов и могут быть использованы для отображения зависимой переменной в качестве нечеткого множества. Функция принадлежности разрезается горизонтально на ограниченное число α уровней между 0 и 1. Для каждого α уровня входного параметра определяются минимально и максимально возможные значения выхода модели, т.е. значения функций принадлежности напряжений в узлах и перетоков мощности в ветвях сети с распределенной генерацией энергосистемы.



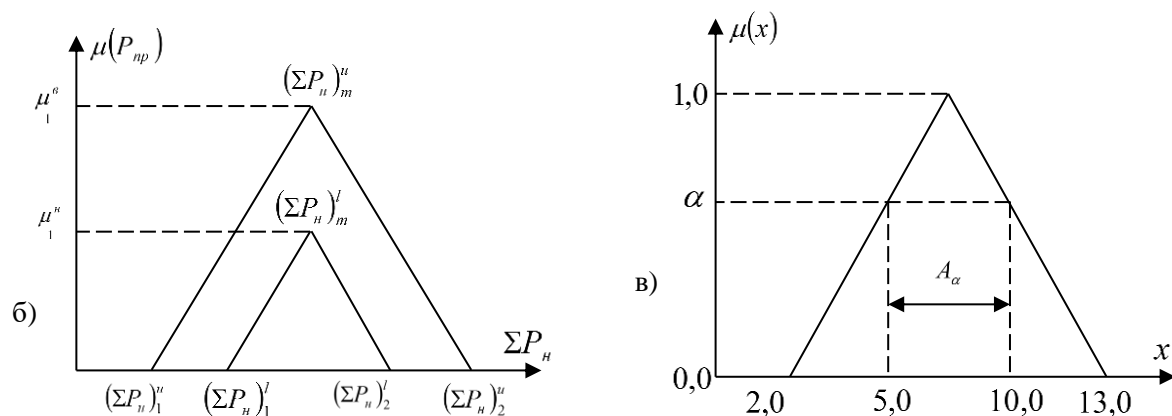


Рис.6. Параметр P треугольного нечеткого числа с поддержкой A_α

а - выражение величины предела передачи мощности через лингвистическую переменную; б - высокий и нижний уровни ФП для интервала треугольного множества состояний системы по параметру P_{np} ; в - ФП треугольного типа с α – разрезанием.

С целью создания единого базиса для сравнения двух методов, вид функций принадлежности которых используются в нечетком методе, принимается аналогично виду функции плотности, используемой в методе моделирования Монте-Карло.

В работе в качестве примера при моделировании принимается, что нагрузка изменяется в трех разных интервалах (рис 7).



Рис 7. Графиками, показывающими взаимосвязь между процессами нагрузки и генерации, последующими значениями нагрузки и регулирования

6. Результаты моделирования.

С целью оценки результатов проведены сравнительный пространственный анализ неопределенности функций принадлежности нечетких выходных параметров и точечный

анализ этих же параметров, в котором интегральная функция плотности вероятности, полученная методом моделирования Монте-Карло, сравнивается с функцией принадлежности, полученной методом α – урезания.

На рис.8 приведена кривая распределения вероятности напряжения в узле 4. Среднее значение и стандарт отклонения величины этого напряжения равны соответственно, $\mu = 1,015$; $\sigma = 0,0009$.

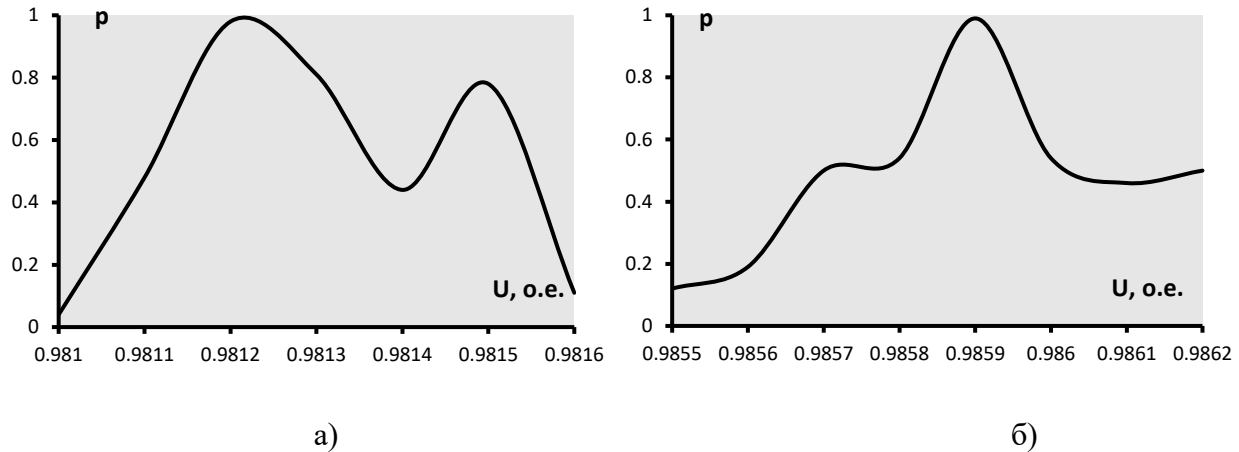


Рис. 8. Кривые распределения вероятностей напряжения в узле 5 (а) и 14 (б)

Чтобы сравнить вероятностную оценку потокораспределений с соответствующими потокораспределениями, получаемыми традиционными детерминистическими методами, для 14-узловой схемы проведены расчеты потокораспределения по исходным данным, приведенным в [23].

Для исследуемой 14-узловой системы IEEE стохастическая изменчивость имитируется в соответствии с нормальным, биномиальным и дискретными законами распределения. Для нагрузки, подключенной к узлу 9, принята дискретная характеристика распределения, математическое ожидание которой равно заданной детерминистической величине. Два источника, подключенных к узлу 2 с установленной мощностью 22 МВт каждый, с общим периодом нерабочего состояния 0,09 в год, имеют также среднюю величину этой мощности, равную детерминистической величине.

Используя метод Монте-Карло установлено, что математическое ожидание мощности на шинах базисного узла 1 схемы, равно 219 МВт со стандартом отклонения 16,27 МВт, который принят при применении традиционного подхода.

Получены также значения математических ожиданий и стандартов отклонений для напряжений и инъекций реактивной мощности в узлах электрической сети (Таблица 2).

Таблица 2

Вероятностные характеристики напряжений и реактивной мощности в узлах электрической сети

Нормальное распределение						
Шина		Напряжение о.е.	Активная мощность		Реактивная мощность	
№	Тип		μ , МВт	σ , %	μ , МВАр	σ , %
2	PU	1,04	-24,94		-12,7	9,2
3	PU	1,01	-95,01		-19	10,5
4	PQ	-	-47,8		3,9	9,7
5	PQ	-	-7,6		-1,6	5,0

6	PU	1,07	-13,2		-2,65	6,3
7	PU	1,085	0,0		0,0	0,0
8	PU	1,09	0,0		0,0	0,0
10	PQ	-	-10,1	10	-3,7	10
11	PQ	-	-3,7	9,5	-1,1	9,5
12	PQ	-	-5,1	7,6	-1,6	8,6
13	PQ	-	-13,5	10,5	-5,8	9,5
14	PQ	-	-14,9	8,6	-5,0	8,6

Заключение

1. Вероятностно – нечеткий характер мощности ветро и солнечных станций, а также стохастичность мощности нагрузки приводит к случайной изменчивости напряжения и потоков мощности в электрических сетях энергосистемы. Эффект случайно – неопределенной изменчивости режима в сети может увеличиваться с ростом интегрированной в систему мощностей ветро и солнечных электростанций. В работе предлагаются вероятностно-нечеткие модели, описывающие изменчивость состояния энергосистемы, вызванные стохастичностью нагрузки и генерации. Показано, что предложенные модели позволяют, на основе одновременного учета стохастичности и неопределенности изменчивости состояния энергосистемы, аппроксимировать текущие и прогнозные значения ее параметров с более высокой точностью.

2. Для оценивания величины напряжения в электрической системе и соответствия ее нормам международного Стандарта EN 50160 важным является также оценивание расчетной вероятности указанной величины. Прежде, чем оценивать максимум отклонения напряжения от нормальной заданной величины, необходимо рассчитать вероятность распределения напряжения, а только затем оценить величину максимума отклонения по стандарту.

3. Анализ вероятностного потокораспределения при стохастическом изменении мощности нагрузки показывает, что с ростом максимума нагрузки может существенно измениться вероятностная оценка напряжений и потерь в сети. Имеются вероятности превышения уровня напряжения, его предельно допустимого значения при учете случайной изменчивости нагрузки в часы суточного максимума. Проведенные расчеты вероятностного потокораспределения показывают, что при компенсации реактивной мощности в узлах нагрузки с наличием вероятности выхода величины напряжения за пределы допустимого, установка регулирующего компенсирующего устройства существенно улучшает величину напряжения и позволяет получить его оценку с большей вероятностью.

4. Развитие процесса интегрирования ветро- и солнечных источников в энергосистему создают на каждом этапе этого развития новые проблемы, как включение в энергосистему источников мощности с прерывистым и неопределенным характером генерации, увеличение систем распределенной генерации с гибридным составом источников, выбор места размещения ветровой и солнечной станции определяется экономической оценкой их близости к узлам потребления электрической энергии, создание новых программно-технических средств анализа управления режима на основе вероятностного моделирования. Для оценивания значимости этих проблем в работе проведены исследования изменчивости режимов энергосистемы при подключении новых объемов генерирующей ветростанцией.

Литература

1. Gonzales-Rodriguez G., Colubi A. and Trutsching W. Simulation of fuzzy random variables. Information Sciences, vol. 179, No. 5, 2009, pp. 642-653.
2. Zadeh L.A., Discussion: Probability theory and fuzzy logic are complimentary rather than competitive, Technomet., vol. 37, No.3, 1995, pp. 271-276.
3. Костарев Н.В., Бардук Е.И., Трохименко И.А. Оценка технического состояния силовых трансформаторов с помощью нечетких алгоритмов. Технические науки/Энергетика, <http://www.rusnauka.com>_2006.
4. Momoth J.A., Ma X.W. and Tomsovic K. Overview and Literature Survey of Fuzzy Set Theory in Power Systems. IEEE Trans., On Power Systems, vol. 10, No. 3, Aug, 1995.
5. Smets P. Probabilistic inference from statistical data. Proc. of the second world Conf. on Mathematics at the Service of Man, Las Palmas, Spain, June 28 - July 3, 1982, pp. 611-613.
6. Lik Z., Li H.X. A Probabilistic fuzzy logic system for modeling and control. IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol.13, No 6, 2005, pp. 848-859.
7. Leite de Silva A.M. Probabilistic Load Flow Techniques Applied to Power System Expansion Planning / A.M.Leite de Silva and et al. // IEEE Trans. Power Systems, Vol. 5, Nov. 1990. - pp.1047-1053.
8. Mehdizadi A.H. and Akbarzadeh-T M.R. Probabilistic fuzzy logic and Probabilistic fuzzy systems. Proceedings of 10th IEEE Int. Conf., vol. 3, 2001, pp. 1127-1130.
9. Nguyen H.T., Tonghi Wang and Berlin Wu. On Probabilistic Methods in Fuzzy Theory. International journal of Intelligent Systems, vol. 19, 2004, pp. 99-109.
10. Schwippe J., Krase O., Rehtanz Ch. Extension of a Probabilistic Load Flow Calculation for the consideration of Interdependencies. Proceedings 17th Power Systems Computation Conference, 2011, Vol.1, pp. 677-684.
11. Гулиев Г.Б. Идентификация нечеткой модели режима энергосистемы с учетом стохастической изменчивости ширины гауссовского распределения нагрузки. X Международная научно-практическая конференция молодых ученых// Актуальные проблемы науки и техники. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Том I, 2017, Уфа, РФ, с. 289-291.
12. Rahmanov N.R., Guliyev H.B. Evaluation of the current state of power system with integrated renewable sources with probabilistic fuzzy generation // 6th International Conference on Modern Electric Power Systems (MEPS 2019), 9-12 September 2019, Wroclaw, Poland
13. Tomsovic K. and Chow M.Y. Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems. IEEE - PES Winter Meeting in Singapore, January, 2000.
14. Tomsovic K. Fuzzy Systems Applications to Power Systems. School of Electrical Engineering and Computer Science. W. State University, 1998.
15. Ramirez - Rosado I.J. and Dominguez - Navarro J.A. Distribution Planning of Electric Energy using Fuzzy Models. Int. Journal of Power and Energy Systems, vol. 16, No. 2, 1996.
16. Jorgensen P., Christensen J.S. and Tande J.O. "Probabilistic load flow calculation using Monte Carlo techniques for distribution network with wind turbines" 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power.-1998.- Vol. 2.- P. 1146-1151.
17. ChlenLien, Su. Probabilistic Load Flow computation using Point Estimation Method / Su ChlenLien // IEEE Trans. Power Systems, Vol. 20, Nov. 2005. - pp. 1843-1851.
18. Pidre J.C., Carrillo C.J. and Lorenzo A.E.F. Probabilistic model for mechanical power fluctuations in asynchronous wind parks. IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, No. 2, 2003, pp. 761-768.
19. Гашимов А.М., Рахманов Н.Р., Гулиев Г.Б., Рахманов Р.Н., Мустафаев А.А. Вероятностное потокораспределение как реакция на стохастичность нагрузки в энергосистеме. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика : международный научно-технический журнал, Минск, 2016, № 6, с. 519-528.

20. Гулиев Г.Б., Рахманов Н.Р. Вероятностное моделирование потокораспределение в энергосистеме с распределенной генерации и возобновляемыми источниками. Электронное моделирование, Т 38, №5, Киев, 2016, с. 101-112.
21. Рахманов Н.Р., Курбацкий В.Г., Гулиев Г.Б., Томин Н.В. Вероятностная оценка режима энергосистемы с разной долей интеграции ветроисточников. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сборник научных статей. Вып. 66. Актуальные проблемы надежности систем. – Бишкек, 2017, с.232-241.
22. Rahmanov N.R., Kurbatskiy V.G., Tomin N.B., Guliyev H.B., Mammadov Z.A. Probabilistic assessment of power system mode with a varying degree of wind sources integration // E3S Web of Conferences, Volume 25 (2017), Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems (RSES 2017), **Bishkek, Kyrgyzstan, September 11-15, 2017.**
23. ETAP, PowerStation 4.0, User Guide. Volume II, Analysis Modules. Operation Technology, Inc. Registered to ISO 9001, Certification No. A3147, 2002.



