



УДК 621.74.045

Поступила 02.05.2018

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК СРЕДА ДЛЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*В. С. ДОРОШЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, ул. Бульвар Вернадского, 34/1. E-mail: doro@gmail.com*

*Описаны два вероятных прототипа так называемых природоподобных технологий литейного производства. Для литья по ледяным моделям используют минеральные компоненты при изготовлении оболочковых песчаных форм, а модель удаляют из формы путем таяния и естественной фильтрации ее расплава сквозь пористую песчаную смесь литейной формы, которая отверждается на глубину фильтрации путем гидратации замешанных в смеси гипса и цемента. Приведены возможности конструирования тонкостенных отливок, подобных структурам природы.*

**Ключевые слова.** *Литейное производство, природоподобные технологии, литье по ледяным моделям, литье по газифицируемым моделям, фильтрация, оболочковая форма, фильтрационная формовка.*

**Для цитирования.** *Дорошенко В. С. Литейное производство как среда для природоподобных технологий // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 23–28.*

## FOUNDRY PRODUCTION AS AN ENVIRONMENT FOR NATURE-LIKE TECHNOLOGIES

*V. S. DOROSHENKO, Physical-Technological Institute of metals and alloys National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv city, 34/1, Bulvar Vernadskogo. E-mail: doro@gmail.com*

*The review describes two possible prototypes of so-called nature-like technologies of foundry production. For casting on ice patterns, mineral components are used in the manufacture of shell sand molds, and the pattern is removed from the mold by melting and naturally filtering its melt through a porous sand mixture of the mold that cures to the depth of filtration by hydration of the gypsum and cement mixed into the mixture. Also, the possibilities of constructing thin-walled castings similar to natural structures are described.*

**Keywords.** *Foundry production, nature-like technologies, casting on ice patterns, casting on gasified patterns, lost foam casting, filtration, shell mold, filtration molding.*

**For citation.** *Doroshenko V. S. Foundry production as an environment for nature-like technologies. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 23–28.*

Научно-технологическое развитие сегодня во многом связано с созданием принципиально новых, так называемых природоподобных технологий (ПТ), которые будут повторять процессы живой природы и дадут нам экономичный, как в самой природе, уровень потребления ресурсов, помогут создать новую техносферу – не потребительскую, хищнически относящуюся к природе, выкачивающую из нее все, любой ценой, как за последние две сотни лет, а более гармоничную, экономичную, на принципах соединения органического и неорганического мира, живого и неживого [1, 2]. Мы построили комфортную для человека цивилизацию, техносферу, паразитируя на базе и ресурсах биосферы Земли, которая существовала миллионы лет до появления в ней человека абсолютно самодостаточно и гармонично. Индустриальная же цивилизация всего лишь за 200 лет своего существования поставила мир на порог ресурсного коллапса. Один лишь пример свидетельствует, что за антропогенную историю было израсходовано примерно 200 млрд. т кислорода. Такое же количество кислорода было израсходовано за последние 50 лет индустриальной эры [1].

Причиной сложившейся кризисной ситуации является антагонизм природы и созданной человеком техносферы, которая нарушила естественный ресурсооборот – своеобразный обмен веществ природы, создав технологии, враждебные ей. Эти технологии, будучи вырванными из естественного природного контекста, по сути, служат плохими копиями отдельных элементов природных процессов и базируются



Рис. 1. Энергия, затрачиваемая на производство материалов [3]

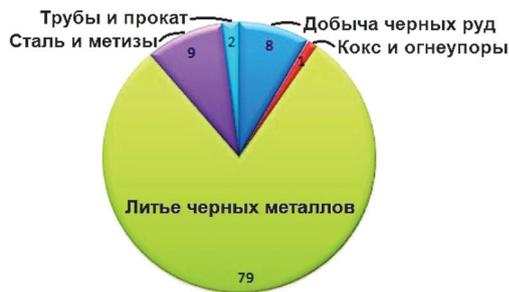


Рис. 2. Воздействие на окружающую среду отраслей черной металлургии [4]

на узкоспециализированной модели науки и отраслевых технологиях. В целом такое развитие было неизбежно и закономерно, но в итоге масштабы влияния человека на окружающий мир перешли критическую границу. Все чаще звучит мысль о том, что сегодняшний глобальный кризис не может быть разрешен по прежним фундаментальным лекалам нашей цивилизации, в существующей парадигме ее развития. Нужен качественный скачок, переход на иные принципы, прежде всего производства и потребления энергии, а также бережного отношения к окружающей среде, которые изменят облик всей техносферы.

