



УДК 621.74:669.018.44

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-2-2

## **УСТАНОВКИ ТИПА УВНК ДЛЯ ЛИТЬЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ (обзор)**

А.В. Беликов

Т.С. Синичкина

Е.М. Висик

*кандидат технических наук*

**Декабрь 2014**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

*А.В. Беликов<sup>1</sup>, Т.С. Синичкина<sup>1</sup>, Е.М. Висик<sup>1</sup>*

## **УСТАНОВКИ ТИПА УВНК ДЛЯ ЛИТЬЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ (обзор)**

*Рассмотрены установки типа УВНК (экспериментальных и промышленных, различных габаритов) для литья жаропрочных сплавов в ВИАМ, а также в условиях промышленного производства. Установки, перечисленные в статье, удовлетворяют всем требованиям литейных предприятий (крупно- и мелкосерийного производства), позволяя получать более качественные по структуре и свойствам отливки.*

**Ключевые слова:** *монокристаллическое литье, вакуумные установки, шлюзовая камера, кристаллизатор, жаропрочные сплавы, крупногабаритное литье.*

*A.V. Belikov, T.S. Sinichkina, E.M. Visik*

## **UVNK-TYPE VACUUM UNITS FOR CASTING OF SUPERALLOYS (review)**

*Experimental and industrial UVNK-type units of various sizes purposed for casting of heat-resistant alloys not only at VIAM, but also in industrial production are described in the paper. The units listed in the article cover all requirements of large-scale and short-run production providing an opportunity to manufacture cast products of higher quality.*

**Keywords:** *single crystal casting, vacuum units, sluice chamber, mold, heat-resistant alloys, large-sized cast products.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

### **Введение**

В ВИАМ ведется разноплановая исследовательская деятельность по апробации и разработке различных литейных процессов для нужд серийного производства. Эта дея-

тельность приводит к необходимости иметь литейные вакуумные установки различного типа, некоторые из них являются экспериментальными и не имеют мировых аналогов [1–4].

### Материалы и методы

Процесс и порядок технологических действий при литье жаропрочных сплавов заключается в следующем: загрузка керамических форм и шихтовой заготовки в печь, откачка воздуха до глубокого вакуума, нагрев формы до необходимой температуры, расплавление металла в тигле, заливка его в форму, погружение в жидкий металлический охладитель и охлаждение печи подогрева форм (ППФ) [5–8].

Ниже приведены характеристики установок типа УВНК.

#### *Экспериментальная установка ВИАМ-1790*

Мощность установленная, кВт . . . . .	400
Мощность потребляемая (максимальная), кВт . . . . .	330
Рабочая среда в плавильной камере: вакуум, Па (мм рт. ст.) . . . . .	0,665 ( $5 \cdot 10^{-3}$ )
Объем тигля, кг . . . . .	6
Температура (максимальная), °С:	
металла в тигле . . . . .	1700
электропечи подогрева форм . . . . .	1700
Скорость вертикального перемещения форм при кристаллизации, мм/мин . . . . .	1–10.

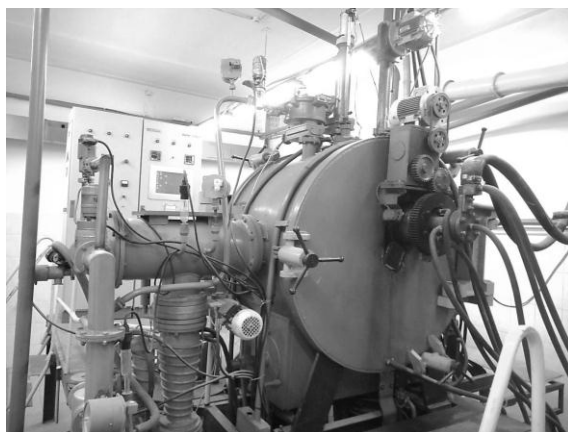


Рисунок 1. Общий вид установки ВИАМ-1790

Общий вид установки представлен на рис. 1. Установка позволяет получать экспериментальные отливки из разрабатываемых жаропрочных сплавов. Хорошо подходит для исследовательской деятельности ввиду ее небольших габаритов и экономичности.