Гулиев Гусейнгулу Байрам оглы – к.т.н., доцент. 1985 году окончил энергетический факультет Азербайджанского нефтехимического института по специальности «Электрические сети и системы». В 2003 года защитил кандидатскую диссертацию по теме «Разработка методов анализа несинусоидальных режимов в узлах промышленной нагрузки». Основные научные направления охватывает областям интеллектуальное управление показателям качества электроэнергии, режимы энергосистем, компенсация реактивной мощности. В настоящее время является начальником отдела "Режимы и проблемы управление энергосистем" Азербайджанского научно-

исследовательского и проектно-изыскательского института при ООО "Азерэнержи". Email: huseyngulu@mail.ru

**AZƏRBAYCANIN QUBA RAYONUNUN GEOTERMAL VƏ
MİNERAL SULARININ KİMYƏVİ ANALİZİ**

**ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КУБИНСКОГО РАЙОНА
АЗЕРБАЙДЖАНА**

**CHEMICAL ANALYSIS OF GEOTHERMAL WATERS
OF GUBA REGION OF AZERBAIJAN**

BABAYEVA S. Sh., SAFAROV J. T., HASSELE E. P.

The chemical analysis of the geothermal and mineral waters of the Guba region of Azerbaijan was carried out in detail. Experiments in such a wide range and using of modern analysis installations were carried out for the first time. IRIS Intrepid II Optical Emission Spectrometer and DX100 ion chromatograph were used during the measurements.

Key words: geothermal energy, the chemical composition of geothermal water, geothermal heating supply, electricity production, alternative energy, water consumption.

БАБАЕВА С. Ш., САФАРОВ ДЖ. Т., ХАССЕЛЕ. П.

Подробно анализирован химический состав геотермальных и минеральных вод Кубинского района Азербайджана. Эксперименты в таком широком интервале и использованием современных установок анализа были проведены впервые. Во время исследования был использованы Спектрометр IRIS Intrepid II Optical Emission и ионный хроматограф DX100.

Ключевые слова: геотермальная энергия, химический состав геотермальных вод, геотермальное теплоснабжение, производство электроэнергии, альтернативная энергетика, расход воды,

BABAYEVA S.Ş. ¹, SƏFƏROV C. T. ², HASSEL E. P. ²,

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye University, Bakı, Azərbaycan

² Rostock Universiteti, Rostock, Almaniya

Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal və mineral sularının kimyəvi tərkibi ətraflı təhlil edilmişdir. Belə bir geniş diapazonda və müasir qurğularından istifadə edərək ,təcrübələr ilk dəfə aparılmışdı. Tədqiqat zamanı IRIS Intrepid II Optik Emissiya Spektrometri və DX100 ion xromatoqrafından istifadə edilmişdir.

Açar sözlər: geotermal, geotermal suların kimyəvi tərkibi, geotermal istilik təchizatı, elektrik enerji hasilatı, alternativ enerji, tektonika, su sərfi.

Geotermal enerji resursları – yerin dərin qatlarından onun səthinə tərkibində müxtəlif kimyəvi elementlərlə birlikdə çıxan $T = 293.15$ K-dən yüksək temperaturlu yeraltı sulardır. Əsasən geotermal suların temperaturu $T = (313.15 - 373.15)$ K –dən başlayır.Yer səthində geotermal mənbədən çıxan suyun temperaturu maksimum $T = 573.15$ K, buxarın temperaturu isə $T = 873.15$ K –yə qədər ola bilər.Bu sular yer kürəsinin bütün nöqtələrinin müxtəlif dərinliyində, müxtəlif temperatur və tərkiblə qeyri bərabər paylanmışdır. Son zamanlar bir çox iqtisadi,siyasi,ekoloji faktorlar sayəsində alternativ enerjiyə, o cümlədən geotermal enerjiden istifadəyə böyük maraq oyanmışdır.Energetikada bu enerjiden istifadənin müxtəlif sxemləri mövcud olsa da, bütün bu sxemlər 3 əsas qrupa əsaslanır: Geotermal mənbədən çıxan enerji daşıyıcısının aqreqat halından və temperaturundan asılı olaraq,quru buxardan birbaşa istifadə,su buxarından birbaşa istifadə və binar tsikl (qarışıq sxem) sxemləri

Mineral su və ya termal su, yeraltı mənbələrdən çıxan təbii qaynaq olub, müalicəvi xüsusiyyətlərə malikdir. Mineral su faydalı bioloji aktiv komponentlərin və kimyəvi tərkibi hesabına insan bədənində müalicəvi təsir göstərir. Mineral sular yer qabığının dərin qatlarında əmələ gəlir. Orada təbii emaldan keçirlər. Belə ki, yer təkinin temperaturu və digər göstəricilərinin təsiri ilə müxtəlif geotermal, hidrogeoloji və geokimyəvi şəraiti olan yeraltı və yerüstü suxurlardan süzülərək, son təbii məhsulun (mineral suyun) kimyəvi və mikroelement tərkibi formalaşır. Daha doğrusu,yüksək temperatur və təzyiq zonasında termal suların tərkibindəki minerallar yenidən kristallaşaraq suxurlar əmələ gətirir. Geotermal su ilə suxurlar arasında termal sularının kimyəvi tərkibini müəyyənləşdirən aktiv mübadilə reaksiyaları baş verir. Dərinlik artdıqca temperaturun artması fiziki cəhətdən suxurlara bağlı suyun sərbəst buraxılmasına, suxurların süzülmə qabiliyyətinin artmasına səbəb olur.

Geotermal sular elektrik enerjisi istehsalında, istilik energetikasında və istilik təchizatında, tərkibindən kimyəvi elementlərin çıxarılmasında (sənaye suyu), balıqçılıqda, balneologiyada (termal mineral su) geniş istifadə edilə bilər .

Balneoloji xəstəxanalarda və müalicə hovuzlarında mineral sulardan daxilə qəbuletmə və yuyunma üçün, həmçinin yuxarı tənəffüs yollarının xəstəlikləri üçün inhalyasiya və qarqara, ginekoloji xəstəliklər, dəri xəstəlikləri üçün istifadə olunur. Bu sulardan həzm sisteminin xəstəlikləri, kosmetologiyada, metabolik xəstəliklərin müalicəsində də geniş tətbiq edilir. Termomineral suların müalicəvi təsiri onların qaz və kimyəvi tərkibi ilə müəyyən edilir. Balneoloji birləşmələr və elementlərə karbon dioksid, radon, hidrogen sulfid daxildir.Bu suların tərkibindəki həll olunmuş brom, yod, bor, flüor, arsenium və onların birləşmələri balneoloji əhəmiyyət kəsb edir. Termal su yataqları əsasında qlobal əhəmiyyətli bir çox kurortlar var. Bunlara Qafqaz mineral suları (Jeleznovodsk, Yessentuki, Pyatigorsk), Tsxaltubo, Soçi-Matsesta, Borjomi (Gürcüstan), Viçi (Fransa), Visbaden və Nauheim (Almaniya), Karlovy-Vari (Çexiya),Masallı İsti-su (Azərbaycan), Lənkaran İsti-su (Azərbaycan),Qala altı (Azərbaycan) və s.

Geotermal və mineral su mənbələri dünyanın müxtəlif ölkələrində həm istilik enerji mənbəyi, həm müalicə və eyni zamanda məişətdə istifadə edilir.

Elektrik enerjisi istehsal etmək üçün aktiv vulkanizm bölgələrində yerləşən geotermal yataqlardan istifadə olunur. Burada temperaturu $120-150$ °C-dən çox olan termal sular işçi cisim rolunu oynayır. Geotermal enerjinin inkişafının effektivliyi təbii istilikdaşıyıcının praktiki olaraq tükənməzliyinə əsaslanır. Geotermal elektrik stansiyaları İtaliya, ABŞ, Yaponiya, İslandiya, Meksika, Yeni Zelandiyada fəaliyyət göstərir. Rusiyada, Paujetskoye yatağında (Kamçatka) ilk geotermal elektrik stansiyası 1967-ci ildə elektrik cərəyanı istehsal etmişdi, 1999-cu ildə Verkhne-Mutnovskaya GeoES, 2002-ci ildə isə Mutnovskaya GeoES-1 istifadəyə verilmişdi.

Yaşayış və sənaye binalarının, istixanaların istiləşməsi və isti su təchizatı üçün temperaturu $50-100$ °C olan isti və çox isti termal sulardan istifadə olunur. İstixanaların istiləşməsi üçün daha aşağı temperaturda $20-60$ °C olan bir istifadə olunur. Bundan əlavə, termal sular digər texniki ehtiyaclar üçün (çay fermentasiyası, qurudulması, ağacın və tütünün qurudulması, yun yuyulması və), hovuzlarda, balıq vətəgələrində balıqların yetişdirilməsi üçün və s. tətbiq edilir. Rusiya Federasiyasında belə termal sular Qərb

və Şərqi Sibir, Kamçatka, Çukotkada geniş yayılmışdır. Şimali Qafqazda, Xəzər dənizində, Azərbaycanda, Kırmda, İslandiya, Macarıstanda, eləcə də Fransada, əsasən Elzas bölgəsindəki Paris və Akvitanıya artesian hövzələrində istiləşdirmə məqsədləri üçün aşağı və orta temperaturlu termal sulardan geniş istifadə olunur.

Hal hazırda geotermal enerji aşağı potensiallı (30-70 °C) termal sulardan enerji akkumulyatoru kimi istifadə edilməsi istiqamətində inkişaf edir.

Termal suların tərkibində bir çox həll edilmiş mikroelementlərin təsadüf edilməsi, onların sənaye istehsalına imkan verir. Bir qayda olaraq, termal sular yod, brom, bor, litium, sezium, rubidium və s. zəngindir. Bu qiymətli elementlərin suyun tərkibindən ayrılması, həmin elementlərin istehsalı sahəsini inkişaf etdirməyə şərait yaradır. Bu cür sular sənaye suları adlanır.

Bir çox elmi araşdırmalar, tədqiqatlar alternativ energetikanın, o cümlədən geotermal energetikanın, bütün inkişaf etmiş dünya dövlətləri üçün prioritet sahə olduğunu sübut edir. Ona görə də bütün dövlətlər bu sahəyə xüsusi diqqət ayırırlar.

Bu istiqamətdə Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2004-cü il 21 oktyabr tarixli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş "Azərbaycan Respublikasında Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı"na [1] uyğun olaraq, respublikamızda geniş miqyaslı işlər aparılır. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin "Enerji istehsalı texnologiyası" kafedrası son illərdə geotermal və mineral suların istilik-fiziki xassələrinin araşdırılması sahəsində müəyyən elmi araşdırmalara başlamışdır. Bu araşdırmaların əsas məqsədi Azərbaycanın geotermal sular sahəsində alternativ enerji mənbələri potensialının, yaxud müalicəvi və məişətdə içməli su ehtiyatlarının öyrənilməsinə yönəlmişdir. Belə ki, yüksək temperaturlu yer səthinə çıxan suyun istiliyindən məişətdə, tibbdə və energetika sahəsində istifadə etmək olar. Təqdim olunan məqalə də bu sahədə aparılmış tədqiqatları əhatə edir. Burada Azərbaycan Respublikasının Quba rayonunda yerləşən müxtəlif funksiyalı geotermal və mineral su mənbələrinin istilik-fiziki xassələrinin ölçülməsi sahəsində kompleks araşdırmaların (kimyəvi analiz, sıxlıq, özlülük, səs sürəti, istilik tutumu və s.) tərkib hissəsi olaraq, onların tam kimyəvi analizi təqdim olunur. Quba rayonunun təcrübi olaraq analiz edilmiş geotermal və mineral su nümunələrinin yerləşdiyi coğrafi koordinatlar cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Quba rayonunun təcrübi olaraq analiz edilmiş geotermal və mineral su nümunələrinin yerləşdiyi coğrafi koordinatlar.

No	Geotermal və mineral su nümunəsi	Şərti adı	Coğrafi en dairəsi	Coğrafi uzunluq
	Quba şəhəri	TM11	41°22'01.89"N	48°31'18.40"E
	Cimi 14 °C (Cimi kəndi yaxınlığı)	TM12	41°02'20.78"N	48°32'54.38"E
	Cimi 65 °C (Cimi kəndi yaxınlığı)	TM12a	41°02'20.78"N	48°32'32.81"E
	II Nügədi kəndi	TM13	41°19'00.00"N	48°34'43.77"E
	Xanəgah	TM14	41°13'06.26"N	48°32'24.88"E
	Balbulaq	TM15	41°17'57.89"N	48°31'54.09"E
	Püstəqasım kəndi yaxınlığı	TM16	41°16'09.47"N	48°35'21.81"E
	Püstəqasım kəndi yaxınlığı	TM17	41°16'09.47"N	48°35'21.81"E

Quba rayonu Azərbaycanın füsunkar gözəlliyi ilə seçilən bölgələrindəndir. Quba rayonunda geotermal və mineral sular geniş yayılmışdır. Onlar demək olar ki, rayonun bütün bölgələrində yerləşirlər. Xüsusilə Afurca, Amsar, Bad, Cimi, Qarcun, Qəcrəş, Qonaqkənd, Püstəqasım, Rustov, Təngəaltı, Tüləkəran Şuduq, Xanəgah,

Xaltan, Xaşı, Zeyid, və s. kəndlərində müalicə-kurort əhəmiyyətli termal və mineral sular vardır (Şəkil 1-2). Burada temperaturu $T = 303.15 \text{ K}$ və ya daha çox olan əsasən kükürdlə zəngin isti sular çıxır. Sular əsasən azot-kükürdlü, metan-azot-kükürd-hidrokarbonlu, kalsium-mağnezium tərkiblidirlər [2]. Onların gündəlik debitləri də müxtəlifdir (rayon üzrə gün ərzində 1 mln. litrdən çoxdur). Cimi termal və mineral suları Cimi çayının (Vəlvələçayın qolu) mənsəb hissəsində yerləşir. İki isti və bir soyuq mineral bulaqdan ibarətdir. Sulardan , nisbətən yüksək temperatura malik olan, Cimi kəndindən 5 km cənubda Cimi çayının sol tərəfində, ikinci kiçik mənbəyi isə Cimi çayının sağ tərəfində, üçüncü su mənbəyi isə Qonakkənddən 10 km cənub-qərb tərəfdə yerləşir. Sular əsasən kükürdlüdür. Əsas mənbəyin temperaturu $T = 338.15 \text{ K}$ -ə qədər çatır. Bu suyun debiti sutkada 8600 litrə qədərdir. Soyuq mənbəyin temperaturu isə $T = 287.15 \text{ K}$ ətrafındadır. Bu suyun debiti sutkada 2300 litrə çatır. Cimi suyu Qızılcqazma, Xaltan, Xaşı su mənbələri ilə bir xəttə yerləşmişdir. Sular əsasən karbonat duzları ilə zəngin olan Yer in çatlarından qaynayaaraq ,Yer səthinə çıxırlar. Hal-hazırda bu sulardan əsasən içməli su və müalicə məqsədilə kimi istifadə edilir, onların çıxdığı ərazidə müxtəlif sanatoriya, hamam və başqa müalicə müəssisələri tikilib əhalinin istifadəsinə verilmişdir.



Şəkil 1. "Balbulaq" suyu.



