

Министерство образования и науки РФ
Донской государственный технический университет
Российский фонд фундаментальных исследований

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ, ВИБРОВОЛНОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ,
МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ**

**Сборник трудов по материалам
международного научного симпозиума
технологов-машиностроителей**
(Ростов-на-Дону, 30 сентября – 3 октября 2015 г.)



Ростов-на-Дону

2015

УДК 621.048
И73

И 73 Интегрированные, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке: сборник трудов по материалам международного научного симпозиума технологов-машиностроителей (Ростов-на-Дону, 30 сентября – 3 октября 2015г.). – Ростов н/Д: ДГТУ, 2015. - 597с.

ISBN 978-5-7890-1046-4

В сборник включены материалы международного научного симпозиума технологов-машиностроителей «Интегрированные, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке», отражающие научные и практические тенденции в области эффективного использования физических эффектов комбинированных и виброволновых процессов для решения технологических задач, направленных на изготовление высокотехнологичных изделий машиностроения, повышение качества и конкурентоспособности продукции.

Предназначен для научных работников ИТР и специалистов в области металлообработки.

**Сборник издается при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(грант №15-08-20766)**

УДК 621.048

Адрес организационного комитета:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1. ДГТУ,
Кафедра «Технология машиностроения»
НИИ «Вибротехнология», к.2-107
Тел. (863)2738-513, 2738-360,
E-mail: vibrotech@mail.ru ; va.lebidev@yandex.ru

ISBN 978-5-7890-1046-4

© ДГТУ, 2015

4. Янюшкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. Москва, 2004. – 230 с.

5. Янюшкин А.С., Медведева О.И., Архипов П.В., Попов В.Ю. Механизм образования защитных пленок на алмазных кругах с металлической связкой // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 5. – С. 132-138.

6. Янюшкин А.С., Медведева О.И., Янюшкин С.А., Попов В.Ю. Физико-химическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов при комбинированном электрохимическом шлифовании // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2012. – Т. 1. – С. 183-190.

7. Янюшкин, А.С. Механизм образования защитных пленок на поверхности алмазных кругов с металлической связкой / А.С. Янюшкин, О.И. Медведева, П.В. Архипов, В.Ю. Попов // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – №1(5). – 162 с.

8. Попов В.Ю., Янюшкин А.С. Исследование поверхности алмазных кругов после комбинированной электроалмазной обработки быстрорежущей стали // Технология машиностроения. – 2013. – № 11. – С. 26-30.

9. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Медведева О.И., Ковалевский С.В., Рычков Д.А. Электроалмазная обработка высокопрочных материалов с нанесением защитных покрытий // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 3 (19). – С. 125-129.

10. Медведева О.И., Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Расчет энергии адгезии контактных поверхностей при шлифовании инструментальных материалов различными методами // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – № 5 (35). – С. 14-19.

11. Попов В.Ю., Янюшкин А.С. Формирование поверхностного слоя режущего инструмента при алмазной обработке кругами на металлической связке // Решетневские чтения. – 2014. – Т. 1. № 18. – С. 306-308.

12. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В., Попов В.Ю. Исследование влияния электрических режимов на качественные и экономические показатели комбинированной электроалмазной обработки твердосплавных материалов // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 3 (45). – С. 22-29.

13. Попов В.Ю., Макарова Н.В., Янюшкина О.С. Удельный расход алмазных кругов при комбинированной электроалмазной обработке // Механика XXI века. – 2015. – № 14. – С. 98-102.

14. Худобин Л.В. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л.В. Худобин, А.Н. Унянин; под. ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с.

УДК 621.979

ОСНОВЫ РЕЗОНАНСНО-СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ ВИБРАЦИОННЫХ И ВИБРОУДАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Искович-лотоцкий Р. Д., Иванчук Я. В., Веселовский Я. П.
ВНТУ, Винница, Украина

Вступление. В современных условиях научно-технического прогресса широко используются вибрационные и виброударные технологии для интенсификации производственных процессов в разных сферах народного хозяйства [1-6, 10].

Исследования [7, 8] показали, что для увеличения эффективности технологических процессов прессования в порошковой металлургии, фазового разделения влажных дисперсных материалов, разгрузки смерзшихся и сыпучих грузов, которые влияют на физико-механические параметры материала обрабатываемого материала.

Актуальность. Основные положения резонансно-структурной теории при теоретическом исследовании вышеуказанных вибрационных и виброударных технологических процессов разрешают обосновать эффективность использования виброударного оборудования.

Использование резонансно-структурной теории разрешает спрогнозировать необходимые параметры виброударной нагрузки на рабочий материал, в зависимости от его физико-механических свойств, что обеспечивает ему эффективную обработку за счет глубокого изменения структуры самого материала.

