

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) ПЛАНЕТАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЕМЯНИКОВ БАКЛАЖАНОВ ПРИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

*Константин Думенко, Дмитрий Бабенко, Екатерина Шевченко*

*Николаевский национальный аграрный университет*

*54020, г. Николаев, ул. Парижской коммуны, 9*

*Konstantin Dumenko, Dmitriy Babenko, Ekateryna Shevchenko*

*Nikolaev National Agrarian University*

*54020, Nikolaev, st. Paris Commune, 9*

**Аннотация.** В статье проанализирована проблема доработки семенного материала из семенников баклажанов, сложившейся в условиях Юга Украины. Исследование основных проблем и недостатков устаревшего оборудования по выделению семян и пути его совершенствования. Предложена новая планетарная машина для измельчения семенников баклажанов и проведен ряд экспериментальных исследований. Приведены оптимальные технологические показатели машины для измельчения семенников баклажанов.

**Ключевые слова:** мацерированный семенник, семенной материал, планетарная машина, план эксперимента, двухмерные сечения поверхностей отклика, уравнения регрессии.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Юг Украины является наиболее благоприятным и наиболее приспособленным регионом для выращивания баклажанов. Но внедрение интенсивного производства баклажанов невозможно, ведь в начале развития этой отрасли сразу возникла острая проблема доработки семенного материала из семенников баклажана.

Вопрос получения семян баклажанов исследовался еще в 80-х и 90-х годах прошлого века. Известное оборудование, которое использовалось до сих пор является устаревшим, и не дает возможность получать качественный семенной материал.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

С 2000 года появляются публикации и работы, посвященные исследованию механизации выделения семян овоще-бахчевых

культур (Думенко К.Н.), огурцов и дыни (Пастушенко С.И., Огиенко Н.Н.) Но выделением семян баклажанов механизированным путем до сих пор никто не занимался. Ведь семенник баклажана является достаточно сложным по своему строению, поэтому процесс выделения требует индивидуального подхода и использования отличной технологии, которая будет учитывать его физико-технологические свойства и биологические особенности строения плода.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является проблематика выделения семян из мацерированных семенников баклажанов, теоретические исследования связаны с обоснованием выбора машины для измельчения семенников баклажанов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Выращиванием овоще-бахчевой продукции в основном занимаются четыре области Украины (Одесская, Николаевская, Херсонская и АР Крым) и обеспечить их качественным семенным материалом в достаточном количестве собственного производства просто невозможно (Рис.1).

На базе проблемной научно-исследовательской лаборатории конструирования энергоэффективной сельскохозяйственной техники и технологий факультета механизации сельского хозяйства Николаевского НАУ в 2010 году начато исследование. Исследовался сорт «Дикси». Учеными факультета разработаны планетарную машину для измельчения семенников баклажанов, на которую получено положительное решение на выдачу декларационного патента Украины.

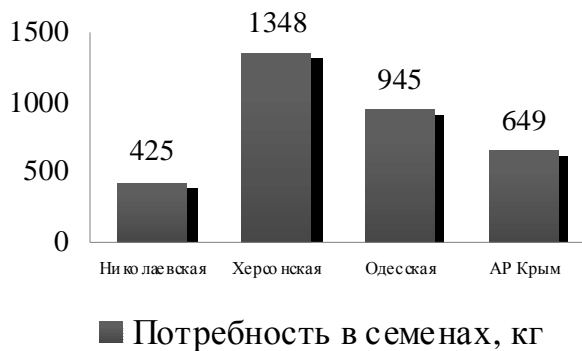


Рис. 1. Сводные средние статистические данные потребности в качественном семенном материале юга Украины

Fig. 1. Summary of average statistics need for quality seed south Ukraine

Машина состоит из корпуса 1 с загрузочной горловины 2. Внутри корпуса установлен пустотелый ротор 10 вокруг которого вращаются два противоположно расположенных пустотелых бича 11 с ножевыми пластинами 4. В загрузочной горловине находится система водоснабжения 5 с форсунками, которые под давлением впрыскивают воду в машину. Наличие этой воды дает возможность вымывать семена с мацерированных семенников баклажана.

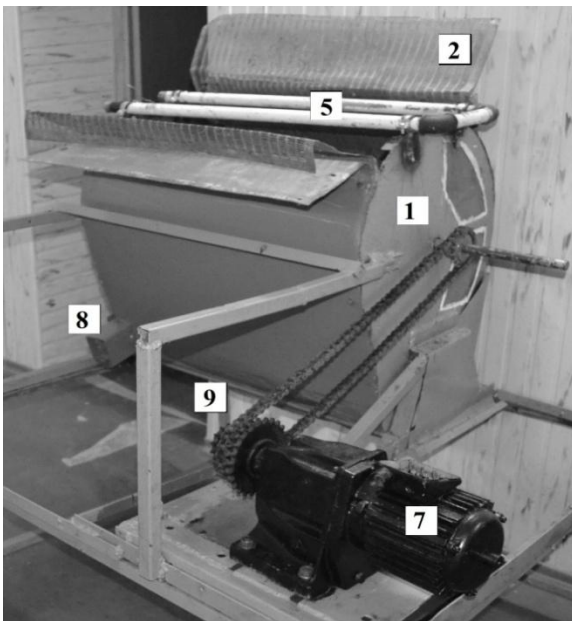


Рис.2. Планетарная машина для измельчения семенников баклажана (общий вид)

Fig. 2. Planetary Machine for crushing seed eggplant (general view)

Пустотелый ротор приводится во вращение мотор-редуктором 7. Удаление перетер-

тых частей плодов с плодоножкой осуществляется через выгрузную горловину 8, а выделенные семена с водой через решето 9 (рис.2).

Лабораторные испытания были проведены в течение 2010 - 2012 лет, с целью получения данных о работоспособности исследуемой машины.

