

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЛИТЕЙНОГО БЕЗРЕНИЕВОГО ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

**Цель работы.** Повысить структурную стабильность жаропрочного никелевого сплава с сохранением уровня его свойств и характеристик при значительном удешевлении стоимости, за счёт разработки оптимального комплекса легирующих элементов без содержания дорогостоящих импортных рения и ниобия.

**Методы исследования.** Для оценки структурной и фазовой стабильности жаропрочных никелевых сплавов применяли различные расчётные методы.

Методику оценки сбалансированности химического состава сплавов «ДЕ-методом» по величине параметра дисбаланса системы легирования, с учетом параметра склонности сплава к образованию топологически плотно упакованных (ТПУ) фаз. Методы PHACOMP и New PHACOMP, согласно которым по химическому составу у твердых растворов рассчитывается комплекс параметров структурной стабильности сплавов. Разработанную в ЗНТУ комплексную методику, устанавливающую взаимосвязь между различными параметрами структурной стабильности.

**Полученные результаты.** На основе серийного сплава ЖС32-ВИ расчётно-аналитическими методами разработан состав нового экономнолегированного жаропрочного никелевого сплава для изготовления литых лопаток методом направленной кристаллизации, который не содержит в своем составе дорогостоящего импортного рения и за счёт этого существенно дешевле своего серийного прототипа.

**Научная новизна.** Расчётно-аналитическими методами разработан состав жаропрочного никелевого сплава на основе ЖС32-ВИ с повышенной структурной стабильностью, что позволяет обеспечить необходимый для литейных монокристаллических сплавов комплекс эксплуатационных свойств.

Улучшение структурной стабильности разработанного сплава, по сравнению с серийным ЖС32-ВИ, обеспечивается за счёт сбалансированного легирования: содержания в составе на среднем уровне тантала (8,5 %) и вольфрама (8,5 %), при уменьшении содержания углерода, молибдена и кобальта почти в 2 раза, при отсутствии в составе ниобия и наиболее дорогостоящего компонента – рения.

**Практическая ценность.** Разработанный экономнолегированный жаропрочный никелевый сплав на основе серийного сплава ЖС32-ВИ, не содержащий в своём составе дорогостоящих рения и ниобия, обеспечивает весь необходимый комплекс эксплуатационных свойств при существенном снижении стоимости и может быть рекомендован для использования при изготовлении монокристаллических литых лопаток газотурбинных установок наземного базирования.

**Ключевые слова:** жаропрочный никелевый сплав, лопатка, рений, структурная стабильность, расчётно-аналитические методики, сбалансированность химического состава.

### Анализ состояния вопроса и постановка задачи исследования

Литые лопатки турбин, преобразующие потенциальную энергию, сгорающего топлива в кинетическую энергию вращающейся турбины, как авиадвигателей, так и наземных установок изготавливаются методом высокоскоростной направленной кристаллизации.

Одной из особенностей эксплуатации наземных установок в отличие от авиационных двигателей является гораздо более низкое качество используемого топ-

лива. В результате используемые горючие материалы содержат гораздо большее количество агрессивных (сернистых и прочих) примесей, что выводит на первое место не прочностные характеристики материала литых изделий горячего тракта, а их способность сопротивляться высокотемпературной коррозии в условиях эксплуатации агрегата.

Широко известен высокожаропрочный никелевый сплав ЖС32-ВИ [1], предназначенный для изготовления литых лопаток с направленной и монокристаллической макроструктурой (табл. 1).

Данный сплав приобретает высокий уровень жаропрочности благодаря наличию в его составе тантала и особенно дорогого и дефицитного ингредиента – рения (4% по массе), поэтому его использование, в качестве материала рабочих лопаток для наземных газовых турбин, экономически нецелесообразно. При этом сплав ЖС32-ВИ имеет недостаточную структурную стабильность в условиях длительного воздействия высоких температур (до 1000 °С) и напряжений, что негативно влияет на характеристики его жаропрочности и жаростойкости.

Также широко известен литейный промышленный жаропрочный никелевый сплав ЖС26-ВИ (табл. 1) [2].

Сплав ЖС26-ВИ не имеет в составе дорогостоящих рения и тантала, поэтому значительно дешевле. Однако он не обеспечивает необходимого уровня жаропрочности и поэтому не соответствует требованиям к материалу указанных изделий.