Методика. Разгрузочный материал в общем виде может быть представлен «феноменологичной» моделью пространственной многомассовой дисперсной среды в виде пружновязкопластично-инерционных систем" (рис. 1). Каждая реологическая ячейка такой системы имеет свои инерционные свойства, которые характеризуются ее массами m_{i-1} , m_i , m_{i+1} упругими свойствами, которые заложены в упругих элементах сил $c_{x,y,z}^i$ а также гистерезисными свойствами, которые моделируются вязкими $\varepsilon_{x,y,z}^i$. Реологические ячейки взаимодействуют через упругие элементы и пары вяжущего и сухого трения.

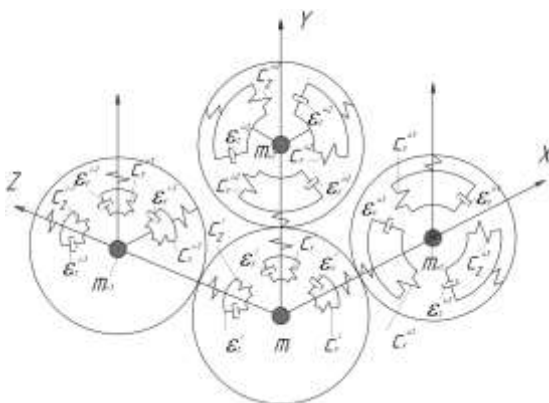


Рис. 1. Феноменологическая модель пространственной дисперсной среды

Виброобрабатываемый материал представляет собой сложную систему структурных образований, состоящий из простых отдельных твердых частичек с n степенями свободы. Колебательные движения в сложной системе описываются r координатами, выбор которых произвольный, а число степеней свободы определяется минимальным числом переменных, описывающих движение простых систем. Фактическое движение частиц основы виброобрабатываемого материала является «связанным», то есть колебания в любой из простых систем влияют на колебания в другой и наоборот.

В общем виброударный процесс можно рассматривать как последовательное влияние на разгрузочный материал полигармоническим импульсом внешних сил, в виде косинусоидальных (синусоидальных) волн с угловыми частотами ω_j , результатом которого является суперпозиция гармонических колебаний, отвечает сложному импульсу внешних сил конечной продолжительности [10]. Виброударный процесс, который представляется в виде полигармонического внешнего воздействия, состоит из ряда частотных компонент с постоянной разностью частот $\delta\omega$ и образует волновой пакет, лежащий в узком частотном интервале $\Delta\omega = \omega_B - \omega_H$ (рис. 1, а). Анализ поведения такого волнового пакета $\Delta\omega$ с одинаковой, например, амплитудой r во времени, дает возможность синтезировать внешнюю нагрузку в виде импульса силы.

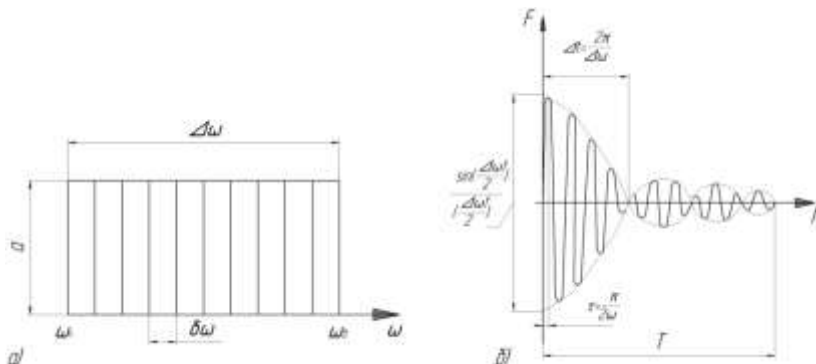


Рис. 1. Схема полигармонической внешней нагрузки: а) - пакет волн; б) - суммарная амплитуда

В качестве примера синтеза импульсной внешней нагрузки достаточно рассмотреть влияние на систему волнового пакета $\Delta\omega$, каждая компонента которого соответствует гармоническому колебанию:

$$F_i = r \cdot \sin(\omega_i t),$$

где $\omega_i = \omega_H + (i - 1)\delta\omega$; $i=1,2,3,..$; $k = \Delta\omega / (\delta\omega) + 1$.