Современные технологии требуют огромного количества энергии, которую существующая альтернативная энергетика не способна выработать. По данным проф. Г. Г. Малинецкого, на производство стали затрачивается наибольшая доля энергии среди затрат на производство важнейших материалов в мире (рис. 1) [3]. При этом отмечается, что экстенсивное развитие недопустимо, поскольку, если весь мир выйдет на уровень выплавки стали на душу населения сегодняшних стран-лидеров 500 кг в год, то к 2050 г. человечество практически исчерпает все разведанные запасы железной руды на земле [3].

В частности, обращаясь к интегральному воздействию на природную среду черной металлургии России, известно, что оно почти в 1,5 раза больше, чем такое воздействие энергетики страны [4]. При этом структура воздействий по подотраслям черной металлургии на окружающую природную среду носит ярко выраженный асимметричный характер (рис. 2). Наибольший вклад в формирование отраслевых воздействий вносит литейное производство черных металлов – 79%, существенно меньший и почти равный вклад имеют две подотрасли – добыча руд черных металлов (8%) и выпуск стали и метизов (9%). Меньше всего отраслевых воздействий на среду формируют производство кокса и огнеупоров (1%), а также труб и проката – 2% (рис. 2).

Выйти из этого технологического тупика предстоит с помощью науки, которая уже сегодня стремится создавать принципиально новые технологии ресурсосбережения и потребления энергии по образцу живой природы – природоподобные технологии. Смысл создания природоподобной техносферы состоит в восстановлении естественного самосогласованного ресурсооборота, нарушенного сегодняшними технологиями.

В стремлении наследовать такой ресурсооборот, находить пути его инициирования [7] в ФТИМС НАН Украины создана технология литья по ледяным моделям. В этой технологии агрегатные переходы воды (из жидкого в твердое, опять в жидкое и затем в газообразное) при замораживании литейной модели из воды, плавлении модели при освобождении полости литейной формы, а затем испарении влаги при сушке песчаной формы в какой-то мере подобны кругообороту воды в природе [6–8]. Отдельные моменты отработки процесса литья звездочки конвейера по ледяным моделям показаны на рис. 3.

Материальная сторона технологии литья по ледяным моделям заключается в использовании неорганических материалов: воды в различных состояниях, минерального дисперсного наполнителя – кварцевого песка и минеральных связующих – гипса и цемента, порошка термически обработанных природных пород, из которых их получают. Цемент состоит из клинкера и при необходимости гипса или его производных и добавок. Полученные из цементных минералов и воды (путем фильтрации расплава модели в окружающую ее насыпную виброуплотненную сухую смесь) твердые соединения кристаллогидратов водостойки, т. е. нерастворимы в воде. Отверждение сыпучей смеси, возникшее в результате фильтрации (естественной или принудительной путем создания давления или разрежения в формовочной смеси) и химической реакции цемента с водой, относится к процессам так называемой фильтрационной формовки. Цемент и гипс облегчают выбиваемость смесей из отливок, так как при нагреве от отливки они дегидратируются (аналогично процессу их получения), и смеси разупрочняются. Такие песчано-кристаллогидратные смеси способны вновь отверждаться в контакте с водой, что позволяет использо-



Рис. 3. Иллюстрации из процесса литья звездочки конвейера: *а* – отдельные ледяные модели, блок (кластер) из двух моделей и двух отливок; *б* – блок из трех моделей и многослойная песчаная оболочка; *в* – блоки из четырех разных моделей; *г*, *д* – блоки из двух и четырех моделей; *е* – песчаные оболочки по одной и двум моделям; *ж* – оболочка по двум моделям, блок моделей и распиленная оболочка; *з* – блок моделей и распиленная толстостенная песчаная оболочка

вать их как обратные отверждаемые смачиванием расплавом ледяных моделей смеси с освежением кварцевым песком до 10% [9].