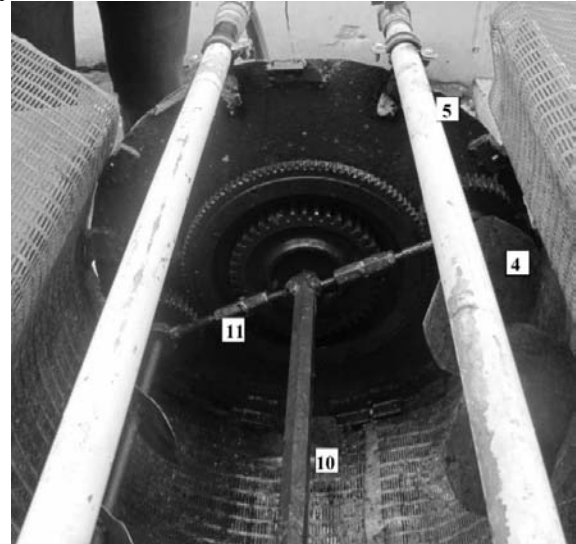


Рис.3. Планетарная машина для измельчения семенников баклажана (вид сверху)

Fig. 3. Planetary Machine for crushing seed eggplant (top view)

Опыты проводились с помощью методики проведения эксперимента в сельскохозяйственном машиностроении.

Для проведения эксперимента было взято 5-ти факторный, 3-х уровневый план Хартли с трехкратной повторяемостью опыта в каждом из 27 запланированных экспериментов.

Согласно плану эксперимента была проведена оценка зависимости показателей качества выполнения технологического процесса, которые в наибольшей степени влияют на качество работы машины, среди которых: влажность мацерированного семенника ( $X_1$ ), скорость движения бичей ( $X_2$ ), угол наклона лопатки бича ( $X_3$ ), величина подачи массы семенников на переработку ( $X_4$ ) и зазор бич-решета ( $X_5$ ).

После статистической обработки экспериментальных данных на ПЭВМ полученные математические модели для засоренности (ЗС) и потерь (ПС) семя, которые описывают технологический процесс выделения семян на разработанной машине имеют вид:

$$3C = 7,750 - 1,014 \cdot X_1 - 0,130 \cdot X_2 + 0,002 \cdot X_3 + 0,219 \cdot X_4 + 0,133 \cdot X_5 - 0,4 \cdot X_1 \cdot X_2 +$$

$$+ 0,433 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,246 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,171 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,633 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,413 \cdot X_2 \cdot X_4 +$$

$$+ 1,063 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,596 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,013 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,567 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,057 \cdot X_1^2 -$$

$$- 1,660 \cdot X_2^2 - 0,676 \cdot X_3^2 - 0,676 \cdot X_4^2 + 2,840 \cdot X_5^2;$$

$$1C = 4,746 + 1,466 \cdot X_1 + 0,732 \cdot X_2 + 1,364 \cdot X_3 + 1,077 \cdot X_4 - 1,711 \cdot X_5 + 0,342 \cdot X_1 \cdot X_2 +$$

$$+ 1,308 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,521 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,196 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,846 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,233 \cdot X_2 \cdot X_4 +$$

$$+ 0,417 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,575 \cdot X_3 \cdot X_4 - 1,333 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,913 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,378 \cdot X_1^2 +$$

$$+ 1,012 \cdot X_2^2 + 1,095 \cdot X_3^2 + 1,095 \cdot X_4^2 + 1,145 \cdot X_5^2;$$

Сравнение результатов проводилось по факторам:

а) влажность мацерированного семян ( $X_1$ ) и скорость движения бичей ( $X_2$ ) (Рис. 4.а);

б) угол наклона лопатки бича ( $X_3$ ) и величина подачи массы семенников на переработку ( $X_4$ ) (Рис. 4.б).

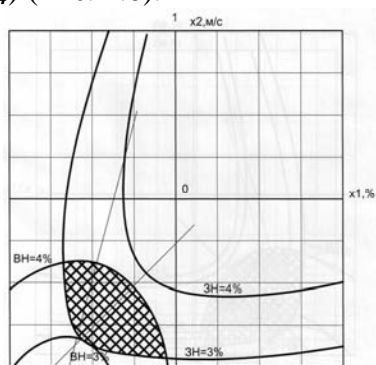
именно: повышение качества одного из показателей оптимизации приводит к ухудшению другого показателя и наоборот.

## ВЫВОДЫ

Анализ графических зависимостей двухмерных сечений поверхностей отклика полученных вследствие лабораторных испытаний новой планетарной машины для измельчения семенников баклажанов позволяет сделать следующие выводы, что оптимальными технологическими параметрами новой машины являются: влажность мацерированных семян  $X_1 = 23...36\%$ ; скорость движения бичей, которая находится в пределах  $X_2 = 3,2...3,7$  м/с; угол наклона лопатки бича  $X_3 = 17^0...22^0$  (град.); величина подачи массы семенников на переработку  $X_4 = 0,58...0,76$  кг/с; зазор бич-решето  $X_5 = 4,7...7,5$  мм. При таких значениях факторов, критерии оптимизации находятся в диапазонах: засоренность семян  $3C = 6...6,5\%$ ; потери семян  $1C = 4...5\%$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Anisimov I. 1987. Mashiny i potochnye linii dlja proizvodstva semjan ovoshhebahchevyh kultur : monografija / I. Anisimov. – Kishinev : Shtiinca, – 300.
2. Karataev E. 1990. Nastol'naja kniga ovoshhevoda : spravochnik / E. Karataev, B. Rusanov, A. Beshanov, V. Kotov, L. Nechaeva, V. Bol'shunov, G. Osipova. – Moskva: VO Agropromizdat. – 287.
3. Glebova E. 1978. Ovoshhevodstvo i plodovodstvo / E. Glebova, A. Voronina, N. Kalashnikova, A. Zhelobaeva, I. Gan, N. Bogdanova. – L.: Kolos. – 448.
4. Mel'nikov S. 1980. Planirovanie jeksperimenta v issledovanijah sel'skohozjajstvennyh processov / S. V. Mel'nikov, V. R. Aleshkin, P. M. Roshhin. – Leningrad : Kolos. – 167.
5. Dumenko K. 2007. Obruntuvannja tehnologichnogo procesu ta parametriv robochih

