

УДК 621.771.294

С.А. Снитко /к.т.н./, А.Л. Сотников /д.т.н./, А.В. Яковченко /д.т.н./  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ШТАМПОВКЕ КОЛЕСНЫХ ЗАГОТОВОК

*На основе результатов конечно-элементного моделирования выполнен анализ влияния схем штамповки колесных заготовок на износ инструмента деформации применительно к современным прессопрокатным линиям. Установлено, что схема деформирования металла в формовочных штампах, обеспечивающая заполнение гребня при осевом обжатии металла в зоне обода, снижает проскальзывание металла относительно поверхности формовочных штампов в местах перехода от диска к ободу. Дополнительное снижение износа в этом случае составляет 27-33 %.*

**Ключевые слова:** железнодорожное колесо, схема штамповки, колесная заготовка, формовочный пресс, штампы, износ.

### Постановка проблемы

Проблемы модернизации прессопрокатного оборудования [1-3 и др.], совершенствования применяемой технологии в части реализации рациональных силовых режимов работы и высокой стойкости деталей [4,5 и др.] являются актуальными научно-техническими задачами металлургической отрасли.

### Анализ последних исследований и публикаций

При освоении новой прессопрокатной линии ОАО «Евраз НТМК» специалистами комбината было установлено, что, несмотря на высокое качество исходной заготовки, высокую степень автоматизации технологического процесса, разработанная фирмой SMS-EUMUCO технология штамповки колесных заготовок, не позволила получить стабильные размеры черновых колес при использовании исходных заготовок из непрерывнолитого металла собственного производства [6].

Разработка и внедрение на заготовочном прессе силой 50 МН (R5000) технологии осадки заготовок в верхнем плавающем технологическом кольце позволили стабилизировать наружный диаметр заготовок, повысить точность размеров колесных заготовок на формовочном прессе и снизить брак на прокате [6].

Вместе с тем эта технология не позволяет выполнять разгонку заготовок. Указанная операция является крайне необходимой при производстве многих типоразмеров колес и, в первую очередь, при штамповке заготовок колес диаметром 957 мм с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011, доля которых в годовом объеме производства обычно велика.

При штамповке на формовочном прессе силой 90 МН (R9000) колесных заготовок для колес диаметром 957 мм из осажженной на прессе R5000 заготовки без разгонки («плюшки») имеет место односторонняя схема течения металла из зоны диска в зону обода при повышенной силе штамповки. Причиной является наличие избыточного объема металла в центральной части заготовки, который преждевременно заполняет формовочные штампы в зоне ступицы.

В работах [7,8] предложены новые способы штамповки колесных заготовок, которые позволяют выполнять на прессе R5000 регламентированное распределение металла между центральной и периферийной частями заготовки, обеспечивают их самоцентрировку на формовочном прессе R9000 и получение стабильных размеров колесных заготовок.

Наряду с получением требуемых параметров по геометрии, макро- и микроструктуре, а также механических свойств изделий [6-15 и др.] одним из важных критериев оценки эффективности применяемых схем деформирования является их влияние на силовой режим прессопрокатного оборудования и износостойкость деформирующего инструмента. В колесопрокатном производстве повышение указанной стойкости является актуальной задачей, так как именно она во многом определяет затраты, связанные с выбором марки стали для штампов, технологии их изготовления и технологической смазки [12,13].

### Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является изучение влияния схем штамповки колесных заготовок на износ инструмента деформации формовочного пресса R9000.

**Основной материал исследования**

Анализ формоизменения металла, силовых параметров, а также износа штампов при формовке колесных заготовок на прессе R9000 был выполнен на основе результатов конечно-элементного моделирования процесса штамповки в системе DEFORM-3D. При этом решалась объемная задача для сектора, имеющего угол 90°. Штампы моделировали как недеформируемые объекты. В качестве материала для штампов использовали имеющуюся в библиотеке DEFORM-3D штамповую сталь AISI-H-13 с соот-

ветствующими механическими и теплофизическими характеристиками, зависящими от температуры. Твердость материала штампов приняли независимой от температуры, равной 41HRC.