ПТ – часть логичного процесса развития науки, начавшегося от древних греков и натурфилософов древнего мира, которые пытались найти единые закономерности окружающего мира, природы. Затем человек создал физику, химию, биологию, прочие науки, число которых росло, чтобы легче изучать эти узкие направления. По пути этого углубленного анализа, разделения окружающего мира на все более мелкие детали мы дошли, как говорят в микроэлектронике, до предела миниатюризации [1].

Многие вещи, явления, процессы изучены досконально, но в то же время зашли в тупик, перестав рассматривать природу как единое целое, самодостаточный организм, существовавший за миллиарды лет до возникновения человека. Мы создавали три сотни лет новый, удобный окружающий мир, укрощая природу. Но к концу XX в. вмешательство человека в природу стало критическим. Построенная нами цивилизация оказалась враждебной, антагонистической нашей биосфере, громадная по затратам ресурсов и количеству отходов, не совместимых с окружающей средой. Мы оказались на пороге ресурсного коллапса, энергетического кризиса, три столетия хищнически истощая недра земли, добывая уголь, нефть, газ. Для развития цивилизации нужен новый технологический уклад, эффективный в потребле-

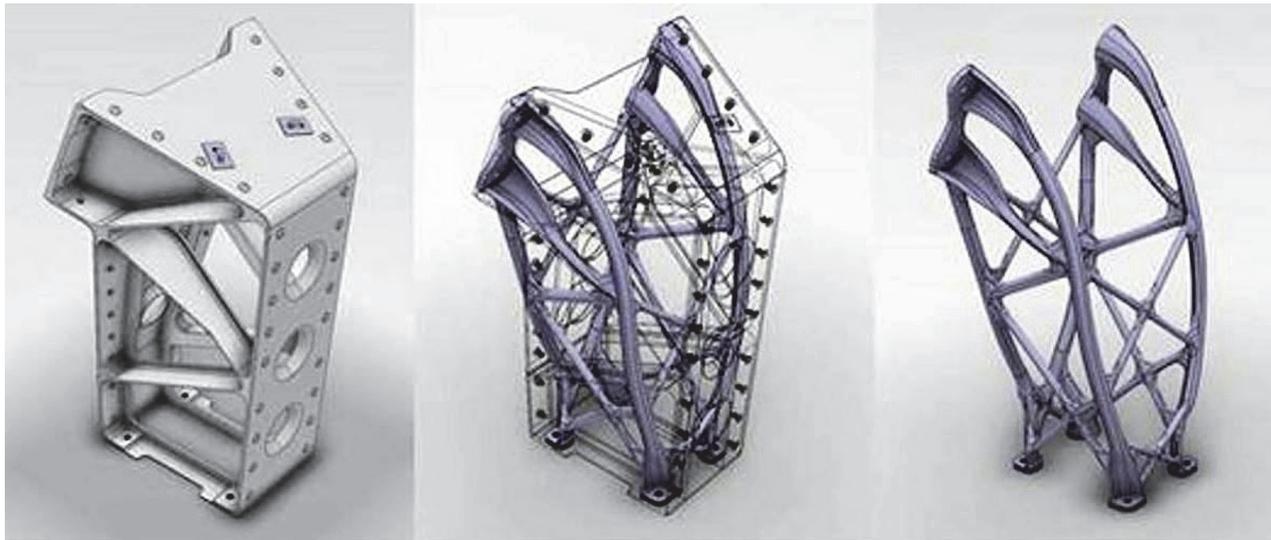


Рис. 4. Трансформация кронштейна компанией Airbus Defense and Space

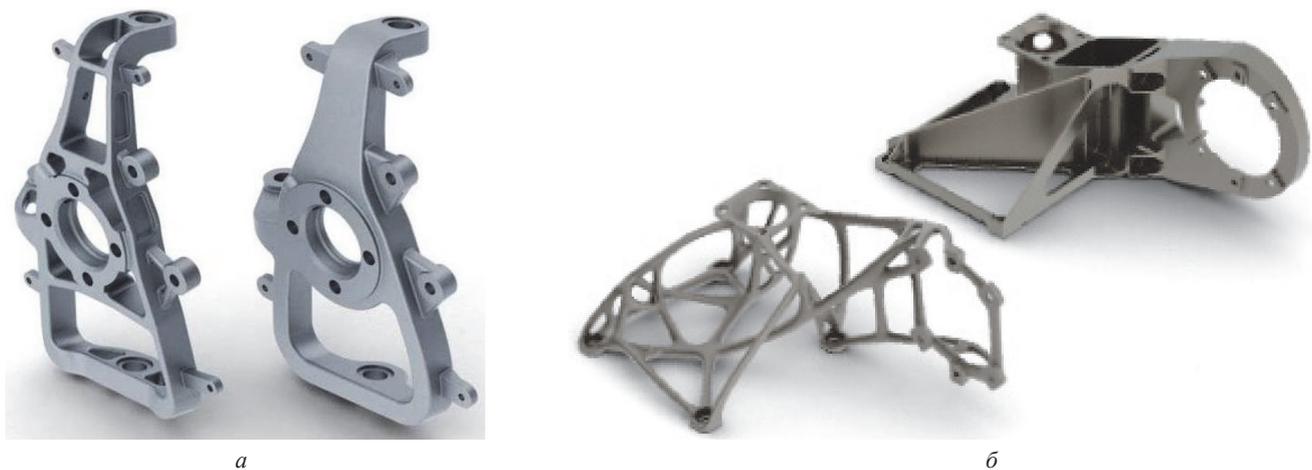


Рис. 5. Две традиционные металлоотливки и их легковесные варианты

нии энергии, как природа, дружелюбный ей, основанный на ее принципах. Узкоспециализированная наука, технологии, с которыми мы жили раньше и построили современную цивилизацию, завели нас в глобальный тупик. Значит, от узкой специализации надо перейти к принципиально иному подходу. И развитие науки само этот переход, можно сказать, выкристаллизовало.