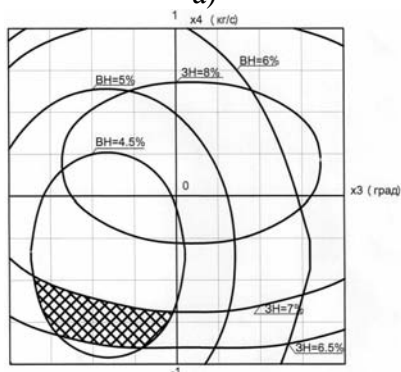


$$3Н - 4,68 = 0,078x_1^2 - 1,68x_2^2$$

$$ВН - 3,32 = 1,06x_1^2 + 0,34x_2^2$$

$$X_3, X_4, X_5 = 0$$

а)



$$3Н - 7,77 = -0,38x_3^2 - 0,97x_4^2$$

$$ВН - 4,2 = 1,38x_3^2 + 0,81x_4^2$$

$$X_1, X_2, X_5 = 0$$

б)

Рис. 4. Двумерные сечения поверхностей отклика

Fig. 4. Two-dimensional intersections of surfaces

Исследование канонических уравнений методом двухмерных сечений поверхностей отклика позволили получить такие графики зависимости, на которых видно, что решение этой задачи относится к компромиссным, а

- organiv mashini dlja vidilennja nasinnja solodkogo ta gostrogo percju: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk / K. M. Dumenko. – Kiiv.– 20.
6. Ogienko M. 2012. Obgruntuvannja tehnologichnogo procesu i parametriv kompleksu mashin dlja dorobki nasinnevoi masi ovochebashtannih kul'tur / M. Ogienko. – K. : NUBIPU.– 21.
7. Pastushenko A. 2012. Obgruntuvannja tehnologichnogo procesu, parametriv ta rezhimiv roboti mashini dlja vidilennja nasinnja ogirka i dini / A. Pastushenko. – Melitopol' : TDATU.– 21.
8. Medvedev V. 1985. Mehanizacija proizvodstva semjan ovoshhnyh i bahchevyh kul'tur/ V. Medvedev, A. Durakov. – M. : Agropromizdat. — 239.
9. Anisimov I. 1985. Konstruktivnye i rezhimnye parametry vydelitelja semjan tomatov/ I. Anisimov. – Traktory i sel'hozmashiny, № 2. — 29-34.
10. Linija dlja vydelenija, promyvki i sushki semjan tomatov LSB-10. Tehniceskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii. NF GSKB po mashinam dlja ovoshhevodstva. – 1981.
11. Mojka plodov pomidorov MPP – 1,5A. Rukovodstvo po sborke i jekspluatacii. – Kiev, 1980.
12. Vydelitel' smesej iz tomatov VST – 1,5. Tehniceskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii. NF GSKB po mashinam dlja ovoshhevodstva, 1980.
13. Pontrjagin L. 1976. Matematicheskaja teorijam optimal'nyh processov / [L. Pontrjagin, V. Boltjanskij i dr.]. – M. : Nauka.– 392.
14. S. Pastushenko. 2007. Engineering of obtaining pepper seed / S. Pastushenko, K. Dumenko // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND POWER INDUSTRY IN AGRICULTURE. Volume VII: Lublin. – 336.
15. A. Boyko. 2011. Research on reliability of subsystems of grain harvesting combine / A. Boyko, K. Dumenko // TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND POWER INDUSTRY IN AGRICULTURE AND THE VOLODYMYR DAHL EAST-UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY OF LUGANSK. Volume XIC : Lublin.– 405.
16. Pastushenko S. 2008. Problematika mehanizirovannogo processa poluchenija semjan perca dlja potrebnostej juzhnyh regionov Ukrainy / S. Pastushenko, K. Dumenko, G. Ivanov, D. Babenko // MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. — Tom 10 B. 272.
17. Dumenko K. 2010. Analiz osnovnih faktoriv nedostatn'oï nadijnosti vitchiznjanoi zernozbiral'noi tehniki / K. Dumenko // MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. — Tom 12 A. 236.
18. Pat. 69460 Ukraina, MPK (2012.01) A23N 4/00. Linija dlja vidilennja nasinnja tomativ ta baklazhaniv. 2011/ K. M. Dumenko, K. S. Shevchenko, Ć. Ju. Bezuglij.; vlasnik Dumenko K. - № 4, 13284; data podannja zajavki 11.11.2011: opublikovano 25.04.2012, Bjul. № 8.
19. Akt vprovadzhennja u virobnictvo naukovo-tehnichnih rozrobok i peredovogo dosvidu v umovah ZSAT «Dobrobut» Brats'kogo rajonu Mikolaïvs'koï oblasti vid 19.09.2012. – 1.
20. Akt vprovadzhennja u virobnictvo naukovo-tehnichnih rozrobok i peredovogo dosvidu v umovah TOV «Zlagoda» Domaniv'skogo rajonu Mikolaïvs'koï oblasti vid 22.10.2012. – 1.

**OPTIMAL TECHNOLOGICAL  
PARAMETERS ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ )  
PLANETARY MACHINES FOR  
CRUSHING SEED EGGPLANT IN  
LABORATORY TRIALS**

**Summary.** The paper analyzes the problem of handling seed eggplant seed that has developed in Southern Ukraine. Investigation of the main problems and shortcomings of equipment for the provision of seeds and ways to improve it. A new planetary machine for crushing seed eggplant and a number of experimental studies. Shows the optimal technological parameters of the machine for crushing seed eggplant.

**Key words:** macerated seed, seed, planetary machine, the plan of the experiment, the surfaces are two-dimensional sections, the regression equation.

## ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ РОЛИКАМИ

**Борис Бутаков, Виталий Артюх**

*Николаевский национальный аграрный университет*

*54020, г. Николаев, ул. Парижской коммуны, 9*

**Boris Butakov, Vitaliy Artyukh**

*Mykolayiv National Agrarian University*

*54020, Nikolaev, st. Paris Commune, 9*

**Аннотация.** Сформулирована и экспериментально обоснована причина появления волнистости на поверхности при обкатывании торообразными роликами – колебание усилия обкатывания из-за наличия больших сил трения скольжения в механизме нагружения ролика.

