References

1. Lidin R.A., Andreyeva L.L., Molochko V.A. Konstanty neorganicheskikh veshchestv: Spravochnik (The constants of inorganic substances: Reference book) / Edited by prof. R.A. Lidin. 2nd Ed., ext. and rev. M .: «Drofa», 2006. 440 p.

2. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily. (Gas-phase metal coating through carbonyls). M .: Metallurgiya, 1985. 248 p.

3. Razuvayev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. and others. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike (Organometallic compounds in electronics). M .: Nauka, 1972. 479 p.

4. Erokhin M.N., Kazantsev SP., Chupyatov N.N. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (The use of carbonyl chromium for making hardening coatings on farm machinery parts) // Proceedings of the International scientific-practical conference «Modern problems of the development of new machinery, technologies, organization of technical service in agriculture». Minsk: BSATU, 2014. Part 1. Ph. 275–278.

5. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya. (Methods of modifying friction surfaces of machine parts: Monograph). M.: MSAU, 2014. 140 p.

6. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve. Monografiya. (Organometallic compounds in engineering and repair production. Monograph). Tver: Studiya-C, 2003. 160 p.

7. Gribov B.G., Domrachev G.A., Zhuk B.V. and others. Osazhdenie plenok i pokrytiy razlozheniem metalloorganicheskikh soedineniy. (Deposition of films and coatings with decomposition of organometallic compounds). M .: Nauka, 1982. 322 p.

8. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii na period do 2020 goda (The strategy of technical and technological modernization of Russian agriculture for the period of up to 2020) / Yu.F. Lachuga and others. M .: FSSI «Rosinformagrotekh», 2009. 80 p.

9. Erokhin M.N., Kazantsev S.P. Diffuzionnye pokrytiya v remontnom proizvodstve (Diffusion coating in repair production). M.: FSEE HPE MSAU named after V.P. Goryachkin, 2006. 124 p.

10. Khimicheskaya entsiklopediya: V. 5 t. T. 2. Daffa-Medi (Chemical Encyclopedia: In 5 volumes. V. 2. Daffa-Medi) / Editorial board: I.L. Knunyants (Ch. Ed.), and others. M .: Sov. encyc., 1990. 671 p.: ill.

Nikolai N. Chupyatov – PhD (Eng), PhD student (Higher Doctorate), Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 172383, Tver obl., Rzhev, Kranostroiteley ul., 19, apt. 38; tel .: 8-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

Received 6 October 2015

УДК 621.43.044.6

В.П. КОВАЛЕНКО, Е.А. УЛЮКИНА, М.А. ЛИПАЕВА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для эффективной очистки нефтесодержащих вод следует применять комбинированные методы очистки: например, динамический бак-отстойник и жидкостной фильтр. В качестве динамического гравитационного очистителя предложено использовать тонкослойный пластинчатый бак-отстойник, были определены оптимальные конструктивные параметры этого устройства: длина пластин, их форма, угол их наклона и зазор (расстояние между соседними пластинами). Установлено, что наибольшая эффективность очистки многофазной от твердых частиц в динамическом баке-отстойнике достигается при угле наклона пластин, равном 45°, оптимальная величина зазора между пластинами – 5 мм. Для достижения установленных норм предельно допустимого содержания в воде нефтепродукта требуется применение дополнительных устройств, в качестве таких устройств могут использоваться жидкостные фильтры – углеводородные линзы, расположенные на водяной подушке. Их основной недостаток – вторичное эмуль-

гирование. Для уменьшения интенсивности вторичного эмульгирования можно снизить путем организации системы перегородок в нижней части корпуса жидкостного фильтра. Было изготовлено несколько вариантов устройств с различным расположением перегородок, экспериментальным путем была определена наиболее эффективная конструкция. Лучшие результаты показало устройство с верхним и нижним размещением перегородок и периферийным подводом эмульсии, которое было подвергнуто дальнейшим испытаниям. Очистка нефтесодержащих вод с помощью динамического тонкослойного пластинчатого отстойника позволяет удалять из нее твердые загрязнения с частицами размером более 25 мкм и отделять свыше 30% нефтепродукта, а использование в динамическом отстойнике жидкостного фильтра позволяет очистить воду до предельно допустимой концентрации нефтепродукта.