В конце XIX в., когда процесс разделения на все новые науки был в самом разгаре, начали возникать науки-связки, науки-мостики: геохимия, физикохимия, биофизика и др. От анализа мы перешли к синтезу наук. Развивается новое направление конвергенции: мы пытаемся соединить новейшие технологии с конструкциями, принципами живой природы [10–13].

Особенно быстро это стало применяться в авиационных и космических аппаратах. Так, в 2015 г. компания Airbus Defense and Space в Великобритании объявила о выпуске первой в своем классе алюминиевой 3D-печатной отливки для спутника Eurostar E3000 (рис. 4) [14]. Видоизмененный кронштейн весит на 35% меньше, чем тот, которого он заменил, с увеличением жесткости на 40%.

Главные отличия предложенных человеком инженерных конструкций от созданных эволюционными процессами живой и неживой природы состоят в высокой ресурсоэффективности последних. Сегодня «эволюцию» в направлении металлосбережения и оптимизации конструкции способен выполнить компьютер. Среди таких примеров показано перепроектирование инжиниринговым центром ComMechLab (Россия) цифровыми технологиями топологической оптимизации кулаков подвески автомобиля (рис. 5, а) в целях снижения массы автомобильных отливок, а также кронштейна рефлектора (рис. 5, б) [15]. Легковесные «трансформированные» конструкции показаны на рис. 5 в каждой паре слева. Аналогичные конструкции предложено также изготавливать методом литья по газифицируемым моделям [11–13].