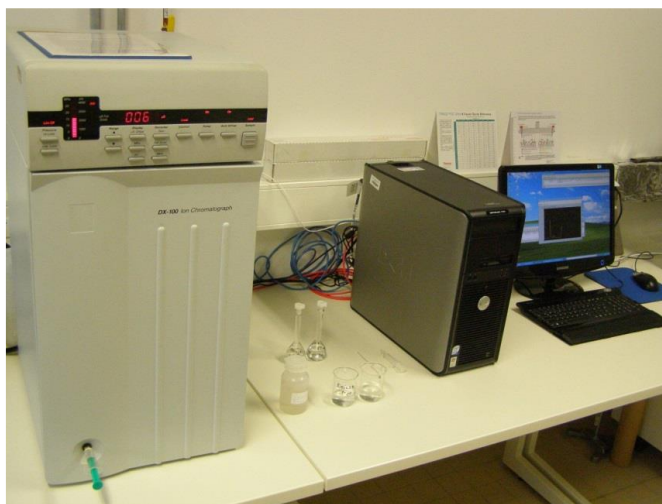
Şəkil 2. "Cimi 65" termal suyunun çıxdığı yer.

Son illərdə Quba rayonunda çoxsaylı turizm təşkilatları, istirahət zonaları və digər təşkilatlar yaradılmışdır ki, bu mərkəzlər də əsasən termal və mineral bulaqların yaxınlığında yerləşirlər. Qəçrəş kəndi ətrafında çoxlu istirahət mərkəzləri fəaliyyət göstərir. Burada da çoxlu sayda təbii bulaqlar var. Balbulaq eyni adlı Balbulaq Ailəvi İstirahət Mərkəzi yaxınlığında yerləşir.

Bu məqsədlə Quba rayonunun bir neçə su nümunələrinin kimyəvi xassələri yüksək dəqiqlikli qurğularda analiz edilmişdir. Kation analizləri IRIS Intrepid II Optical Emission Spectrometer induktiv-əlaqəli plazması ilə atomlu-emissionlu spektrometrdə (kationlar) və DX-120 ion xromatoqrafında (anionlar) aparılmışdır [4] (Şəkil 3-4).



Şəkil 3. IRIS Intrepid II Optical Emission spektrometri.

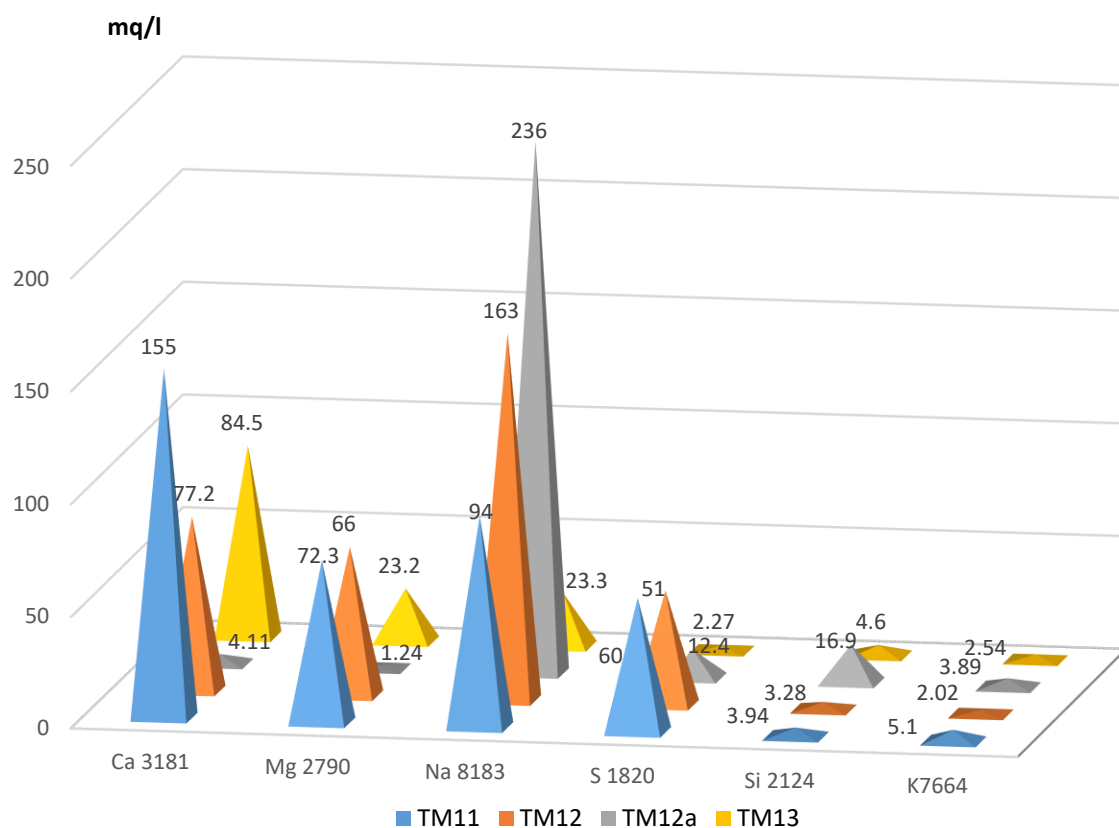


Şəkil 4. DX-100 ion xromatoqrafı.

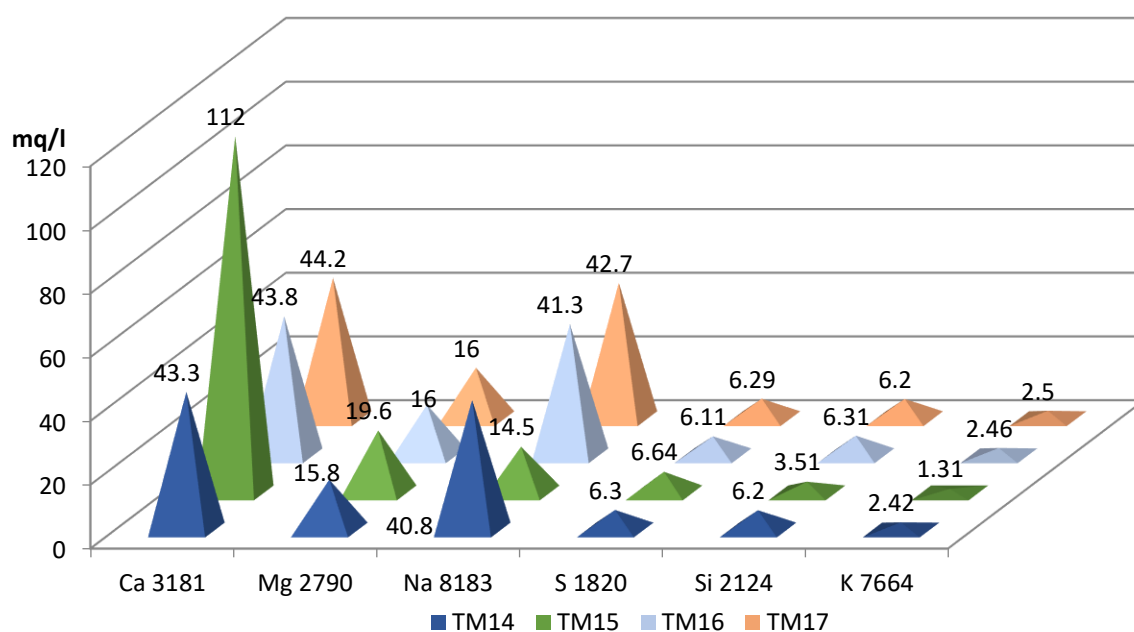
Azərbaycanın müxtəlif geotermal və mineral su nümunələrinin kimyəvi analizinin aparılma metodu elmi araşdırmalarda geniş təhlil edilmişdir [5-8]. Kationların analizini araşdırmaq üçün istifadə edilən IRIS spektrometrləri 4-cü nəsil ICP seriyalı spektrometrlər sinfinə aid olub analiz keyfiyyətlərini genişləndirir. IRIS Intrepid II spektrometrləri məhdudiyyət və kompromislər olmadan, analitik problemlərin həllinin güclü və rahat vasitəsi olaraq, özündə sürəti, dəqiqliyi, eynizamanlı spektrometrlərin yüksək məhsuldarlığını və ardıcıl sistemlərin çevikliyini birləşdirir. IRIS II optik emissiyalı və ikiqat arqon plazmalı spektrometer qurğusu vasitəsilə nümunənin tərkibində müxtəlif elementin miqdarı analiz edilir. Bu zaman nümunənin tərkibində ümumi miqdarı hər litr nümunədə 0.01 mq-dan az olan elementlərin miqdarı <0.01 kimi qeyd edilir. Çünki, nümunənin tərkibində bu miqdardan az olan elementlər nümunənin xassələrinə elə də təsir etmirlər. Eyni zamanda həm ümumi elementlərin miqdarı, həm də hər bir elementin ayrı-ayrılıqda miqdarı analiz olunaraq cədvəl şəklində qeyd olunur [4].

Anionların təcrübi analizi zamanı DX100 ion xromatoqrafından istifadə edilmişdir. İon xromatoqrafiyası üsulunda ayrılmış ionları bir qayda olaraq, axınlı konduktometrik detektorda təyin edirlər. İon xromatoqrafiyasının daha geniş yayılmış variantında ardıcıl yerləşdirilmiş iki sütunlu xromatoqraflardan istifadə edilir. Birinci sütunda ionları səthi modifikasiya olunmuş aşağı tutumlu iondəyişmə qətranında parçalayırlar. Yüksək tutumlu, ionitli ikinci sütun eluentin kimyəvi modifikasiyası sayəsində onun fon elektrik keçiriciliyinin kəskin aşağı düşməsinə təmin edir. Təcrübəyə başlamamışdan əvvəl hazırlanmış həlledici təmiz vakuum kolbaya tökülmüşdür. Kolba vakuum nasosuna və ya su aspiratoruna birləşdirilmişdir. Daha sonra vakuum altında 5 dəqiqə ərzində silkələnmə və ya ultrasəs vasitəsilə həlledicinin qazsızlaşdırılması prosesi yerinə yetirilmişdir. Helium vasitəsilə sistemdə təzyiq nizamlanmışdır. Nümunələr ionsuzlaşmış su vasitəsilə yuyulmuş, yüksək sıxlığa malik polietilen qablarda saxlanılmışdır. Elektrik keçiriciliyi detektorlar molekulyar halda olan su kimi maddələrə reaksiya vermirlər. Bir elektrolit məhlullarında iki elektroda gərginlik qoşulubsa, məhluldakı anionlar anoda tərəf və kationlar isə katoda tərəf hərəkət edəcək. Məhluldakı ionların sayı və sürəti elektrik keçiriciliyini təyin edir [4]. Analizlər avtomatlaşdırılmış cihazda - ion xromatoqrafında həyata keçirilir.

Quba sularının analizində kationların miqdarı qrafik şəklində verilmişdir (şəkil 5,6,7,8).



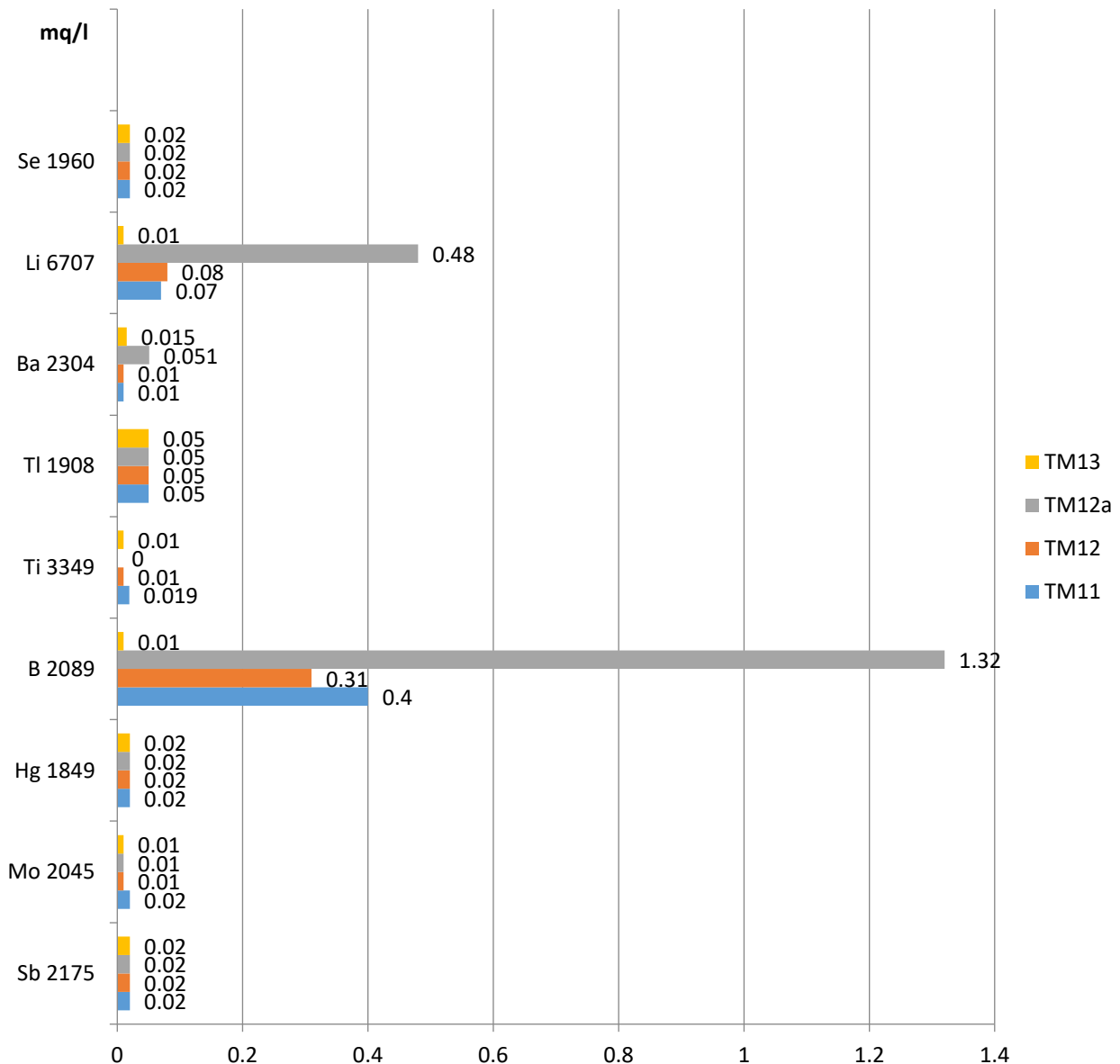
Şəkil.5. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (kation analizi, TM11, TM12, TM12a, TM13 məntəqələri üçün).