**Установка нового поколения УВНК-15 со шлюзовой камерой**  
**(для получения крупногабаритных отливок)**

Мощность установленная, кВт . . . . .	430
Мощность потребляемая (максимальная), кВт . . . . .	360
Рабочая среда в плавильной камере: вакуум, Па (мм рт. ст.) . . . . .	0,665 ( $5 \cdot 10^{-3}$ )
Объем тигля, кг . . . . .	15 или 25
Температура (максимальная), °С:	
металла в тигле . . . . .	1700
электропечи подогрева форм . . . . .	1700
Максимальные размеры рабочего пространства печи подогрева форм (ширина, длина, высота), мм . . . . .	160×300×650
Скорость вертикального перемещения форм, мм/мин:	
при кристаллизации . . . . .	1–10
при обратном ходе . . . . .	2–170
Скорость горизонтального перемещения форм, мм/мин . . . . .	1500±10
Максимальная температура кристаллизатора, °С . . . . .	800
Объем кристаллизатора по алюминию, кг . . . . .	200±20.

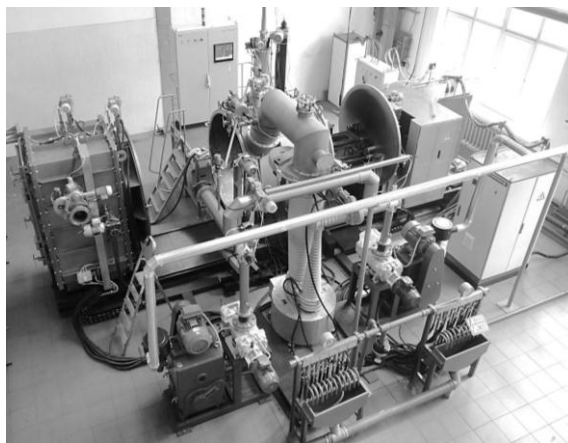


Рисунок 2. Общий вид установки УВНК-15

Общий вид установки представлен на рис. 2. Эта вакуумная установка позволяет получать крупногабаритные отливки из жаропрочных сплавов в промышленных масштабах благодаря наличию шлюзовой камеры.

### **Уникальная установка УВНК-10**

Рабочая среда в плавильной камере: вакуум, Па (мм рт. ст.) . . . . .	0,665 ( $5 \cdot 10^{-3}$ )
Объем тигля, кг . . . . .	60 или 80
Температура (максимальная), °С:	
металла в тигле . . . . .	1700
электропечи подогрева форм . . . . .	1650
Габарит установки (ширина, длина, высота), мм . . . . .	8000×8000×6000
Скорость вертикального перемещения форм, мм/мин:	
при кристаллизации . . . . .	2–10
при обратном ходе . . . . .	120
Максимальная температура кристаллизатора, °С . . . . .	800.

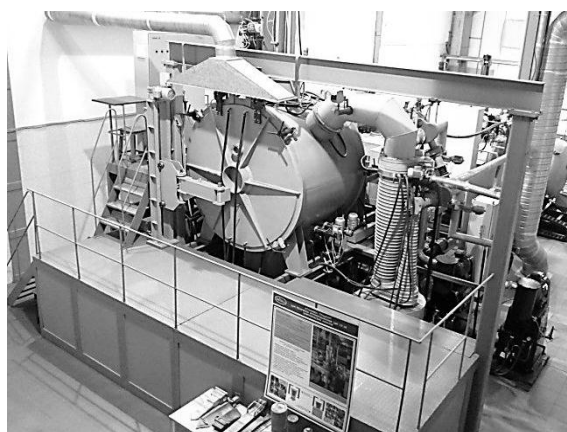


Рисунок 3. Общий вид установки УВНК-10

Общий вид установки представлен на рис. 3. Установка разработана по заданию ВИАМ, работает в периодическом режиме, так как не имеет шлюзовой камеры. В частности, на ней успешно получена партия отливок деталей ГТД и ГТУ высотой 600 мм (максимальная высота получаемых отливок 800 мм). Отличительной особенностью установки является трехзонный нагреватель и раздвигающийся по программе, в зависимости от геометрии отливки, тепловой экран [9–11].

