

## УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 621.74

А. А. ПУЛЯЕВ, А. В. ЗОЛОТАРЕВА, В. И. ЧУМАЧЕНКО, В. В. БОГДАН, Н. Н. БЕЛИК

## РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЛИТОГО ПОРШНЮ ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Проведено комп'ютерне моделювання процесів заповнення кокілю розплавом при виготовленні литих поршнів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). На основі аналізу динаміки охолодження виливки, фазового переходу, пов'язаності зон, що кристалізуються в останню чергу, виявлено зони формування внутрішніх дефектів, зокрема газової та усадкової пористості. Запропоновано використання результатів моделювання процесів заповнення робочої порожнини кокілю для подальшої параметричної класифікації з визначення проблемних зон у виливках поршню.

**Ключові слова:** двигуни внутрішнього згоряння, поршень, кокіль, газова пористість, усадкова пористість

Проведено компьютерное моделирование процессов заполнения кокиля расплавом при изготовлении литых поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС). На основе анализа динамики охлаждения отливки, фазового перехода, связанности зон, кристаллизуются в последнюю очередь, выявлены зоны формирования внутренних дефектов, в частности газовой и усадочной пористости. Предложено использование результатов моделирования процессов заполнения рабочей полости кокиля для дальнейшей параметрической классификации по определению проблемных зон в отливках поршня.

**Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания, поршень, кокиль, газовая пористость, усадочная пористость

The actual applied problem of development of design and technological solutions for the manufacture of internal combustion engine (ICE) pistons is studied. A computer simulation of the processes of chill filling with a melt is carried out. Based on the analysis of the cooling dynamics of the casting, the phase transition and the bonding of the zones crystallized last of all, zones of formation of internal defects, in particular, gas and shrinkage porosity, are identified. The use of the simulation results of the filling processes of the chill mold working cavity for further parametric classification by determination of problem zones in piston castings is proposed. A comprehensive approach to design and technological solutions, as well as a procedure for determining the localization of internal defects cast by an ICE piston, is proposed. In particular, parametric methods of classification are proposed, which can be performed on the basis of the results of computer simulation of the filling process of the chill mold working cavity.

**Keywords:** internal combustion engines, piston, chill mold, gas porosity, shrinkage porosity

**Вступ.** Сучасні тенденції боротьби за якість продукції передбачають використання комплексного підходу щодо управління якістю виливків. Ця проблема розглядається в різних напрямках – вибір раціональних технологічних параметрів технологічних процесів та їх узгодженість на етапі конструкторської підготовки виробництва [1–4], спеціальні технологічні засоби підвищення експлуатаційних властивостей на етапі розробки технологічних процесів [5, 6], комп'ютерне моделювання динаміки процесів, що протікають в ливарних формах. Існуючі методи чисельного моделювання з використанням фізичних моделей ливарних процесів, які відбуваються в результаті охолодження виливка у формі, є трудомісткими, при цьому варіювання різними технологічними параметрами є практично неможливим. Все сказане стосується й литих деталей двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

**Аналіз літературних даних.** Питання комп'ютерно-інтегрованого проектування литих поршнів з використанням програмних продуктів SolidWorks і LVM Flow розглянуті в роботах [7–9]. Зокрема наведені результати комп'ютерного моделювання процесу кристалізації в литих деталях типа «поршень» при використанні різних тепло ізолюючих покриттів кокілю. На основі отриманих результатів зроблено висновок про можливість оптимізації параметрів якості поршня шляхом ефективного управління процесами кристалізації. Наведені також результати комп'ютерного моделювання усадки та формування усадкових дефектів в литих деталях типа «поршень» при використанні різних термоізолюючих покриттів кокіля. На основі отриманих результатів зроблено висновок про

важливість підбору матеріалу термоізолюючого покриття для зниження дефектів. Запропоновані конструкторсько-технологічні рішення отримані на основі моделювання в програмному пакеті LVM Flow. Але не вказано, варіюванням яких саме параметрів слід оптимізувати конструкторсько-технологічні рішення щодо конструкції ливарної оснастки. Вибір таких факторів дуже важливий, бо дозволяє з використанням методів планування експерименту побудувати рівняння регресії або взагалі математичні моделі процесів заповнення ливарної форми та кристалізації, що зв'язують конструкторсько-технологічні параметри з вмістом газової пористості, величини усадки чи розподілу пористості по об'єму виливку. На основі такого типового для уніфікованих технологічних процесів виготовлення литих поршнів математичного опису можна визначити оптимальні конструктивно-технологічні параметри, що закладаються в ливарну оснастку на етапі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва [10, 11].