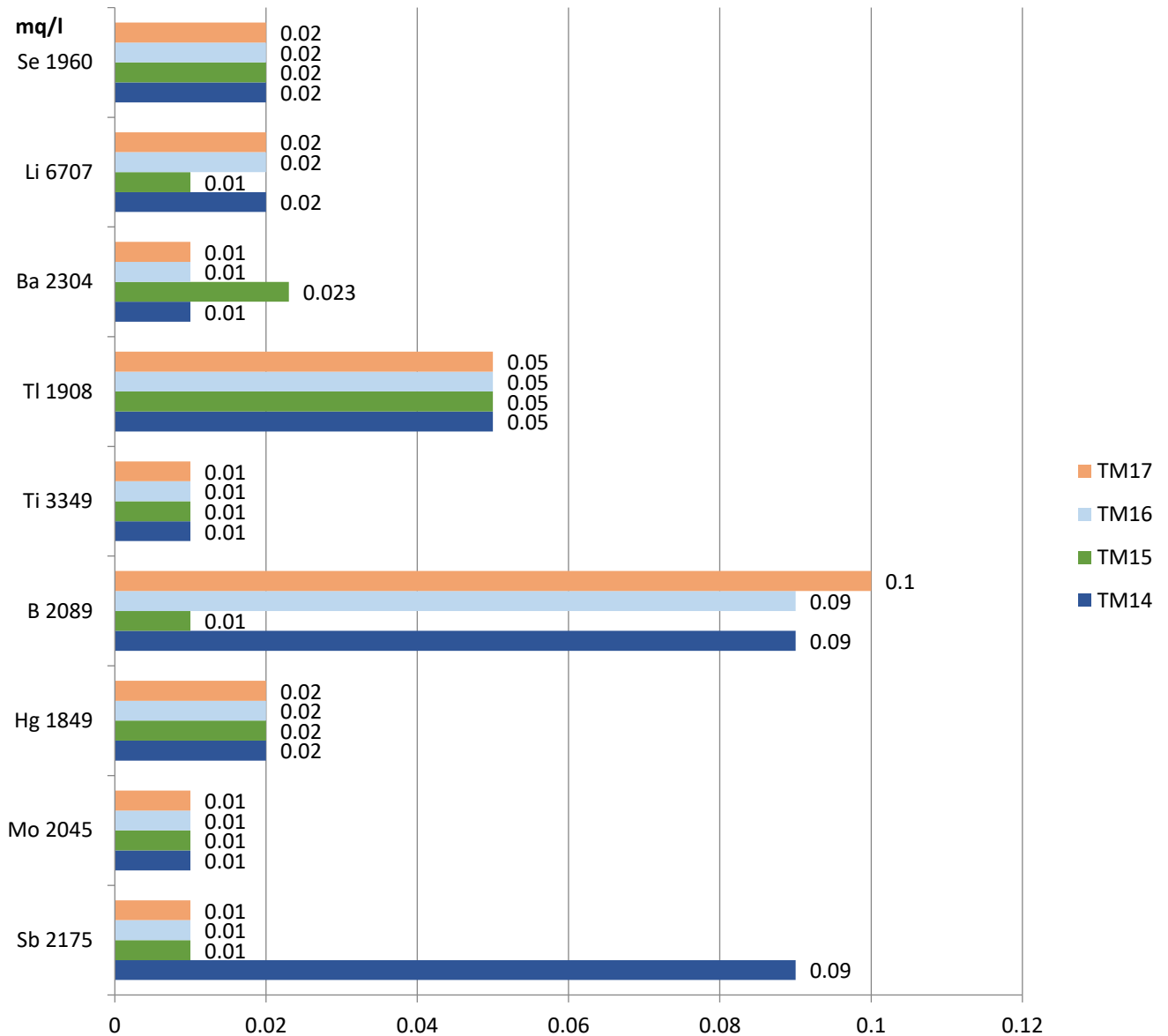
Şəkil.6. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (kation analizi, TM14, TM15, TM16, TM17 məntəqələri üçün).

Suların təcrübi sınağı zamanı 29 müxtəlif kation analizi aparılmışdır. Göründüyü kimi tədqiq olunmuş su nümunələrində Ca^+ , K^+ , Mg^+ , Na^+ , S^+ , Si^+ və Ti^+ kimi minerallar əsas komponentlərdir. TM11 su nümunəsi o biri sulara nisbətən daha çox minerallarla zəngindir. Bu nümunədə ümumi minerallaşma 391,11 mq/l həddindədir. Hər iki Cimi su nümunəsi (TM12 və TM12a) də yüksək minerallaşmaya malikdirlər (uyğun olaraq 363,77 mq/l və 276,64 mq/l). TM12a nümunəsində Na^+ miqdarı daha yüksək olaraq 236 mq/l həddindədir. Kükürdün S^+ miqdarı ən çox TM11 nümunəsində olaraq 60 mq/l-dir.

Qrafiklərin analizi göstərir ki, Quba geotermal sularının tərkibində əsas üstünlüyü Ca, Mg, Na, S, Si, K, qismən isə Se, Li, Ba, Tl, Ti, B, Hg, Mo, Sb təşkil edir. Se və Hg miqdarı bütün məntəqələrdə təxminən eynidir. Bor TM15 məntəqəsindən başqa bütün məntəqələrdə 0,1 mq/l-ə yaxındır. Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb və V miqdarı bütün məntəqələrdə 0,01 mq/l-dən azdır.

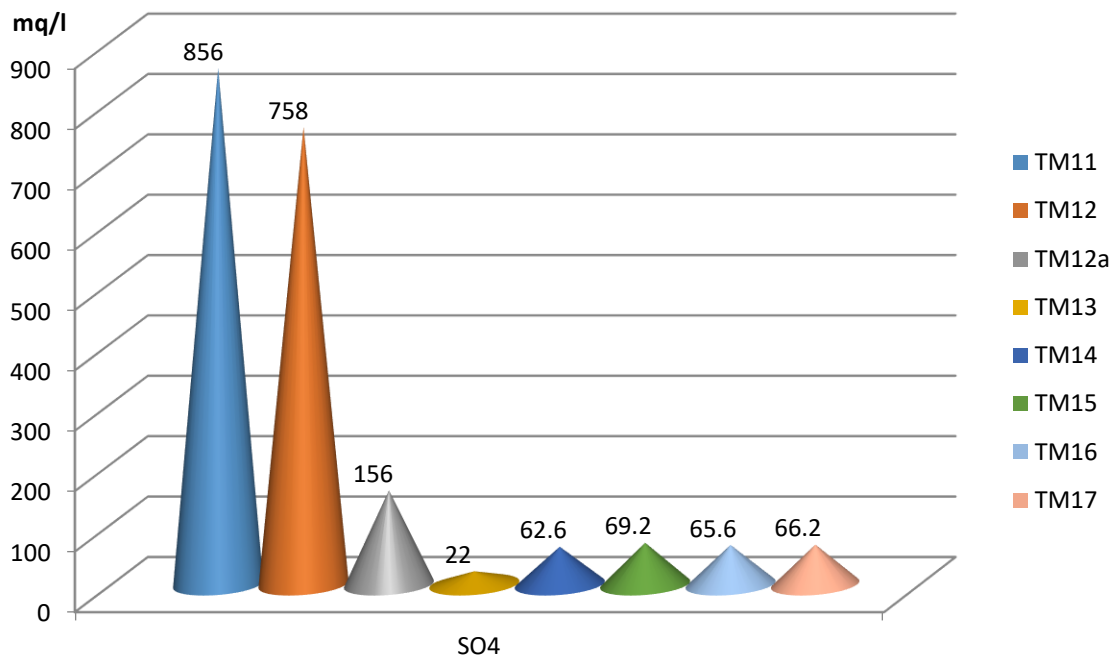


Şəkil.7. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (kation analizi, TM11, TM12, TM12a, TM13 məntəqələri üçün).

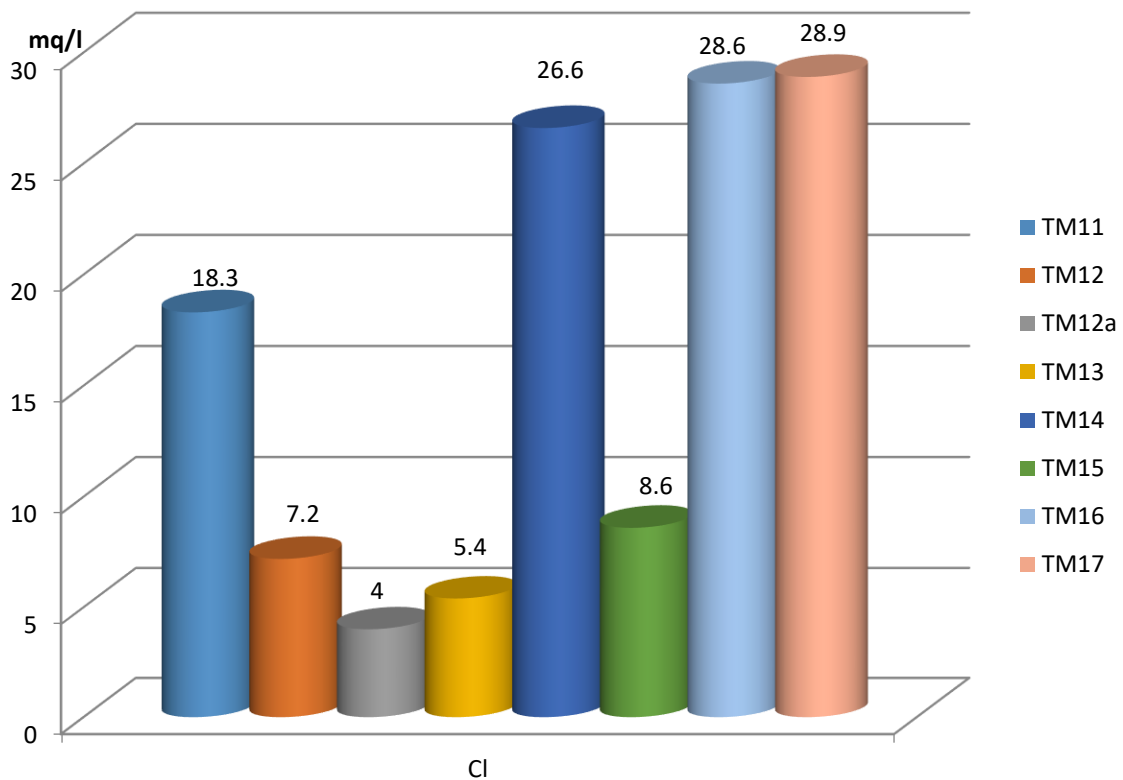


Şəkil.8. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (kation analizi, TM14, TM15, TM16, TM17 məntəqələri üçün).

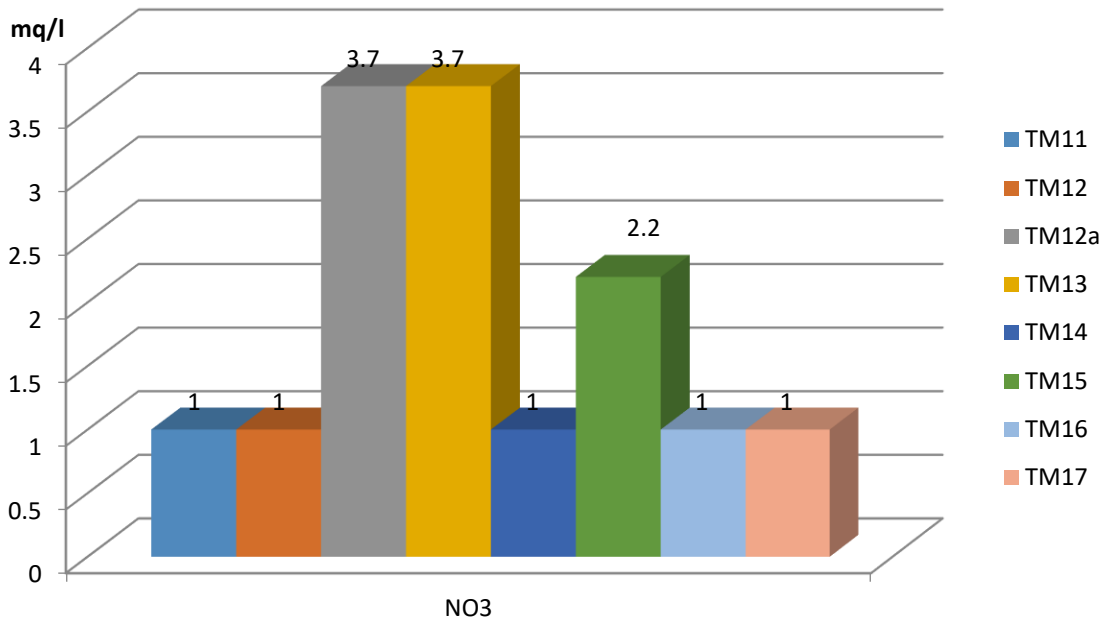
Quba sularının kimyəvi analizində anionların miqdarı qrafik şəklində verilmişdir (şəkil 9, 10, 11). Bu suların tərkibində SO_4 anionları üstünlük təşkil edir. Tədqiq olunan məntəqələr arasında ən yüksək göstərici TM11 məntəqəsinə aiddir. Ən kiçik göstərici isə TM13 məntəqəsindədir. Xlorun miqdarı TM17 məntəqəsinə məxsusdur. DX-100 ion xromatoqrafının köməyi ilə Cl^- , NO_3^- və SO_4^- anionlarının analizi nəticələrini nəzərdən keçirərkən, qeyd etmək olar ki, TM11 su nümunəsində 18,3 mq/l olmaqla Cl^- və 856 mq/l olmaqla SO_4^- anionunun miqdarı qalan nümunələrə nisbətən üstünlük təşkil edir. TM14 su nümunəsində isə nitratların xloridlərin miqdarı daha çoxdur. TM12a su nümunəsində isə əksinə xloridlərin miqdarı 4,0 mq/l olmaqla daha azdır. Analiz edilmiş su nümunələrində nitratlar elə də çox deyillər. TM12a və TM13 nümunələrində 3,7 mq/l miqdarında az da olsa nitratlara rast gəlinir.



Şəkil.9. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (anion analizi - SO_4).



Şəkil.10. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (anion analizi - Cl)



Şəkil.11. Azərbaycanın Quba rayonunun geotermal sularının kimyəvi tərkibi (anion analizi – NO₃)

Termal və mineral sulardan müalicəvi massajlar üçün geniş istifadə edilir. Bu zaman müəyyən normaları diqqətdə saxlamaq lazımdır. Belə ki, Tibbi kosmetikada 500 mq/l-dən yuxarı mineralaşması olan mineral sular dərinin yağ balansını normallaşdırdığı üçün yağlı dərilər üçün istifadə olunur. Belə ki, bu suların tərkibində olan natrium, hüceyrə nəmləndirməsinin tənzimlənməsini təmin edir. O, su-duz balansını, həmçinin hüceyrə membranının yüklənməsini dəstəkləyir. Natrium ionları enerji mənbəyidir, hüceyrələrə qidalandırıcı maddələr verir. Termal suların tərkibindəki kalium natriumla funksional olaraq birləşir və birlikdə turşu – qələvi balansının qorunmasında iştirak edirlər. Xloridlərlə birlikdə kalium su-duz balansının normallaşdırılması üçün cavabdehdir.

