

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.762.27

**Е.В. Агеева**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**Е.П. Новиков**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru)

**Е.В. Агеев**, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev\_ev@mail.ru)

## РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ПОРОШКА, ПОЛУЧЕННОГО В ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ

*Применение гидроксида в промышленности связано с получением чистого алюминия. Технологический процесс начинается с обработки руды, содержащей оксид алюминия, который по завершению процесса переходит в гидроксид. Выход продукции в данной реакции достаточно высок, так что после завершения остается практически голая порода. Далее проводится операция разложения гидроксида алюминия.*

*Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов алюминия, является метод электроэрозионного диспергирования ЭЭД, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса.*

*Целью настоящей работы являлось проведение рентгеноструктурного анализа порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов электротехнического алюминия в воде дистиллированной.*

*Для получения алюминиевого порошка методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку чистотой 99.9 %, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – водой дистиллированной. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 120 В, частота импульсов 150 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц алюминиевого порошка.*

*На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на исследование рентгеноструктурного состава порошка алюминия, полученного электроэрозионным диспергированием отходов алюминиевой проволоки чистотой 99.9 % в дистиллированной воде, при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 120 В, частота импульсов 150 Гц установлено, что алюминиевый порошок состоит из гидроксида алюминия двух модификаций: байерита и гиббсита; а также оксигидроксида алюминия модификации бемит.*

*Ключевые слова:* электроэрозионное диспергирование, алюминиевый порошок, рентгеноструктурный состав, гиббсит, байерит, бемит.

\*\*\*

### Введение

Порошковая металлургия дает возможность свести к минимуму отходы металла в стружку, получать изделия сложной формы, упростить технологию изготовления деталей и снизить трудоемкость их производства.

Коэффициент использования металла в ряде случаев достигает 97 %.

Размеры частиц порошка обычно составляют 0,1 мкм – 0,1 мм. Более крупные

фракции называют гранулами, а более мелкие – пудрой [1-3].

Применение гидроксида в промышленности связано с получением чистого алюминия. Технологический процесс начинается с обработки руды, содержащей оксид алюминия, который по завершению процесса переходит в гидроксид. Выход продукции в данной реакции достаточно высок, так что после завершения остается практически голая порода.

Далее проводится операция разложения гидроксида алюминия.

Процедура не требует специальных условий, так как вещество хорошо разлагается при нагревании до температуры выше 180 градусов по Цельсию. Этот этап позволяет выделить оксид алюминия. Это соединение является базовым или вспомогательным материалом для изготовления большого количества промышленных и бытовых изделий. При необходимости получения чистого алюминия используют процесс электролиза с добавлением в раствор криолита натрия. Катализатор забирает из оксида кислород, и чистый алюминий оседает на катоде [4].

Составы, содержащие гидроксиды металлов, относятся к числу широко используемых огнезащитных соединений. Это обусловлено их низкой стоимостью по сравнению с составами на основе галогенов или фосфора. Применение гидроксидов в качестве антипиренов постоянно возрастает, что обусловлено давлением экологических организаций, обеспечиваемых влиянием галогенсодержащих соединений на окружающую среду [5].

Для улучшения свойств лакокрасочных материалов и эксплуатационных характеристик лакокрасочных покрытий (прочности, влаго-, свето- и термостойкости), а также для экономии пигментов в состав красок вводят наполнители (25 – 50% от массы пигмента). Наполнителями служат неорганические природные (мел, слюда, тальк, каолин) и синтетические (оксид алюминия, гидроксид алюминия, карбонат бария) вещества. Наиболее часто используют белые наполнители, серые и цветные наполнители находят ограниченное применение. Укрывистость пигментов при введении наполнителей практически не ухудшается.

Гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$  – бесцветное твердое вещество, нерастворимое в воде, входит в состав многих бокситов. Существует в четырех полиморфных модификациях. На холоде образуется  $\alpha$ - $Al(OH)_3$  – байерит, а при осаждении из горячего раствора  $\gamma$ - $Al(OH)_3$  – гиббсит (гидаргилит), обе кристаллизуются в моноклинной сингонии, имеют слоистое строение, слои состоят из октаэдров  $[Al(OH)_6]$ , между слоями действует водородная связь. Существует также триклинный гиббсит  $\gamma'$ - $Al(OH)_3$ , триклинный нордстрандит  $\beta$ - $Al(OH)_3$  и две модификации оксогидроксида  $AlO(OH)$  – орторомбические бемит и диаспор. Аморфный гидроксид алюминия имеет переменный состав  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ . При нагревании выше 180°C разлагается [6].