Ранее был проведен комплекс исследований [3], в результате разработан состав экономолегированного жаропрочного никелевого сплава, который превосходит по комплексу характеристик известный сплав ЖС26-ВИ, не уступает по прочностным и пластическим свойствам сплаву ЖС32-ВИ и при этом, в отличие от последнего обеспечивает достаточную для эксплуатации указанных изделий стойкость против высокотемпературной коррозии в агрессивных средах.

Указанный сплав характеризуется пониженным в два раза, по сравнению с ЖС32-ВИ, содержанием одного из самых дорогостоящих в его составе элементов – рения.

Анализ влияния легирующих элементов на свойства жаропрочных никелевых сплавов приводит к логичному выводу о целесообразности полного исключения из их состава, в случае эксплуатации на наземных установках, дорогостоящего рения и замены его повышенным содержанием относительно менее дорогостоящих легирующих элементов, позволяющих одновременно обеспечить достаточно высокие показатели жаропрочности и необходимую стойкость против высокотемпературной коррозии. Такими элементами могут быть вольфрам и тантал.

Таким образом, актуальной является задача улучшения структурной стабильности с сохранением свойств и характеристик сплава при значительном удешевлении его стоимости, благодаря применению оптимального состава легирующих элементов без содержания дорогостоящих рения и ниобия.

Основной материал исследований

Для выполнения указанной задачи предлагается замена (компенсация) рения, как эффективного упрочнителя  $\gamma$  - твердого раствора, в сплаве ЖС32-ВИ дополнительным легированием танталом и вольфрамом. Такое легирования обеспечивает эквивалентную жаропрочность за счет того, что тантал выступает в качестве упрочнителя как  $\gamma$  - твердого раствора, так и основной упрочняющей  $\gamma'$  - фазы и карбидов типа MeC. Тантал вытесняет вольфрам из карбидов и  $\gamma'$  - фазы дополнительно в  $\gamma$  - твердый раствор, при этом образуется так называемый «псевдорениевый эффект», то есть большее количество вольфрама находится в  $\gamma$  - твердом растворе.

Рений усваивается в твердом растворе до 95 %, а вольфрам только до 50 %. Таким образом, компенсация рения оптимальным соотношением тантала к вольфраму позволяет заменить дефицитный и дорогой рений без заметного снижения жаропрочности, что существенно снижает стоимость сплава, по сравнению с известным сплавом ЖС32-ВИ.

Принятые варианты химического состава опытного жаропрочного сплава приведены в таблице 1.

Для оценки структурной и фазовой стабильности жаропрочных никелевых сплавов применяются различные расчётные методы. Одним из них является метод «ФАКОМП» [4], согласно которому по величине  $\bar{N}_v$  - фактора определяется среднее количество электронных вакансий в  $\gamma$  - твердом растворе.

Химический состав  $\gamma$  - твердого раствора для каждого опытного сплава рассчитывается по среднему количеству электронных дырок  $\bar{N}_v$  путем суммирования по формуле (1):

$$\bar{N}_v = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (N_v)_i, \quad (1)$$

где  $m_i$  и  $(N_v)_i$  – соответственно атомная масса  $i$ -го компонента и число электронных дырок каждого конкретного элемента;

Таблица 1 – Номинальный химический состав сплавов

№	Сплав	Содержание элементов %, по массе										
		C	Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Nb	V	Ta	Re
	Сплав ЖС32-ВИ	0,15	5,0	9,0	6,0	-	1,0	8,3	1,5	-	4,0	4,0
1	Предложенный	0,15	5,0	5,5	5,9	-	0,7	7,5	-	-	7,5	-
2		0,12	5,0	5,5	5,9	-	0,7	8,0	-	-	8,0	-
3		0,09	5,0	5,5	5,9	-	0,7	8,5	-	-	8,5	-
4		0,06	5,0	5,5	5,9	-	0,7	9,0	-	-	9,0	-
5		0,03	5,0	5,5	5,9	-	0,7	9,5	-	-	9,5	-
	Сплав ЖС26-ВИ	0,15	5,0	9,0	5,8	1,0	1,1	11,7	1,6	1,0	-	-

Примечание. Ni – основа.