Termal suların tibbi kosmetikada istifadəsinin əsas xüsusiyyətlərini müəyyən edən üç ion natrium, kalium, bikarbonatlardır. Quba sularının tərkibində bu ionların üstünlüyü onların kosmetologiyada da geniş istifadəsini labüd edir. Belə ki, natrium hüceyrə nəmlənməsini su-duz balansını, həmçinin hüceyrə membranının yüklənməsini təmin edir. Natrium ionları enerji mənbəyidir, hüceyrələrə qidalandırıcı maddələr verir. Kalium natriumla funksional olaraq birləşir və birlikdə turşu – qələvi balansının qorunmasında iştirak edirlər. Xloridlərlə birlikdə kalium su-duz balansının normallaşdırılması üçün cavabdehdir. Bikarbonatlar yağ vəzlərini tıxanmadan qoruyur. Həm də bir bikarbonat bufer sistemi kimi fəaliyyət göstərir: bikarbonat bufer sistemi turşularla qarşılıqlı təsir şəraitində, zəif karbon turşusu meydana gəlməsi ilə zərərsizləşdirilir.

Termal suda olan kalsium və maqnezium qan damarlarını gücləndirir və dərinin qıcıqlanmasını sakitləşdirir, silikon yaşlanmanı ləngidir, sink dərinin sərbəst radikallardan qoruyur, dəmir dərinə yaxşılaşdırır. Bu elementlər dərinin qoruyucu mexanizmlərinin işini yaxşılaşdıraraq, ətraf mühitin mənfi amillərinə (atmosferin çirklənməsi, aşağı temperatur və s.) qarşı onu müqavimətini artırır.

Termal sular ödəmi aradan qaldırır və qan dövranını yaxşılaşdırır. Kükürd, silikon və sink kimi elementlərin tərkibi dəri xəstəliklərinin (sızanaq, rozeya, absesi, çiban, sedef) müalicəsinə kömək edir, yağlı və problemli dərilərin vəziyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır, yağ vəzlərinin fəaliyyətini normallaşdırır. Termal suların tibbi kosmetikada tətbiqi Quba sularının kosmetologiyada da istifadəsini labüd edir.

Eyni zamanda bu bölgədə turizm obyektlərinin, eləcə də sənaye obyektlərinin, istixanaların istiləşdirilməsi məqsədi ilə də geotermal mənbələrin enerjisindən istifadə prioritet məsələlərdəndir. Bu həm də regionlarda əlavə iş yerlərini açılmasına səbəb olacaqdır.

Quba rayonu Azərbaycanın turistləri özünə daha çox cəlb etdiyi bölgələrindən biridir. Ona görə də bu bölgədə termal və mineral sulardan daha səmərəli istifadə etmək olduqca vacibdir. Bu cür müalicə müəssisələrinin sayı artdıqca bu bölgəyə turistlər sadəcə dincəlməyə deyil, eyni zamanda müxtəlif xəstəliklərin müalicəsi üçün də gələcəklər. Bu da ölkəmizə daxil olan maliyyə imkanlarını daha da artırmış olacaq.

Kənd təsərrüfatı sahəsində, xüsusilə Quba rayonu üçün alma qurudulmasında da termal suların enerjisindən istifadə etmək olar. Ümumiyyətlə, geotermal ehtiyatlar, demək olar ki, tükənməz, bərpa olunan və ətraf mühitə ziyan vurmayan bir enerji mənbəyidir və gələcəkdə enerji sektorunda mühüm rol oynayacaqdır.

-
1. AR–da alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı.–2004–cü il.
 2. *Кашкай М.А.* Минеральные источники Азербайджана, Изд. Академии Наук Азербайджанской ССР, Баку 1952, 503 стр.
 3. *Бабаев А.М.* Минеральные воды горно-складчатых областей Азербайджана, Баку, 2000, Çaşıoğlu, 384 стр.
 4. *Nabiyev, N., Bashirov, M., Safarov, J., Nocke, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E.* // Thermodynamic Properties of Geothermal waters of Germany and Azerbaijan, VDI "Thermodynamik-Kolloquium" und "Ingenieurdaten" 2009, Technische Universität Berlin, 5-7 Oktober 2009, Germany.
 5. *Stephan, M., Mammadova, E., Schmidt, H., Safarov, J., Nocke, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E.* // Thermophysical Properties of Geothermal Waters of Germany and Azerbaijan, 19th European Conference on Thermophysical Properties, 28 August-01 September 2011, Thessaloniki, Greece.
 6. *Safarov, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E.* // Thermophysical Properties of Geothermal Waters of Azerbaijan. Keynote Lecture, 1st International Scientific Conference of Young Scientists and Students: "The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences (Earth, Technical and Chemical)", 15-16 October 2014, Baku, Azerbaijan.
 7. *Талибов, М.А.* // Химический состав (Катионы) геотермальных, минеральных и питьевых вод Ярдымлинского района Азербайджана, Мониторинг. Наука и технологии», 2012, №1 (10), 48-53.
 8. *Talibov M.A.* // Geotermal və mineral suların anion analizi metodunun araşdırılması. Elmi əsərlər, Fundamental elmlər, AzTU, № 3, cild I, səh.261-264, 2016.



Babayeva Sevinc Şulan qızı – t.e.n., “Enerji istehsalı texnologiyaları” kafedrasının dosentidir. 1986-cı ildə Azərbaycan Neft və Kimya institutunun, energetika fakultəsinin „Sənaye istilik energetikası“ ixtisasını fərqlənmə diplomu ilə bitirmişdir. 1993-cü ildə „Üç komponentli elektrolit məhlullarının yüksək təzyiq və temperaturalarda istilik keçirmə əmsalı“ mövzusunda namizədlik dissertasiyası müdafiə etmişdir. Əsas elmi işləri istilik texnikasının nəzəri əsasları, istilik energetikası, alternativ enerji mənbələri istiqamətlərini əhatə edir. Hal hazırda “Enerji istehsalı texnologiyaları” kafedrasının dosentidir. babayeva_sevinc64@mail.ru



1982-ci ildə Azərbaycan Texniki Universiteti (əvvəlki Azərbaycan Politeknik İnstitutu) mexanika fakültəsinin “Soyuducu-kompresor maşın və qurğuları” ixtisasına daxil olmuşdur. 1989-cu ildə həmin ali məktəbi fərqlənmə diplomu ilə bitirərək “Mühəndis-mexanik” ixtisasına yiyələnmişdir. 1993-cü ildə texnika elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır. Hal-hazırda Almaniyanın Rostock Universitetinin “Texniki Termodinamika” kafedrasının elmi işçisidir və “Mayələrin istilik-fiziki xassələri” elmi qrupunun rəhbəridir. İonlu mayələrin, dizel və benzin yanacaqları və onlara alifatik spirllərin alternativ əlavələri, dəniz, okean, çay, geotermal və mineral suların, absorpsion soyuducu və günəş istilik sistemlərin alternativ istilik daşıyıcılarının və s. istilik-fiziki xassələrinin araşdırılması sahəsində müxtəlif elmi layihələri həyata keçirir. 400–dən artıq elmi məqalənin və konfrans materiallarının müəllifidir. javid.safarov@uni-rostock.de



Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Egon Hassel 1982-ci ildə RWTH Aachen Universitetini fizika ixtisası üzrə bitirmişdir. 1996-cı ildə Almaniyanın Darmstadt Texniki Universitetində texnika elmlər doktoru alimlik dərəcəsi almışdır. Hal-hazırda Almaniyanın Rostock Universitetinin “Texniki Termodinamika” kafedrasının müdiri vəzifəsində çalışır. Mayələrin istilik-fiziki xassələri, lazer ölçmələri, istilik-kütlə mübadiləsi, sənaye energetikası, daxiliyanma mühərriklərində gedən termodinamik proseslər və s. elmi sahələri üzrə çoxsaylı elmi araşdırmalar və layihələri həyata keçirir. 500–dən artıq elmi məqalənin və konfrans materiallarının müəllifidir. Egon.hassel@uni-rostock.de

GÜNƏŞ SU NASOS SİSTEMLƏRİ VƏ TƏTBİQİ

MƏMMƏDOV R.R

Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi

Mobil:+994502916441, e-mail: rsm_mamedov@hotmail.com

XÜLASƏ

Məqalədə subartezian quyuları və ya digər su mənbələri vasitəsilə suvarılan ərazilərdə elektrik enerji təchizatında alternativ enerji mənbələrindən istifadənin tətbiqi və subartezian quyularının mərhələlərlə elektron idarəetmə sistemlərinə keçirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Məqsəd günəş radiasiyası, bu radiasiyadan alınan elektrik enerjisi və bu enerjiyə uyğun arteziandan və ya digər mənbədən su hasilatı, sistemin strukturu, xarakteristikası, texniki göstəriciləri və iş prinsipini göstərməkdir.

Açar sözlər: günəş, su, nasos, smart, suvarma, sistem, stansiya, enerji

АННОТАЦИЯ

Солнечные водяные насосы и их применение

Мамедов Р.Р

Целью статьи является демонстрация возможности откачки воды из артезианских скважин и других источников воды посредством использования солнечных водонасосных систем на территории Азербайджанской Республики, а также возможность дистанционного управления системой.

В статье рассматривается отчет солнечной энергии и электричество, которое производится в жилом комплексе «Самух Агроэнергия», и показывается извлечение воды из скважины.

Кроме того, предоставляется информация о структуре, технических характеристиках, а также о принципах работы солнечной системы водяного насоса.

Ключевые слова: солнце, вода, насос, умный, орошение, станция, систем,

ABSTRACT

Solar water pump systems and application.

Mammadov R.R

The purpose of the article is to demonstrate the possibility of pumping water from artesian wells and other water sources through the use of solar water pump systems in the territory of the Republic of Azerbaijan, as well as the ability to remotely control the system.

The article discusses the report of solar energy and electricity, which is produced in the residential complex "Samukh Agroenergy", and shows the extraction of water from the well.

In addition, information is provided on the structure, technical specifications, and principles of operation of the solar water pump system.

Keywords: solar, water, pump, smart, irrigation, energy, station, system

GİRİŞ

Məlum olduğu kimi, müasir dövrdə enerji ehtiyatları bütün bəşəriyyətin həyat mənbəyidir, yüksək həyat səviyyəsinin, inkişaf etmiş iqtisadiyyatın və milli təhlükəsizliyin təməlidir. Enerji problemləri dövrümüzün vacib qlobal problemlərindən biridir. Dünyada enerji istehsalı artdıqca, ekoloji problemlərə təsiri də artır. Qlobal iqlim problemləri, dünyanın aparıcı institutlarını günəş və külək enerjisi kimi ekoloji təmiz bərpa olunan enerji mənbələrindən geniş istifadənin məqsəduyğunluğu barədə düşünməyə məcbur edir. Bu baxımdan qlobal miqyasda aparılan araşdırmalar və əldə olunan təcrübələr sübut edir ki, günəş radiasiyası, yüksək faydalı iş əmsalı ilə digər enerji növlərinə (elektrik enerjisi, istilik və s.) çevrilə bilən daha keyfiyyətli enerji mənbəyidir. Günəş enerjisi hər yerdə mövcuddur. Günəş enerjisi dünyanın ən zəngin, həm də ekoloji cəhətdən səmərəli bir enerji mənbəyidir. Günəş enerjisi günümüzün enerji böhranına cavabdeh ola bilər.

Bəzi bölgələrin iqlim şəraiti günəş enerjisinin inkişafına üstünlük verir. Bu, külək və günəş enerjisinin geniş yayılması üçün əlverişli coğrafi şəraiti olan ərazilərdir. Belə ərazilərdə günəş enerjisinin bolluğu, su təchizatı problemləri, elektrik enerjisi tariflərinin və yanacaq qiymətlərinin daim artması fərdi istehlakçılar üçün səmərəli günəş su qaldırıcı qurğuların yaradılması məsələsini olduqca aktuallaşdırır. Hesab edirik ki, bu qəbildən olan etibarlı, işlək və səmərəli qurğular tətbiq etməklə problemin həllinə nail olmaq olar.

Dünyadakı milyonlarla insan sudan istifadə məhdudiyyəti yaşayır. Bir çox ölkələrdə yeraltı su yanacaq üçün dizel istifadə edən elektrik su nasosları vasitəsilə çıxarılır. Bununla birlikdə, bu sistemlər təkcə müntəzəm xidmət və yanacağın alınmasını tələb etmir, eyni zamanda qlobal iqlim sistemini dəyişdirən karbon qazı da buraxır.

Günəş su nasosu sistemləri dizel nasoslarına alternativ variant ola bilər. İllərlə aparılan tədqiqat və texnoloji inkişafdan sonra, belə sistemlərin əməliyyat, maliyyə və ekoloji cəhətdən davamlı olduğu sübut edilmişdir.

Məlumat üçün bildiririk ki, bu məsələ Azərbaycan Respublikasında da dövlət səviyyəsində ətraflı araşdırılır və sahənin inkişafı üçün müvafiq qərarlar qəbul olunur. Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabinetinin 2017-ci il 28 dekabr tarixli 918s sayılı sərəncamı “Subartezian quyuları vasitəsilə suvarılan ərazilərdə elektrik enerjisinin alternativ enerji mənbələrindən istifadənin tətbiqi və subartezian quyularının mərhələlərlə elektron idarəetmə sistemlərinə keçirilməsi”-nə dair tapşırığına Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyində(ABOEMDA) aidiyyəti üzrə baxılmışdır. Ölkənin kənd

təsərrüfatına yararlı torpaq sahələrinin, suvarma sistemlərinin bu günkü vəziyyəti və ölkə ərazisində mövcud

alternativ və bərpa olunan enerji potensialı, beynəlxalq təcrübə, bu sahəyə tətbiq olunan yeni texnologiyalar ətrafı öyrənilmiş və nəticə etibarilə aşağıdakı istiqamətlər sahənin inkişaf etdirilməsi üçün prioritet götürülmüşdür.