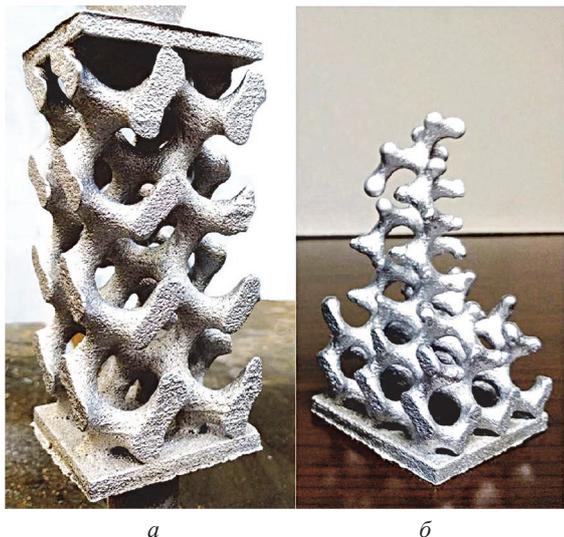


Рис. 6. Отливки ячеистой конструкции с разной степенью заполнения металлом песчаной формы аддитивного производства: *а* – отливка решетки, так называемой гироидной конструкции; *б* – «недолив» такой же отливки

На рис. 6 показаны на различных этапах примеры отработки получения ячеистых алюминиевых отливок габаритных размеров 63,5×63,5×139,7 мм и массой 0,5 кг с разной степенью заполнения металлом такой литейной формы [16].

Подобные гироидные структуры присутствуют в клетках растений и животных, в отдельных блок-сополимерах при конденсации олигомеров. Узоры на разбухших от воды ладонях ученые объясняют гироидной организацией «скелета» этих складок из волокон кератина, которые в коже уложены так, как будто они находятся в полостях гироида. Гироидная поверхность относится к классу известных в математике периодических минимальных поверхностей, полученных повторением некоторой элементарной ячейки, что ранее использовано для конструирования отливок в работах [13, 17].

Изготовление таких путотелых песчаных литейных форм без применения твердых моделей, а лишь по математическим моделям компьютерных программ подтверждает значительные возможности аддитивного производства [16, 18]. С ним могут конкурировать лишь техно-

логии литья по разовым моделям, в частности, наиболее экономичные по затратам: сегодняшняя технология литья по газифицируемым моделям и перспективная – по ледяным моделям [19].

Приведенные примеры технологий и конструкций из области литейного производства могут служить прообразами составляющей научно-технологической информации постепенно формирующейся базы для природоподобной техносферы. Речь идет не просто о моделировании, а о стремлении научиться воспроизводить ПТ, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и со временем позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой [1]. С их помощью прогнозируется создание под заказ новых материалов и систем как для машиностроения, средств транспорта, связи, других отраслей, так и для охраны окружающей среды и новой энергетики, которые станут органической частью природы, включенной в ее естественный ресурсооборот.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. № 3–4 (118–119). Т. 22. С. 103–108.
2. Дорошенко В. С. О природоподобных технологиях для точного литья // Литейщик России. 2018. № 2. С. 22–28.
3. Малинецкий Г. Г. Технологии в России: Мы проиграли настоящее, нужно думать о будущем. ИА REGNUM. 5.10.2016. URL: <https://regnum.ru/news/2188550.html> (дата обращения: 25.04.2018).
4. Мартынов А. С., Артюхов В. А., Забелин С. И. и др. Энергопотребление и экоэнергетическая эффективность отраслей экономики РФ // Черная металлургия. Интерфакс-ЭРА. 25.01.2013. URL: <https://interfax-era.ru/metodologiya/analiticheskie-obzory/chernaya-metallurgiya> (дата обращения: 25.04.2018).
5. Шинский О. И., Дорошенко В. С. Процессы песчаной формовки с использованием градиентов давления, температуры и концентрации реагентов в формовочной смеси // Процессы литья. 2017. № 5. С. 56–65.
6. Дорошенко В. С. Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений // Процессы литья. 2017. № 1. С. 39–46.
7. Дорошенко В. С. Разработка технологии литья по ледяным моделям с использованием явлений, наблюдаемых в природе // Литейщик России. 2017. № 1. С. 13–18.
8. Дорошенко В. С. Градиентный механизм упрочнения песчаных форм в природоподобных технологиях литейного производства // Экологический вестник России 2018. № 4. С. 48–53.
9. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мапашек. Киев: Выща шк., 1990; Прага: СНТЛ. 415 с.
10. Дорошенко В. С. Примеры гармонизации с природой технических и декоративных отливок // Литейное производство. 2016. № 9. С. 30–37.
11. Дорошенко В. С. Воспроизведение структур природы как метод получения ресурсосберегающих металлоконструкций // Вестн. ДДМА. 2014. № 1. С. 43–49.
12. Дорошенко В. С. Черпать ресурсосберегающий потенциал, воспроизводя структуры природы // Строительные и дорожные машины. 2014. № 7. С. 31–37.
13. Дорошенко В. С. Проектирование легковесных литых каркасно-ячеистых металлоконструкций с помощью моделирования структур природы // LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, 2015. 54 с.