$n$  – число компонентов в  $\gamma$  - твердом растворе.

Также известна методика оценки сбалансированности химического состава сплавов « $\Delta E$ - методом» [5, 6] по величине параметра дисбаланса системы легирования, с учетом параметра склонности сплава к образованию ТПУ фаз  $P_{ТПУ} = \frac{Cr}{Cr + Mo + W}$  [7].

Анализ группы известных промышленных сплавов [7] показали, что при малом значении параметра

$$P_{ТПУ} = \frac{Cr}{Cr + Mo + W} < 0,5 \text{ и более низком значении}$$

величины фактора  $\bar{N}_v \leq 2,3$  – вероятней образование  $\mu$ - фазы или двойных карбидов типа  $Me_6C$ .

При большем значении параметра

$$P_{ТПУ} = \frac{Cr}{Cr + Mo + W} > 0,7 \text{ и более высоком значении}$$

фактора  $\bar{N}_v \geq 2,4$  – вероятней образование  $\sigma$ - фазы.

Расчет параметра дисбаланса системы легирования  $DE$  для каждого опытного сплава, в сравнении серийными сплавами ЖС26-ВИ и ЖС32-ВИ, производился по формуле:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot C_i - \left( 0,0036 \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i - 6,28 \right), \quad (2)$$

где  $E_i$  – соответственно количество валентных электронов (sp-электроны алюминия, ds- электроны переходных металлов);

$C_i$  – концентрация  $i$ - го компонента;

$A_i$  – атомная масса  $i$ - го компонента;

$n$  – число компонентов сплава, включая основу сплава.

Согласно уравнению (2), сплавы считаются сбалансированными по химическому составу при выполнении граничных условий величины параметра дисбаланса системы легирования  $\Delta E = \pm 0,04$ .

Сплавы, имеющие большее положительное значение параметра, чем величина  $\Delta E \geq 0,04$ , склонны к образованию избыточных фаз типа  $Ni_3Ti$ ,  $Ni_3Nb$ ,  $Ni_3Ta$  неблагоприятной морфологии.

Сплавы, имеющие большее отрицательное значение параметра, чем величина  $\Delta E \leq -0,04$ , склонны к образованию избыточных топологически плотноупакованных фаз ( $\mu$ - фазы) или двойных карбидов типа  $Me_6C$  [5, 6, 8].

Сплав считается идеально сбалансированным по химическому составу при условии:  $\Delta E = 0$ .

Сравнительный анализ результатов, полученных с помощью расчетного « $\Delta E$ - метода» для известных промышленных никелевых жаропрочных сплавов, предназначенных для направленной (моно) кристаллизации показывает, что сбалансированность химического состава большинства из них низка или практически отсутствует [5, 6, 8].

Согласно методам PHACOMP [4, 9] и NewPHACOMP [10] по химическому составу  $\gamma$ - твердых растворов рассчитываются параметры структурной стабильности: суммарное количество электронных вакансий в  $\gamma$ - твердом растворе  $\bar{N}_{v\gamma}$  и суммарное количество валентных электронов в  $\gamma$ - твердом растворе  $\bar{M}_{d\gamma}$ . Также используются параметры суммарного энергетического уровня  $d$ - орбиталей элементов в составе сплава  $\bar{M}_{dc}$  и величины дисбаланса системы легирования сплава  $\Delta E$  [11].

Согласно разработанной в ЗНТУ комплексной методике [11], исходя из параметра склонности сплава к образованию ТПУ фаз  $P_{ТПУ} = \frac{Cr}{Cr + Mo + W}$ , параметры структурной стабильности  $\bar{N}_{v\gamma}$  и  $\bar{M}_{d\gamma}$  могут быть определены как:

$$\bar{N}_{v\gamma} = 1,7346 \cdot (P_{ТПУ}) + 0,7593 \quad R^2 = 0,9112, \quad (3)$$

$$\bar{M}_{d\gamma} = 0,0975 \cdot (N_{v\gamma}) + 0,6941 \quad R^2 = 0,9813. \quad (4)$$

Условиями стабильности являются:  $\bar{N}_{v\gamma} \leq 2,4$ ;

$\bar{M}_{d\gamma} \leq 0,93$ .