Для колесной заготовки использовали пластическую модель материала, кривые течения рассчитали для колесной стали марки 2 (ГОСТ 10791-2011) [16]. Используемые при моделировании теплофизические свойства колесной стали взяли из базы данных DEFORM-3D для высокоуглеродистой стали.

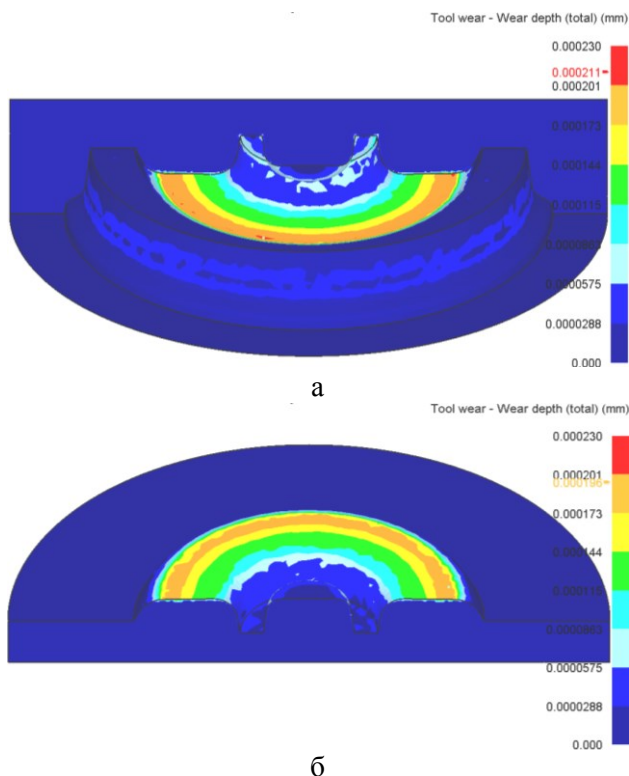


Рис. 1. Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме А:  
*а* – верхний штамп;  
*б* – нижний штамп

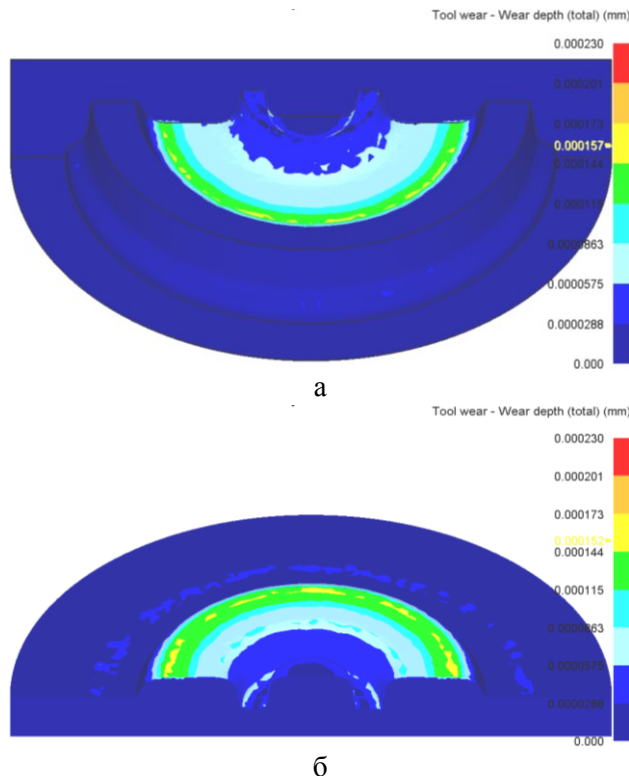


Рис. 2. Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме Б:  
*а* – верхний штамп;  
*б* – нижний штамп