Сумма ряда таких гармоничных компонент обеспечивает влияние:

$$F(t) = r \sum_{i=1}^{k-1} \sin(\omega_H t + k\delta\omega t).$$

Среднее значение частоты волнового пакета $\Delta\omega$:

$\bar{\omega} = \omega_H + \frac{k-1}{2}\delta\omega$, а зависимость суммарной амплитуды от

времени при больших k можно представить в виде:

$$F(t) = kr \frac{\sin\left(\frac{\Delta\omega t}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta\omega t}{2}\right)} \sin \bar{\omega} t. \quad (1)$$

График временного изменения $F(t)$ (рис. 1, б) построен на основе выражения (1) и соответствует отдельному угасающему импульсу, и является результатом добавления гармоничных компонент, продолжительность которых

ограничены волновым пакетом $\Delta\omega = \omega_B - \omega_H$. Значительные амплитуды $F(t)$ наблюдаются только в интервале, а продолжительность этой основной части синтезированного импульса (Δt) определяется величиной $\Delta\omega$. При уменьшении волнового пакета ($\Delta\omega \rightarrow 0$) происходит переход к одночастотному гармоническому воздействию $\omega = \omega_B = \omega_H$, продолжительность которого не ограничено (теоретически); увеличение характерно для ударного действия, когда $\Delta t = 2\pi / (\Delta\omega) \rightarrow 0$. Этот вывод подтверждает особую эффективность вибрационной или виброударной обработки материалов.

Вибрационная и виброударная разгрузка материалов. Рассматривая резонансно-структурную теорию, процесс виброударного (импульсного) разрушение кусковых и замерзших грузов можно представить как попадание в резонанс главных колебаний системы $q(t)$, когда все частицы связанной структуры колеблются с одной и той же собственной частотой ω_0 , которая соответствует частоте внешнего колебательного возбуждения b [б] от типа возбуждающей силы $F(t) = F_0 f(b, t)$. При попадании системы в резонанс (рис. 3) между частицами связанной структуры нарушаются начально-установленные силовые связи R_i , контакты и сцепления - происходит разрушение материала [11].

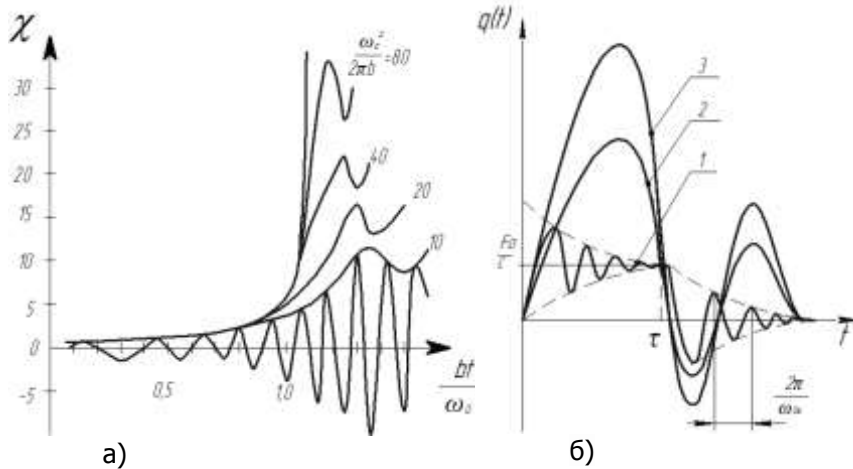


Рис. 3. Диаграмма амплитудно-частотной характеристики системы колебательной частички «связанной» структуры материала:

а) – при вибрационной разгрузки, где $\chi = q / q_{ст}$ – коэффициент динамического усиления, а $q_{ст}$ – статическое смещение колебательной системы; б) – при виброударной разгрузки

На диаграмме (рис. 3) видно, как колебательная система переходит в резонансное состояние, что приводит к возникновению критических напряжений разрушения между частицами связанной структуры разгружающего материала. Процесс разрушения сопровождается как относительным проскальзыванием частичек, что вызывает между частицами связанной структуры критические напряжения сдвига и растяжения, так и относительное проворачивание частиц материала груза, что также вызывает между частицами связанной структуры критические напряжения изгиба и растяжения, которое может возникнуть в случае разрушения упругих зон контакта в точках 1, 2, 3, 4 (рис. 4).

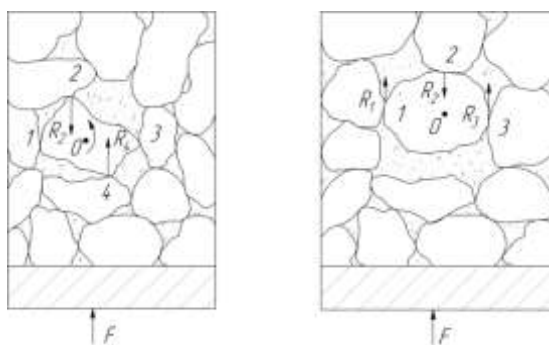


Рис. 4. Принципиальная система «связанной» структуры материала груза

Вибрационное и виброударное прессование.