После обработки данных по параметру дисбаланса системы легирования исследованных литейных жаропрочных никелевых сплавов известным  $\Delta E$ - методом [12, 13], была получена регрессионная модель для расчета параметра структурной стабильности  $\bar{M}_{dc}$  по величине параметра  $\Delta E$  – сбалансированности системы легирования [11].

$$\bar{M}_{dc} = 0,1879 \cdot (\Delta E) + 0,9803 \quad R^2 = 0,9886. \quad (5)$$

Условие стабильности:  $\bar{M}_{dc} = 0,980 \pm 0,008$ .

Для каждого опытного состава предложенного сплава, химический состав которых приведен в таблице 1, были выполнены прогнозирующие расчеты параметров структурной стабильности в регрессионной модели комплексной расчетно-аналитической методики [14], в сравнении с аналогичными показателями для сплава ЖС32-ВИ [1] и сплава ЖС26-ВИ [2] (табл. 2).

По результатам анализа полученных расчётных показателей структурной стабильности (табл. 2) состав 3 соответствует оптимальному (среднему) содержанию легирующих компонентов. Состав 2 – соответствует минимальному, а состав 4 – максимальному уровню легирования. Составы 1 и 5 – соответственно ниже минимального и выше максимального количественного уровня содержания легирующих компонентов в предложенном литейном жаропрочном никелевом сплаве.

Предложенному сплаву на основе серийного ЖС32-ВИ, не содержащему в своем составе дорогостоящего импортного рения (рабочая марка ЖС32Б-ВИ), присвоено марку ЗМИ-М5.

Таблиця 2 – Расчетные параметры структурной стабильности сплавов

Сплав		Расчетные параметры структурной стабильности				
		$P_{ТПУ}$	$\bar{N} v_{\gamma}$	$\bar{M} d_{\gamma}$	$\Delta E$	$\bar{M} d_C$
ЖС32-ВІ		0,3497	1,8587	0,8753	-0,1238	0,9570
Предложенный	1	0,3788	1,9156	0,8809	+0,0512	0,9899
	2	0,3650	1,8942	0,8788	+0,0174	0,9836
	3	0,3521	1,8735	0,8768	-0,0171	0,9771
	4	0,3401	1,8537	0,8748	-0,0522	0,9705
	5	0,3289	1,8345	0,8730	-0,0877	0,9638
ЖС26-ВІ		0,2810	1,7332	0,8631	-0,0477	0,9713
Граничные условия		-	$\leq 2,4$	$\leq 0,93$	$\pm 0,04$	$0,980 \pm 0,008$

Таким образом, по результатам проведенных расчетов предлагается литейный жаропрочный никелевый безрениевый сплав ЗМИ-М5 (ЖС32Б-ВІ) для изготовления лопаток методом направленной кристаллизации [15], содержащий легирующие компоненты, в следующем соотношении, % по массе: С – 0,06...0,12; Cr – 4,5...5,5; Со – 5,0...6,0; W – 8,0...9,0; Мо – 0,4...1,0; Al – 5,7...6,3; Та – 8,0...9,0; В – 0,005...0,015; Се – 0,005...0,015; Y – 0,005...0,015; Ni – основа.

Совокупность этих компонентов и их соотношение обеспечивают получение лучших показателей структурной стабильности с эквивалентным уровнем механических свойств, по сравнению с известным серийным сплавом ЖС32-ВІ, при значительно меньшей стоимости благодаря отсутствию рения в составе разработанного сплава.

#### Выводы

Расчетно-аналитическими методами разработан состав жаропрочного никелевого сплава на основе ЖС32-ВІ, не содержащего в своем составе дорогостоящего импортного рения, для изготовления литых лопаток методом направленной кристаллизации.

Улучшение структурной стабильности разработанного сплава, по сравнению с серийным ЖС32-ВІ, обеспечивается за счет сбалансированного легирования: содержания в составе на среднем уровне тантала (8,5 %) и вольфрама (8,5 %), при уменьшении содержания углерода, молибдена и кобальта, почти в 2 раза, при отсутствии в составе ниобия и наиболее дорогостоящего компонента рения.