**Ключевые слова:** обкатывание роликами, волнистость, пластическая деформация, сила трения, роликовый узел.

### ВВЕДЕНИЕ

Основной причиной появления волнистости некоторые исследователи считают наличие торцевого биения ролика, приводящее к переменной подаче обкатывания [1 – 8].

Несмотря на существенное влияние, которое продольная подача вносит в процесс деформации поверхностного слоя, влияние обкатывания на изменение исходной шероховатости при этом остается таким же, как при обкатывании без подачи.

Это проверено экспериментально и остается справедливым при равенстве количества проходов без подачи приведенному количеству проходов  $i$  ролика с подачей, определяющееся в зависимости от ширины контактной канавки  $2a_0$ , подачи  $s$  и количества продольных проходов ролика  $i_{\text{прод}}$ .

$$i = \frac{2a_0}{s} i_{\text{прод}}. \quad (1)$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При обкатывании с продольной подачей ролика формируется новый микропрофиль поверхности, который накладывается на деформированную исходную шероховатость.

Обкатанная поверхность сохраняет винтовой след подачи ролика. Высота вновь созданных при этом неровностей на участке стабильного процесса может быть рассчитана геометрически:

$$R''_z = r_p - \frac{\sqrt{4r_p^2 - s^2}}{2}, \quad (2)$$

где:  $R''_z$  – высота неровностей, мм;

$r_p$  – радиус кривизны ролика, мм;

$s$  – подача ролика, мм/об.

Шаг этих неровностей равняется подаче ролика (рис. 1). Опытная проверка связи шероховатости с подачей ролика показывает, что зависимость (2) хорошо соблюдается при относительно больших подачах.

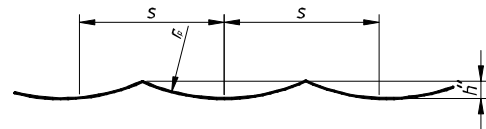


Рис 1. Профиль неровностей при обкатывании роликом

Fig.1. Type of burries at a rolling roller

При подачах больше 0,78 мм/об высота неровностей совпадает с расчетной; при меньших подачах высота сохраняется в пределах 0,28 - 0,35 мкм и от подачи не зависит. В этом случае на обкатанной поверхности образуется волна с шагом, отличным от подачи.

В этом случае высота волн не выходит из пределов 7-го класса шероховатости. В других случаях волнистость при обкатывании может быть значительно глубокой. При малой шероховатости поверхности в пределах одного шага волны (0,18 мкм) сама волна с шагом 2,5 мм имеет высоту 0,16 мкм.

Высота волны при обкатывании уменьшается с увеличением профильного радиуса ролика или с уменьшением усилия, то есть с уменьшением угла вдавливания ролика, и не зависит от подачи и скорости обкатывания.

Рассмотрим этот процесс подробнее. Автор работы [1] считает что по мере вращения детали ролик вращается и подается (рис. 2, а), при этом углу поворота ролика  $\psi$  соответствует угол поворота детали  $\psi D_p/D_0$  и подача ролика на величину, определяющаяся следующим выражением:

$$S_\psi = s \frac{\psi}{2\pi} \cdot \frac{D_p}{D_0}, \quad (3)$$

где:  $s$  – подача ролика на один оборот детали, мм.

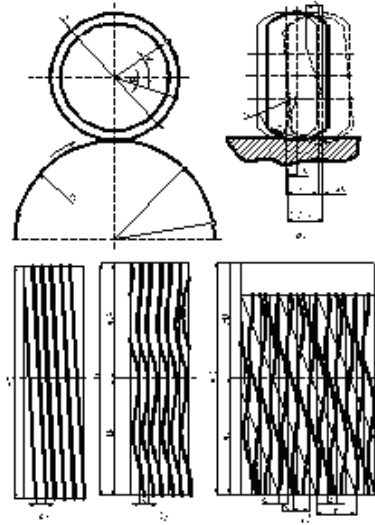


Рис. 2. Образование волнистости поверхности при обкатывании:  $a$  – изменение подачи при осевом биении ролика,  $b$  – развертка поверхности вала, обкатанного роликом, не имеющим осевого биения,  $c$  – развертка поверхности вала, обкатанного роликом с осевым биением при кратных диаметрах детали и ролика,  $d$  – развертка поверхности вала, обкатанного роликом при некрatных диаметрах детали и ролика

Fig. 2. Washboarding surface at a rolling-off: and is a change of serve at to axial beating of roller, is an involute of surface of billow, obkatannogo a roller, not having the axial beating, in – an involute of surface of billow, obkatannogo a roller with the osevim beating at the multiple diameters of detail and roller, gramme, is an involute of surface of billow, obkatannogo a roller at the not multiple diameters of detail and roller

Развернем поверхность детали на плоскость. В случае идеальной схемы контактная канавка постоянного профиля шириной  $2a$  расположится на обкатанной поверхности в виде параллельных прямых с постоянным шагом, ровным подаче (рис. 2,  $b$ ). Для реальной детали и ролика схема может существенно измениться.

Рабочая поверхность ролика из-за погрешности изготовления и установки может иметь некоторое осевое и радиальное биение (рис. 2,  $a$ ). След ролика на развертке обрабатываемой поверхности становится криволинейным.

В результате биения изменяется фактическая подача ролика:

$$s_{\text{факт}} = s + \Delta s. \quad (4)$$

Искажение подачи при рассматривании двух смежных следов ролика будет равняться:

$$\begin{aligned} \Delta s &= \frac{\delta}{2} \sin \left( \psi_0 + \psi + 2\pi \frac{D_o}{D_p} \right) - \frac{\delta}{2} \sin(\psi_0 + \psi) = \\ &= \delta \cos \left( \psi_0 + \psi + \pi \frac{D_o}{D_p} \right) \cdot \sin \pi \frac{D_o}{D_p}. \end{aligned} \quad (5)$$

В случае кратности диаметров детали и ролика  $\sin \pi D_o/D_p$ , а следовательно, и  $\Delta s$  равняются нулю, то есть подача остается постоянной, несмотря на биение ролика (рис. 2,  $b$ ).

