

УДК 631.362.36:633.1

**Б.І. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**С.П. Степаненко, В.О. Швидя – канд. техн. наук, М.Г. Пастушенко, здобувач**

*ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” НААНУ*

## Моделювання вібраційної динаміки переміщення дисперсійного матеріалу на конічній поверхні решета зерносепаратора

В статті розглянута удосконалена математична модель вібраційного переміщення зерноматеріалу на конічному решеті з урахуванням зміни маси продукту в напрямку його руху.

**вібраційна динаміка, дисперсійний матеріал, решето, зерносепаратор**

**Б.И. Котов**

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

**С.П. Степаненко, В.О. Швидя, М.Г. Пастушенко**

*ННЦ “Институт механизации и электрификации сельского хозяйства” НААНУ*

**Моделирование вибрационной динамики перемещения дисперсионного материала на конусной поверхности решета зерно сепаратора**

В статье рассмотрена усовершенствованная математическая модель вибрационного перемещения зерноматериала на коническом решете с учетом изменения массы продукта в направлении его движения.

**вибрационная динамика, дисперсионный материал, решето, зерносепаратор**

**Проблема.** У загальному комплексі механізації після збиральної обробки та зберігання зерна одною з найважливіших операцій є очищення і сепарація, рівень розвитку яких залишається низьким за відсутністю використання нових принципів роботи робочих органів.

Застосування робочих органів у вигляді поверхонь обертання і надання їм обертального руху та осьових коливань відкрило перспективні напрямки підвищення ефективності процесів сепарації зерноматеріалів. Питома продуктивність вібровідцентрових зерносепараторів найвища. Однак, резерви підвищення продуктивності і ефективності цих сепараторів ще не вичерпано. Пояснюється це тим, що в циліндричних решетах відсутні радіальні впливи на рухомий шар зерноматеріалу і, як наслідок, швидкість внутрішарового переміщення матеріалу недостатньо велика.

Конічна форма робочої поверхні відрізняється більшою можливістю регулювання процесу переміщення. Частинки на поверхні додатково гальмуються за рахунок дії складової сили інерції спрямованої вздовж утворюючої конічної поверхні, а нормальна складова сила інерції впливає на частку в радіальному напрямку.

Аналіз досліджень робочих поверхонь відцентрових вібросепараторів при урахуванні технологічності їх виготовлення приводить до висновку про доцільність застосування ступінчасто-конічних поверхонь (решіт) з вертикальною віссю.

Ефективність решітної сепарації, як відомо, залежить від швидкості переміщення матеріалу вздовж поверхні решета (при цьому для певних зернових

культур ця залежність має квадратний характер) тому точність аналітичного визначення швидкості вібраційного переміщення матеріалу набуває вагомого значення

**Аналіз останніх досліджень.** Математичний опис вібраційного руху твердих матеріалів детально розглянуто в узагальнюючих роботах Блехмана І.І, Заїки П.М, Гортинського В.В, Василенка П.М. [1-4]. Рух матеріальної точки по поверхні ступінчасто-конічного решета при вертикальних коливаннях розглянуто в роботі Гончарова Є.С. і Малюти С.І. [5]. Проте автори цих робіт не враховують зміну маси матеріалу на решеті в процесі переміщення за рахунок просіювання проходової фракції.

**Метою роботи** є удосконалення математичної моделі переміщення матеріалу по конічній поверхні при наявності гармонічних коливань шляхом урахування зміни маси зерна на решеті за рахунок просіювання проходової частини фракції.

**Результати досліджень.** Нижче у рамках метода досліджень динаміки матеріальної точки, яка моделює елемент рухомого шару зерна, пропонується математичний опис вібраційного переміщення часточки зернового матеріалу вздовж конічної поверхні решета, яке обертається навколо вертикальної вісі і одночасно здійснює гармонічні коливання у вертикальному напрямку.

На рис. 1 представлено схему сил, що діють на елементарний об'єм масою  $dm$ , який умовно прийнятий за матеріальну точку при переміщенні вздовж утворюючої конічної поверхні. У схемі сил не враховано взаємодію між частками, які врівноважуються за рахунок мало пружних співударень, тертя і заклинювання в робочому органі.