- ❖ Suyun səmərəli istifadəsi, suya, enerjiyə, dizelə və kömürə qənaət,
- ❖ Dizel nasos sistemlərindən və dizel aqreqatlarından istifadənin ətraf mühitə zərəri, ətraf mühitin qorunması, BMT-nin İqlim Dəyişmələri üzrə Çərçivə Konvensiyasının 2015-ci ildə imzalanmış Paris Sazişinə əsasən “Milli səviyyədə Müəyyənləşdirilmiş Töhfə” üzrə Azərbaycan Respublikasının üzərinə götürdüyü öhdəliklərin yerinə yetirilməsi, CO₂ tullantısının azaldılması;
- ❖ Əlverişsiz ərazilərdə suvarma torpaqlarının bərpası, regionlarda xüsusilə özəl sektorda alternativ və bərpa olunan enerjinin tətbiqi və inkişafı, aşağı əməliyyat xərcləri, aşağı layihə riski, günəş su pompaları texnologiyaları bazarının regionda inkişafı, müvafiq sahə üzrə kiçik biznesin/ məşğulluğun yaradılması;
- ❖ Quraşdırmanın, tətbiqin, infrastrukturun mövcud olmadığı ərazilərdə mümkünlüyü;

Azərbaycan Xəzər dənizinin qərb sahilində, Böyük və Kiçik Qafqaz dağlarının ətəklərində yerləşir. Azərbaycan əsasən quru iqlimə malik (arid) zonada yerləşdiyinə görə burada kənd təsərrüfatının inkişafı həmişə süni suvarma aparmaqla mümkün olmuşdur. Ölkə su ehtiyatlarının qıtlığı problemini yaşayır. Azərbaycan qədim suvarma əkinçiliyi diyarıdır. Suvarılan torpaqlar ölkənin kənd təsərrüfatına yararlı torpaq sahələrinin üçdə birini (1432,7 min hektar) təşkil etsə də ölkədə istehsal olunan kənd təsərrüfatı məhsullarının 90-95%-i bu torpaqlardan götürülür. Suvarılan torpaqların təxminən üçdə birindən çoxu (565 min hektarı) mexaniki üsulla, o cümlədən 349,4 min hektar elektrifikasi edilmiş, 68,2 min hektar dizel nasos stansiyaları ilə, 147,7 min hektarı isə subartezian quyuları vasitəsi ilə suvarılır.

Bu gün bəşəriyyəti düşündürən problemlərdən biridə atmosferin çirklənməsidir. Məlum olduğu kimi, Azərbaycan Respublikası BMT-nin İqlim Dəyişmələri üzrə Çərçivə Konvensiyasının Paris Sazişi üzrə Nəzərdə Tutulan Milli Səviyyədə Müəyyən Edilmiş Töhfələri (İNDC) barədə məlumatları Konvensiyanın Katibliyinə təqdim etmişdir. Paris Sazişi üzrə global iqlim dəyişmələrinin qarşısının alınması təşəbbüslərinə özünün töhfəsi olaraq 2030-cu ilədək istilik effekti yaradan qaz emissiyalarının səviyyəsinin 1990-cı baza ili ilə müqayisədə 35% azaldılmasını hədəf kimi götürmüşdür. Aparılan araşdırmaların nəticələri göstərir ki, ölkəmizin Paris Sazişi üzrə götürdüyü öhdəliklərin yerinə yetirilməsində Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələrindən(ABOEM) istifadəsi hesabına elektrik və

istilik enerjisinin istehsalı mühüm töhfələr verə bilər. Rəsmi statistik məlumatlara görə ölkə üzrə istilik effekti yaradan qaz emissiyalarının təxminən 80%-dən çoxu energetika sektorunun

payına düşür. Eyni zamanda bildiririk ki, Azərbaycan Respublikasında milli iqtisadiyyatın inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi”ndə alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə üzrə istehsal gücünün artırılması üçün əlavə investisiya qoyuluşları və iqtisadiyyatın bütün sahələrində tətbiqi nəzərdə tutulmuşdur. ABOEMDA tərəfindən mövcud və 2030-cu ilədək yaradılacaq bərpa olunan enerji mənbələri üzrə yeni generasiya gücləri və istehsal olunacaq elektrik və istilik enerjisinin həcmi qiymətləndirilmişdir. 2030-cu ildə ABOEM üzrə elektrogenasiya güclərinin 3461 MVt-a çatdırılacağı, istehsalın 8471.1 milyon kVt saat təşkil edəcəyi və nəticədə karbon emissiyasının 3.8 milyon ton azalması proqnozlaşdırılır.

Respublikamızın ərazisinə düşən illik günəş şüalarının bolluğu günəşli günlərin sayının çox olması Abşeron zonasında və Xəzər akvatoriyasında yüksək külək potensialının mövcudluğu bu sahənin inkişaf etdirilməsini zəruri edir. Azərbaycanın yerləşdiyi uyğun coğrafi ərazi üçün təxmini 265 günəşli gün götürülür, başqa sözlə 1200-1800 kVt·saat/m² il, 3,5- 5 kVt·saat/m² gündür. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, illik istehsal gücü 65MVt-a çatdırılması gözlənilən “Azgüntex” MMC-də günəş modulları istehsal edilir. Həmçinin PV panellərin 25 il təminatlı istismar müddəti vardır. PV panellərinin quraşdırılmasının müəyyən üstünlükləri də var. Belə ki, asan quraşdırılır, yanacaq istifadə etmir və əlavə xərclər yoxdur, sadə və etibarlıdır, mobildir. Günəş panelləri hətta regional səviyyədə və uzaq ərazilərdə etibarlı ola bilər, onların olduqca aşağı əməliyyat xərcləri vardır, asan daşınması və köçürülməsi mümkündür, az təmir ediləndir, məhsuldarlıq ehtiyac olan zamanlarda artır, su kanallarında və ya su anbarlarında quraşdırılma imkanı vardır ki, bu da temperaturun yüksək olduğu dövrlərdə suyun buxarlanmasının qarşısını alır və həmdə daha çox sahəni zəbt etmir. Əlavə olaraq sahələrdə gecə işıqlandırması və digər növ avadanlıqların, müşahidə üçün kamera sistemlərinin enerji təchizatını icra edə bilər. Fotovoltaik (PV) modullar nəqli, günəş enerjisindən istifadə üçün səmərəli hesab olunur. Günəş panelləri (fotovoltaik hücrələrin bir sıra) artıq geniş şəkildə tətbiq olunur. Günəş panelləri günəş enerjisini birbaşa elektrik enerjisinə çevirən günəş hücrələrindən (fotovoltaik çeviricilər) ibarətdir. Fotoelektrik çeviricilərin iki növü geniş yayılmışdır: monokristal və polikristal silikondan hazırlananlar. İstehsal texnologiyasında fərqlənirlər. Birincilərinin səmərəliliyi artıq 17-20,1%-ə qədərdir, ikincisi 15%-dir. Bütün qurğunun səmərəliliyinə böyük təsir göstərən günəş batareyasının ən vacib texniki parametri xalis gücdür. Gərginlik və çıxış cərəyanı ilə müəyyən edilir. Bu parametrlər batareyaya daxil olan günəş süasının intensivliyindən asılıdır. Alınan elektrik

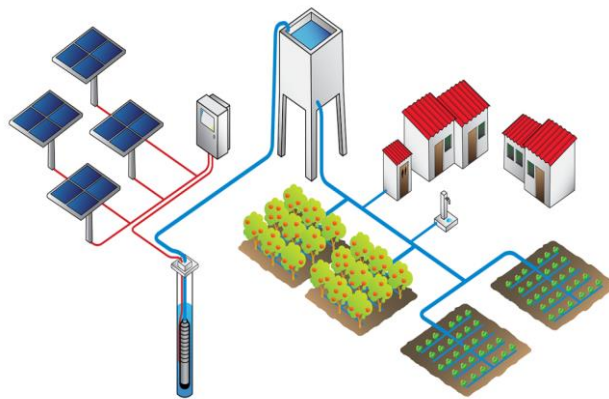
enerjisini akkumulyasiya etmək və axşam saatlarında istifadə etmək üçün akkumulyatorlar da yığmaq mümkündür. Akkumulyatorlar kimyəvi cərəyan mənbəyidir.

Məlumat üçün bildiririk ki, Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi tərəfindən, alternativ və bərpa olunan enerjinin kənd təsərrüfatına tətbiqi ilə əlaqədar Samux Agro-Enerji və Yaşayış Kompleksində (Samux AEYK) günəş su nasos və avtomatik suvarma sistemləri artıq yaradılmışdır. Təcrübə sınaq işləri üçün seçilən ərazidə yüksək elektrik gərginliyi təmin edə biləcək günəş elektrik stansiyası, hər biri saatda 80-100 m³ su verimliliyi olan 3 ədəd artezian quyusu, ekstensiv üsulla suvarılan yonca sahələri, müasir üslubda qurulmuş üzüm və meyvə bağı, suvarma sistemləri mövcuddur. İlk növbədə qeyd etmək lazımdır ki, Samux AEYK-də Günəş Elektrik Stansiyası normal fəaliyyət göstərir, enerji istehsalı yerli hidrometroloji şəraitə uyğundur. ABOEM enerjisi ilə fəaliyyət göstərən suvarma sistemi üzrə pilot layihənin həyata keçirilməsi üçün Samux Günəş Elektrik Stansiyası tamamilə uyğundur.

Günəş su nasosları sistemlərinin strukturu və iş prinsipi.

Sistem əsasən günəş paneli, inverter, kontroller, dərinlik və digər nasoslardan ibarətdir.

Günəş paneli günəşdən aldığı şüaları enerjiyə çevirir, günəş su nasosu inverter/kontrolleri günəş şüalarının elektrik enerjisinə konvertasiyası və günəş şüalarından tam istifadə etməklə nasos sisteminin idarə və nəzarət



Səkil 1. Sturktur sxem

olunması funksiyasını icra edir.

Gücləndirici az

miqdarda günəş paneli tətbiq etməklə enerji təminatını həyata keçirir. Nasos suyu və ya digər mayeni qaldırmaq üçün istifadə edilir.

İş prinsipi: günəş paneli elektrik enerjisini invertora ötürür. İnvertor sabit cərəyanı dəyişən cərəyana çevirir və nasosa ötürür, günəşin intensivliyini nəzərə alaraq sistemi çalışdırır. Günəş su nasos sisteminin üstünlükləri: sistemin əmək sərf etmədən avtomatik çalışması, bütün növ nasoslar üçün uyğunluğu (3 faza dəyişən cərəyan nasosları (daha çox məsləhət görülən), 1 faza dəyişən cərəyan nasosları və sabit cərəyan nasosları daxil olmaqla), giriş gərginliyinin diapazon genişliyi bütün növ PV panellərdən istifadə etməyə imkan verir. Sistemin təhlükəsiz 24 saat çalışması, hibrid enerji təchizatının qurulması, məsafədən idarə olunması və fərdi monitorinqin aparılması mümkünlüyü, yüksək səmərəli daxili MPPT nəzarət sistemi, nasosun xüsusi qorunma sistemi, uzaqdan təhlükəsiz izləmə və idarəetmə sistemi, “on-grid və off-grid” sistemləri, stabil çıxış tezliyinin olması.

Məsafədən idarəetmənin mümkünlüyü: İnternetin mövcud olduğu istənilən yerdən nasos sisteminin monitorinqi və idarə olunması, sistemin cloud/web sistemlərinə inteqrasiyasının mümkünlüyü, sistemin məsafədən diaqnostika və re-konfiqurasiyası, suvarma sistemləri və

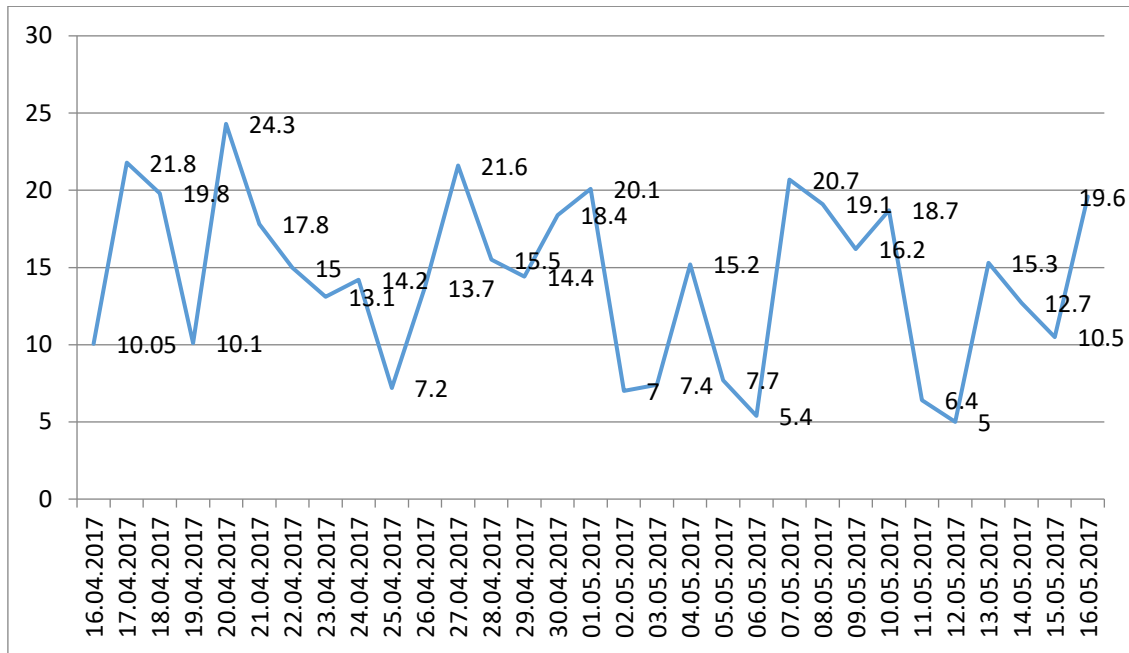
idarəedici qurgulara tətbiqi (torpağın nəmliyinə, suyun səviyyəsinə, havanın rütubətinə görə işləməsi imkanları).

Əlbətdə məsələnin kökündə enerji mənbəyi kimi əraziyə düşən günəş radiasiyası durur. Bu baxımdan radiasiyanın ölçülməsi vacib məsələdir. Burada qeyd etmək istərdim ki, ölkə ərazisinə düşən radiasiyanın ölçülməsi məqsədilə Dövlət Agentliyinin sifarişi ilə müxtəlif bölgələrdə 2011-ci ildən başlayaraq Günəş Müşahidə Stansiyaları quruldu ki, bu da gün ərzində günəşi izləməklə əraziyə düşən radiasiyanı ölçməyə imkan verdi. Günəş izləyici(STR-21G tipli) ilə təmin olunmuş stansiyanın yüksək sinfi dəqiqliyi olan piranometrləri(MS-802 tipli) üfiqi müstəviyə düşən radiasiyasını ölçməyə və xüsusi rəqistratorun(CR-1000 tipli) uyğun yaddaşı hər on dəqiqədən bir alınan məlumatların arxivləşdirilməsinə, eyni zamanda GPRS/GSM sistemlərini dəstəkləyən modem(Fastrack XTND) təchizatı qiymətli günəş məlumatlarını (günəşin azimutu və zeniti də daxil olmaqla düz, diffuz, qlobal, cəm radiasiya, temperatur, rütubət və təzyiq ölçmələrini) idarə etmə mərkəzlərinə ötürməyə imkan verir. Belə avadlıqdan biridə Samux AEYK-də quraşdırılmışdır. Eyni zamanda ölkəmizin müxtəlif bölgələrində quraşdırılan hündürlüyü 85m olan Külək Ölçü Müşahidə Stansiyalarının da üzərində günəş radiasiyasın ölçmək üçün piranometrlər(müvafiq olaraq CMP-3,6,11) quraşdırılmışdır.