В общем случае  $\Delta s$  является переменной величиной, зависящей в каждой точке поверхности от угла поворота ролика  $\psi$ . Найдем значение угла  $\psi$ , что отвечает наибольшему и наименьшему приращению подачи. Для этого приравняем к нулю производную функции  $\Delta s = f(\psi)$ :

$$\Delta s' = -\delta \sin \pi \frac{D_o}{D_p} \cdot \sin \left( \psi_0 + \psi + \pi \frac{D_o}{D_p} \right) = 0. \quad (6)$$

Последнее равенство удовлетворяется при:

$$\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_o}{D_p} = \pm \pi n,$$

где:  $n = 0; 1; 2; 3; \dots$

Отсюда :

$$\psi = \pi \left( \pm n - \frac{D_o}{D_p} \right) - \psi_0. \quad (7)$$

Подставив найденное значение угла в равенство (5), найдем экспериментальные значения приращения подачи:

$$\Delta s_{\text{min}}^{\text{max}} = \pm \delta \sin \pi \frac{D_o}{D_p}. \quad (8)$$

Из формулы (5) видно, что полный цикл изменения  $\Delta s$  завершается за каждый оборот ролика. При вращении детали участки, обкатанные с одинаковой фактической подачей, смещаются по ее поверхности, как в осевом, так и в круговом направлениях. При этом участки, обкатанные с уменьшенной против номинала подачей, деформируются сильнее и образуют впадину, а обкатанные с увеличенной фактической подачей и менее деформированные – гребень волны. Сливаясь в процессе обкатывания одинаково деформированные участки создают многозаходную винтовую поверхность с определенным шагом – шагом волны (рис. 2,  $c$ )

При обкатывании деталей цилиндрическими роликами на их поверхности получа-

ют прямоугольный отпечаток, если оси ролика и детали параллельны. В этом случае длина отпечатка на цилиндрической детали определяется длиной ролика или длиной образующей цилиндрической поверхности, ширина отпечатка зависит от приведенной кривизны ролика и детали в плоскости качения ролика. Если оси ролика и детали в осевом их пересечении наклонены под небольшим углом, или вместо цилиндрического ролика применен конический, то на детали получают каплевидный отпечаток, ширина которого уменьшается до нуля в направлении обкатанной поверхности. При этом получают задний угол вдавливания ролика в деталь  $\varphi_a$  (рис. 3) равным  $25'-30'$  при обкатывании сталей,  $40'-1^\circ$  - при обкатывании закаленных сталей и  $1^\circ 30'$  - при обкатывании чугунов [1, 2, 9].

При таких значениях угла  $\varphi_a$  обеспечивается интенсивная деформация микронеровностей и поверхностного слоя, волнистость на обкатанной поверхности отсутствует. Такой процесс применяют при обкатывании валов и розкатывании цилиндрических отверстий в крупносерийном и массовом производствах.

Каплевидный отпечаток может быть получен и при применении самоустанавливающегося цилиндрического ролика. С помощью силы подачи, возникающей в процессе обкатывания, ролик за счет поворота самоустанавливающейся головки на угол  $20'-30'$  обеспечивает получение каплевидного отпечатка [10 – 15].

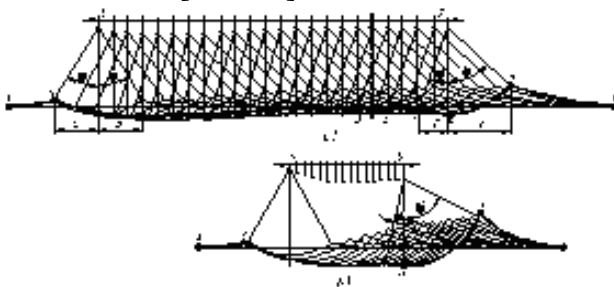


Рис. 3. Схема последовательного деформирования поверхности деталей при обкатывании торообразным роликом с продольной подачей  $S$ :  $a$  – при нормальном процессе;  $b$  – процесс деформации не стабилизировался

Fig. 3. Chart of successive deformation of surface of details at a rolling a roobraznym roller with the longitudinal serve of  $S$ : and – at a normal process;  $b$  – the process of deformation was not stabilized

В том случае, когда оси цилиндрического ролика и детали перекрещиваются, на ней возникает эллиптический отпечаток. Такой же отпечаток может быть получен при обкатывании деталей бочкообразными, сферическими или торообразными роликами.

Во время обкатывания роликом отпечаток превращается в пластично деформированную канавку, которая при обработке цилиндрических поверхностей с подачей представляет собой винтовую линию. Так как ширина канавки в несколько раз превышает подачу, то при последующих оборотах детали ролик прокатывается по уже деформированной поверхности, несколько расширяя и углубляя канавку.

Геометрические размеры заходной впадины для некоторых обрабатываемых материалов приведены в табл.1.

При нормальном процессе обкатывания торообразным роликом после некоторого числа оборотов детали углубление канавки прекращается (Рис. 3,  $a$ ). Ролик соприкасается с каждой точкой поверхности  $2a/s$  раз. Перед роликом возникает волна деформированного металла, а расширение контактной канавки приводит к возрастанию контакта, что обуславливает постепенное снижение глубины канавки при последующих оборотах детали и на участке  $CD$  процесс обкатывания стабилизируется. Волна металла перед роликом  $GHI$  намного больше волны  $EFG$  за ним. На всем участке обкатывания до его стабилизации в точке  $D$  изменяется угол вдавливания ролика  $\varphi_a$ .

Процесс поверхностного деформирования зависит от силы обкатывания, размеров и профиля ролика, размеров обрабатываемой поверхности, механических свойств обрабатываемого металла и числа  $2a/s$ . При некоторых сочетаниях указанных факторов стабилизация процесса может и не наступить.