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є виявлення місць розташування та розмірів дефектів газоусадкового характеру в литих поршнях ДВЗ.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- розробка 3D моделі виливку;
- комп'ютерне моделювання заповнення форми та аналіз динаміки охолодження виливки, фазового переходу, пов'язаності зон, що кристалізуються в останню чергу.

© А. А. Пуляев, А. В. Золотарева, В. И. Чумаченко, В. В. Богдан, Н. Н. Белик. 2016

**Розробка моделі та результати комп'ютерного моделювання заповнення форми розплавом.** Як досліджувана деталь для комп'ютерно-інтегрованого моделювання був узятий литий поршень Д 240-1004021, вироблений на Харківському підприємстві ПАТ «АВТРАМАТ». В якості інструментарію для інженерного моделювання процесу лиття поршнів була обрана ІКС LVM Flow 2.91 (власник ліцензії - ПАТ «АВТРАМАТ»). Створення 3D-моделі (рис.1) виконувалося з урахуванням вимог, що пред'являються до виливків, одержуваних в кокіль із застосуванням можливостей програм SolidWorks і LVM Flow.

Граничні умови і вихідні дані для моделювання задавалися в наступній послідовності: 3D-імпорт і створення кінцево-різницевої моделі; призначення матеріалу для відливання і технологічної оснастки, а також розділового покриття, що наноситься на поверхні оснастки (матеріал виливки поршня –

АК12М2МгН ГОСТ 1583-93 (ДСТУ 2839-94); матеріал технологічної оснастки – Сталь 20, СЧ20; на формотворчих частини кокіль нанесена кокільна фарба товщиною – 0,2 мм, яка має теплопровідність  $\lambda=1,90$  Вт/м·К; призначення початкової температури розплаву і технологічної оснастки, її охолодження різними теплоносіями.

Для прогнозування мікропористості і газоусадкової пористості використовується критерій Niyama, який показує спрямованість процесу кристалізації. Для зручності аналізу результатів моделювання заповнюваність форми розглядалася поетапно, у міру заповнення розплавом окремих конструктивних частин. На загальному вигляді для приклада заповнення форми на 50 % (рис. 1) вказана шкала, де чисельно і в кольорі показана величина швидкості руху розплавленого металу, стрілками показано напрямок руху металу.

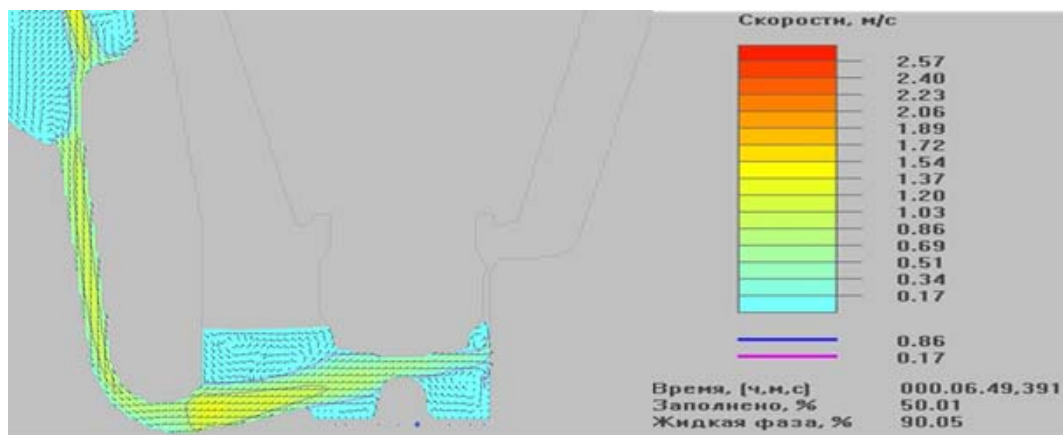


Рис. 1 – Загальний вигляд заповнення форми рас плавом на 50 %

Визначено, що метал в стояку рухається без зайвих завихрень та при вході металу в стояк швидкість відносно невелика, але в міру просування по стояку вона зростає. Підвищення швидкості на висоті стояка дозволяє уникнути втрат температур на початковому етапі заливки, що для малогабаритних деталей є істотним чинником. За таких умов метал потрапляє в наступний елемент ливникової системи з найменшими втратами. За результатами моделювання встановлено, що швидкість руху металу становить 0,4 м/с. Після цього метал надходить в колектор, площа перерізу якого дорівнює площі перетину стояка, і за рахунок цього метал поступово заповнює колектор. Швидкість металу при вході в колектор зменшується і її значення становить 0,2 м/с. Таке значення швидкості течії металу в формі в даному елементі ливникової системи вважається задовільним.

