

УДК 621.357:681.5

МНОГОМЕРНАЯ СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ В ВАННЕ С МНОГОСЕКЦИОННЫМИ АНОДАМИ

А. Г. Лютов¹, А. Р. Ишкулова²

¹lutov1@mail.ru, ²aliya.ishkulova@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 21.03.2016

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема получения равномерного гальванического покрытия. Проанализированы современные способы управления процессом нанесения гальванического покрытия в ваннах с многосекционными анодами. Произведено исследование влияния параметров процесса на равномерность покрытия. Осуществлен анализ и выбор методов многомерного поиска экстремума, предложена модель многомерной системы экстремального управления плотностью тока, межэлектродным расстоянием и интенсивностью перемешивания электролита в процессе осаждения покрытия и исследована эффективность предложенного способа управления.

Ключевые слова: гальваническое покрытие; равномерность; многосекционные аноды; экстремальное управление; методы многомерного поиска экстремума.

ВВЕДЕНИЕ

Получение равномерного гальванического покрытия (ГП) является одной из наиболее сложно достижимых задач, так как на распределение толщины металлического слоя оказывает влияние большое количество факторов. В большей степени равномерность зависит от конструкции и форм анодов и взаимного расположения их и обрабатываемых изделий в ванне, состава, свойств и температуры электролита.

Одним из современных способов уменьшения влияния геометрических факторов на равномерность ГП является применение систем анодов, состоящих из отдельных секций одинаковых размеров. Для управления процессом осаждения ГП в многоанодной ванне с целью улучшения равномерности покрытия предложено несколько способов заключающихся:

1. В управлении током и расположением рядов анодных секций с целью примерного повторения геометрических форм катода [1];
2. В управлении током на каждой отдельной анодной секции в зависимости от удаленности ее от катода [2];
3. В управлении длительностью подачи тока на каждую отдельную секцию [3];

4. В циклическом включении анодных секций по заранее определенной программе [4];

5. В управлении режимом реверсирования тока [5].

К недостатку всех вышеуказанных способов управления можно отнести то, что в них не учитывается интенсивность перемешивания электролита, которая оказывает значительное влияние на распределение потенциала в электролизерах, соответственно и на распределение толщины покрытия, кроме этого ее необходимо учитывать при задании плотности тока.

В данной работе для улучшения равномерности распределения толщины ГП предложена многомерная система экстремального управления межэлектродным расстоянием, плотностью тока и интенсивностью перемешивания электролита в процессе нанесения ГП в ванне с многосекционными анодами. Задачей управления такой системы является обеспечение экстремума коэффициента равномерности ГП.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ГП

Проведено исследование равномерности распределения толщины покрытия по поверхности катода в электролизерах с многосекционными анодами, при различных параметрах процесса,

таких как плотность тока, концентрация ионов осаждаемого металла и интенсивность перемешивания. Исследования проводились при помощи математической модели [6].

Сущность проведенных исследований заключается в установлении зависимости коэффициента равномерности:

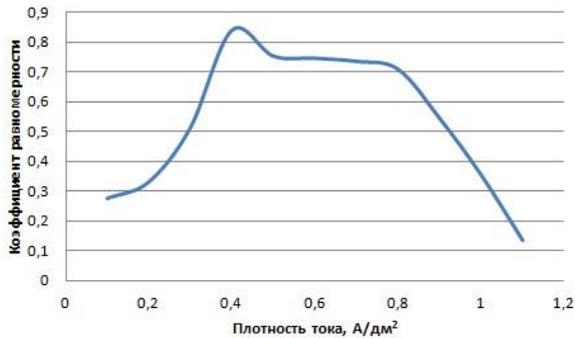


Рис. 1. График зависимости коэффициента равномерности от плотностях тока



Рис. 3. График зависимости коэффициента равномерности от интенсивности перемешивания электролита