Например, на рис. 3,  $b$  интенсивный рост волны металла перед роликом продолжается до тех пор, пока гребень волны не начнет разрушаться. Участок поверхности ниже остальной обкатанной поверхности. Имеется соотношение [1] для расчета ширины впадины в начале обкатанной поверхности:

$$L_b = 1,27 \sqrt{\frac{P}{HB}}, \quad (9)$$

где:  $P$  – усилие обкатывания,  $H$ .

Таблица 1 Геометрические размеры заходной впадины в начале обкатываемого участка [1, 16 – 19]

Table 1. Geometrical sizes of inlet cavity at the beginning of rolling area [1, 16 – 19]

Материал	НВ	$D_d$ , мм	$D_p$ , мм	$r_p$ , мм	$P$ , Н	$S$ , мм/об	$t_k$ , мм	Ширина заходной впадины, мм	
								экспериментальная	расчетная
АЛ5	84	114	50	54	6000	0,61	0,04	12	10,8
				16		0,43	0,08		
				5,5		0,3	0,18		
Сталь 20	131	115	50	54	8400	1,04	0,02	9,3	10
				5,5		0,3	0,18		
Ст5	180	300	105	3	15000	0,3	0,3	12	11,5
Сталь 50	196	235	105	10	60000	0,5	0,7	Поверхность разрушилась	
				12			0,5	20	22
				10			0,45	22	22
Сталь 34ХНЗМ	270	500	105	10	59500	0,5	0,4	18	18

При больших углах  $\varphi_a$  вдавливания ролика на обкатанной поверхности детали появляется волнистость с шагом, отличным от величины подачи ролика.

Для предотвращения появления волнистости при чистовом обкатывании рекомендуют принимать угол вдавливания значением  $2 - 3^0$  (что, однако, ограничивает шероховатость обкатанной поверхности величиной  $40 < R_z < 80$  мкм, а для уменьшения волнистости – использовать ролики с точным рабочим профилем и чаще их перешлифовывать. При упрочняющем обкатывании тонкий поверхностный слой для исключения волнистости поверхности сошлифовывают или стачивают, это существенно уменьшает эффективность упрочнения. Заметим, что силы трения в опорах, суммируясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия  $P$ ; при наличии же радиального биения ролика эти силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению.

С целью проверки данных представлений с помощью универсального динамометра УДМ конструкции ВНИИ нами были измерены составляющие усилия  $P$  при обкатывании торообразным роликом вала из наиболее распространенной конструкционной стали

40 (200 НВ) диаметром 100 мм на токарном станке с помощью разработанного и изготовленного на кафедре “Транспортных технологий и технического сервиса” Николаевского НАУ устройства рычажного типа со стабилизацией рабочего усилия обкатывания, показанного на рис. 4 [20].

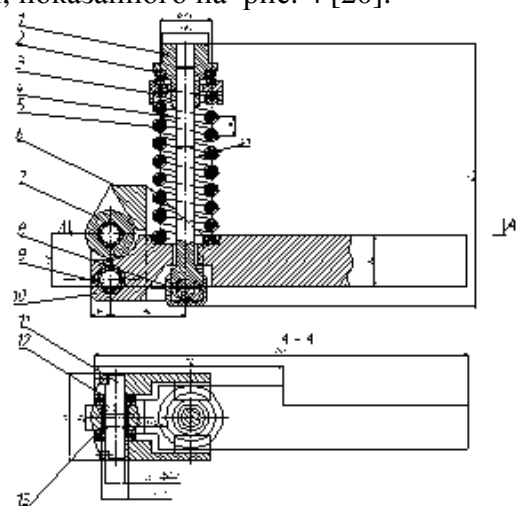


Рис. 4. Конструктивная схема устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Fig. 4 Device for rolling of details by a toroidal roller with stabilization of effort of rolling

Принцип работы устройства заключается в следующем: ролик 7 установлен с помощью



подшипников 12, 13 на оси 11. Усилие пружины 5 через тягу 4, ось 8 и рычаг 6 передается на ролик 7 и передается на обкатываемую деталь. Рычаг 6 установлен на оси 9 с помощью игольчатого и упорных подшипников, и легко перемещается вокруг корпуса 10

Общий вид устройства для обкатывания роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Жесткость рычажно-пружинного механизма составляет 0,745 кН/мм. Усилие пружины ( $P_{np}$ ) определяется величиной ее сжатия ( $f_{np}$ ) в миллиметрах и рассчитывается по зависимости:

$$P_{np} = j_{np} \times f_{np}, \quad (10)$$

где:  $j_{np}$  – жесткость пружины,  $j_{np} = 0,472$  кН/мм.

Усилие  $P$  обкатывания на ролике в кН определяют по зависимости:

$$P = P_{np} \times 60/38 = f_{np} \times 0,472 \times 60 / 38 = 0,745 f_{np}, \quad (11)$$

где: 60 и 38 величины плеч усилия пружины и усилия на ролике соответственно в миллиметрах.

На рис. 6 показана схема действия составляющих усилия обкатывания на деталь

На рис. 7 показана осциллограмма составляющих усилия  $P$ , полученная при установке роликового узла на опорах скольжения, т.е. применительно к конструкции устройств, используемых на заводах для упрочняющего или чистового обкатывания стальных деталей.

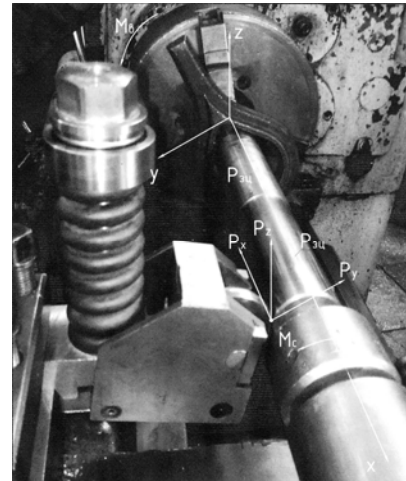


Рис. 6. Составляющие усилия обкатывания на деталь:  $P_x$  – касательное усилие качения ролика;  $P_y$  – номинальное усилие поджима ролика к детали;  $P_z$  – усилие подачи;  $P_{zц}$  – нагрузка от задней бабки в осевом направлении