### **Экспериментальная установка УВНК-14**

Мощность установленная, кВт . . . . .	400
Мощность потребляемая (максимальная), кВт . . . . .	320
Рабочая среда в плавильной камере: вакуум, Па (мм рт. ст.) . . . . .	0,665 ( $5 \cdot 10^{-3}$ )
Объем тигля, кг . . . . .	17–25

Температура (максимальная), °С:	
металла в тигле . . . . .	1700
электропечи подогрева форм . . . . .	1650
Скорость вертикального перемещения форм, мм/мин:	
при кристаллизации . . . . .	5–10
при обратном ходе . . . . .	50
Максимальная температура кристаллизатора, °С . . . . .	800
Объем кристаллизатора по алюминию, кг . . . . .	300±20.

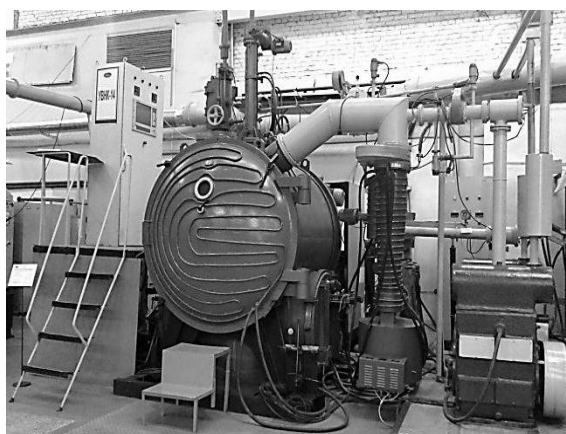


Рисунок 4. Общий вид установки УВНК-14

Общий вид установки представлен на рис. 4. Установка является экспериментальной и предназначена для получения крупногабаритных отливок (например, на ней успешно отлиты крупногабаритные заготовки дисков турбины ГТД).

***Литейная установка УВНК-9А***

Мощность установленная, кВт . . . . .	400
Рабочая среда в плавильной камере: вакуум, Па (мм рт. ст.) . . . . .	0,665 ( $5 \cdot 10^{-3}$ )
Температура (максимальная), °С:	
металла в тигле . . . . .	1700
электропечи подогрева форм . . . . .	1650
Скорость вертикального перемещения форм, мм/мин:	
при кристаллизации . . . . .	2–10
при обратном ходе . . . . .	50
Скорость горизонтального перемещения форм, мм/мин . . . . .	1500±10
Максимальная температура кристаллизатора, °С . . . . .	800.

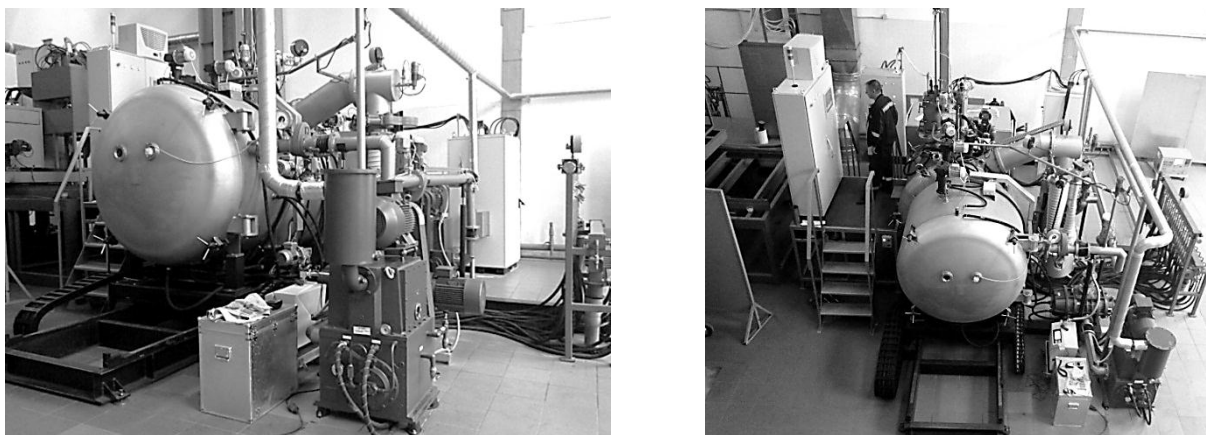


Рисунок 5. Общий вид литейной установки УВНК-9А

Общий вид установки представлен на рис. 5. Благодаря наличию шлюзовой камеры на установке УВНК-9А можно проводить несколько плавов в смену. Установка нашла широкое применение на таких предприятиях, как ФГУП «ВИАМ», «ММП им. В.В. Чернышева», ФГУП «НПЦ газотурбостроения „Салют”», ОАО «Климов», а также на заводах Индии [12–17].