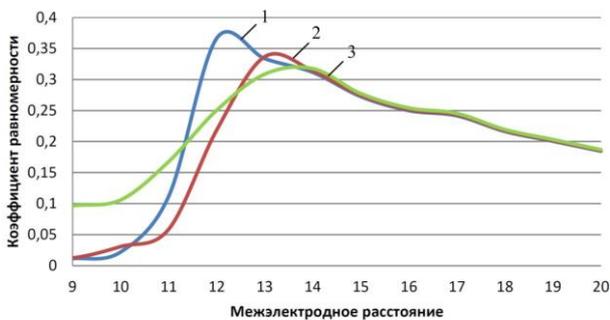


Рис. 5. Графики зависимости коэффициента равномерности от МЭР при различных концентрациях:

- 1 – при концентрации 10 г/л;
- 2 – при концентрации 9 г/л;
- 3 – при концентрации 8 г/л

– от плотности тока и межэлектродного расстояния (рис. 1);

– от концентрации ионов осаждаемого металла и межэлектродного расстояния (рис. 2);

– от интенсивности перемешивания электролита и межэлектродного расстояния (рис. 3);

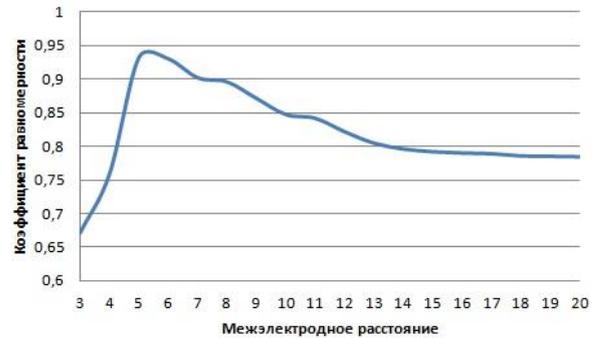


Рис. 2. График зависимости коэффициента равномерности от межэлектродного расстояния

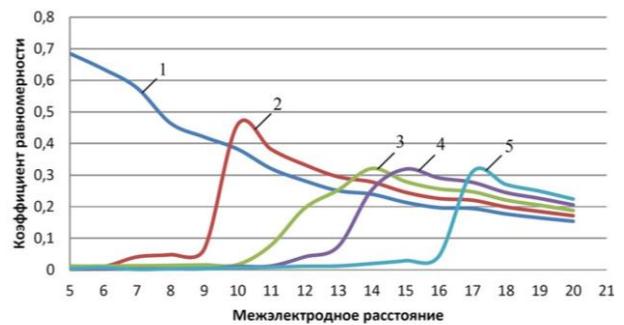


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента равномерности от МЭР при различных плотностях тока:

- 1 – при плотности тока 1 А/дм²;
- 2 – при плотности тока 1,5 А/дм²;
- 3 – при плотности тока 2 А/дм²;
- 4 – при плотности тока 2,5 А/дм²;
- 5 – при плотности тока 3 А/дм²

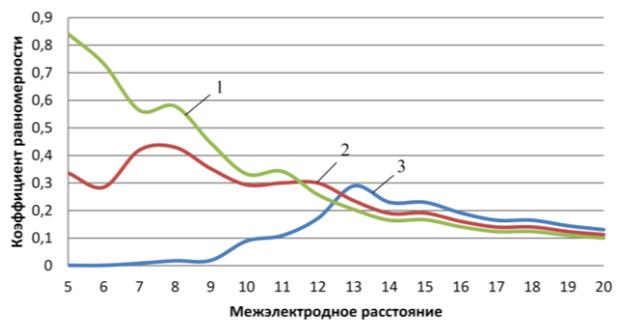


Рис. 6. Графики зависимости коэффициента равномерности от МЭР при различных интенсивностях перемешивания электролита:

- 1 – при интенсивности перемешивания 2 см/с;
- 2 – при интенсивности перемешивания 1 см/с;
- 3 – при интенсивности перемешивания 0,5 см/с

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов многомерного поиска экстремума

Метод поиска экстремума	Увеличение значения коэффициента в точке максимума по сравнению с начальной точкой поиска	Количество точек расчета	Длительность поиска
Случайного поиска	0,1534	23	138 с.
Гаусса-Зейделя	0,1207	9	54 с.
Наискорейшего спуска	0,4403	30	180 с.
Градиентного спуска	0,5996	47	282 с.