14. **3D-printing** in space – Be AMAZEd // Advancing aerospace materials. 2016. № 11. URL: <http://www.airbus.com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide.html> (дата обращения: 25.04.2018).
15. **CML-отчет:** в Санкт-Петербурге прошла Петербургская техническая ярмарка 28 марта 2018 г. URL: <http://fea.ru/news/6713> (дата обращения: 25.04.2018).
16. **Walker J., Harris E., Lynnh C.** et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40962-018-0211-x#citeas> (дата обращения: 25.04.2018).
17. **Дорошенко В. С.** Математическое проектирование каркасно-ячеистых отливок // Литейное производство. 2013. № 2. С. 9–12.
18. **Дорошенко В. С.** 3D-технологии для формовки и литья // Литье и металлургия. 2015. № 3. С. 30–39.
19. **Дорошенко В. С., Бердыев К. Х.** Сравнительный расчет экономических затрат на изготовление песчаных форм по газифицируемым и ледяным моделям в литейном производстве // Экологический вестник России. 2011. № 10. С. 42–47.

## REFERENCES

1. **Kovalchuk M. V., Naraykin O. S.** Prirodopodobnyie tehnologii – novyie vozmozhnosti i novyie ugrozyi [Nature-like technologies – new opportunities and new threats]. *Indeks bezopasnosti = Safety index*. 2016, no. 3–4 (118–119), Vol. 22, pp. 103–108.
2. **Doroshenko V. S.** O prirodopodobnyih tehnologiyah dlya tochnogo litya [On the nature-friendly technologies for precision casting]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2018, no. 2, pp. 22–28.
3. **Malinetskiy G. G.** Tehnologii v Rossii: Myi proigrali nastoyashee, nuzhno dumat o buduschem [Technology in Russia: We lost the present, we need to think about the future]. *IA REGNUM*. 5.10.2016. URL: <https://regnum.ru/news/2188550.html> (дата обращения: 25.04.2018).
4. **Martynov A. S., Artyuhov V. A., Zabelin S. I. et al.** Energopotreblenie i ekoenergeticheskaya effektivnost otrasley ekonomiki RF. Chernaya metallurgiya [Energy consumption and eco-energy efficiency of the Russian economy. Ferrous metallurgy]. Interfaks-ERA. 25.01.2013. URL: <https://interfax-era.ru/metodologiya/analiticheskie-obzory/chernaya-metallurgia> (дата обращения: 25.04.2018).
5. **Shinskiy O. I., Doroshenko V. S.** Protsessyi peschanoy formovki s ispolzovaniem gradientov davleniya, temperatury i kontsentratsii reagentov v formovochnoy smesi [Processes of sand molding using pressure gradients, temperature and concentration of reagents in a molding mixture]. *Protsessyi litya = Foundry Processes*, 2017, no. 5, pp. 56–65.
6. **Doroshenko V. S.** Struktura issledovaniy po razrabotke tehnologii litya po ledyanyim modelyam s ispolzovaniem ryada osobenostey i prirodnyih yavleniy [Structure of research on the development of casting technology for ice models using a number of features and natural phenomena]. *Protsessyi litya = Foundry Processes*, 2017, no. 1, pp. 39–46.
7. **Doroshenko V. S.** Razrabotka tehnologii litya po ledyanyim modelyam s ispolzovaniem yavleniy, nablyudaemyih v prirode [Development of casting technology for ice models using phenomena observed in nature]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2017, no. 1, pp. 13–18.