### Результаты

На данных установках возможно изготавливать отливки для аттестации жаропрочных сплавов, а также применять их для литья отливок в промышленных масштабах.

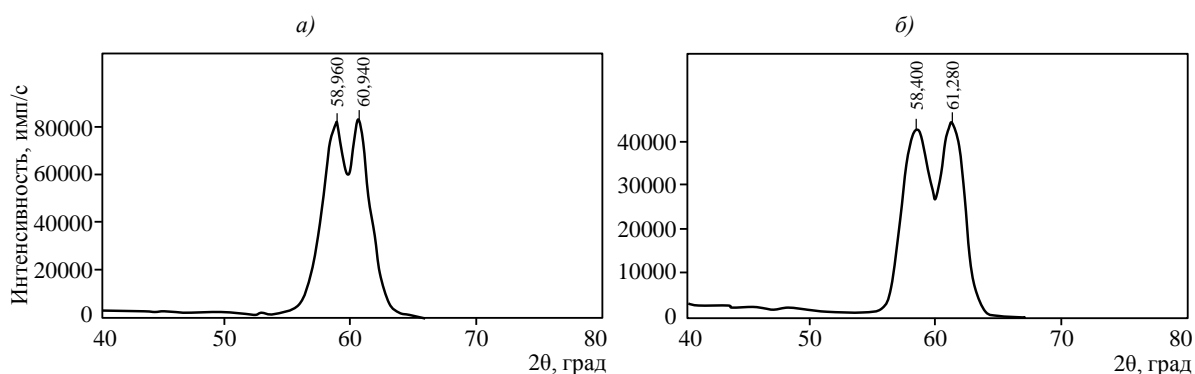


Рисунок 6. Дифрактограммы образцов из жаропрочных сплавов ЖС32 (а) и ЖС36 (б), полученных на установках типа УВНК

Возможна также отработка технологии литья монокристаллов с заданной кристаллографической ориентацией (КГО). На рис. 6 представлены графики кривых КГО образцов из сплавов ЖС32, ЖС36, полученные с помощью дифрактометра общего назначения ДРОН-3, и проведена их оценка. Представленные дифрактограммы свидетель-

ствуют как о малом отклонении кристаллографической ориентации образцов от заданного направления [001], так и о высокой степени структурного совершенства полученных отливок [18, 19].

### Обсуждение и заключения

С развитием монокристаллического литья предприятиям необходимо оборудование, отвечающее техническим запросам и мировым стандартам. ВИАМ является единственным научно-исследовательским центром, предоставляющим широкий выбор установок типа УВНК. Только такой научно-исследовательский институт, как ВИАМ, обладая передовыми технологиями, может удовлетворить всем требованиям заказчика и гарантировать качество, выход годных по структуре отливок, а также надежность оборудования, так как имеет огромный опыт по производству оборудования, отвечающего мировым стандартам. Изделия, получаемые на установках типа УВНК, соответствуют высоким стандартам качества.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Светлов И.Л., Демонис И.М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 36–52.
3. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Петрушин Н.В. Никелевые жаропрочные сплавы для литья лопаток с направленной и монокристаллической структурой (Часть I) //Материаловедение. 1997. №4. С. 32–39.
4. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Петрушин Н.В. Никелевые жаропрочные сплавы для литья лопаток с направленной и монокристаллической структурой (Часть II) //Материаловедение. 1997. №5. С. 14–16.
5. Беликов А.В., Висик Е.М., Герасимов В.В. Модернизация оборудования для направленной кристаллизации – эффективный путь совершенствования технологии монокристаллического литья //Литейное производство. 2014. №4. С. 34–36.
6. Герасимов В.В., Колядов Е.В., Висик Е.М. О направленной кристаллизации крупногабаритных отливок на установке УВНК-15 //Литейное производство. 2013. №3. С. 21–24.