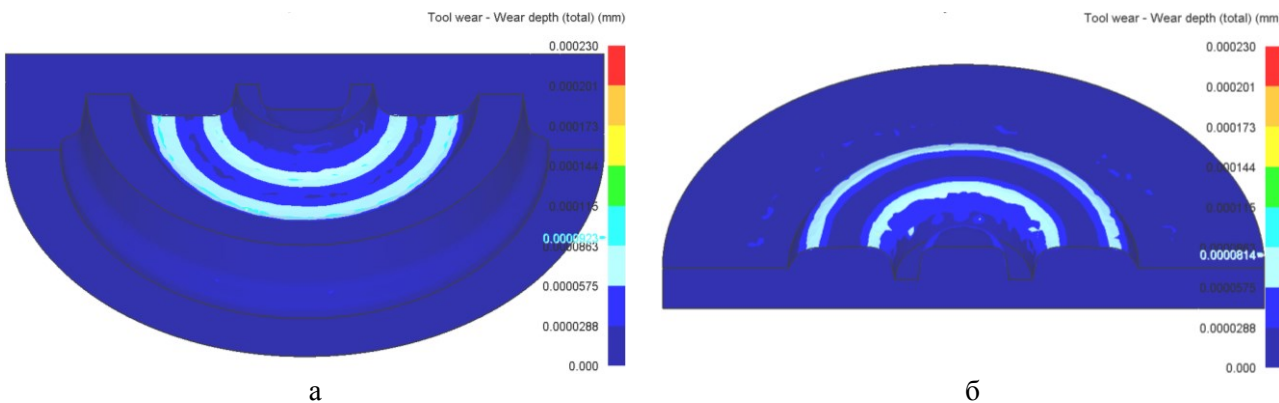


Рис. 3. Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме В:  
*а* – верхний штамп; *б* – нижний штамп

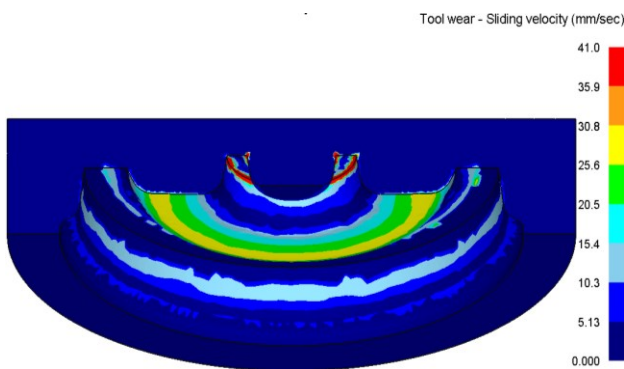
Начальную температуру штампов приняли равной 20 °С. Заготовка перед штамповкой имела неравномерное температурное поле в диапазоне 1100-1260 °С, полученное путем конечно-элементного моделирования транспортировки заготовки от нагревательной печи к прессу R5000 (с учетом гидросбива окалины с торцевых поверхностей заготовки), ее деформирования на прессе R5000 и транспортировки к прессу R9000. Используемые при моделировании значения скоростей рабочего хода траверс прессы были равны: 0,03 м/с – для прессы R5000, 0,01 м/с – для прессы R9000.

При сравнительной оценке различных схем штамповки колесных заготовок учитывали толь-

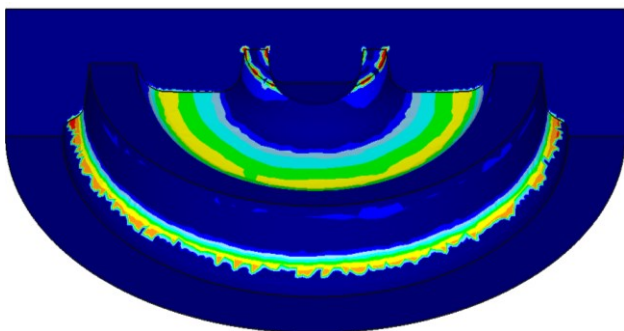
ко абразивный износ. Для расчета износа ( $W$ ) использовали модель Арчарда [14,15]:

$$W = \int_0^t K \frac{p^a \theta^b}{H^c} dt,$$

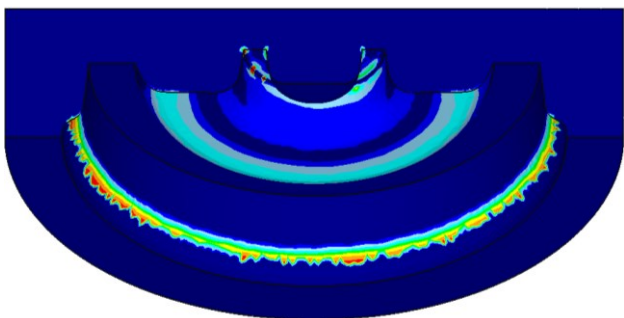
где  $\theta$  и  $p$  – соответственно скорость проскальзывания металла относительно инструмента и давление на контактной поверхности;  $K$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – эмпирические коэффициенты;  $H$  – твердость материала штампов;  $t$  – время протекания процесса. Значения эмпирических коэффициентов использовали следующие:  $K=2 \cdot 10^{-6}$ ;  $a=b=1$ ,  $c=2$ .