Одним из перспективных методов получения порошка практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов алюминия, является метод электроэрозионного диспергирования ЭЭД, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [7, 8].

Целью настоящей работы являлось проведение рентгеноструктурного анализа (РСА) порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов электротехнического алюминия в воде дистиллированной.

### **Материалы и методы исследования**

Для получения алюминиевого порошка методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку чистотой 99,9 %, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – водой дистиллированной.

ной [9-11]. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 120 В, частота импульсов 150 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц алюминиевого порошка.

Исследование фазового состава порошков алюминия проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV в излучении  $\text{Cu-K}\alpha$  (длина волны  $\lambda = 0.154178$  нм) с использованием щелей Соллера. Съемку дифракционного спектра для фазового анализа проводят по схеме  $\theta$ - $2\theta$  сканирования с фокусировкой по Брегу-Брентано в интервале углов  $5 \dots 100$  град.  $2\theta$ . Съемку осуществляют в поточечном режиме с шагом сканирования  $\Delta(2\theta) = 0,02$  град, скоростью  $0,6$  град/мин, рабочее напряжение  $45$  кВ, ток  $200$  мА. Для уточнения профиля экспериментальных рентгенограмм использовали программный пакет PDXL RIGAKU. Вычитание фона проводили методом Сонневельда – Виссера, сглаживание экспериментального профиля методом Савицкого – Голая, разделение компонент  $k_{\alpha 1}$  и  $k_{\alpha 2}$  методом Рачингера. Для описания дифракционных максимумов использовали суперпозицию функции Гаусса и функции Лоренца. Аппроксимация каждого из рефлексов на дифрактограммах исследуемых образцов функцией псевдо – Войгта позволила точно определить положение рефлексов с учетом смещения, вызванного перекрытием рефлексов, на половине максимума интенсивности (FWHM) и интенсивность. Фазовый состав покрытий определяли с помощью БД ICDD PDF-2 (2008).

Рентгеновский дифрактометр Rigaku Ultima IV применяется для исследования фазового анализа проб, количественного фазового анализа проб, определения областей когерентного рассеяния и микронапряжений, а также для текстурного анализа.

Технические характеристики рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV представлены в таблице 1.

Особенностями дифрактометра серии Ultima IV являются:

- радиус гониометра  $185$  мм на выходной пучок;

- щели переменной ширины, что позволяет сохранять неизменной облучаемую поверхность образца;

- $\Theta/\Theta$  гониометр вертикального типа для всех трех конфигураций, адаптированный для установки широкого набора дополнительных оптических компонентов.

- новая модель высокоскоростного рентгеновского детектора D/teX Ultra позволяет проводить во  $100$  раз более высокоскоростные измерения по сравнению с предыдущими детекторами этой фирмы. Это детектор высокой скорости счета, высокого энергетического уровня разрешения и низкого уровня шума;

- многофункциональная приставка для анализа текстур и остаточных напряжений с поворотными столиками / Multi purpose attachment MPA-IV  $\chi(\text{kai})$ -  $\phi(\text{phi})$  – Z stage. Автосменщик образцов ( $10$  кювет). Программное обеспечение: качественный и количественный фазовый анализ, база данных дифрактограмм ICDD PDF-2, анализ кристалличности, анализ остаточных напряжений, построение прямых и обратных полюсных фигур, функция распределения ориентировок.

Параметры решеток алюминиевого электроэрозионного порошка представлены в таблице 2, а рентгенограмма – на рисунке.

Таблица 1

## Технические характеристики рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV

Параметр	Описание
Источник излучения	Малогабаритный с использованием высокочастотного преобразователя, максимальная мощность – 3кВт, напряжение на трубке – 20-60кВ, ток трубки – 2-60мА, материал анода трубки – Cu , размер фокуса - 0.4 x 12 мм
Гониометр	Θ/Θ вертикального типа, образец неподвижен. Метод сканирования – независимое сканирование каждой оси Θs или Θd; режим сканирования со связанными осями Θs/Θd. Радиус гониометра – 185мм; диапазон углов сканирования в режиме связанных осей Θs/Θd от – 30 до +1620(2Θ); оси Θs от – 1.50 до +810, оси Θd от –950 до +1200; шаг сканирования для оси Θs или Θd 0,0001 – 60; в режиме связанных осей 0,0002 – 120(2Θ). Скорость сканирования в режиме связанных осей Θs/Θd 0.020~1000 (2Θ), независимо каждой оси 0.010~500; скорость позиционирования 5000/мин (2Θ)
Щели	С управляемой шириной на выходной и дифрагированный пучок. Два стандартных комплекта щелей Соллера для работы в фокусирующей геометрии и геометрии псевдопараллельного пучка
Юстировка	Полностью автоматическая для гониометра, амплитудного дискриминатора, счетчика, оптических узлов и дополнительных приставок
Детектор	Сцинтилляционный счетчик с линейностью 700000имп. (стандарт), однокоординатный полупроводниковый детектор D/teX Ultra с чувствительностью, превышающей чувствительность сцинтилляционного счетчика на два порядка