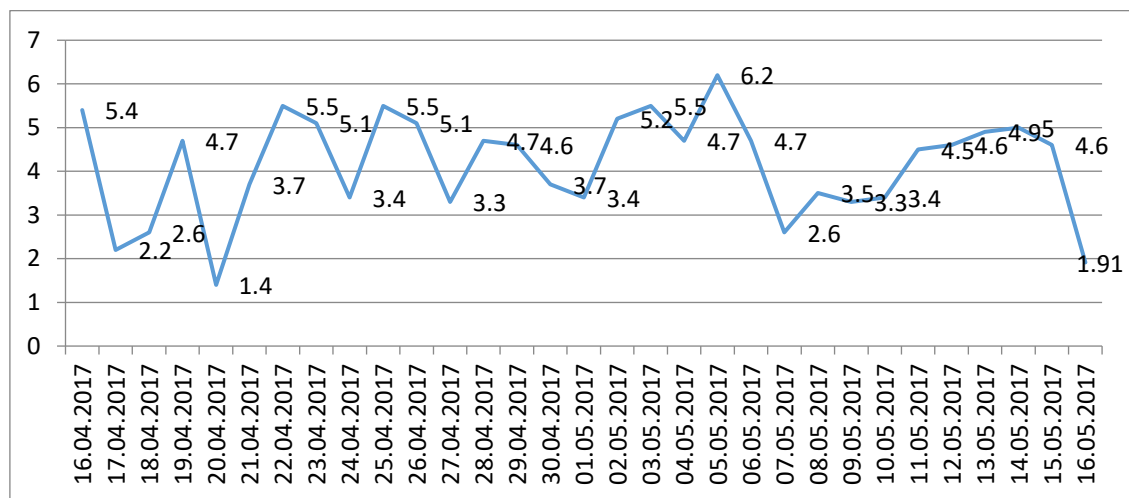


Şəkil 2. Samux günəş monitoring stansiyası

Müqaisə üçün yerli müşahidə stansiyalarıyla Dünya Bankının hazırladığı “Global Günəş Atlası” onlayn proqramının məlumatlarını götürək. Müşahidə stansiyası üzrə 16.04.2017-16.05.2017-ci il tarixlərində stansiyanın sensorları ilə qeydə alınmış və rəqistratorunda arxivləşdirilmiş müşahidə məlumatları əsasında əraziyə düşən cəm və qlobal radiasiyanın qrafikləri tərəfimizdən qurulmuşdur.

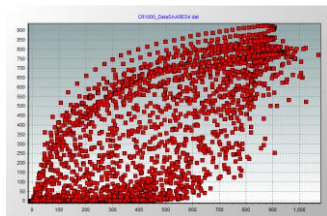


Qrafik 1. Cəm radiasiya, (kVt·s /m² gun)

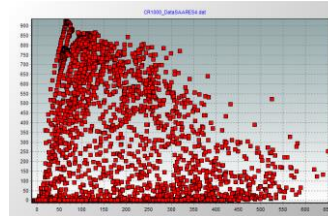


Qrafik 2. Global radiasiya (kVt·s /m² gün)

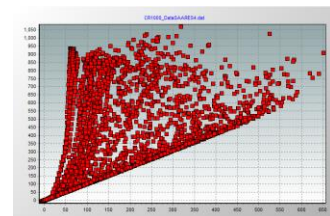
Stansiya məlumatlarının analizi göstərir ki, ərazidə günəş potensialı yüksəkdir və bu da günəş texnologiyalarını tətbiq etməklə kənd təsərrüfatını inkişaf etdirməyə imkan verir.



Düz düşən və Difuz
Global radiasiya



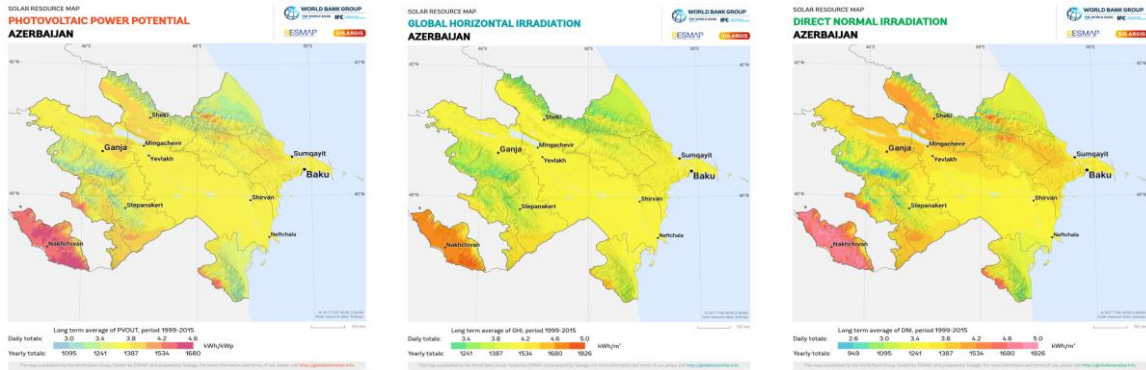
Düz düşən və Qlobal
radiasiya



Difuz və radiasiya

Şəkil 3. Düz, Diffuz və Qlobal radiasiya

Əraziyə düşən günəş radiasiyası Dünya Bankının[V] “Qlobal Günəş Atlası” proqramında da öz əksini tapmışdır. Əraziyə düşən gündəlik və illik orta radiasiya $4.3\text{kVt}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ gün, $1580\text{kVt}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ il təşkil edir.



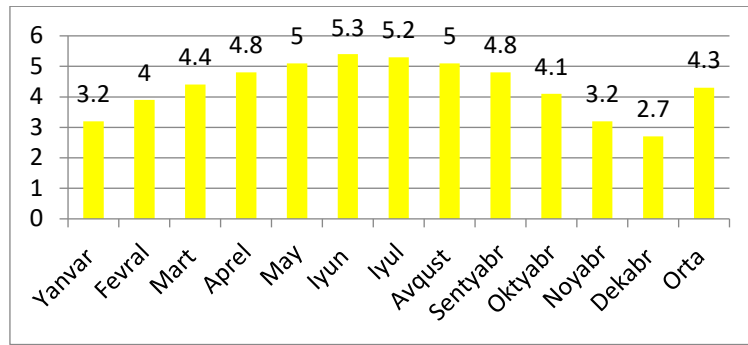
Şəkil 4. Qlobal Günəş Atlası

Günəş radiasiyasına görə PV paneldən enerji istehsalı aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir.

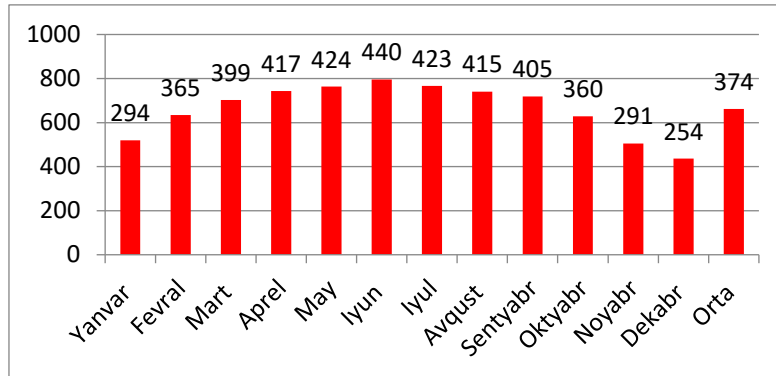
Cədvəl 1. Fotovoltaik enerji istehsalı(Samux)

Orta göstərici	Qlobal üfqi rad. ($\text{kVt}\cdot\text{saat} / \text{m}^2$)	Düz normal rad. ($\text{kVt}\cdot\text{saat} / \text{m}^2$)	Diffuz rad. ($\text{kVt}\cdot\text{saat} / \text{m}^2$)	Qlobal əyilmiş rad. (34 dərəcə əyilmiş uzunmüddətli orta illik və günlük) ($\text{kVt}\cdot\text{saat} / \text{m}^2$)	34 ⁰ əyilmiş gücü 94.5 kVt olan fotovoltaik sistem uzunmüddətli orta illik və günlük enerji istehsalı		Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
					PV enerjisi ($\text{kVt} \cdot \text{saat}$)	Qlobal əyilmiş rad.	
Orta il	1510	1426	658	1747	127921	1741	15
Orta gün	4.1	3.9	1.8	4.7	350.2	4.7	

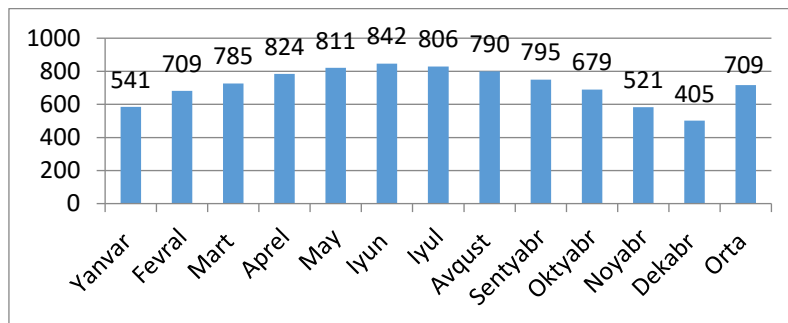
Samux AgroEnerji və Yaşayış Kompleksində dərinliyi 100 metr olan artezian quyusundan günəş enerjisinə görə PV panellərlə istehsal olunan enerji və su hasilatı qrafiki[VI] tərəfimizdən qurulmuşdur. Burada tətbiq olunan su nasosunun gücü $62\text{kVt}\cdot\text{saat}$ dır.



Qrafik 3. Günəş radiasiyası $1570 \text{ kWh} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ il, $4,3 \text{ kWh} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ gün



Qrafik 4. Enerji istehsalı orta illik $136500 \text{ kWh} \cdot \text{saat}$, orta günlük $374 \text{ kWh} \cdot \text{saat}$



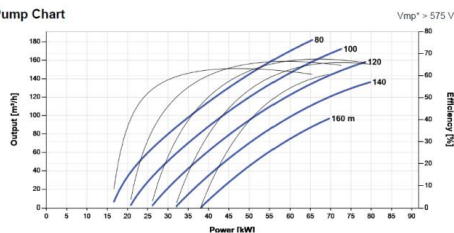
Qrafik 5. Orta illik 259000 m^3 , günlük su hasilatı 709 m^3

Günəş su nasos sisteminin xarakteristikası belədir.

PSk2-100 C-SJ120-8

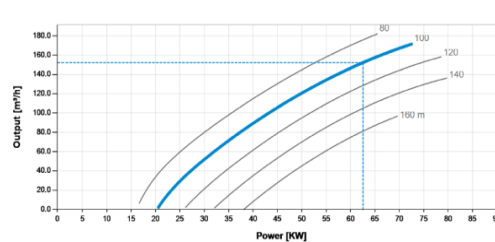
Solar Submersible Pump System for 10" wells

Pump Chart



Solar pumping project

System characteristic



Qrafik 6. Nasosun xarakteristikası

Qrafik 7. PV-nin xarakteristikası

Cədvəl 2. Nasos və PV xarakteristikası

Əsas komponentlər	Texniki parametrlər	Ölçü vahidi	Min.	800Vt/m ² , 20 °C	Max./STC* °C
PV generatoru	Hücrənin temperaturu	°C		46	25
	Temperatur itkisi	%		8.8	
	Çıxılma faizi	%		10	
	Çıxış gücü	Vt		64.200	97.750
	*MGG	V		638	699
	*MGC	A		101	140
	*ADG	V		787	865
	*QQC	A		109	150
	P çıxışı	Vt		64.200	
	V çıxışı	V		637	
	İ çıxışı	A		101	
Motor kabeli	Enerji itkisi	%	1.3	2.4	2.8
Nasos sistemi	Motor gücü	Vt	20.600	62.600	72.400
	Motor gərginliyi	V AC	281	361	380
	Motorun cərəyan şiddəti	A	50	119	131
	Motor sürəti	rpm	2.095	2.685	2.840
	Tezliyi	Hz	37	47	50
	Su sərfi	m ³ /saat	2.4	153	172
	Səmərəlilik	%	3.2	66	66
Boru	Axının sürəti	m/san	0.027	1.7	1.9
	Sürtünmə itkisi	m	0.001	1.2	1.4

* STC-standart test şəraiti 1000Vt/m² radiasiya, 25°C hücrənin temperaturu,

*MGG – maximum gücdə gərginlik, *MGC –maximum gücdə cərəyan, *ADG

– Açıq dövrə gərginliyi, *QQC-Qısa qapanma cərəyanı.

Tətbiq sahələri müxtəlifdir. Yeraltı suyun azalması, suvarma sistemləri, sənaye tətbiqi, damla suvarma və yağmurlama sistemi, çənin doldurulması, təbii qoruğun su təchizatı, pivot sistemləri, kənd su təchizatı, maldarlıq, quşçuluq, hovuz, fəvvarələr və s.



Şəkil 5. PV tətbiq və quraşdırma üsulları

Növbəti cədvəldə əraziyə düşən gündəlik və illik orta radiasiya $4.3\text{kVt}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ gün və ya $1580\text{kVt}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ il təşkil etdiyi halda nasosların hesabı hazırlanmışdır. Bu zaman suyun temperaturu 25°C , PV çirklənmə itlikəri 10%, PV quraşdırma bucağı $34-40^\circ$ götürülmüşdür.

Cədvəl 3. Günəş su nasos sistemlərinin texniki göstəriciləri.

Nasos	Motor tex/göst.		Stansiyanın gücü və enerji istehsalı			Arteziandan su hasilatı			1/V Səmərəlilik
	Su (m^3/saat)	Motor gücü (kVt/saat)	V/gücü (kVt/saat)	Gündülik enerji (kVt/saat)	İllik enerji (kVt/saat)	Dərinlik (m)	Su gündəlik (m^3)	Su illik (m^3)	
PSK2-100 C-SJ120-8	182	75	110	418	152500	80-160	834	304500	7.6
PSK2-40 C-SJ95-7	119	30	51.75	199	72500	80	500	182500	9.7
PSK2-100 C-SJ95-17	113	75	143	547	199500	100-300	900	328500	6.3
PK2-21 C-SJ42-10	62	15	30.0	115	42050	40-90	312	113500	10
PS -4000 C-SJ30-2	44	4	6.0	23	8410	22	209	76200	35
PSK2-100 C-SJ95-17	113	75	172.5	662	242000	100-300	717	261000	4.2
PSK2-7 C-SJ30-6	42	5.5	11.0	44	16100	30-50	204	74300	18
PS2-4000 C-SJ17-4	26	4	6.0	23	8410	45	107	38850	18
PSK2-21 C-SJ75-4	112	15	26.25	101	36800	20-55	423	154000	16
PSK2-21 C-SJ42-10	62	15	30.0	115	42050	40-90	311	113500	10

Günəş su nasoslarının növləri müxtəlifdir.