Ключевые слова: очистка нефтесодержащих вод; динамический отстойник; жидкостной фильтр.

К наиболее опасным загрязнениям окружающей среды относятся нефть и нефтепродукты. Известно множество методов очистки нефтесодержащих вод [1], однако ни один из существующих индивидуальных методов не позволяет осуществить этот процесс с высокой эффективностью без использования сложного оборудования. Поэтому следует применять комбинированные методы очистки, комплексное использование которых позволит добиться максимального эффекта. Анализ показывает, что наиболее целесообразно последовательно осуществлять предварительную очистку нефтесодержащих вод в гравитационных динамических отстойниках, затем их жидкостную фильтрацию и, наконец, утилизацию образовавшихся при этом концентрированных нефтеотходов.

Материалы и методы исследований

В качестве динамического гравитационного очистителя предложено использовать тонкослойный пластинчатый бак-отстойник, рассмотрена математическая модель функционирования [2]. Было проведено экспериментальное исследование процесса разделения многофазной водонефтяной эмульсии, содержащей твёрдые органические и минеральные загрязнения, в динамическом баке-отстойнике, были определены оптимальные конструктивные параметры этого устройства.

Основными конструктивными параметрами пакета пластин динамического бака-отстойника являются длина пластин, их форма, угол их наклона и зазор (расстояние между соседними пластинами).

Длина пластины выбирается из конструктивных соображений, габаритных размеров динамического бака-отстойника. Определение оптимального угла наклона пластины и вертикального зазора между пластинами, а также влияния формы пластины на эффективность очистки осуществляется экспериментально.

На первом этапе определялся оптимальный угол наклона пластин и величина зазора между ними при удалении твёрдых загрязнений путём поочередного монтажа в корпусе лабораторной установки, имитирующей динамический бак-отстойник (рис. 1), трех пар оснований, имеющих различный угол наклона: 45°, 30° и 15°, с укреплёнными на них плоскими пластинами, и определялся оптимальный зазор между пластинами, измененяемый при помощи калиброванных прокладок в интервале от 2 до 5 мм. Содержание механических загрязнений в исходной жидкости составляло 30 г/л.

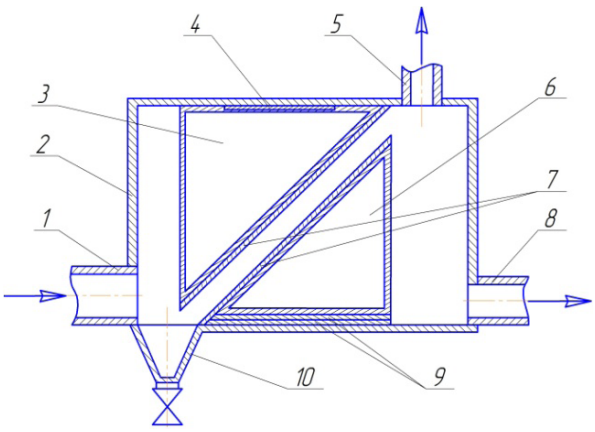

Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования параметров динамического бака-отстойника:
1 – патрубок для подачи промывочной жидкости; 2 – корпус; 3 – верхнее основание; 4 – магнит; 5 – патрубок для отвода нефтепродукта; 6 – нижнее основание; 7 – плоская пластина; 8 – патрубок для отвода воды; 9 – калиброванные прокладки; 10 – сборник твёрдых загрязнений со сливным вентилем

Результаты исследований

В результате проведенных экспериментов установлено, что наибольшая эффективность очистки многофазной смеси от твердых частиц в динамическом баке-отстойнике достигается при угле наклона пластин, равном 45°, однако следует отметить, что данные, полученные при различных углах наклона в диапазоне 15°...45°, различаются незначительно. Результаты экспериментов по определению оптимальной величины зазора между пластинами также имеют достаточно близкие значения [3].