На основании полученных графиков можно сделать вывод, что зависимость коэффициента равномерности от плотности тока, межэлектродного расстояния и интенсивности перемешивания носит экстремальный характер. Кроме того, при различных параметрах процесса электролиза наиболее равномерное покрытие получается, при различных межэлектродных расстояниях (рис. 4, 5 и 6).

Таким образом, для обеспечения наиболее равномерного распределения толщины ГП по поверхности катода необходимо обеспечить поддержание плотности тока, межэлектродного расстояния и интенсивности перемешивания электролита в точке экстремума коэффициента равномерности.

АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТОДА ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА ПАРАМЕТРОМ ПРОЦЕССА

Для получения наиболее равномерного распределения толщины металлического слоя в процессе электролиза предлагается применить алгоритм многомерного поиска экстремума коэффициента равномерности.

Для поиска экстремума коэффициента равномерности были рассмотрены методы многомерного поиска экстремума. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика методов многомерного поиска экстремума.

Исходя из полученных данных, представленных в таблице, предлагается использовать метод градиентного спуска, с помощью которого определяются значения параметров процесса, обеспечивающих наибольшее приближение коэффициента равномерности ГП к экстремальному значению. Данный метод обладает наименьшим быстродействием, но вполне может быть применим, так как скорость изменения концентрации электролита, соответственно проводимости и вязкости, в процессе осаждения покрытия не велика.

Для оценки предложенного алгоритма была разработана имитационная модель процесса осаждения ГП в среде Simulink (рис. 7), которая включает в себя блок поиска экстремума коэффициента равномерности по математической модели. Данный блок содержит в себе алгоритм многомерного поиска экстремума по методу градиентного спуска и математическую модель процесса осаждения гальванического покрытия [6]. На входы блока поиска экстремума поступает следующая информация:

- форма и размеры катода;
- параметры процесса, такие как свойства осаждаемого металла, удельная проводимость, вязкость, температура и интенсивность перемешивания электролита;
- начальные значения плотности тока и межэлектродного расстояния;
- граничные условия, которые пересчитываются на каждом расчетном шаге.

На выходе блока получаем информацию о равномерности распределения гальванического покрытия по поверхности катода, а также значения плотности тока, межэлектродного расстояния и интенсивности перемешивания электролита в точке экстремума.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА

Проведено исследование эффективности предложенного алгоритма экстремального управления процессом нанесения цинкового покрытия в гальванической ванне (рис. 8), размерами 20×20×30 см, с многосекционными анодами и катодом (рис. 9). Многосекционный анод представляет собой систему из 25 анодных секций размерностью 5×5, состоящий из квадратных пластин одинакового размера 3×3 см и расстоянием между секциями 1 см.