8. **Doroshenko V. S.** Gradientnyiy mehanizm uprochneniya peschanyih form v prirodopodobnyih tehnologiyah liteynogo proizvodstva [Gradient mechanism of hardening of sand forms in nature-like technologies of foundry production]. *Ekologicheskii vestnik Rossii = Ecological Herald of Russia*, 2018, no. 4, pp. 48–53.
9. **Doroshenko S. P., Avdokushin V. P., Rusin K., Matsashek I.** *Formovochnyie materialy i smesi* [Molding materials and mixtures]. Kiev, Vyischa shkola Publ., 1990; Praga, SNTL Publ., 415 p.
10. **Doroshenko V. S.** Primeryi harmonizatsii s prirodoyi tehnikeskikh i dekorativnyih otlivok [Examples of harmonization with the nature of technical and decorative castings]. *Liteynoe proizvodstvo = Foundry production*, 2016, no. 9, pp. 30–37.
11. **Doroshenko V. S.** Vosproizvedenie struktur prirodyi kak metod polucheniya resursosberegayuschih metallokonstruktsiy [Reproduction of nature's structures as a method of obtaining resource-saving metal structures]. *Vestnik DDMA = Herald of DDMA*, 2014, no. 1, pp. 43–49.
12. **Doroshenko V. S.** Cherpat resursosberegayuschiy potentsial, vosproizvodya strukturyi prirodyi [To draw resource-saving potential by reproducing the structures of nature]. *Stroitelnyie i dorozhnyie mashiny = Construction and road machines*, 2014, no. 7, pp. 31–37.
13. **Doroshenko V. S.** Proektirovanie legkovesnyih lityih karkasno-yacheistyih metallokonstruktsiy s pomoschyu modelirovaniya struktur prirodyi [Designing light-weight cast frame-cellular metal structures by modeling natural structures]. *LAP Lambert Academic Publishing. Saarbruücken*, 2015. 54 p.
14. **3D-printing** in space – Be AMAZEd. *Advancing aerospace materials*. 2016, no. 11. – URL: <http://www.airbus.com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide.html> (дата обращения: 25.04.2018).
15. **CML-отчет:** в Санкт-Петербурге прошла Петербургская техническая ярмарка 28 марта 2018 г. [CML-report: St. Petersburg technical fair was held in St. Petersburg on March 28, 2018] URL: <http://fea.ru/news/6713> (дата обращения: 25.04.2018).
16. **Walker J., Harris E., Lynnh C.** et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40962-018-0211-x#citeas> (дата обращения: 25.04.2018).
17. **Doroshenko V. S.** Matematicheskoe proektirovanie karkasno-yacheistyih otlivok [Mathematical Design of Frame-Cell Castings]. *Liteynoe proizvodstvo = Foundry production*, 2013, no. 2, pp. 9–12.
18. **Doroshenko V. S.** 3D-tehnologii dlya formovki i litya [3D-technologies for molding and casting]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 3, pp. 30–39.
19. **Doroshenko V. S., Berdyev K. H.** Sravnitelnyiy raschet ekonomicheskikh zatrat na izgotovlenie peschanyih form po gazifitsiruemyim i ledyanyim modelyam v liteynom proizvodstve [Comparative calculation of economic costs for the production of sand molds for gasified and ice models in foundry production]. *Ekologicheskii vestnik Rossii = Ecological Herald of Russia*, 2011, no. 10, pp. 42–47.