На втором этапе определялась эффективность отделения нефтепродукта путем анализа его содержания в эмульсии на входе в устройство и на выходе из него в соответствии с методикой [4]. Посколь-

ку было установлено, что, в отличие от твердых частиц, перемещение микрокапель нефтепродукта по поверхности пластины будет происходить при угле ее наклона не менее 37°, для проведения указанных экспериментов выбран угол наклона пластин 45°. Начальное содержание нефтепродукта в эмульсии составляло 200 г/л.

Установлено, что эффективность отделения нефтепродукта из эмульсии при ее очистке в динамическом баке-отстойнике колеблется в зависимости от расстояния между пластинами от 37,8 до 44,4%, причем максимальное значение эффективности было достигнуто при зазоре 5 мм. Это объясняется, очевидно, лучшими условиями для коалесценции капель нефтепродукта при их всплытии. На третьем этапе определялась эффективность комплексного разделения в баке-отстойнике водонефтяной эмульсии, содержащей твердые частицы загрязнений. Водонефтяная эмульсия для проведения эксперимента приготавливалась искусственно и по своему составу соответствовала среднему составу реальной нефтесодержащей смеси, полученной при зачистке резервуаров с автомобильным бензином на различных объектах системы нефтепродуктообеспечения (табл.).

Таблица

Состав загрязнений в нефтесодержащей воде после зачистки резервуара

Марка резервуара	Содержание в нефтесодержащей воде, %			
	нефтепродукты	твердые органические загрязнения	высоковязкие пластичные загрязнения	твердые минеральные загрязнения
Р-20	26,0	4,0	1,7	6,2
Р-20	11,0	1,3	1,2	2,9
Р-20	37,0	5,7	4,1	11,4
Р-25	38,5	3,8	0,4	11,0
Р-25	60,8	1,4	0,7	19,0

Принимались округленные средние значения содержания компонентов в очищаемой нефтесодержащей воде: нефтепродукта – 35%; твердых органических загрязнений – 3,5%; пластичных органических загрязнений – 1,6%; минеральных загрязнений – 10%.

Экспериментальные исследования подтвердили, что очистка нефтесодержащей воды от твердых загрязнений и эмульгированного в ней нефтепродукта с помощью динамического бака-отстойника позволяет удалить практически полностью твердые загрязнения с размером частиц более 25 мкм и отделить свыше трети нефтепродукта. Однако для достижения установленных норм предельно допустимого содержания в воде нефтепродукта требуется применение дополнительных устройств. В качестве таких устройств можно применять жидкостные фильтры – углеводородные линзы, расположенные на водяной подушке [5]. Механизм разделения заключается в коалесценции капель нефтепродукта при прохождении водонефтяной эмульсии через углеводородную линзу и выпадении капель воды в водяную подушку. К недостаткам жидкостной фильтрации относится явление вторичного эмульгирования, возникающее вследствие деформации и разрывов пограничной пленки при прохождении капель воды через нижнюю границу углеводородной линзы.

Задачей исследования процесса очистки нефтесодержащей воды в жидкостном фильтре от эмульгированного в ней нефтепродукта является определение оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров жидкостного фильтра, а также выбор оптимального устройства для предотвращения повторного эмульгирования нефтепродукта в водяную подушку.

При проведении экспериментов концентрация нефтепродукта в эмульсии на входе в жидкостной фильтр составляет 100 г/л, 150 г/л и 200 г/л, а пропускная способность устройства – 0,1 л/мин., 0,3 л/мин., 0,6 л/мин. и 1,0 л/мин. Толщина слоя нефтепродукта, при котором вторичное эмульгирование, возникающее после прохождения эмульсии через этот слой, имеет минимальную величину, выбирается экспериментально и оценивается визуальным способом.

Интенсивность вторичного эмульгирования при достижении каплями воды нижней границы этого слоя можно снизить путем организации системы перегородок в нижней части корпуса жидкостного фильтра (в зоне водяной подушки), что позволяет увеличить длину пути капель нефтепродукта, препятствует их уносу потоком воды и создает условия для их всплытия. Параметры таких устройств определялись экспериментально с целью установления степени их эффективности при снижении последствий явления вторичного эмульгирования (рис. 2).