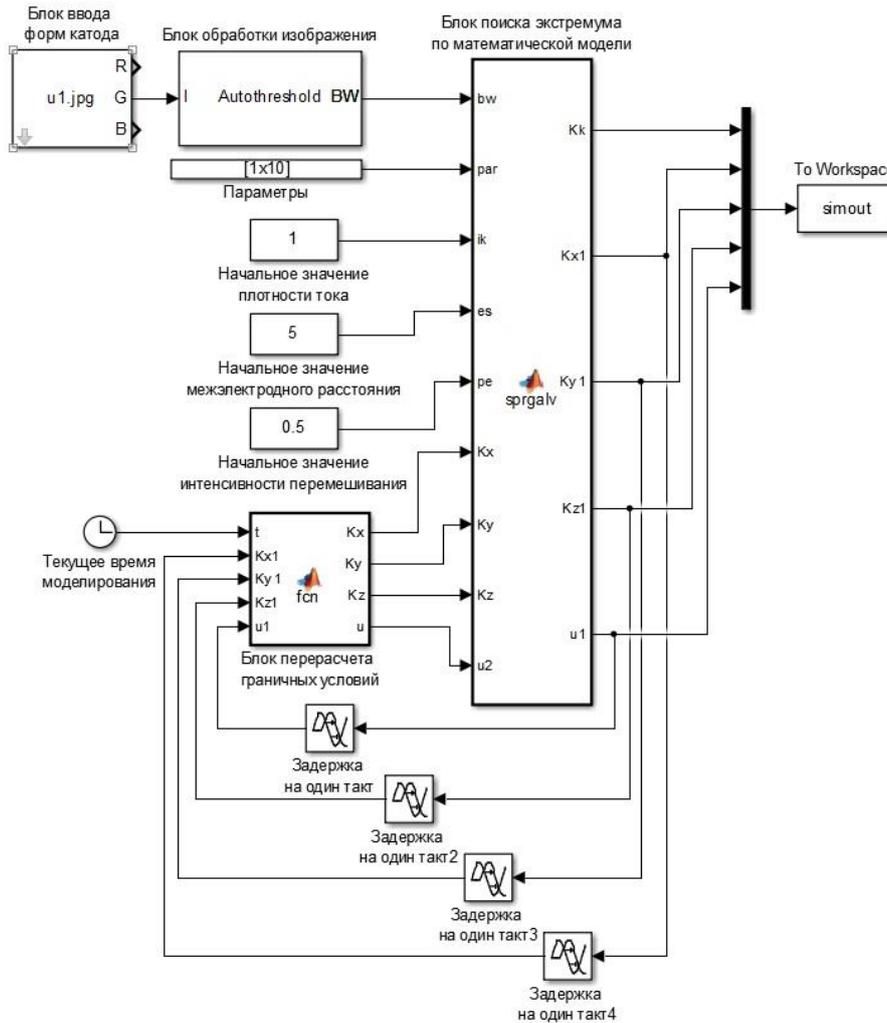


Рис. 7. Структурная схема Simulink-модели многомерной системы экстремального управления процессом нанесения гальванического покрытия

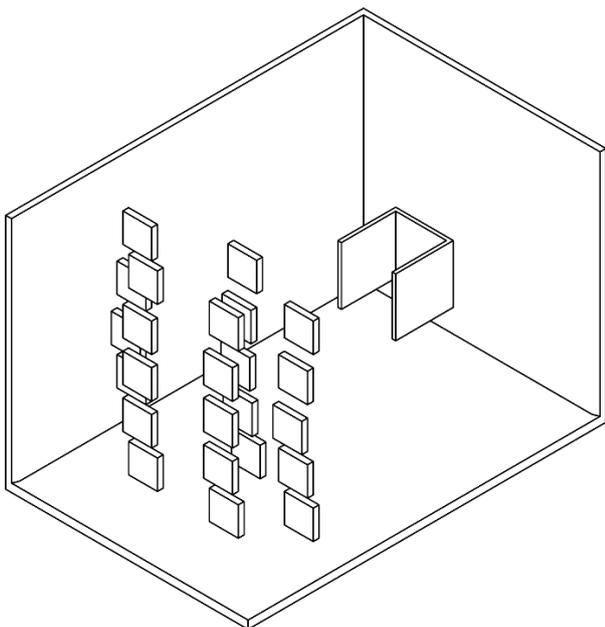


Рис. 8. Схематичное изображение гальванической ванны с многосекционными анодами

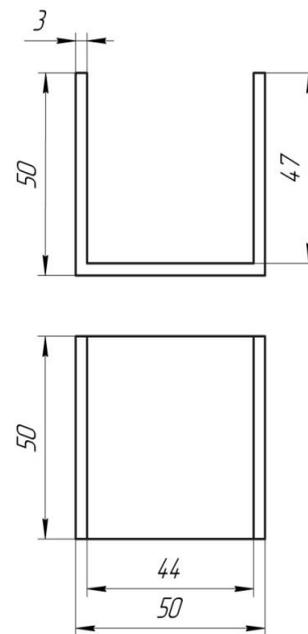


Рис. 9. Конфигурация и размеры катода

Моделирование производилось для процесса нанесения цинкового покрытия в ванны с многосекционными анодами с выровненным межэлектродным расстоянием. Расчет производился при следующих параметрах:

- состав электролита – ZnO (8-10 г/л), NaOH (140–150 г/л), экомет Ц1 (3-4 г/л), Na₂CO₃ (35-40 г/л);
- температура электролита – 17° С;
- удельная электропроводность 0,118 Ом⁻¹×см⁻¹
- выход по току – 100 %;
- длительность нанесения покрытия – 20 мин.