#### Список литературы

1. Шалин Р. Е. Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов / Р. Е. Шалин, И. Л. Светлов, Е. Б. Качанов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1997. – 336 с.
2. Каблов Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия) / Е. Н. Каблов. – Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Государственный научный центр Российской Федерации. – М. : МИСИС, 2001. – 632 с.
3. Гнатенко О. В. Разработка экономнолегированного жаропрочного сплава для ответственных отливок / О. В. Гнатенко, С. В. Гайдук, В. В. Наумик // Вісник двигунобудування. – 2012. – № 1. – С. 206–210.
4. Симс Ч. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок / Симс Ч. Т., Сто-

лофф Н. С., Хагель У. К. ; пер. с англ. под ред. Р. Е. Шалина. – М. : Металлургия, 1995. – Кн. 1. – 384 с.

5. Каблов Е. Н. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932 – 2007. Юбилейный научно-технический сборник ; под общ. ред. акад. РАН Е. Н. Каблова. – М. : ВИАМ, 2007. – 438 с.
6. Морозова Г. И. Особенности структуры и фазового состава высокорениевого никелевого жаропрочного сплава / Г. И. Морозова, О. Б. Тимофеева, Н. В. Петрушин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009. – № 2. – С. 10–16.
7. Пигрова Г. Д. Условия образования  $\sigma$ - и  $\mu$ - фаз в жаропрочных сплавах на никелевой основе / Г. Д. Пигрова, Е. Е. Левин // Физика металлов и металловедение. – 1969. – Т. 28. – Вып. 5. – С. 858–861.
8. Каблов Е. Н. Физико-химические и технологические особенности создания жаропрочных сплавов, содержащих рений / Е. Н. Каблов // Вестн. Моск. ун-та. – Сер. 2. Химия, 2005. – Т. 46. – № 3. – С. 155–167.
9. Котсорадис Д. Жаропрочные сплавы для газовых турбин. Материалы международной конференции / Д. Котсорадис, П. Феликс, Х. Фишмайстер и др. ; пер. с англ. под ред. Р. Е. Шалина. – М. : Металлургия, 1981. – 480 с.
10. Morinaga, M. New PHACOMP and its application to alloy design / M. Morinaga, N. Yukawa, H. Adachi, H. Ezaki // Superalloys 1984 (eds. M. Gell et al.), AIME, 1984. – P. 523–532.
11. Гайдук С. В. Применение аналитических методов для расчета химического состава  $\gamma$ -,  $\gamma'$ - фаз и параметров фазовой стабильности литейных жаропрочных никелевых сплавов / С. В. Гайдук, Т. В. Тихомирова / Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков : ХАИ. – 2015. – № 9 (126). – С. 33–37.
12. Морозова Г. И. Компенсация дисбаланса легирования жаропрочных никелевых сплавов / Г. И. Морозова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2012. – № 12. – С. 52–56.
13. Морозова Г. И. Сбалансированное легирование жаропрочных никелевых сплавов / Г. И. Морозова // Металлы. – 1993. – № 1. – С. 38–41.
14. Гайдук С. В. Наукові основи проектування ливарних жароміцних нікелевих сплавів з необхідним комплексом службових властивостей [Текст] / С. В. Гайдук, С. Б. Беліков. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – 80 с.
15. Заявка u2018 02749 Україна МПК (2006) C22C 19/00 Ливарний жароміцний нікелевий сплав / С. В. Мілонін, П. Д. Жеманюк, С. В. Гайдук та ін. ; заявник та патентовласник ПАТ «Мотор Січ» ; заявлено 19.03.2018.

Одержано 03.09.2018

**Милонін Є.В., Малиновський П.Є., Наумик В.В., Гайдук С.В., Кондрашова С.Г. Розробка складу ливарного безренієвого жароміцного нікелевого сплаву для виготовлення лопаток методом спрямованої кристалізації**

**Мета роботи.** Підвищити структурну стабільність жароміцного нікелевого сплаву зі збереженням рівня його властивостей і характеристик при значному здешевленні вартості за рахунок розробки оптимального комплексу легувальних елементів без вмісту дорогих імпортованих ренію і ніобію.

**Методи дослідження.** Для оцінки структурної та фазової стабільності жароміцних нікелевих сплавів застосовували різні розрахункові методи. Методику оцінки збалансованості хімічного складу сплавів « $\Delta E$ -методом» за величиною параметра дисбалансу системи легування, з урахуванням параметра схильності сплаву до утворення топологічно щільно пакованих (ТЩП) фаз. Методи PHACOMP та New PHACOMP, згідно з якими за хімічним складом  $\gamma$ -твердих розчинів розраховується комплекс параметрів структурної стабільності сплавів.