Fig. 6 Constituents of effort of rolling on a detail:  $P_x$  is tangent effort of wobbling of roller;  $P_y$  is nominal effort of screwing of roller to the detail;  $P_z$  is effort of serve;  $P_{zц}$  is loading from a back grandmother in axial direction

Номинальное значение усилия поджима ролика к детали,  $P_{yn} = 5$  кН, а соотношение:  $P_{xn} : P_{yn} : P_{zn} = 0,15 : 5 : 1,5$ . Сила  $P_x$  в процессе обкатывания остается практически постоянной, а силы  $P_y$  и  $P_z$  с каждым оборотом ролика периодически изменяются; амплитуда колебания силы  $P_y$  составляет  $\Delta P_y = 0,45$ , а сила  $P_z$  (в направлении подачи) изменяется менее заметно. При установке роликового узла на подшипниках качения, как показали измерения,  $\Delta P_y < 0,03 P_{yn}$ , а колебания сил  $P_x$  и  $P_y$  практически не обнаружены.

Коэффициент трения в подшипниках скольжения составляет  $f_c = 0,05 \div 0,1$ , а в подшипниках качения  $f_k = 0,003 \div 0,008$ , поэтому стабилизация силы  $P$  при установке роликового узла на подшипниках качения достигается существенным уменьшением сил трения в опорах. Силы трения в опорах, складываясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия  $P$  обкатывания; при наличии же радиального биения ролика силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению. Это позволило предположить, что основной причиной появления волнистости является

наличие колебания усилия  $P$  обкатывания при каждом обороте ролика в результате его радиального биения.

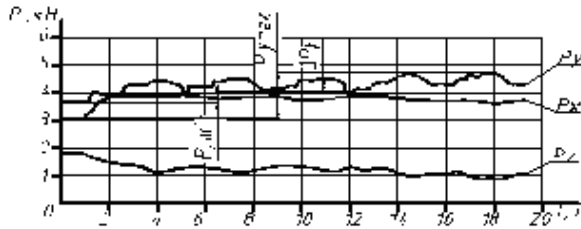


Рис.7. Осциллограмма составляющих усилия обкатывания  $P$  при установке роликового узла на опорах скольжения

Fig. 4 Oscillogram of constituents of effort of rolling-off of R during setting of roller knot on supports of sliding

Рассчитаем шаг волны  $S_w$  при некратных отношениях  $D_d/D_p$ . Точками на развертке следа ролика при качении его по детали отмечены места максимального значения усилия  $P$  (рис. 8).

Точки, сдвигаясь по поверхности детали, образуют винтовые линии с шагом  $S_w$ , превосходящим величину  $S$  подачи ролика. Вдоль этих линий деформация металла поверхностного слоя детали получается большей, чем в промежутках между ними, чем и определяется появление волнистости.

Из подобия треугольников  $ABC$  и  $A_1B_1C$  получим:

$$S_w = D_p S / (D_p N - D_d), \quad (12)$$

где:  $N = D_d/D_p + 1$  (здесь  $D_d/D_p$  - целая часть отношения). Данное выражение справедливо для случая, исключаящего проскальзывание ролика по детали при их взаимном вращении, при наличии скольжения фактический шаг волны может значительно отличаться от расчетного. Разворотом оси ролика вокруг перпендикуляра к поверхности контакта в ту или другую сторону можно изменить степень проскальзывания ролика и тем самым повлиять на величину  $S_w$ .

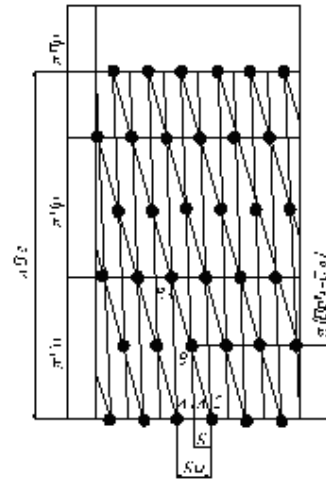


Рис. 8. Схема расчета шага  $S_w$  волны при обкатывании роликами

Fig. 8. Chart of computation of step of the  $S_w$  wave at rolling by rollers

Стабилизируя с помощью установки роликового узла на подшипниках качения усилие  $P$  можно исключить появление волнистости при больших углах вдавливания, которые свойственны даже упрочняющему обкатыванию. При этом удастся получить шероховатость поверхности  $R_a = 0,08 - 0,32$  мкм при исходной  $R_z = 80 - 160$  мкм, и кроме того, совместить чистовое и упрочняющее обкатывание.

Представленные на рис. 9 профилограммы поверхности вала из наиболее мягкой из всех конструкционных сталей, 20, HB 140 (при обкатывании этой стали имеет место максимальная волнистость обработанной поверхности) до обкатывания и после при  $P_{ун} = 5$  кН,  $S = 0.2$  мм/об детали,  $D_d = 117$  мм,  $D_p = 60$  мм, свидетельствуют об эффективности установки роликового узла на подшипниках качения.

На кривой (рис. 9. в.) видна волнистость на обкатанной поверхности с шагом  $S_w = 3,9$  мм, что соответствует значению  $S_w$ , рассчитанному по формуле (12).

Эффективность обкатывания может быть повышена также за счет применения роликов малого диаметра (бочкообразных и цилиндрических), что полностью исключает появление волнистости и при трении скольжения роликового узла в устройстве в следствии малости угла  $\phi_a$ .