В результате моделирования (рис. 10) процесса нанесения ГП без экстремального регулирования плотностью тока, межэлектродным расстоянием и интенсивностью перемешивания электролита в ходе процесса осаждения гальванического покрытия было получено значение коэффициента равномерности равным 0,3567, с регулированием – 0,6943, т.е. практически в 2 раза.

Таким образом, применение многомерной системы экстремального управления процессом нанесения ГП с целью улучшения равномерности распределения толщины гальванического покрытия является целесообразным и эффективным.

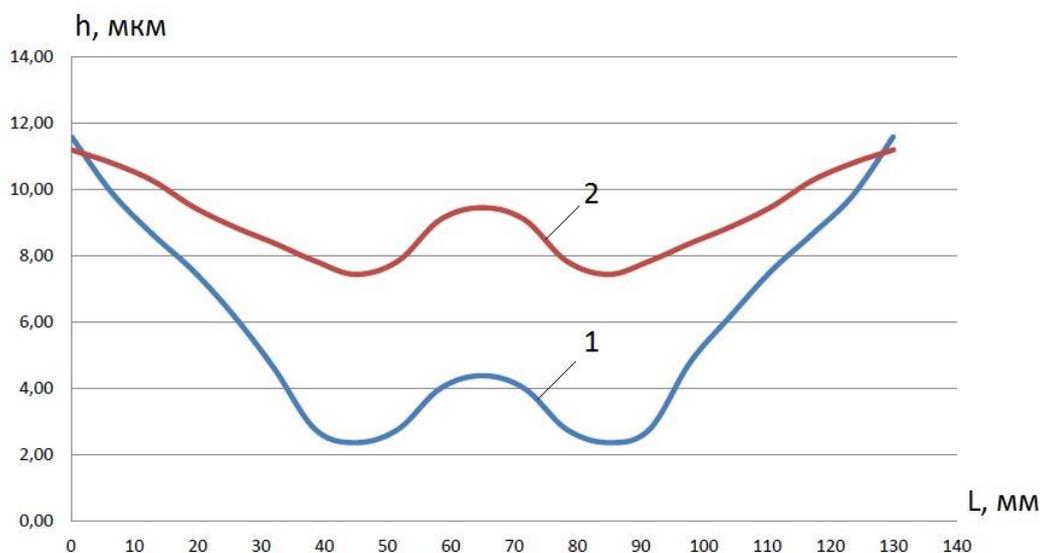


Рис. 10. Распределение толщины покрытия по поверхности катода для сечения по плоскости, полученное без регулирования (1), с регулированием (2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что коэффициент равномерности экстремально зависит от плотности тока, межэлектродного расстояния и интенсивности перемешивания и для обеспечения наиболее равномерного распределения толщины покрытия необходимо поддерживать данные параметры в точке экстремума.

Исследования систем с экстремальным регулированием плотности тока, межэлектродного расстояния и интенсивности перемешивания электролита и без регулирования показали, что многомерная система экстремального управления параметрами процесса осаждения ГП может значительно улучшить равномерность распределения толщины покрытия по всей поверхности, обрабатываемых изделий, и повысить качество готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1048005 СССР, МКИЗ С 25 D 21/12. Способ автоматического управления процессами электроосаждения металла покрытия / А.Н. Алексеев и др. (СССР). № 3423910/22-02; заявл. 14.04.82; опубл. 15.10.83, бюл. № 38. [A. N. Alekseev, et al. Sposob avtomaticheskogo upravlenija processami jelektroosazhdenija metalla pokrytija [Automatic process control method of electrodeposition coating of metal]. Patent USSR, no. 3423910, 1983.]