Процесс виброударного прессования заготовок из порошковых материалов любой сложной конфигурации в замкнутом объеме контейнера пресс-формы при инерционной нагрузке со стороны пуансона может быть охарактеризована как процесс

перемещения дисперсных частиц в заготовке под влиянием импульсов внешних сил сферических (а в отдельных случаях цилиндрических и плоских) волн напряжений и деформаций.

Рассматривая ряд состояний цилиндрической заготовки с постоянным диаметром в пределах изменения ее высоты h_{zi} и плотности ρ_{zi} тогда каждому состоянию заготовки соответствует фазовая скорость $v_{\phi i}$ распространения, например, плоской ударной волны напряжений (аналогично относительным деформациям), равной скорости распространения звука в данной среде [12], а также минимальная амплитуда σ_{oi} колебаний напряжений, обеспечивающих резонансный режим нагрузки. Торцы заготовки у дна контейнера и пуансона можно считать пределами распространения плоской волны напряжений (высотой h_{zi}). Закон изменения амплитуды σ_{oi} колебаний напряжений во времени можно представить в виде:

$$\sigma_i = \sigma_{oi} \cos \left(\frac{\pi v_{\phi i}}{h_{zi}} t + \varphi_i \right), \quad (2)$$

где $v_{\phi i}/h_{zi}$ – частота колебаний напряжений в заготовке i -го состояния для фазовой скорости $v_{\phi i}$; φ_i – фазовый сдвиг колебаний, что определяется начальными условиями.

Если на заготовку из порошкового материала, которая представляется однородным стержнем, состояние которой характеризуется параметрами ρ_{zi} , h_{zi} и K_{zi} – динамического модуля объемной упругости, влиять моногармоничным импульсом внешних сил, который продолжается бесконечно, в виде синусоидальной волны с угловой частотой ω_i равной основной частоте ω_{zi} собственных колебаний заготовки, то в последний должны иметь место колебания (волны деформаций), проходящих в условиях резонанса (образование стоячих волн). Абсолютные деформации, возникающие при этом в заготовке, превышают допустимые упругие деформации для частиц порошка. Происходит разрушение зон контактов данных частиц, сопровождающееся их проскальзыванием и поворотом относительно друг друга. В результате в заготовке возникает остаточное абсолютное пластическое деформирование и, таким образом, она переходит в новое $(i+1)$ -е состояние, характеризующееся параметрами $\rho_{z(i+1)} > \rho_{zi}$, $h_{z(i+1)} < h_{zi}$ та $K_{z(i+1)}$

$> K_{3j}$. Для заготовки в $(i+1)$ -м состоянии условия резонансного разрушения ее "связанной" структуры могут быть обеспечены при условии внешнего воздействия моногармоничного импульса в виде синусоидальной волны с угловой частотой, равной собственной основной частоте ω_i , $(i+1)$ заготовки.

Следовательно, чтобы обеспечить в заготовке абсолютную деформацию за счет дискретного роста в интервале пластических деформаций, необходимо влиять на нее совокупностью n моногармоничных импульсов внешних сил, которые продолжаются бесконечно, в виде синусоидальных волн с угловыми частотами от ω_1 до ω_n .

В результате сложения n волн такого пакета простых импульсов внешних сил в заготовке у дна контейнера возникает импульс напряжений, который вызывает общую пластическую деформацию.

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i(t) = \sum_{i=1}^n \sigma_{oi} \cos \omega_i t = n \sigma_{cp} \frac{\sin \frac{\Delta \omega t}{2}}{\frac{\Delta \omega t}{2}} \cos \bar{\omega} \times t, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{oi} = n \sigma_{cp}; \omega_{Li} = \omega_{11} + (i-1) \delta \omega; \bar{\omega} = \omega_{11} + \frac{n-1}{2} \delta \omega.$$

Вибрационное и виброударное обезвоживание.