Проведенные исследования позволили установить, что основными факторами, влияющими на процесс разделения нефтесодержащей воды, являются геометрические размеры жидкостного фильтра, размер перегородок и система их расположения, концентрация нефтепродуктов на входе и на выходе из установки, а также расход подаваемой смеси и физико-химические свойства разделяемой жидкости. Лучшие результаты показало устройство с верхним и нижним размещением перегородок и периферийным подводом эмульсии (рис. 2 в), которое было подвергнуто дальнейшим испытаниям.

Полученные результаты, представленные на рисунках 3 и 4, отражают зависимости концентрации нефтепродукта на выходе от исходной концентрации на входе и расхода поступающей смеси и позволяют получить математическую модель зави-

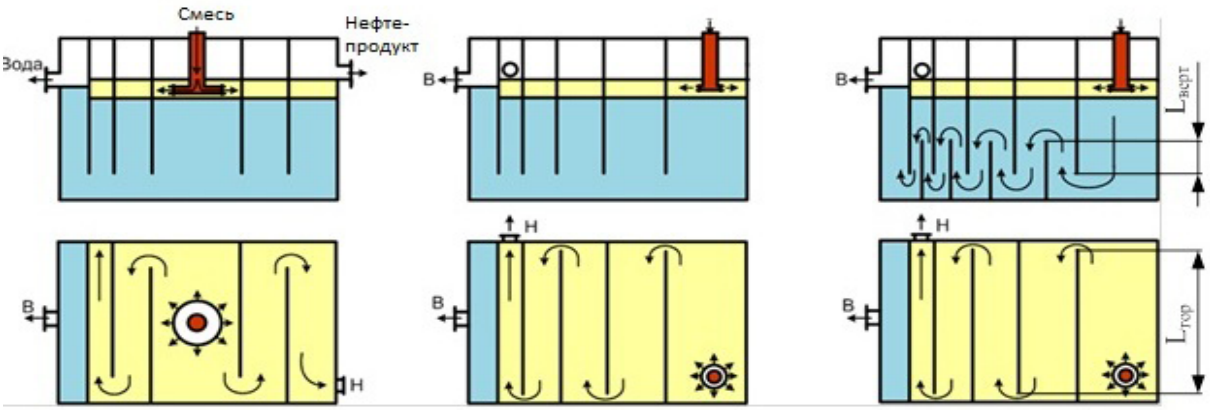

Рис. 2. Схемы устройств для снижения интенсивности вторичного эмульгирования нефтепродукта в жидкостном фильтре:
а – с верхним размещением вертикальных перегородок и центральным подводом эмульсии;
б – то же с периферийным подводом эмульсии; в – с верхним и нижним размещением перегородок и периферийным подводом эмульсии

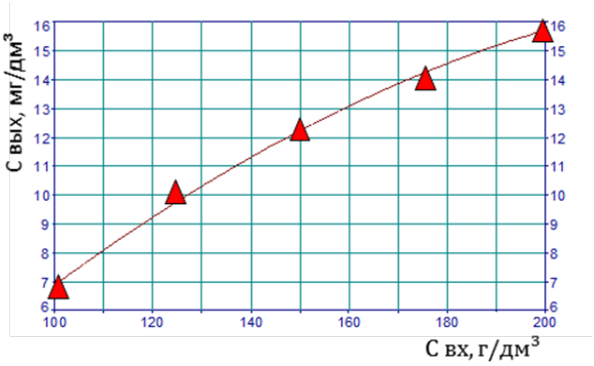

Рис. 3. Зависимость концентрации нефтепродукта на выходе из жидкостного фильтра от его начальной концентрации в эмульсии