2. А. с. 1463810 СССР, МКИ4 С 25 D 21/12. Устройство для нанесения гальванических покрытий / Н.Д. Кошевой и др. (СССР). № 4316493/31-02; заявл. 31.08.87; опубл. 30.03.83, бюл. № 9. [N. D. Koshevoy et al. Ustrojstvo dlja nanesenija gal'vanicheskikh pokrytij [An apparatus for plating] Patent USSR, no. 4316493, 1983.]

3. Литовка Ю.В. Метод расчёта потенциалов анодов в многоанодной гальванической ванне / Ю.В. Литовка, И.А. Дьяков // Теоретические основы химической технологии. 1997. Т. 31, № 2. С. 218–221. [Y. V. Litovka, I. A. Diakov, “The method of calculating the potential of the anodes in the plating bath abounding”, (in Russian), in *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, vol. 31, no. 2. pp. 218-221, 1997.]

4. Соловьев Д. С. Оптимальное управление гальваническими процессами с циклически включаемыми анодными секциями: дис. канд. техн. наук. Тамбов: ТГТУ, 2014. 166 с. [D. S. Soloviev, *Optimal control of electroplating processes to cycle on the anode sections*, (in Russian), dis. of the cand. tech. sciences. Tambov: Tambov State Technical University “TSTU”, 2014.]

5. Конкина В. В. Математическое моделирование и оптимальное управление реверсным режимом нанесения гальванических покрытий в многоанодной ванне / Конкина В. В., Соловьев Д. С., Литовка Ю.В. // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 2. С. 7–15. [V. V. Konkina, D. S. Soloviev, Y. V. Litovka, “Mathematical modeling and optimal control of reverse plating regime mnogoanodnoy bath”, (in Russian), in *Vestnik ASTU. Ser.: Management, Computer Science and Informatics*, no. 2, pp. 7-15, 2015.]

6. Лютов А. Г. Моделирование процесса нанесения гальванических покрытий с учетом геометрических конфигураций электродов / А. Г. Лютов, А. Р. Ишкулова // Вестн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2015. Т. 20, № 4. С. 45–48. [A. G. Liutov, A. R. Ishkulova, “Modeling plating process based on geometric configurations of electrodes”, (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 20, no. 4. pp. 45-48., 2015.]

ОБ АВТОРАХ

ЛЮТОВ Алексей Германович, проф., зав. каф. автоматиз. технол. процессов. Дипл. инж. электронной техники (УАИ, 1985). Д-р техн. наук по сист. анализу, упр. и обр. информ. (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. упр. сложн. техн. объектами.

ИШКУЛОВА Алия Рифовна, аспирант каф. автоматиз. технол. процессов. Дипл. инженер (УГАТУ, 2012). Готовит дисс. об автоматизации технологических процессов нанесения гальванических покрытий.

METADATA

Title: Modeling of plating process in view of geometrical configurations of electrodes.

Authors: A. G. Lutov¹, A. R. Ishkulova²

Affiliation:

^{1,2} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ²Aliya.Ishkulova@yandex.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 2 (72), pp. 34-39, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: In this article the problem of obtaining a uniform electroplating. Analyzed the modern process control techniques plating baths with multi-section anodes. The research on the influence of process parameters on the uniformity of the coating. The analysis and the choice of methods of multivariate extremum search, we propose a model of extreme multidimensional control system current density, distance between electrodes and electrolyte mixing intensity during the coating deposition and investigated the effectiveness of the proposed control method.

Key words: plating; uniformity; multisection anodes; extreme control; methods of multidimensional search of extremum

About authors:

LUTOV, Alexey Germanovich, Prof., Head. Dept. of Automated Technological Processes. Dipl. the engineer of electronic technics (UAI, 1985), Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2005).

ISHKULOVA Aliya Rifovna, Postgrad. student. Dipl. engineer (USATU 2012).