Таблица 2

## Параметры решеток алюминиевого электроэрозионного порошка

Фазовый состав электроэрозионного алюминиевого порошка			Параметры кристаллической решетки, нм	Тип кристаллической решетки
наименование	модификация	химическая формула		
Окси-гидроксид алюминия	Бемит	AlOОН	a = 0,290; b = 1,204; c = 0,381.	орторомбическая кристаллическая решётка
Гидроксид алюминия (III)	Байерит	Al(OH) <sub>3</sub>	a = 0,506; b = 0,867; c = 0,471.	моноклинная кристаллическая решётка
	Гиббсит	Al(OH) <sub>3</sub>	a = 0,866; b = 0,507; c = 0,971.	моноклинная кристаллическая решётка

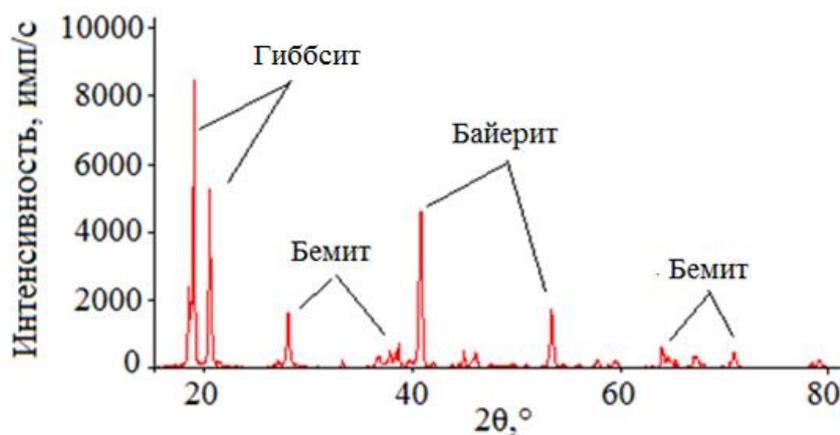


Рис. Рентгенограмма образца электроэрозионного алюминиевого порошка

На основании рентгеноструктурного анализа можно сделать вывод о том, что порошок, полученный из алюминиевых электротехнических отходов методом электроэрозионного диспергирования в воде дистиллированной, состоит из гидроксида алюминия двух модификаций: байерита и гиббсита, а также оксигидроксида алюминия модификации бемит.

Гиббсит и байерит имеют формулу  $Al(OH)_3$ , поскольку вся вода в них находится в связанном состоянии в виде  $OH$ -групп. Гиббсит сравнительно хорошо кристаллизуется, образуя крупные кристаллы (50 – 70 мкм) псевдогексагональной структуры. Структура байерита аналогична структуре гиббсита, однако анионы расположены не в псевдогексагональной, а в правильной гексагональной решетке.

Гиббсит (гидраргиллит) встречается в природе в составе гиббситовых бокситов и является промежуточным продуктом при производстве глинозема щелочными способами.

В природе байерит не встречается. Он образуется при старении коллоидной гидроокиси алюминия в течение 10 – 20 дней, при медленном пропускании угле-

кислого газа через алюминатный раствор, а также при самопроизвольном разложении его при комнатной температуре. Байерит – неустойчивое метастабильное соединение и при обыкновенной температуре превращается в гиббсит.

Бемит широко распространен в природе, однако для приготовления катализаторов применяют более чистый синтетический бемит. Бемит получают из гиббсита прокаливанием его на воздухе до  $180^\circ C$  или прокаливанием водных суспензий в автоклаве при  $200-250^\circ C$ . Бемит также используют для получения  $Al_2O_3$  [6].

### Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на исследование рентгеноструктурного состава порошка алюминия, полученного электроэрозионным диспергированием отходов алюминиевой проволоки чистотой 99.9 % в дистиллированной воде, при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 120 В, частота импульсов 150 Гц установлено, что алюминиевый порошок состоит из гидроксида алюминия двух модификаций: байерита и

гидроксида алюминия модификации бемит. Данные исследования позволяют определить рациональную область практического применения алюминиевого порошка, полученного методом ЭЭД.