Частка рухається на елементі поверхні ротора ввєрх і вниз відповідно до вертикальних коливань решета. При цьому рух частинки розглядаємо вздовж осі  $\xi$  яка співпадає з утворюючою конічної поверхні і здійснює разом з нею обертальний і одночасно коливальний рух за гармонічним законом.

На частку діють такі сили:  $P_{ц}$  – сила інерції в переносному обертальному русі;  $P_J$  – сила інерції у переносному коливальному русі;  $P$  – сила тяжіння;  $F$  – сила тертя. Впливом коріолісової сили інерції нехтуємо, так як вона складає біля 0,02 %.

Основне рівняння динаміки точки має вигляд:

$$m\ddot{\omega}_a = \overline{P}_{ц} + \overline{F} + \overline{P}_J + \overline{P}. \quad (1)$$

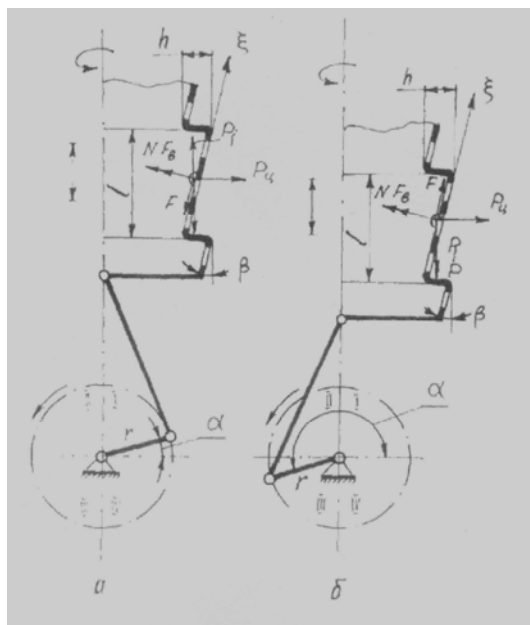


Рисунок 1 – Схема сил, діючих на частинку у русі, що встановився

Виходячи з традиційного підходу [5,6] до постановки задач динаміки матеріальної точки використовуємо наступну систему диференціальних рівнянь.

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{\xi}_B = P_j \cdot \cos\beta - P \cdot \cos\beta + P_u \cdot \sin\beta - F \\ m \cdot \ddot{\xi}_H = -P_j \cdot \cos\beta - P \cdot \cos\beta + P_u \cdot \sin\beta + F \end{cases} \quad (2)$$

де  $m$  – маса частинки зернової суміші;

$\beta$  – кут між твірною сходинок і віссю обертання ротора;

$P_j = m \cdot \omega_1^2 \cdot r \cdot \cos\omega_1 t$  — сила інерції частинки у переносному коливальному русі,

де  $\omega_1$  – кутова швидкість коливального руху ротора;

$r$  – амплітуда коливань сепаруючої поверхні;

$P_u = m \cdot \omega_2^2 \cdot R_{cp}$  — сила інерції частинки в переносному обертальному русі,

де  $\omega_2$  – кутова швидкість обертального руху ротора;

$R_{cp}$  – середня величина радіусу кола, по якому обертається частинка спільно з сепаруючою поверхнею (вплив зміни  $R$  на величину  $P_u$  приймається неістотним);

$F = f_k \cdot N$  – сила тертя ковзання частинки по поверхні сходинок;

де  $f_k$  – приведений коефіцієнт кінематичного тертя зернового шару по поверхні сходинок;

$N = P_u \cdot \cos\beta + P \cdot \sin\beta - P_j \cdot \sin\beta - F_B$  – величина нормальної реакції поверхні;

$F_B = mgk_B$  – сила взаємодії повітряного потоку на частинку;

$P = mg$  – сила ваги частинки.

Так як, при русі зернової маси по решету відбувається зміна маси  $\Delta m$  за рахунок просіювання, застосуємо рівняння Мещерського для даного процесу:

$$m(t) \cdot \frac{dv}{dt} = F_{зовн} - u \cdot \frac{dm(t)}{dt},$$

де  $m(t)$  — закон зміни маси з часом;

$u$  — швидкість просіювання;

$F_{зовн}$  — зовнішні сили.