а

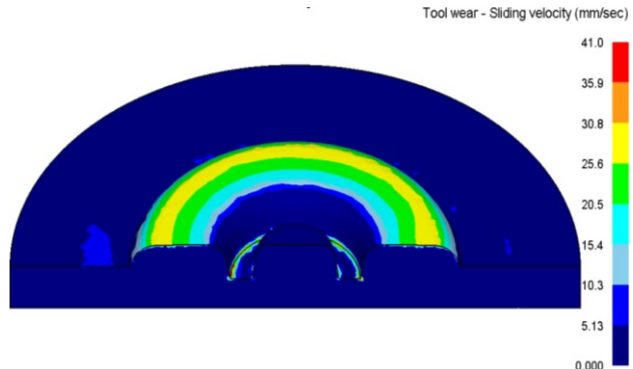


б

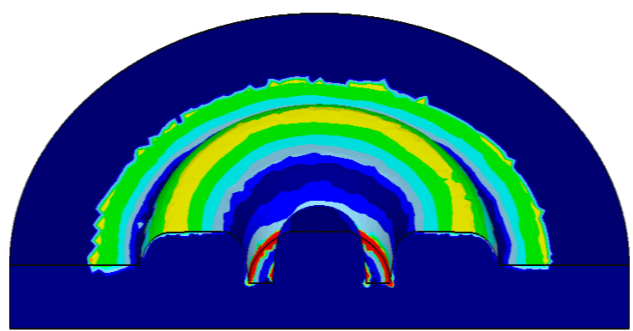


в

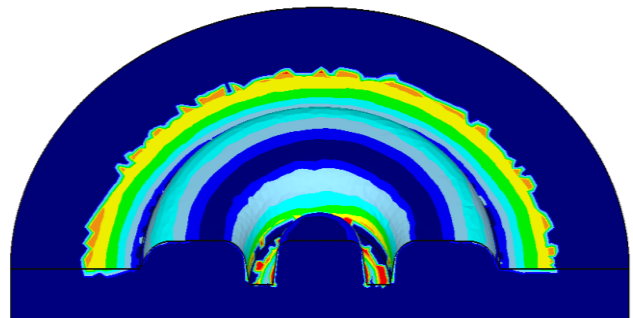
Рис. 4. Результаты моделирования скорости проскальзывания металла относительно верхнего инструмента деформации при штамповке колесной заготовки:  
а – по схеме А; б – по схеме Б;  
в – по схеме В



а



б



в

Рис. 5. Результаты моделирования скорости проскальзывания металла относительно нижнего инструмента деформации при штамповке колесной заготовки:  
а – по схеме А; б – по схеме Б;  
в – по схеме В

В ходе исследования был выполнен анализ трех схем штамповки колесной заготовки для колес диаметром 957 мм с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011: А – схема штамповки колесной заготовки из «плюшки» [6] (используемая на прессопрокатной линии ОАО «Евраз НТМК»); Б – схема штамповки колесной заготовки [7] из заготовки с предварительно сформованными частями обода и ступицы с нижней стороны заготовки, которая предусматривает самоцентрировку заготовки в формовочных штампах; В – схема штамповки колесной заготовки [8], предусматривающая самоцентрировку заготовки в формовочном кольце.

Анализ результатов моделирования процесса износа инструмента деформации (рис. 1-3) позволил установить следующее. Исключение преждевременного заполнения ступицы (схема Б) и, соответственно, одностороннего течения металла на заключительной стадии штамповки способствует уменьшению средней (по верхнему и нижнему штампам) износа формовочных штампов на 20-24 %.

Как показали расчеты, наиболее существенным фактором, определяющим износ штампов, является проскальзывание деформируемого металла относительно поверхностей инструмента деформации (рис. 4, 5). По трем рассмотренным схемам получены близкие значения контактных давлений.