При использовании вибраций и ударов в технологических процессах обезвоживания влажных дисперсных отходов пищевых производств твердые частицы отходов находятся во взвешенном, погруженном в жидкую фазу состоянии. Таким образом, они получают дополнительную подвижность в направлении приложенного усилия, большую способность к уплотнению и уменьшению занимаемого объема, благодаря чему и обеспечивается вытекание жидкости при вибрационном и виброударном обезвоживании [14]. К тому же, коэффициенты вязкого трения одних твердых частиц отходов относительно других и трения частиц относительно внутренних поверхностей пресс-формы, благодаря наличию в промежутках между ними жидкости, будут меньшими, по сравнению с аналогичными коэффициентами при уплотнении сухих смесей [9]. С другой

стороны, отмеченное трение частиц в процессе динамической нагрузки является значительно более интенсивным, чем при статической нагрузке, в связи с чем, их температура, а вместе с ней и подвижность частиц являются более высокими. Такая эффективность вибрационных и виброударных процессов обуславливается уменьшением при их реализации коэффициентов трения между частицами порошкового материала, и между частицами и пресс-формой, увеличением их подвижности в направления приложенного усилия и лучшим проскальзыванием одних твердых частиц относительно других [9]. При этом уплотнение дисперсной среды наиболее эффективно происходит в случае совпадения частоты внешнего вибрационного воздействия с собственной частотой частиц порошкового материала, поскольку при этом имеют место резонансные явления (рис. 5) [11].

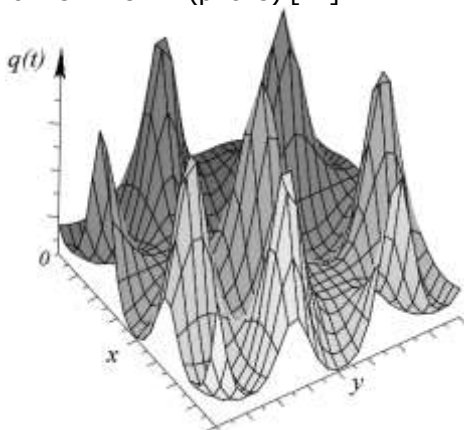


Рис. 5. Диаграмма амплитудно-частотной характеристики системы колебательной частички «связанной» структуры материала в поперечном разрезе пресс-формы ($q(t)$ – динамическое смещение колебательной системы)

Вывод. Основные положения резонансно-структурной теории при теоретическом исследовании позволяют обосновать эффективность использования виброударного оборудования в технологических процессах прессования в порошковой металлургии, фазового разделения влажных дисперсных материалов, разгрузки смерзшихся и сыпучих грузов.

1. Бабичев А. П. Вибрационные станки для обработки деталей / А. П. Бабичев, В. Б. Трунин, Ю. В. Самодумский. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
2. Бауман В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / В. А. Бауман, Н. Н. Быховский. – М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
3. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник / Под ред. В. А. Баумана, Н. И. Быховского и Б. Г. Голдштейна. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.
4. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред. Совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979. – Т. 1. Колебание линейных систем / Под ред. В. В. Болотина. – 352 с.
5. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред. Совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979. – Т. 2. Колебание нелинейных механических систем / Под ред. И. И. Блехмана. – 351 с.
- Гончаревич И. Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И. Ф. Гончаревич, К. В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 365 с.
7. Глушак Б. Л. Разрушение деформируемых сред при импульсных нагрузках / Б. Л. Глушак, С. А. Новиков, А. И. Рузанов, А. И. Садырин. – Нижний Новгород: Нижегородский ун-т, 1992. – 192 с.
8. Искович-Лотоцкий Р. Д. Вибрационные процессы: Обзор / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев. – М.: НИИМаш, 1979. – 50 с.
9. Искович-Лотоцкий Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – В.: 2006. – 338с.
10. Искович-Лотоцкий Р. Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук. – В.: ВНТУ, 2012-156 с.
11. Искович-Лотоцкий Р. Д. Основи резонансно-структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський// Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2014 – 109 с.
12. Соклинский В.Б. Машины ударного разрушения. - М.: Машиностроение, 1962. – 184 с.
13. Garcia E. J. Review of friction factor equations for non-Newtonian fluids in pipe flow. Special Report / E. J. Garcia, J. F. Steffe/ Department of Agricultural Engineering. - MI: Michigan State University, East Lansing, 1986.
14. Искович-Лотоцкий Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, І. В. Севостьянов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 291 с.

Научное издание

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ, ВИБРОВОЛНОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ,
МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ**

Сборник трудов
по материалам международного
научного симпозиума технологов - машиностроителей
«Интегрированные, виброволновые технологии в
машиностроении, металлообработке »
(Ростов-на-Дону, 30 сентября – 3 октября 2015 г.)

Материалы докладов печатаются в авторской редакции

Ответственный редактор: А.П.Бабичев

Компьютерная обработка: В.Д.Соколов

В печать 21.09.2015.

Формат 60x84/16. Бумага тип №3. Офсет.

Объем усл.п.л. 37,5 Заказ № 309. Тираж 100 экз. Цена
свободная

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1.