За даними досліджень [7] маса зернової маси, що сепарується на решеті змінюється за законом:

$$\frac{d}{dt} m(t) = m_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (3)$$

де  $m_0$  – початкова маса зернової маси на решеті;

$k$  – коефіцієнт просіювання.

Підставивши вираз (3) в закон зміни маси  $m(t)$ , складову  $u \cdot \frac{dm(t)}{dt}$  у значення нормальної реакції  $N$  та значення сил  $P_u$ ,  $P$ ,  $P_j$ ,  $F$ , враховуючи частинку зернової суміші зі змінною масою  $m(t)$  рівняння руху зернової суміші по поверхні решета приймає вигляд:

$$\begin{aligned} m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \ddot{\xi}_B = & m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \omega_1^2 \cdot r \cdot \cos\omega_1 t \cdot \cos\beta - m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot g \cdot \cos\beta + \\ & + m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \omega_2^2 \cdot R_{cp} \cdot \sin\beta - f_k \cdot (m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \omega_2^2 \cdot R_{cp} \cdot \cos\beta + \\ & + m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot g \cdot \sin\beta - m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot g \cdot k_B - m_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \omega_1^2 \cdot r \cdot \cos\omega_1 t \cdot \sin\beta - \\ & - u \cdot m_0 \cdot k \cdot e^{-k \cdot t}). \end{aligned} \quad (4)$$

Розділивши рівняння (4) на вираз  $m_0 \cdot e^{-k \cdot t}$  рівняння (4) приймає вигляд:

$$\ddot{\xi}_B = \omega_1^2 \cdot r \cdot \cos\omega_1 t \cdot \cos\beta - g \cdot \cos\beta + \omega_2^2 \cdot R_{cp} \cdot \sin\beta - f_k \cdot (\omega_2^2 \cdot R_{cp} \cdot \cos\beta + g \cdot \sin\beta - g \cdot k_B - \omega_1^2 \cdot r \cdot \cos\omega_1 t \cdot \sin\beta - u \cdot k) \quad (5)$$

Інтегруючи вираз (5) по t при початкових умовах ( $t=0$ ;  $\xi_B=0$ ;  $\dot{\xi}_B=v$ ), отримуємо закон руху зернової маси по поверхні решета:

$$\dot{\xi}_B = f_{1\beta} \cdot (\omega_1 \cdot r \cdot \sin\omega_1 t - gt) - K \cdot t + v_0, \quad (6)$$

$$\xi_B = -f_{1\beta} \cdot \left( r \cdot \cos\omega_1 t + \frac{g \cdot t^2}{2} \right) - \frac{K \cdot t^2}{2} + v_0 \cdot t + r \cdot f_{1\beta}, \quad (7)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість руху;

$$f_{1\beta} = \cos\beta - f_k \cdot \sin\beta;$$

$$K = \omega_2^2 \cdot R_{cp} \cdot f_{2\beta} - g \cdot k_B - u \cdot k;$$

$$f_{2\beta} = \sin\beta - f_k \cdot \cos\beta.$$

При режимних параметрах ( $\beta=10^\circ$ ;  $\omega_1=12,58$ ;  $r=0,005$ ;  $\omega_2=2,094$ ;  $R=0,5$ ;  $f_k=0,37$ ;  $k_B=5,45 \times 10^{-5}$ ;  $m\theta=4,5$ ;  $v_0=0,2$ ;  $k=8,5$ ) отримуємо графічну залежність переміщення зернової маси від часу при різних швидкостях просіювання (рис. 2).