### Список литературы

1. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.Н., Пирайнен В.Ю. Специальные материалы в машиностроении: учебник для вузов. – СПб.: Химиздат, 2004. – 640 с.
2. Логинов П.К., Ретюнский О.Ю. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217 с.
3. Новиков А.Н., Бакаева Н.В. Восстановление и упрочнение деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, электрохимическими способами автомобилей: учебное пособие. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 171 с.
4. Бурых Г.В., Агеева Е.В. Огнезащитная композиция на основе гидроксида алюминия, полученного методом электроэрозионного диспергирования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – № 3 (16). – С. 13-16.
5. Наноразмерные гидроксид и оксид алюминия, полученные электрохимическим способом и их использование / Е.В. Петрова, А.Ф. Дресвянников, М.А. Цыганова, Ю.Н. Хакимуллин, Р.И. Зарипов // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 2. – С. 115-119.
6. Радченко Е.Д., Нефедов Б.К., Алиев Р.Р. Промышленные катализаторы гидрогенизационных процессов нефтепереработки. – М.: Химия, 1987. – 222 с.
7. Получение заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, В.Ю. Карпенко, А.С. Осьминина // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 4 (112). – С. 24-27.
8. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 2. – С. 13-16.
9. Новиков Е.П., Пикалов С.В., Агеев Е.В. Получение гидроксида алюминия методом электроэрозионного диспергирования // Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов: сб. науч. тр. Межд. науч.-техн. конф. – Курск, 2015. – С. 35–38.
10. Size distribution of powdered aluminium sample microparticles produced using electroerosion dispersion / E.V. Ageev, E.P. Novikov, A.Y. Altukhov, V.P. Tikhomirov // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. – MEACS, 2015. – С. 7414944.
11. Новиков Е.П., Агеева Е.В., Чумак-Жунь Д.А. Изучение формы и морфологии порошка, полученного из отходов алюминия методом электроэрозионного диспергирования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – №4 (17). – С. 13-17.

Получено 12.09.16

**E.V. Ageeva**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**E.P. Novikov**, Postgraduate, Southwest State University (Kursk) (e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru)

**E.V. Ageev**, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) tel. 8-904-526-55-07 (e-mail: ageev\_ev@mail.ru)

#### **X-RAY REFRACTION OF ELECTROEROSION ALUMINUM POWDER PRODUCED IN DISTILLED WATER**

*Industrial use of hydroxide is connected with the production of pure aluminum. The process begins with the processing of aluminum oxide ore to get hydroxide as its output. The product yield in this reaction is rather high as its residual is actually poor rock. Next step is aluminum hydroxide decomposition.*

*One of the most promising methods of producing powder from a current-conducting material including aluminum waste is electroerosion dispersion (EED) that is energy saving and environmentally friendly.*

*The purpose of the presented research was X-ray refraction of the powder produced by electrical aluminum waste dispersion in distilled water.*

*To produce aluminum powder by EED method we used 99.9 % aluminum wire cut into 5-7 cm sections. The wire was put into a reactor filled with distilled water as process fluid. The process was run under the following electrical conditions: 65 microfarad energy discharge capacitors, 120 V voltage and 150Hz pulse frequency. As a result of local effect of short-time electrical charge impacts the material disintegrated with release of aluminum powder dispersed particles.*

*X-ray refraction of the produced aluminum powder has provided experimentally proven data and demonstrated that the powder comprises aluminum hydroxide of two modifications: bayerite and gibbsite, and contains aluminum oxihydroxide of beohmite modification.*

**Key words:** electroerosion dispersion, aluminum powder, X-ray refraction, bayrite, gibbsite, beohmite.

\*\*\*

#### **Reference**

1. Solncev Ju.P., Prjahnin E.N., Pirajnen V.Ju. Special'nye materialy v mashinostroenii: uchebnik dlja vuzov. – SPb.: Himizdat, 2004. – 640 s.

2. Loginov P.K., Retjanskij O.Ju. Sposoby i tehnologicheskie processy vostanovlenija iznoshennyh detalej: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 217 s.

3. Novikov A.N., Bakaeva N.V. Vostanovlenie i uprochnenie detalej mashin, izgotovlennyh iz aljuminievyh splavov, jelektrohimičeskimi sposobami avtomobilej: uchebnoe posobie. – Orel: OrelGTU, 2004. – 171 s.