Розроблено в ЗНТУ комплексну методику, яка встановлює взаємозв'язок між різними параметрами структурної стабільності.

**Отримані результати.** На основі серійного сплаву ЖС32-ВІ розрахунково-аналітичними методами розроблений склад нового економнолегованого жароміцного нікелевого сплаву для виготовлення литих лопаток методом спрямованої кристалізації, який не містить в своєму складі дорогого імпортованого ренію і за рахунок цього є істотно дешевшим за свій серійний прототип.

**Наукова новизна.** Розрахунково-аналітичними методами розроблений склад жароміцного нікелевого сплаву на основі ЖС32-ВІ з підвищеною структурною стабільністю, що дозволяє забезпечити необхідний для ливарних монокристалічних сплавів комплекс експлуатаційних властивостей.

Поліпшення структурної стабільності розробленого сплаву, порівняно з серійним ЖС32-ВІ, забезпечується за рахунок збалансованого легування: утримання в складі на середньому рівні танталу (8,5 %) і вольфраму (8,5 %) при зменшенні вмісту вуглецю, молібдену і кобальту майже в 2 рази, при відсутності в складі ніобію і найбільш дорогого компонента – ренію.

**Практична цінність.** Розроблений економнолегований жароміцний нікелевий сплав на основі серійного сплаву ЖС32-ВІ, який не містить у своєму складі дорогих ренію і ніобію, забезпечує весь необхідний комплекс експлуатаційних властивостей, при істотному зниженні вартості, і може бути рекомендований для використання при виготовленні монокристалічних литих лопаток газотурбінних установок наземного базування.

**Ключові слова:** жароміцний нікелевий сплав, лопатка, реній, структурна стабільність, розрахунково-аналітичні методики, збалансованість хімічного складу.

**Milonin Ye., Malinovskii P., Naumik V., Gaiduk S., Kondrashova S. Development of casting Re-free nickel-base superalloy for blade manufacturing using directional crystallization method**

**Purpose.** To increase the structural stability of the heat-resistant nickel alloy while maintaining its level of properties and characteristics at a significant cost reduction, by developing an optimal complex of alloying elements without the content of expensive imported rhenium and niobium.

**Methods of research.** To assess the structural and phase stability of heat-resistant nickel alloys, various calculation methods were used.

A method for estimating the balance of the chemical composition of alloys by the « $\Delta E$ -method» from the unbalance parameter of the alloying system, taking into account the alloy's propensity to form topologically close packed (TCP) phases.

PHACOMP and New PHACOMP methods according to which the complex of structural stability parameters of alloys is calculated from the chemical composition of  $\gamma$ -solid solutions.

Complex methodology, developed in ZNTU, which establishes the relationship between various parameters of structural stability, was used.

**Results.** Based on the serial alloy ЖС32-ВІ, using calculation and analytical methods, the composition of a new economically alloyed nickel-based superalloy for the production of cast blades by the method of directional crystallization, which does not contain expensive imported rhenium in its composition, and due to this it is substantially cheaper than its serial prototype, is developed.

**Scientific novelty.** The composition of nickel-base superalloy based on ЖС32-ВІ with increased structural stability has been calculated by analytical methods, which makes it possible to provide a set of operational properties necessary for casting single-crystal alloys.

Improvement of the developed alloy structural stability, as compared to the serial ЖС32-ВІ, is ensured by balanced alloying: the content of tantalum (8.5 %) and tungsten (8.5 %) at the middle level, while reducing the content of carbon, molybdenum and cobalt almost by 2 times, in the absence of niobium and of the most expensive component – rhenium.

**Practical value.** The developed nickel-base superalloy based on the ЖС32-ВІ series alloy, which does not contain expensive rhenium and niobium in its composition, provides the entire required set of performance properties, at a significant cost reduction, and can be recommended for use in manufacturing single-crystal cast blades of gas-turbine ground-based installations.

**Key words:** nickel-base superalloy, blade, rhenium, structural stability, calculation and analytical techniques, balance of chemical composition.