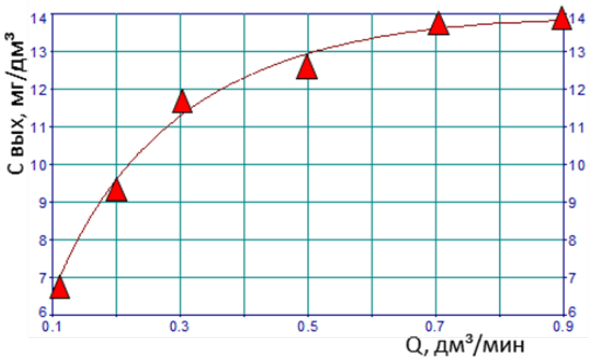

Рис. 4. Зависимость концентрации нефтепродукта на выходе из жидкостного фильтра от подачи эмульсии

симости между основным показателем процесса очистки нефтесодержащих жидкостей – концентрацией нефтепродуктов на выходе и указанными факторами, с использованием которой спроектирован жидкостной фильтр установки для разделения многокомпонентных смесей.

Выводы

Очистка нефтесодержащих вод с помощью динамического тонкослойного пластинчатого отстойника позволяет удалять из нее твердые загрязнения с частицами размером более 25 мкм и отделять свыше 30% нефтепродукта, а использование в динамическом отстойнике жидкостного фильтра позволяет очистить воду до предельно допустимой концентрации нефтепродукта.

Библиографический список

1. Коваленко В.П. Утилизация продуктов зачистки ёмкостей на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.Н. Зотов, И.А. Кувичка // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе». Т. 2. Ульяновск, 2012. С. 64–69.

2. Коваленко В.П. Использование динамического бака-отстойника для разделения нефтесодержащих продуктов зачистки технологического оборудования / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.Н. Зотов // Нефтехимия и нефтепереработка. 2014. № 3. С. 42–46.

3. Коваленко В.П. Очистка нефтесодержащих вод в динамическом баке-отстойнике / В.П. Кова-

ленко, Е.А. Улюкина, А.Н. Зотов // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». Агроинженерия. Экономика и организация производства в АПК. 2014. № 2 (62). С. 15–19.

4. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом. М.: ФЦАО, 2012. 25 с.

5. Коваленко В.П. Утилизация нефтесодержащих продуктов зачистки резервуаров и технологического оборудования / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.Н. Зотов, И.А. Кувичка // Сб. научных трудов Первого Санкт-Петербургского форума «Инновационные технологии в области получения и применения горючих и смазочных материалов». СПб. 2013. С. 382–388.

Коваленко Всеволод Павлович **–** д.т.н., профессор кафедры автомобильного транспорта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-903-752-89-55.

Улюкина Елена Анатольевна – д.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной химии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-910-430-59-10; e-mail: elenaulykina@rambler.ru.

Липаева Мадина Абдулхайровна – ст. н. с., ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России» РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; Москва, ул. Молодогвардейская, 10; тел.: 8-910-472-49-54; e-mail: lipaeva_m51@mail.ru.

Статья поступила 25.06.2015

OILY WATER TREATMENT AT OIL PRODUCTS SUPPLY FACILITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

E.A. ULYUKINA, V.P. KOVALENKO, M.A. LIPAYEVA

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

For effective cleaning of oily water use should be made of combined methods of purification, for example, a dynamic tank sump and a liquid filter. The authors suggest using a thin-plate tank-sump as a dynamic gravitational purifier. The paper contains the determined optimal design parameters of this device: the plates' length, the shape, the angle of inclination and gap (the distance between adjacent plates). It has been found that the highest cleaning efficiency from multiphase solid particles in the dynamic tank is achieved when the plate inclination angle is 45°; the optimal size of the gap between the plates is 5 mm. Achieving the established requirements of maximum permissible content of oil in water requires the use of additional devices as such devices can be used in liquid filters – hydrocarbon lenses located on a water cushion. Their main weakness is the secondary emulsification. Reducing the intensity of the secondary emulsification is possible by a system of baffles in the bottom of the liquid filter housing. The authors have tested several variants of the devices with different arrangement of partitions and experimentally determined the most efficient design. The best results have been shown by a device with upper and lower position of the interior walls and the peripheral emulsion inlet, which has been subjected to further tests. Oily water treatment using a dynamic thin-wall lamellar settler allows removing solid contaminants with particles larger than 25 microns and separating more than 30% of mineral oil, and the use of a dynamic liquid sump filter can purify water up to the maximum permissible oil concentration.