Tipi: PS9k
Dərinlik: 20-80 m
Saatlıq su sərfiyyatı:
33 -120 m^3/saat



PS15k
12-80 m
41-279 m^3/saat



PS21k
16-80 m
63-306 m^3/saat

Şəkil 6. Səth nasosları



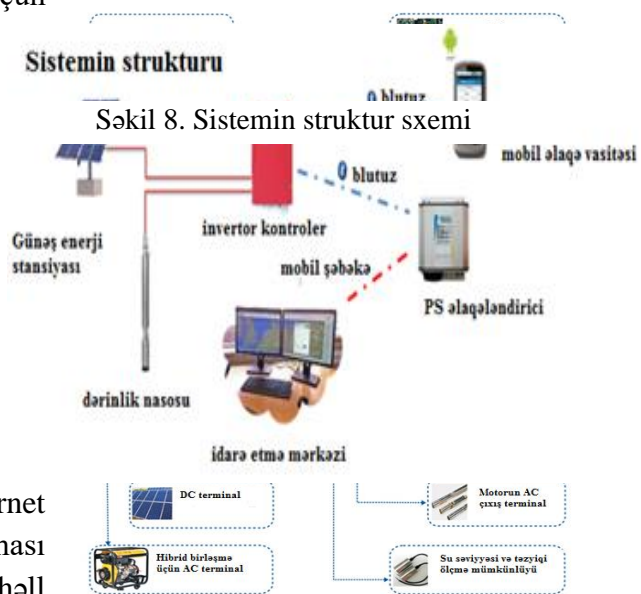
Şəkil 7. Dərinlik nasosları

Smart sistemin və elektron idarəetmənin qurulması

Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, fermerlərin suvarmaya sərf etdikləri vaxta qənaət etmək məqsədilə müasir texnikadan istifadə edərək sistemləri avtomatlaşdırmaq mümkündür. Belə ki, smart sistem həm suya, həm də enerjiyə qənaət baxımından da sərfəlidir. İdarəetmə qurğusunun işinə mikroprosessor vasitəsilə yüksək keyfiyyətlə nəzarət olunur. Bu sistemlərin tam avtomatlaşdırılması üçün digər ölçü cihazları ağıllı idarəetmə sisteminə başqa bir məlumat ötürücü vasitələrlə inteqrasiya oluna bilər. Bu vaxt torpağın temperaturu və rütubətliyi təyin edilir, məlumatlar sistemin idarəetmə blokuna ötürülür və blok alınan məlumatlara əsasən su nasosunu istənilən zamanda avtomatik işə salır və ya söndürür. Həmçinin, xüsusi proqramlar tətbiq etməklə saatlıq, sutkalıq suyun və elektrik enerjisinin hesabını aparmaq mümkündür. Həmçinin alternativ və bərpa olunan enerji hesabına qidalanan su nasosları, su çənləri və su quyularında quraşdırılmış cihazlar məsafədən idarəetmə tətbiq etməklə idarə oluna bilər. Bu gün respublikamızda fəaliyyət göstərən simsiz telefon provayderlərinin GPRS/GSM sistemlərindən istifadə etməklə günəş su nasos(və digərləri) stansiyalarının məlumatlarını onlayn əldə etmək və idarə etmək də mümkündür. Kontroler günəş su nasos sisteminin çox funksiyalı əsas elementlərindən biridir. O mürəkkəb qoşulma sxeminə malikdir və dizel generatorunu və ya şəbəkəni, PV günəş panellərini bu və ya digər formada idarə etməklə nasosun enerji təchizatını təmin edir, eyni zamanda sistemin internet üzərindən idarə olunması üçün şərait yaradır. Nazirlər Kabinetinin 918s sayılı tapşırığında elektron idarə etmənin tətbiqi qeyd olunmuşdur. Qeyd etmək istəyirik ki, elektron idarəetmənin mərhələli həlli üçün əvvəlcədən ətraflı araşdırılmış bir sistem hazırlanmalıdır. Bu layihə hazırlanan zaman bütün detallar nəzərə alınmalıdır. Respublikamızın ərazisində mövcud olan və tikilməsi layihələndirilən artezian su quyuları, su anbarları və digər su mənbələrinin internet üzərindən bir mərkəzdən idarə olunması mümkündür. Bunun üçün mərhələli həll variantını tətbiq etmək lazımdır və məsələyə

Sistemin strukturu

Şəkil 8. Sistemin struktur sxemi



Şəkil 9. Dəstəklənən funksiyalar

kompleks yanaşılmalıdır. İlk növbədə, artezian su quyularına günəş su nasoslarını tətbiq etmək, onların internetə çıxışını təmin etmək və qlobal idarə etməyə hazırlanmaq lazımdır. Sonra SCADA kontrol sistemlərini tətbiq etməklə bir mərkəzdən idarəetməni qurmaq olar. Nəticədə həm stansiyaların yerləşdiyi ərazi, həm də işlək vəziyyətdə olub-olmaması barədə məlumat almaq və onun real vaxt rejimində idarə olunmasını həyata keçirmək mümkün olacaqdır. Bu da həm sudan səmərəli istifadəyə gətirib çıxaracaq, həm də elektrik enerjisi sərfiyyatını minimuma endirəcək və beləliklə kənd təsərrüfatının inkişafına tökan verəcəkdir. Belə ki, elektrik enerjisi təchizatının olmadığı bölgələrdə əkin-biçin sahələrinin suvarılması asanlaşacaq və məhsulun hətta maya dəyərinin aşağı düşməsinə, eyni zamanda əlçatmaz ərazilərdə yerləşən torpaqların reabilitasiyasına səbəb olacaqdır.

Əlavə olaraq bildirmək istərdik ki, hal-hazırda Mərdəkan quşçuluq kompleksində gücü 2.2 kVt-saat olan günəş su nasos sistemi qurularaq istifadəyə verilmişdir. Nasos gücü 0.75kVt-saat, quyunun dərinliyi 67m, nasos dərinliyi 56 metrdir. Arteziandan saatda 3 m³ su vurulur.

Qeyd etmək istərdik ki, stansiya şəbəkə və şəbəkəsiz fəaliyyət göstərir. Hal-hazırda şəbəkəsiz qoşulmuşdur və yaz-yay mövsümü üçün günəşli gündə sutka ərazində 8-9 saat su vura bilir.



Şəkil 10. Günəş su nasos sistemi

Nəticə və təkliflər

Hesab edirik ki, günəş su nasos sistemləri ölkə ərazisində tətbiq olunarsa bu zaman suya, enerjiyə qənaət olunacaq, havanın çirklənməsinin qarşısı alınacaq, əlverişsiz ərazilərdəki münbit torpaqlar kənd təsərrüfatı məqsədləri üçün istifadə olunacaq. Bu gün dünyada texnika və texnologiyalar inkişaf edir, daha ekanom, səmərəli yeni sistemlər yaradılır. Əlbətdə bizimdə işlərimiz bununla bitmir, araşdırmaları davam etdiririk günəş radiasiyasından maksimum yararlanmaq üçün günəş su nasos sistemlərinə daha optimal variantlar tətbiq etməyə çalışırıq. Bunlardan biri günəş izləyicinin günəş su nasos sistemlərinə tətbiqidir. Bununla yanaşı bir başa sabit cərəyanla çalışan su nasosları da bizim maraq dairəmizdədir. Eyni zamanda külək və günəş potensialının birgə mövcud olduğu ərazilərdə hibrid tipli su nasos stansiyalarının qurulması da aktual məsələdir.

Günəş su nasos sistemlərinin özəl fermer təsərrüfatlarına tətbiqi və ümumiyyətlə respublikamızda inkişafı üçün aşağıdakılar təklif edilir:

- Respublika prezidentinin 16 aprel 2015 tarixli fərmanı ilə suvarma sistemləri dəstinə və avadanlıqlarına aqrolizingq yoluyla tətbiq olunan 40%-li güzəşt paketinə alternativ və bərpa olunan enerji qurğuları və bu enerji ilə çalışan su nasoslarının (komponentlərilə birlikdə) əlavə edilməsi, aqrolizingq vasitəsilə günəş su nasos sistemlərinin və avadanlıqlarının satışı;

- Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyinə ölkə ərazisində günəş(və ya hibrid) su nasos sistemləri layihələri icra etmək üçün büccədən hər il əlavə vəsait ayrılması, respublika ərazisində fəaliyyət göstərən banklar tərəfindən günəş (və ya hibrid) su pompaları sistemlərinin maliyələşməsi üçün fermerlərə güzəştli kreditin verilməsi, investisiyaların cəlb edilməsi, yaşıl investisiyalar, yaşıl maliyyənin təşviq edilməsi və sairə;
- Günəş (və ya hibrid) su nasos sistemləri komponentlərinin respublikamızda istehsalı üçün şəraitin yaradılması, və yaxud xaricdən idaxil olunan günəş (və ya hibrid) su nasos avadanlıqlarına tətbiq olunan kömrük rüsumlarının azaldılması.

-
1. *Veshenevsky S.N.* Elektrik ötürücüsündə mühərriklərin xüsusiyyətləri.-1979.
 2. *Perelmuter V.M.* AC motorlarının fırlanma anı və cərəyanına birbaşa nəzarət.-2004.
 3. *Cəfərov T.D.* “Energetika –varlıqla, yoxlugun astanasında”.
 4. *Məmmədov R.R.* Təqdimat “Rasim_Solar water pumping_Azeri.pdf” (<http://area.gov.az/news/146>)
 5. Dünya Bank Qrupunun. “Global Solar Atlas” onlayın proqramı (<https://globalsolaratlas.info/>)
 6. Almaniyanın Lorentz şirkəti. COMPASS proqram təminatının nəticələri(<https://www.lorentz.de/>)
 7. Azərbaycan Meliorasiya və Su Təsərrüfatı ASC. (<http://www.mst.gov.az/>)
 8. Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi. (www.area.gov.az)
 9. ABŞ Campbell Scientific şirkəti. (<https://www.campbellsci.com/>)



Məmmədov Rasim Rafiq oğlu Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi, “Azalternativenerji” MMC-nin Baş Metroloqu. 1998-ci ildə Azərbaycan İnşaat Mühəndisləri Universitetində “Su təchizatı və su mənbələrinin qorunması” ixtisası üzrə bakalavr , 2018-ci ildə isə Ukrayna Milli Texniki Universiteti, Xarkov Politeknik institutunda “Elektromexanika və avtomatlaşdırılmış sistemlər” ixtisası üzrə maqistr dərəcəsi almışdır.

“Azalternativenerji” MMC-də məsafədən idarə olunan nəzarət ölçü cihazlarının, külək ölçü müşahidə stansiyalarının, günəş monitoring stansiyalarının, məsafədən zondlama sistemlərinin, günəş su nasos sistemlərinin, günəş və külək enerjisiylə işləyən hibrit tipli stansiyalarının, külək turbinlərinin təmir sazlanması və montaj işləri üzrə müxtəlif vəzifələrdə çalışmışdır. O, nəzarət ölçü cihazları və avtomatika, avtomatlaşdırılma sistemləri, üzrə dünyanın bir sıra dövlətlərində ABŞ-da, Almaniya, Sinqapurda, Fillipində, Türkiyədə, Fransada, Yunanıstanda, Belçikada və ölkəmizdə keçirilən ixtisasartırma kurslarında müvəffəqiyyətlə iştirak etmişdir. Müvafiq sahə üzrə fəaliyyət göstərmək üçün, Almaniyanın “Elster GmbH”, “Ammonit Measurement GmbH”, “MVV Decon” şirkətlərindən, Sinqapurun “Singapore Environment Institute”dan, Avropa Şurasının “EU and TACIS Manager Training Program”dan, Fillipin hökuməti və AİB-nin birgə təşkil etdiyi “Argon National Laboratory”dan, Avropanın “International Business Institute” və “EU-SIM4NE”dan, Azərbaycan respublikası “Quality Association LTD” və “Baku Computer Lyceum”dan sertifikatlar almışdır.

Manuscript requirements

1. A first page of a manuscript must include UDC index (align left), given name, middle name and family name of an author, co-authors, a title. The manuscript must contain an abstract up to 400-600 characters including spaces and 5-6 keywords.
2. The title of the article, the abstract and the names of the authors must be done in Russian and English and presented in the beginning of the manuscript.
3. The manuscript must be structured. A standard structure is recommended: introduction, research objectives (including problem statement), results (main part), discussion, conclusion.
4. The text of the manuscript should be provided in printed form and on electronic media. The text must be formatted accordingly: Times New Roman, 12 pt, 1.15 spacing, all margins 2 cm. Pages must be numbered from the bottom right. The volume of the manuscript should not exceed 10-15 A4 pages including figures, table and references or no more than 40 000 characters including spaces. The recommended number of figures is 2-3.
5. Tables are in the body of the manuscript, formatted with 1.15 interval, 11 pt.
6. The numbering of the formulas must be continuous throughout the article and indicated in brackets in ascending order (by numbers 1, 2, etc.) on the right side.
7. Illustrations must be provided in the text of the manuscript in electronic form. In the figures unnecessary parts and inscriptions should be avoided, where all the inscriptions should be replaced by numbers or letters. All the figures must be referenced and explained in the captions or in the text. The lines in the figures should be clear (5-6 pix), the width of the figures should not exceed 140 mm, height 200 mm. The font of letters and numbers in the figures must be Times New Roman (9-10 pt). The figures should be black and white, with different types of hatching (to allow further reduction of the figures).
8. Figure captions are provided in the text of the manuscript, formatted 1.15 interval, 12 pt.
9. The list of necessary references must be in the end of the manuscript with a continuous numbering in Arabic numerals. When using materials from other sources correct referencing to these sources is required. In the text of the manuscript references must be given in square brackets [1]. The bibliographic description in the reference list is given in the following order:

Monography (book): surname, initials of the author (s), full name of the monograph, place of publication, publisher, year of publication;

For periodicals – surname, initials of the author (s), title of the article, title of the journal, year of publication, volume, number, pages. Bibliographic description in Russian must also be presented in Latin transliteration.
10. After the list of references, information about the author (s) must be given: position, academic degree, title, e-mail or contact phone number.

CONTENTS

Message From Editors.....	3
Thermal Desalination Of Softened Seawater With Mechanical Steam Compression <i>Agamaliyev M.M., Ahmadova C.A., Mammadbayova M.M.</i>	4
Modeling The Starting Process Of An Asynchronous Electric Drive At Various laws Of Change Of Frequency And Voltage <i>Hasanov Z.A., Khanakhmedova S.A., Qasimov S.K.....</i>	17
Evaluation Of The State Of The Electric Power System Models Of Probability-Fuzzy Systems <i>Guliyev H.B.....</i>	27
Chemical Analysis Of Geothermal Waters Of Guba Region Of Azerbaijan <i>Babayeva S. Sh., Safarov J.T., Hassel E.P.....</i>	43
Solar Water Pump Systems And Applications <i>Mammedov R.R.....</i>	55