7. Беликов А.В., Герасимов В.В., Висик Е.М. Технология получения образцов для аттестации жаропрочных сплавов, выплавленных с применением отходов литейного производства заводов отрасли //Труды ВИАМ. 2013. №6. Ст. 02 (viam-works.ru).
8. Герасимов В.В., Колядов Е.В. Технические характеристики и технологические возможности установок УВНК-9А и ВИП-НК для получения монокристаллических отливок из жаропрочных сплавов //Литейщик России. 2012. №11. С. 33–37.
9. Каблов Е.Н., Герасимов В.В., Висик Е.М., Демонис И.М. Роль направленной кристаллизации в ресурсосберегающей технологии производства деталей ГТД //Труды ВИАМ. 2013. №3. Ст. 01 (viam-works.ru).
10. Герасимов В.В., Висик Е.М., Колядов Е.В. Об освоении технологии получения крупногабаритных литых лопаток с монокристаллической структурой //Литейное производство. 2014. №3. С. 29–32.
11. Горюнов А.В., Ригин В.Е. Современная технология получения литейных жаропрочных никелевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 3–7.
12. Колядов Е.В., Герасимов В.В., Висик Е.М. Получение крупногабаритных заготовок дисков турбины ГТД направленной кристаллизацией //Литейное производство. 2013. №10. С. 28–32.
13. Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г., Туренко Е.Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 57–60.
14. Толорайя В.Н., Остроухова Г.А., Демонис И.М. Формирование монокристаллической структуры литых крупногабаритных турбинных лопаток ГТД и ГТУ на установках высокоградиентной направленной кристаллизации //МиТОМ. 2011. №1. С. 25–33.
15. Герасимов В.В., Висик Е.М. Технологические аспекты литья деталей горячего тракта ГТД из интерметаллидных никелевых сплавов типа ВКНА с монокристаллической структурой //Литейщик России. 2012. №2. С. 19–23.
16. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Сидоров В.В. и др. Особенности технологии выплавки и разлива современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 68–79.
17. Колядов Е.В., Герасимов В.В., Висик Е.М. О получении образцов для экспресс-анализа химсостава жаропрочных сплавов //Металлургия. 2012. №3. С. 27–28.

18. Каблов Е.Н., Бондаренко Ю.А., Каблов Д.Е. Особенности структуры и жаропрочных свойств монокристаллов <001> высокорениевого никелевого жаропрочного сплава, полученного в условиях высокоградиентной направленной кристаллизации //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 25–31.
19. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Бронфин М.Б., Алексеев А.А. Особенности монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов, легированных рением //Металлы. 2006. №5. С. 47–57.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Kablov E.N., Petrushin N.V., Svetlov I.L., Demonis I.M. Nikelevye litejnye zharoprochnye splavy novogo pokolenija [Casting nickel superalloys new generation] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 36–52.
3. Kablov E.N., Svetlov I.L., Petrushin N.V. Nikelevye zharoprochnye splavy dlja lit'ja lopatok s napravlennoj i monokristallicheskoj strukturoj (Chast' I) [Nickel superalloys for casting blades with directional and single-crystal structure] //Materialovedenie. 1997. №4. С. 32–39.
4. Kablov E.N., Svetlov I.L., Petrushin N.V. Nikelevye zharoprochnye splavy dlja lit'ja lopatok s napravlennoj i monokristallicheskoj strukturoj (Chast' II) [Nickel superalloys for casting blades with directional and single-crystal structure] //Materialovedenie. 1997. №5. С. 14–16.
5. Belikov A.V., Visik E.M., Gerasimov V.V. Modernizacija oborudovanija dlja napravlennoj kristallizacii – jeffektivnyj put' sovershenstvovanija tehnologij monokristallicheskogo lit'ja [Modernization of equipment for directional solidification - an effective way of improving the technology of single crystal casting] //Litejnoe proizvodstvo. 2014. №4. С. 34–36.
6. Gerasimov V.V., Koljadov E.V., Visik E.M. O napravlennoj kristallizacii krupnogabaritnyh otlivok na ustanovke UVNK-15 [About the directional solidification of large castings for installation UVNK-15] //Litejnoe proizvodstvo. 2013. №3. С. 21–24.
7. Belikov A.V., Gerasimov V.V., Visik E.M. Tehnologija poluchenija obrazcov dlja attesacii zharoprochnykh spлавov, vyplavlennykh s primeneniem othodov litejnogo proizvod-