Key words: oily water treatment; dynamic settling tank; liquid filter.

References

1. Kovalenko V.P. Utilizatsiya produktov zachistki emkostey na neftekladakh sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy (Recycling waste products of tank cleaning at oil warehouses of agricultural enterprises) / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.N. Zotov, I.A. Kuvichka // Materials of IV International scientific-practical conference «Agrarian science and education at the present stage». Vol. 2. Ulyanovsk, 2012. Pp. 64–69.

2. Kovalenko V.P. Ispol'zovanie dinamicheskogo baka-otstoynika dlya razdeleniya neftesoderzhashchikh produktov zachistki tekhnologicheskogo oborudovaniya (The use of a dynamic tank-settling tank for

the separation of oil-containing products of technological equipment cleaning) / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.N. Zotov // Refining and Petrochemicals. 2014. № 3. Pp. 42–46.

3. Kovalenko V.P. Ochistka neftesoderzhashchikh vod v dinamicheskom bake-otstoynike (Oily water treatment in a dynamic tank) / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.N. Zotov // Herald of FSEI HPE «Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin». Agroengineering. Economy and Production Organization of Agriculture. 2014. № 2 (62). Pp. 15–19.

4. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v probakh prirodnykh, pit'evykh, stochnykh vod fluorimetricheskim metodom (The methodolody of measuring mass concentration of oil products in samples of natural, potable, wastewater with a fluorimetric method). M: FTsAO, 2012. 25 p.

5. Kovalenko V.P. Utilizatsiya neftesoderzhashchikh produktov zachistki rezervuarov i tekhnologicheskogo oborudovaniya (Recycling of oil products of tank cleaning and processing equipment) / V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.N. Zotov, I.A. Kuvichka // Proceedings of the First St. Petersburg International Forum «Innovative technologies in the field of production and application of fuels and lubricants». SPb. 2013. Pp. 382–388.

Vsevolod P. Kovalenko – PhD (Eng), Professor, Department of Road Transport, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; tel.: 8-903-752-89-55.

Elena A. Ulyukina – PhD (Eng), Professor, Head of Engineering Chemistry Department, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; tel.: 8-910-430-59-10; e-mail: elenaulykina@rambler.ru.

Madina A. Lipayeva – senior researcher, FAI «25th State Research Institute of Applied Chemistry of the Russian Ministry of Defense», Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Moscow, Molodogvardeyskaya ul., 10; tel.: 8-910-472-49-54; e-mail: lipaeva_m51@mail.ru.

Received 25 June 2015

УДК 621.91.01

Т.С. СКОБЛО, О.Ю. КЛОЧКО, Е.Л. БЕЛКИН

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ МАТЕМАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Проведены комплексная оценка высокохромистого чугуна (16…18%Cr) с разработкой аналитического аппарата, основанного на комплексном компьютерном анализе металлографических изображений, получено подтверждение эффективности метода исследованиями фазового состава путем совмещения с данными микрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного анализа. Методика компьютерного исследования основана на гидродинамических аналогиях, с применением уравнений Навье-Стокса и оценкой формируемых фаз (диффузионный процесс, изменение плотности). Данный метод позволяет производить более глубокий анализ металлографических изображений, оценивать состав фаз и их долю, которые формируются на различных этапах получения изделия в процессе кристаллизации при отливке и термообработке. Аналитическими методами определен структурный состав исследуемого сплава, включающий в себя все фазы, формирующиеся на различных этапах получения изделия в процессе кристаллизации при отливке и термообработке. Кроме того, определена структурная неоднородность выявленных фаз. Корреляционный анализ показал наличие сильных связей между карбидными фазами и ферритом, а также между различными карбидными фазами и ферритом, отличающимся степенью легированности, что