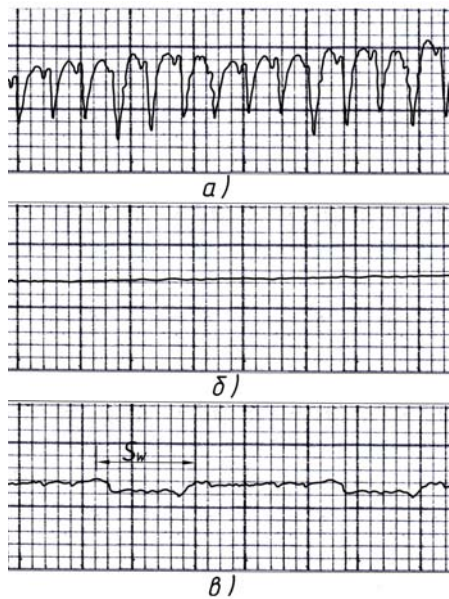


Рис 9. Профилотграммы поверхности вала из стали 20: а – до обкатывания  $R_z = 100$  мк; б – после обкатывания при установке роликового узла на подшипниках качения ( $R_a = 0,08 - 0,16$  мкм); в – после обкатывания при установке роликового узла на опорах скольжения

Fig. 9. Profilogrammy of surface of billow from steel 20: а – to the rolling-off of  $R_z = 100$  мк; б – after a rolling-off during setting of roller knot on bearings of wobbling ( $R_a = 0,08 - 0,16$  мкм); в – after a rolling-off during setting of roller knot on supports

### ВЫВОД

Разработан и исследован способ стабилизации усилия обкатывания при установлении роликового узла на опорах качения, что позволяет устранить появление волнистости обкатыванием торообразными роликами при больших средних углах вдавливания роликов ( $\varphi \leq 5^\circ$ ) и совместить упрочняющее и чистовое обкатывание.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Braslavskij V. 1975. Tehnologija obkatki krupnyh detalej rolíkami / V. M. Braslavskij. 2-e izd. – M.: Mashinostroenie. – 160.
2. Azarevich G. 1963. Chistovaja obrabotka cilindricheskikh poverhnostej plasticheskim deformirovaniem / G. Azarevich G. Bershtejn - M.: ONTI NII Traktorsel'-hozmasha. - 43.
3. Braslavskij V. 1989. Obkatka detalej rolíkami kak sredstvo povyshenija izno-sostojkosti / V. Braslavskij, V. Topychkanov. Pr-vo krupnyh mashin, NIITJaZhMASH Uralmashzczoda. — Вып. XIX. — 136 — 144.

4. Braslavskij V. 1975. Tehnologija obkatki krupnyh detalej rolíkami / Braslavskij V. M. - M.: Mashinostroenie. - 160.
5. Odincov L. 1987. Uprochnenie i ot-delka detalej poverhtnosnym plasticheskim deformirovaniem / L. Odincov – M.: Mashinostroenie. – 160.
6. Ryzhov Je. 1971. Povysenie izno-stojnosti soedinenij tehnologicheskimi metodami obrabotki/ Ryzhov Je., Braslavskij V., Topychkanov V. Nauch. – teh. sb. Brjan. in – ta transport. Mashinostroenija. – №2. — 47 — 51.
7. Ryzhov Je. 1972. Vlijanie usilija obkatyvaniya na geometriju nerovnostej / Ryzhov Je., Braslavskij V., Topychkanov V. Nauch. – teh. sb. Brjan. in – ta transport. Mashinostroenija. – №2. — 47 — 51
8. Ryzhov Je. 1979. Tehnologicheskoe obe-spechenie jekspluatacionnyh svojstv detalej mashin / Ryzhov Je., Suslov A., Fedorov V. – L.: Mashinostroenie. – 176.
9. Braslavskij V. 1985. Povysenie iznosostojkosti vintovyh par obkatyvaniem rolíkami / V. Braslavskij, B. Butakov, J. Shilkov. Tehnologija, organizacija i mehanizacija mehanosborochnogo proizvodstva. — M.: NIIformTJaZhMASH, — 15 — 17.
10. Shnejder J. 1982. Jekspluatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikro-rel'efom / Shnejder J. – L.: Mashinostroenie. – 248.
11. Konovalov E. 1968. Chistovaja i uprochnjajushhaja rotacionnaja obrabotka poverhnostej/ Konovalov E., Sidorenko V. – Minsk: Vyshejsj. shk., – 364.
12. Kudrjavcev I. 1984. Novye sposoby poverhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya / I. Kudrjavcev, R. Grudskaja. Mashinostroitel', № 7, 28-29.
13. Fridman J. 1987. Mehanicheskie svojstva metallov / J. Fridman — M.: Mashinostroenie. — 556.
14. Popov A. 2010. Novaja teorija kontaktnoj prochnosti uprugogo szhatyh tel / Motrol, Motoryzacija I energetyka rolnictwa. – Lublin - Tom12A. - 223 – 232.
15. Mamarin V. 2010. Vlijaniya oval'nosti poverhnosti shipa na harakteristiki profilirovannyh podshipnikov / Motrol, Motoryzacija I energetyka rolnictwa. – Lublin. - Tom12A. 31 – 36.
16. Babej J. 1995. Poverhnostnoe uprochnenie metallov/ J. Babej, B. Butakov, V. Sysoev - K.: Naukova dumka. – 256.

17. Papshev D. 1983. Otdelchno-uprochnjajushhaja obrabotka poverhnostnym plasticheskim deformirovanijem / D. Papshev – M.: Mashinostroenie. – 152.
18. Kudrjavcev I. 1951. Vnutrennie na-prjazhenija kak rezerv prochnosti v mashino-stroenii / Kudrjavcev I. – M.: Mashgiz. – 278.
19. Shkol'nik L., Shahov V. 1964. Tehnologija i prisposoblenija dlja uprochnenija i otdelki detalej nakatyvanijem. – M.: Mashinostroenie. – 184.
20. Pat. 71119 Ukraïna, MPK V24V 39/00. Pristrii dlja zmicnjujučogo ta chistovogo obkatuvannja poverhon' til obertannja zi stabilizacieju robočogo zusillja / B. Butakov, V. Artjuh; zajavnik i vlasnik Butakov B. – № u201112463; zajavl. 24.10.2011; opubl. 10.07.2012, Bjul. №13.

### **WAVINESS OF SURFACE AT ROLLING-OFF OF BODIES OF ROTATION ROLLERS**

**Summary.** Formulated and reason appearance of waviness is experimentally grounded at a rolling toroobraznymi rollers is oscillation of effort of rolling from the presence of large forces of sliding friction in the mechanism of loading of roller.

**Key words:** rolling, waviness, flowage, force of friction, roller knot, rollers