- stva zavodov otrasli [The technology of obtaining samples for certification superalloys melted using foundry waste branch factories] //Trudy VIAM. 2013. №6. St. 02 (viam-works.ru).
8. Gerasimov V.V., Koljadov E.V. Tehnicheskie karakteristiki i tehnologicheskie vozmozhnosti ustanovok UVNK-9A i VIP-NK dlja poluchenija monokristallicheskih otlivok iz zharoprochnyh splavov [Specifications and technological capabilities installations UVNK-9A and VIP-NK to produce single crystal castings of superalloys] //Litejshhik Rossii. 2012. №11. S. 33–37.
  9. Kablov E.N., Gerasimov V.V., Visik E.M., Demonis I.M. Rol' napravlennoj kristalizacii v resursosberegajushhej tehnologii proizvodstva detalej GTD [The role of directional solidification in the resource-saving technology of production of gas-turbine] //Trudy VIAM. 2013. №3. St. 01 (viam-works.ru).
  10. Gerasimov V.V., Visik E.M., Koljadov E.V. Ob osvoenii tehnologii poluchenija krupnogabaritnyh lityh lopatok s monokristallicheskoj strukturoj [About the development of technology for production of large cast blades with single-crystal structure] //Litejnoe proizvodstvo. 2014. №3. S. 29–32.
  11. Gorjunov A.V., Rigin V.E. Sovremennaja tehnologija poluchenija litejnyh zharoprochnyh nikelovyh splavov [Modern technology of production of heat-resistant nickel alloys casting] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №2. S. 3–7.
  12. Koljadov E.V., Gerasimov V.V., Visik E.M. Poluchenie krupnogabaritnyh zagotovok diskov turbiny GTD napravlennoj kristalizaciej [Getting large workpieces drives turbines GTE directional solidification] //Litejnoe proizvodstvo. 2013. №10. S. 28–32.
  13. Bazyleva O.A., Arginbaeva Je.G., Turenko E.Ju. Zharoprochnye litejnye intermetallidnye splavy [Heat-resistant casting intermetallic alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 57–60.
  14. Tolorajja V.N., Ostrouhova G.A., Demonis I.M. Formirovanie monokristallicheskoj struktury lityh krupnogabaritnyh turbinnih lopatok GTD i GTU na ustanovkah vysokogradientnoj napravlennoj kristalizacii [Formation of a single-crystal structure of large cast turbine blades and turbine engine gas turbine installations on high-gradient directional solidification] //MiTOM. 2011. №1. S. 25–33.
  15. Gerasimov V.V., Visik E.M. Tehnologicheskie aspekty lit'ja detalej gorjachego trakta GTD iz intermetallidnyh nikelovyh splavov tipa VKNA s monokristallicheskoj strukturoj [Technological aspects of the casting of turbine engine hot section of the in-

- termetallic nickel alloys such VKNA with single-crystal structure] //Litejshhik Rossii. 2012. №2. S. 19–23.
16. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Sidorov V.V. i dr. Osobennosti tehnologii vyplavki i razlivki sovremennyh litejnyh vysokozharoprochnykh nikelovykh splavov [Features of technology of smelting and casting foundry modern nickel-base superalloys] //Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Ser. «Mashinostroenie». 2011. №SP2. S. 68–79.
  17. Koljadov E.V., Gerasimov V.V., Visik E.M. O poluchenii obrazcov dlja jekspress-analiza himsostava zharoprochnykh splavov [On receipt of the samples for the rapid analysis of chemical composition of high-temperature alloys] //Metallurgija. 2012. №3. S. 27–28.
  18. Kablov E.N., Bondarenko Ju.A., Kablov D.E. Osobennosti struktury i zharoprochnykh svojstv monokristallov  $\langle 001 \rangle$  vysokorenievogo nikelovogo zharoprochnogo splava, poluchennogo v usloviyah vysokogradientnoj napravlennoj kristallizacii [Structure and properties of single crystals of high-temperature  $\langle 001 \rangle$  high-rhenium nickel superalloy obtained under high-gradient directional solidification] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 25–31.
  19. Kablov E.N., Petrushin N.V., Bronfin M.B., Alekseev A.A. Osobennosti monokristallicheskih zharoprochnykh nikelovykh splavov, legirovannykh reniem [Features single-crystal high-temperature nickel alloys doped with rhenium] //Metally. 2006. №5. S. 47–57.