Установлено, что в процессе обжатия металла в области диска, чем раньше образуется подпор течению металла со стороны формовочного кольца, тем меньше проскальзывание деформируемого металла относительно поверхности формовочных штампов в зонах их наиболее интенсивного износа (переход от диска к ободу) (см. рис. 4, 5) и, как следствие, меньше износ. Как видно из рис. 4 и 5, для схем штамповки Б и В характерно наличие зон повышенного проскальзывания деформируемого металла по верхнему инструменту деформации в области сопряжения поверхности катания обода и гребня формируемой колесной заготовки и расположенной под ней плоской части нижнего инструмента деформации.

Вместе с тем указанные зоны наблюдаются непродолжительное время на заключительном этапе процесса штамповки (этапе формирования гребня) и не оказывают существенного влияния на суммарное значение износа, а также не приводят к образованию в них повышенного износа (см. рис. 2а, 3а).

Также установлено, что схема деформирования металла в формовочных штампах, обеспечивающая заполнение гребня при осевом обжатии

металла в зоне обода (схема В), снижает проскальзывание деформируемого металла относительно поверхности формовочных штампов в местах перехода от диска к ободу (см. рис. 4, 5) и, в итоге, способствует уменьшению износа штампов (см. рис. 3). Дополнительное снижение износа при штамповке по схеме В составило 27-33 %.

## Выводы

Исключение преждевременного заполнения ступицы и, соответственно, одностороннего течения металла на заключительной стадии штамповки колес способствует уменьшению среднего (по верхнему и нижнему штампам) значения износа формовочных штампов на 20-24 %. Установлено, что в процессе обжатия металла в области диска, чем раньше образуется подпор течению металла со стороны формовочного кольца, тем меньше проскальзывание деформируемого металла относительно поверхности формовочных штампов в зонах их наиболее интенсивного износа (перехода от диска к ободу) и, как следствие, меньше износ.

Также установлено, что схема деформирования металла в формовочных штампах, обеспечивающая заполнение гребня при осевом обжатии металла в зоне обода, снижает проскальзывание металла относительно поверхности формовочных штампов в местах перехода от диска к ободу и, в итоге, способствует уменьшению износа штампов. Дополнительное снижение износа в этом случае составляет 27-33 %.

## Список литературы

1. Kushnarev, A.V. Modernization of Railroad Wheel Manufacturing Technology at Evraz NTMK / A.V. Kushnarev [et al.] // Metallurgist. – 2017. – No.60 (9-10). – P. 1080-1086.
2. Снитко, С.А. Взаимосвязь режимов прокатки с нагрузками и запасом прочности наклонных валков колесопркатных станов горизонтального и вертикального типов / С.А. Снитко, А.В. Яковченко, А.Л. Сотников // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2017. – №3. – С. 14-29.
3. Снитко, С.А. Совершенствование технологии и оборудования в колесопркатном производстве / С.А. Снитко, А.В. Яковченко, А.Л. Сотников // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2017. – №4. – С. 19-27.
4. Gorbatyuk, S.M. Method and equipment for mechanically strengthening the surface of rolling-mill rolls / S.M. Gorbatyuk, A.V. Kocha-