Як видно з результатів, на донній порожнині виливку розплав рухається від застиглих частин до більш гарячим. У той же час створюються зустрічні потоки, але завихрення відбувається всередині виливки, які не переміщуючись до стінки форми. Результати моделювання охолодження виливки і подальший аналіз зон рідкої і твердої фаз дозволяють виявити характер спрямованості кристалізації виливка. Спочатку охолоджувалася тонка «спідниця»

деталі поршня, далі область пальцевих отворів і в останню чергу кристалізувалася головка поршня.

Проведений аналіз показав, що інтервал між повним затвердіння «спідниці» поршня і головки викликає нерівномірність зростання кристалів в тілі виливка, що призводить при експлуатації до зміни механічних властивостей деталі. Аналіз динаміки охолодження виливки, фазового переходу, пов'язаності зон, що кристалізуються в останню чергу, дозволили визначити місця можливої появи дефектів газоусадочної характеру. В даному дослідженні для прогнозування мікропористості і газоусадочної пористості застосований критерій Niyama Цей критерій є надійним інструментом для простих відливок, але в разі виливків зі складною геометрією його використання вимагає більш ретельного аналізу результатів моделювання. обчислюється як температурний градієнт, поділений на корінь квадратний з швидкості охолодження в даному розрахунковому вузлі, іншими словами він показує спрямованість процесу кристалізації.

На рис. 2 показано загальний характер напрямку кристалізації виливку для моменту часу, коли зміст рідкої фази складає 68%, а на рис. 3 – місця розташування дефектів газоусадкового характеру згідно з критерієм Niyama.

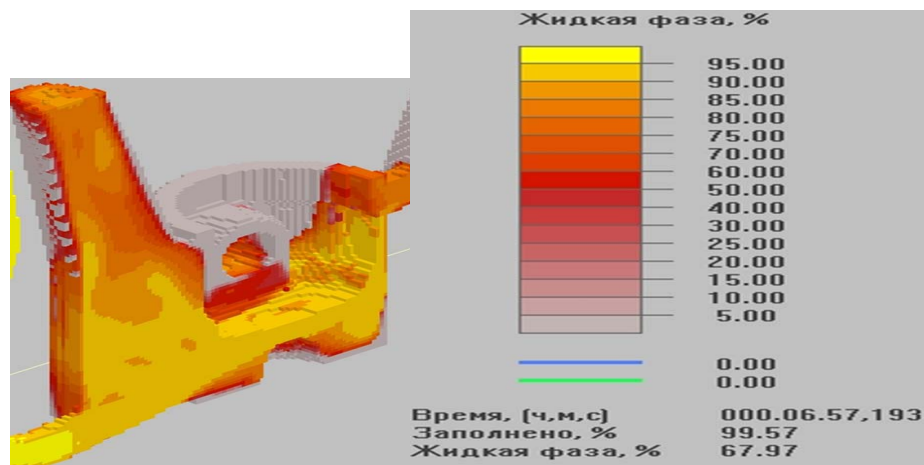


Рис. 2 – Загальний характер напрямку кристалізації виливку

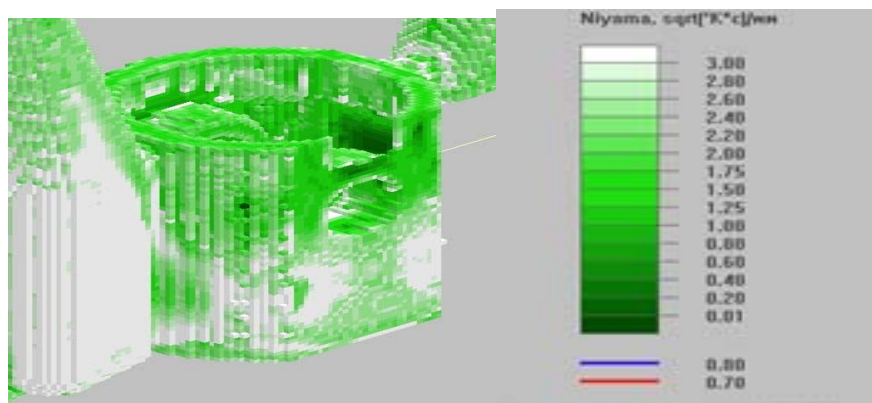


Рис. 3 – Місця розташування дефектів газосадкового характеру згідно з критерієм Niyaama в масиві бобишки

Отримані результати моделювання охолодження виливки і подальший аналіз зон рідкої і твердої фаз дозволяють виявити характер спрямованості кристалізації виливка та визначити потенційно небезпечні місця формування газової пористості та усадкових дефектів.

**Обговорення результатів.** Результати моделювання процесів заповнення робочої порожнини кокілю можуть бути використані для подальшої параметричної класифікації, якщо в якості факторів впливу на локалізацію внутрішніх дефектів обрати відповідні конструкторсько-технологічні рішення щодо ливарної оснастки. В цьому разі будується класифікаційне правило у вигляді лінійної дискримінантної функції вигляду [9–14]

$$y_0 = \frac{1}{2}(m_A + m_B)' \text{cov}^{-1}(x)(m_A - m_B) - \ln \frac{P(A)}{P(B)}, (1)$$

де  $m_A$  і  $m_B$  – математичні очікування векторів  $X$  для класів  $A$  та  $B$  ( $A$  – годне,  $B$  – брак за внутрішніми дефектами),  $y_0$  – порогове значення, що дозволяє порівняти брак та годне литво,

$\text{cov}(x) = \frac{1}{N} X^T X - m^T m$  – коваріаційна матриця,  $P(A)$ ,

$P(B)$  – апіорні ймовірності класів.

Можливе також представлення факторів впливу у вигляді нечітких значень [15–21], якщо складно визначити їх безпосередньо на основі моделювання та для оцінки відповідних рішень залучаються експерти.

В цьому разі варто розглянути різні технологічні варіанти оформлення конструкторської розробки щодо оснастки поршнів, якими можуть бути як безпосередні

**Висновки.** Встановлено, що інтервал між повним затвердіння «спідниці» поршня і головки викликає нерівномірність зростання кристалів в тілі виливка, що призводить при експлуатації до зміни механічних властивостей деталі. Аналіз динаміки охолодження виливки, фазового переходу, пов'язаності зон, що кристалізуються в останню чергу, дозволили визначити місця можливої появи дефектів газосадкового характеру.

Запропоновано використання результатів моделювання процесів заповнення робочої порожнини кокілю для подальшої параметричної класифікації, якщо в якості факторів впливу на локалізацію внутрішніх дефектів обрати відповідні конструкторсько-технологічні рішення щодо ливарної оснастки.

#### Література

1. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей [Текст] / О. В. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – № 3. – С. 16–24.
2. Хорошилов, О. Н. Повышение качества непрерывнолитых заготовок из медных сплавов [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко, А. В. Кипенский, В. В. Наний // Металлургия машиностроения, – 2012. – № 12. – С. 29–31.
3. Бреславский, Д. В. Управление качеством непрерывно литых заготовок [Текст] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // Вестник ДДМА. – 2010. – № 3 (20). – С. 41–46.
4. Idan, A. F. I. The study of the influence of laser hardening

- conditions on the change in properties of steels [Text] / A. F. I. Idan, O. Akimov, L. Golovko, O. Goncharuk, K. Kostyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/5 (80). – P. 69–73. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65455](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65455)
5. Kostyk, K. O. Development of the high-speed boriding technology of alloy steel [Text] / K. O. Kostyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 6/11 (78). – P. 8–15. doi: [10.15587/1729-4061.2015.55015](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.55015)
  6. Mohanad, M. K. Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding [Text] / M. K. Mohanad, V. Kostyk, D. Demin, K. Kostyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/5 (80). – P. 45–49. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65454)
  7. Краснокутский, Е. А. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации литой детали в кокиле [Текст] / Е. А. Краснокутский // Технологический аудит и резервы производства – 2012. – № 1/1 (3). – С. 3–8. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4867](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4867)
  8. Савченко, Ю. Применение компьютерно-интегрированных систем и технологий в производстве поршней [Текст] / Ю. Савченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – № 1/1 (3). – С. 8–13. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4868](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4868)
  9. Акимов, О. В. Повышение качества литых деталей ДВС: учет технологических аспектов автоматизированного литейного производства [Текст] / О. В. Акимов, О. С. Коваль, А. А. Пуляев, Е. П. Дымко, Т. О. Егоренко, С. В. Высоцкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/1 (67) – С. 56–62. doi: [10.15587/1729-4061.2015.56039](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56039)
  10. Дёмин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/4 (67). – С. 43–56. Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/21203/19147>
  11. Дёмин, Д. А. Адаптивное моделирование в задаче поиска оптимального управления термовременной обработкой чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/4 (66). – С. 31–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19453/17110>
  12. Mourad, A. Localization of vectors–patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy [Text] / A. Mourad // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 4/4 (82). – P. 10–20. doi: [10.15587/1729-4061.2016.76171](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76171)
  13. Дёмин Д. А. Принятие решений в процессе управления электроплавкой с учетом факторов нестабильности технологического процесса [Текст] / Д. А. Дёмин // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 17. – С. 67–72.
  14. Дёмин, Д. А. Идентификация чугуна для определения рациональных режимов легирования [Текст] / Д. А. Дёмин, А. Б. Божко, А. В. Зрайченко, А. Г. Некрасов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 4/1 (22). – С. 29–32.
  15. Пономаренко, О. И. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации как резерв повышения качества поршней ДВС [Текст] / О. И. Пономаренко Н. С. Тренёв // Технологический аудит и резервы производства – 2013. – № 6/2 (14). – С. 36–40. doi: [10.15587/2312-8372.2013.19529](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.19529)
  16. Дёмин, Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 3/1. – С. 47–50.
  17. Vasenko Iu. A. Technology for improved wear iron [Text] / Iu. A. Vasenko // Technology Audit and Production Reserves. – 2012. – № 1/1 (3). – P. 17–21. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4870](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4870)
  18. Дёмин, Д. А. Нечеткая кластеризация в задаче построения моделей «состав – свойство» по данным пассивного эксперимента в условиях неопределённости [Текст] / Д. А. Дёмин // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 6. – С. 15–23.
  19. Косячков, В. А. Перспективы производства биметаллических отливок модифицированием чугуна в литейной форме [Текст] / В. А. Косячков, М. А. Фесенко, Д. В. Денисенко // Процессы литья. – 2004. – № 4. – С. 80.
  20. Фесенко, М. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугунных отливок с дифференцированными структурой и свойствами [Текст] / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков // Литейное производство. – 2010. – № 1. – С. 7–13.
  21. Фесенко, М. А. Исследование процессов внутриформенной обработки чугуна методами физического моделирования [Текст] / М. А. Фесенко, В. А. Фесенко, А. Н. Косячков // Вестник ДГМА. – 2006. – № 3. – С. 7–14.
- ### References
1. Akimov, O. V. (2003). Analiz pogreshnostej formoobrazovanija otlivok koles turbin turbokompressorov dlja nadduva DVS na jetape izgotovlenija ih voskovykh modelej. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 3, 16–24.
  2. Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I., Kipenskiy, A. V., Naniy, V. V. (2012). Povyshenie kachestva nepreryynolityh zagotovok iz mednyh splavov. Metallurgija mashinostroenija, 12, 29–31.
  3. Breslavskij, D. V., Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I. (2010). Upravlenie kachestvom nepreryvno lityh zagotovok. Vestnik DDMA, 3 (20), 41–46.
  4. Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K. (2016). The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (5 (80)), 69–73. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65455](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65455)
  5. Kostyk, K. O. (2015). Development of the high-speed boriding technology of alloy steel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (11 (78)), 8–15. doi: [10.15587/1729-4061.2015.55015](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.55015)
  6. Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., Kostyk, K. (2016). Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (5 (80)), 45–49. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65454)
  7. Krasnokutskij, E. A. (2012). The simulation of crystallization in a metal mold cast parts. Technology Audit and Production Reserves, 1 (1 (3)), 3–8. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4867](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4867)
  8. Savchenko, Ju. Je. (2012). Use of computer-integrated systems and technology in the production of pistons. Technology Audit and Production Reserves, 1 (1 (3)), 8–13. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4868](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4868)
  9. Akimov, O. V., Koval', O. S., Puljaev, A. A., Dymko, E. P., Yehorenko, T. O., Vysockij, S. V. (2015). Quality improvement of cast parts of ice: accounting technological aspects of the automated foundry. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (1 (78)), 56–62. doi: [10.15587/1729-4061.2015.56039](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56039)
  10. Demin, D. A. (2014). Tipizacija matematiceskogo opisaniya v zadachah sinteza optimal'nogo reguljatora tehnologicheskikh parametrov litejnogo proizvodstva. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 1 (4 (67)), 43–56. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/21203/19147>
  11. Demin, D. A. (2013). Adaptivnoe modelirovanie v zadache poiska optimal'nogo upravlenija termovremennoj obrabotkoj chuguna. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 6 (4 (66)), 31–37. – Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19453/17110>
  12. Mourad, A. (2016). Localization of vectors–patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (4 (82)), 10–12. doi: [10.15587/1729-4061.2016.76171](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76171)
  13. Demin, D. A. (2010). Prinjatje reshenij v processe upravlenija jelektroplavkoj s uchetom faktorov nestabil'nosti tehnologicheskogo processa. Vestnik NTU «HPI», 17, 67–72.
  14. Demin, D. A., Bozhko, A. B., Zrajchenko, A. V., Nekrasov, A. G. (2006). Identifikacija chuguna dlja opredelenija racional'nyh rezhimov legirovaniya. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 4 (1 (22)), 29–32.
  15. Ponomarenko, O. I., Trenjov, N. S. (2013). Computer modeling of crystallization processes as a reserve of improving the quality of pistons of ICE. Technology Audit and Production Reserves, 6 (2 (14)), 36–40. doi: [10.15587/2312-8372.2013.19529](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.19529)
  16. Demin, D. A. (2006). Obrabotka jeksperimental'nyh dannyh i postroenie matematiceskoy modeli tehnologicheskogo processa metodom naimen'shix kvadratov (MNK). Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 3 (1), 47–50.
  17. Vasenko Iu. A. (2012). Technology for improved wear iron.



- Technology Audit and Production Reserves, 1 (1 (3)), 17–21. doi: [10.15587/2312-8372.2012.4870](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4870)
18. Demin, D. A. (2013). Nechetkaja klasterizacija v zadache postroenija modelej «sostav – svojstvo» po dannym passivnogo jeksperimenta v uslovijah neopredeljonnosti. Problemy mashinostroenija, 16 (6), 15–23.
  19. Kosjachkov, V. A., Fesenko, M. A., Denisenko, D. V. (2004). Perspektivy proizvodstva bimetallicheskih otlivok modifirovaniem chuguna v litejnoj form. Processy lit'ja, 4, 80.
  20. Fesenko, M. A., Fesenko, A. N., Kosjachkov, V. A. (2010). Vnutriformennoe modifirovanie dlja poluchenija chugunnyh otlivok s differencirovannymi strukturaj i svojstvami. Litejnoe proizvodstvo, 1, 7–13.
  21. Fesenko, M. A., Fesenko, V. A., Kosjachkov, A. N. (2006). Issledovanie processov vnutriformennoj obrabotki chuguna metodami fizicheskogo modelirovanija. Vestnik DGMA, 3, 7–14.

Надійшла (received) 07.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Результати комп'ютерного моделювання процесу формування литого поршню для двигунів внутрішнього згорання/ А. А. Пуляев, А. В. Золотарева, В. І. Чумаченко, В. В. Богдан, М. М. Белик// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.147–151. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.**

**Результаты компьютерного моделирования процесса формирования литого поршня для двигателей внутреннего сгорания/ А. А. Пуляев, А. В. Золотарева, В. И. Чумаченко, В. В. Богдан, Н. Н. Белик// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.147–151. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.**

**A computer simulation FORMATION OF cast pistons for internal combustion engines/ A. Pulyaev, A. Zolotareva, V. Chumachenko, V. Bohdan, M. Bielik//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 50 (1222).– P. 147–151. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Пуляев Антон Анатольевич** – аспірант, Кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002.

**Золотарева Анастасія Вадимівна** – магістр, Кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002; e-mail: [litvo11@kpi.kharkov.ua](mailto:litvo11@kpi.kharkov.ua).

**Чумаченко Віталій Іванович** – магістр, Кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002.

**Богдан Вікторія Володимирівна** – магістр, Кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002.

**Белик Николай Николаевич** – магістр, Кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002.

**Пуляев Антон Анатолійович** – аспірант, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

**Золотарева Анастасія Вадимівна** – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

**Чумаченко Віталій Іванович** – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

**Богдан Вікторія Володимирівна** – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

**Белик Микола Миколайович** – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

**Pulyaev Anton** – graduate student, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Курпичова str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

**Zolotareva Anastasiia** – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Курпичова str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002; e-mail: [litvo11@kpi.kharkov.ua](mailto:litvo11@kpi.kharkov.ua).

**Chumachenko Vitalii** – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Курпичова str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

**Bohdan Viktoriia** – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Курпичова str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

**Bielik Mykola** – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Курпичова str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.