4. Buryh G.V., Ageeva E.V. Ognezashitnaja kompozicija na osnove gidroksida aljuminija, poluchennogo metodom jelektroerozionnogo dispergirovanija // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo univer-

siteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2015. – № 3 (16). – S. 13-16.

5. Nanorazmernye gidroksid i oksid aljuminija, poluchennye jelektrohimičeskim sposobom i ih ispol'zovanie / E.V. Petrova, A.F. Dresvjannikov, M.A. Cyganova, Ju.N. Hakimullin, R.I. Zaripov // Vestnik Kazanskogo tehnologičeskogo universiteta. – 2009. – № 2. – S. 115-119.

6. Radchenko E.D., Nefedov B.K., Aliev R.R. Promyshlennye katalizatory gidrogenizacionnyh processov neftepererabotki. – M.: Himija, 1987. – 222 s.

7. Poluchenie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennyh jelektroerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashhih othodov / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, V.Ju. Karpenko, A.S. Os'minina // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. – 2014. – № 4 (112). – S. 24-27.

8. Rentgenospektral'nyj mikroanaliz chastic poroshkov, poluchennyh jelektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo

splava / E.V. Ageev, V.N. Gadalov, B.A. Semenihih, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. – 2011. – № 2. – S. 13-16.

9. Novikov E.P., Pikalov S.V., Ageev E.V. Poluchenie gidroksida aljuminija metodom jelektroerozionnogo dispergirovaniya // Innovacii v metalloobrabotke: vzgljad molodyh specialistov: sb. nauch. tr. Mezhd. nauch.-tehn. konf. – Kursk, 2015. – S. 35–38.

10. Size distribution of powdered aluminium sample microparticles produced using electroerosion dispersion / E.V. Ageev,

E.P. Novikov, A.Y. Altukhov, V.P. Tikhomirov // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. – MEACS, 2015. – S. 7414944.

11. Novikov E.P., Ageeva E.V., Chumak-Zhun' D.A. Izuchenie formy i morfologii poroshka, poluchennogo iz othodov aljuminija metodom jelektroerozionnogo dispergirovaniya // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2015. – №4 (17). – S. 13-17.

УДК 658.56

**В.Ю. Анцев**, д-р техн. наук, профессор, ТулГУ (Тула) (e-mail: anzev@tsu.tula.ru)

**Н.А. Витчук**, аспирант, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Калуга) (e-mail: vitchuk.natalya@mail.ru)

## ПОЭТАПНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБОПРОВОДОВ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*В статье предложены мероприятия по совершенствованию производственного процесса изготовления трубопроводов газотурбинных двигателей по этапам реинжиниринга действующего процесса. На первом этапе в ходе построения карты потока создания ценности изделия и диаграммы Исикавы выявлены непродуктивные действия и разработаны рекомендации с целью сокращения их длительности. На втором этапе предлагается замена контроля изгибов трубопроводов на стапеле на контроль с использованием измерительно-программирующего устройства при условии выполнения операции гибки на трубогибочном станке с ЧПУ. На третьем этапе предложено совмещение выполнения нескольких простых операций для выравнивания нагрузки рабочих. При этом наибольший процент загрузки рабочего в производственном процессе изготовления трубопроводов составит 60%, а средний коэффициент загрузки работников на участке увеличится почти на 15%. Последний этап предусматривает автоматизацию выполнения операций гибки и полировки трубопроводов. С целью автоматизации гибочной операции предполагается задействовать трубогибочный станок с ЧПУ, а для автоматизации полировки – шлифовальный станок. Переход на машинное выполнение операций гибки и полировки трубопроводов позволит повысить общий показатель качества производственного процесса, в частности, увеличить коэффициенты автоматизации и прогрессивности. В результате успешной реализации мероприятий, которые предусмотрены на каждом этапе реинжиниринга действующего процесса, ожидается уменьшение длительности производственного процесса изготовления трубопроводов, увеличение производительности труда, повышение уровня автоматизации производства. Все это позволит повысить возможности предприятия своевременно и в полном объеме обеспечивать сборочный цех газотурбинных двигателей трубопроводами соответствующего качества.*

**Ключевые слова:** совершенствование, реинжиниринг, управление качеством, производственный процесс, трубопроводы.

\*\*\*

Производство газотурбинных двигателей является одним из перспективных направлений развития современного отечественного энергетического машиностроения, что следует из Энергетической

стратегии России на период до 2030 года. Газотурбинные двигатели широко используют при производстве самолетов, вертолетов, зенитно-ракетных комплексов, танков, тягачей, газотурбинных