- nov. – Metallurgist. – 2012. – No.56(3-4). – P. 279-283.
5. Zakharov, A.N. Modernizing a press for making refractories / A.N. Zakharov, S.M. Gorbatyuk, V.G. Borisevich. – Metallurgist. – 2008. – No.52(7-8). – P. 420-423.
  6. Кушнарєв, А.В. Разработка научных основ и внедрение современной технологии производства железнодорожных колес с высокими эксплуатационными характеристиками // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов Екатеринбургского ун-та. – Екатеринбург: унив. тип. «Альфа Принт», 2012. – С. 626-637.
  7. Снитко, С.А. Механизм исправления асимметрии при штамповке колесных заготовок / С.А. Снитко, А.В. Яковченко // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2012. – №4(33). – С. 95-99.
  8. Снитко, С.А. Технологические схемы и механизмы, обеспечивающие повышение точности и стабильности размеров штампованных колесных заготовок // Сталь. – 2013. – №10. – С. 72-80.
  9. Solomonov, K.N. Application of CAD/CAM Systems for Computer Simulation of Metal Forming Processes // Materials Science Forum. – 2012. – Vol.704-705. – P. 434-439.
  10. Larin, S.N. Approach to assessment of microdamages accumulated during the constrained molding of shells made of the material subject to energy theory of creep and damage / S.N. Larin, V.I. Platonov, K.N. Solomonov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2017. – Vol.52. No.4. – P. 679-684.
  11. Данченко, В.Н. Исследование напряженного состояния формовочных штампов и условий контактного трения с помощью компьютерного моделирования при штамповке заготовок железнодорожных колес / В.Н. Данченко и др. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – №46(952). – С. 28-32.
  12. Кушнарєв, А.В. Стойкость штампового инструмента при изготовлении железнодорожных колес / А.В. Кушнарєв, и др. // Производство проката. – 2015. – №5. – С. 46-48.
  13. Бобырь, С.В. Влияние химического состава и типа поверхностных дефектов на стойкость штампов прессы 10000 тонн из низколегированных сталей / С.В. Бобырь и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – №1. – С. 65-69.
  14. Дья, Х. Теоретический анализ износа калибров в процессе прокатки круглых прутков / Х. Дья, М. Сыгут // Вестник МГТУ им. Г.Н. Носова. – 2013. – №3. – С. 41-47.
  15. Рычков, С.С. Моделирование износа валков методом конечных элементов при прокатке в калибрах простой формы / С.С. Рычков, Д.И. Кинзин // Калибровочное бюро. – 2013. – Вып.1. – С. 29-42.
  16. Snitko, S. Features Finite-Element Modeling of the Deformation Exact Mass / S. Snitko, A. Duzhurzhi // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2012. – Vol.9. No.9. – P. 1505-1510.

S.A. Snitko /Cand. Sci. (Eng.), A.L. Sotnikov /Dr. Sci. (Eng.), A.V. Yakovchenko / (Dr. Sci. (Eng.)/  
Donetsk National Technical University (Donetsk)

#### THE WEAR OF A DEFORMATION TOOL AT STAMPING WHEEL BLANKS

**Background.** Ensuring rational power modes of presses and high durability of the metal deformation tool parts are relevant scientific and technical tasks. The tool durability largely determines the costs associated with the choice of steel grades for dies, their manufacturing technique, and process lubrication.

**Materials and/or methods.** The analysis of the influence of the wheel blanks stamping schemes on the main power modes of a forming press and the wear of the deformation tool in relation to modern press-rolling lines made on the basis of the results of finite-element modeling.

**Results.** Shown that the stamping schemes ensuring a regulated distribution of metal between the central and peripheral parts of the fed billet into the dies, characterized by a rational power mode of the forming press. The elimination of premature filling of the hub contributes to the wear of molding dies reduction by 20-24 %. Established that in the process of metal compression in the disk area, the earlier the resistance to metal flow formed from the forming ring, the less is the slippage of the deformable metal relative to the surface of the forming dies and, as a consequence, less is the wear.

**Conclusion.** The deformation scheme of metal in the molding dies ensuring filling of the flange under axial compression of metal in the rim zone reduces the slippage of the metal relative to the surface of the molding dies in the zones of transition from the disk to the rim. The additional decrease in wear is 27-33 %.

**Keywords:** railway wheel, stamping scheme, wheel blank, forming press, dies, wear.

**Сведения об авторах**

**С.А. Снитко**

SPIN-код: 8463-3786  
Author ID: 844696  
Телефон: +380 (50) 473-14-52  
Эл. почта: snitko\_sa@mail.ru

**А.Л. Сотников**

SPIN-код: 5203-7480  
Author ID: 623331  
Researcher ID: P-4344-2015  
ORCID iD: 0000-0002-4537-858X  
Телефон: +380 (71) 301-98-70  
Эл. почта: 0713019870@mail.ru

**А.В. Яковченко**

SPIN-код: 1314-1795  
Author ID: 850425  
Телефон: +380 (50) 995-10-47  
Эл. почта: mond1991@mail.ru

Статья поступила 23.04.2018 г.

© С.А. Снитко, А.Л. Сотников, А.В. Яковченко, 2018

Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько