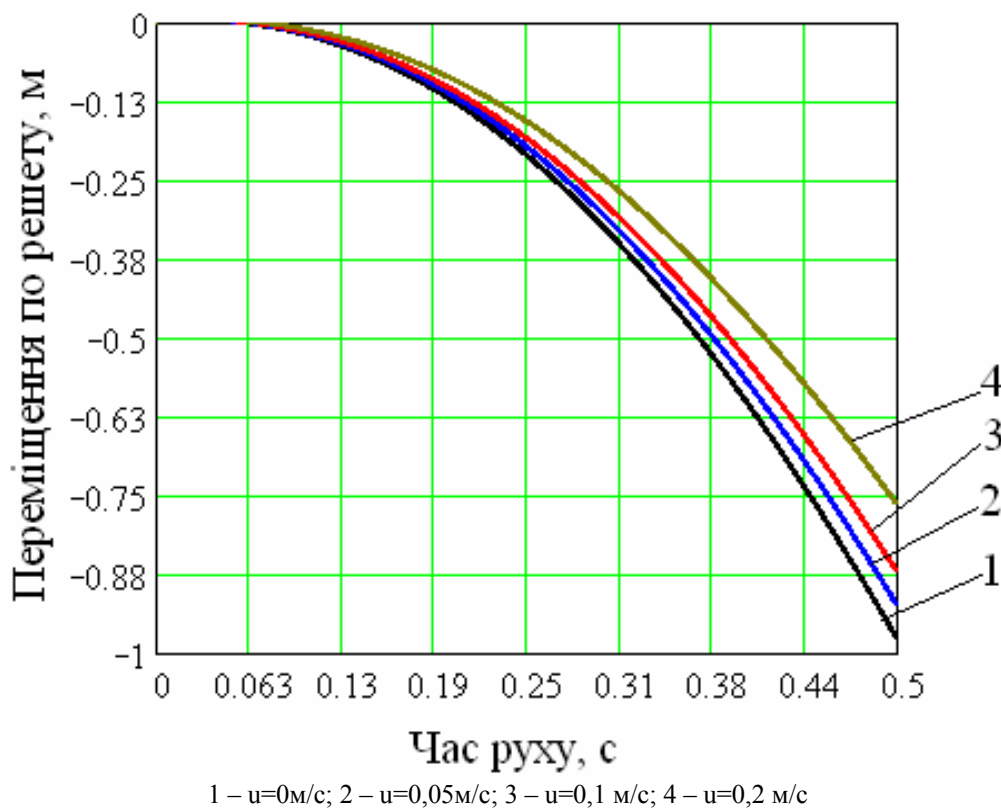


Рисунок 2 – Залежність переміщення зернової маси по решету від часу при різних значеннях швидкості просіювання

Виключаючи час з залежностей (3) та (7), отримуємо залежність маси зернової суміші, що рухається по решету від переміщення (рис. 3, при швидкості просіювання  $u=0,1$  м/с).

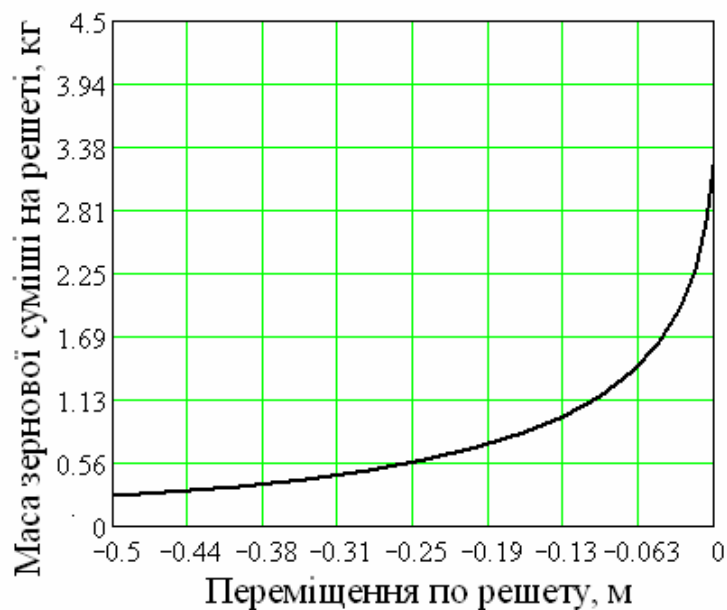


Рисунок 3 – Залежність маси зернової суміші на решеті від переміщення

Знак «мінус» вказує на те, що зернова суміш сходить вниз по решету.

Таким чином встановлено, що при збільшенні швидкості просіювання швидкість переміщення зменшується (рис.3).

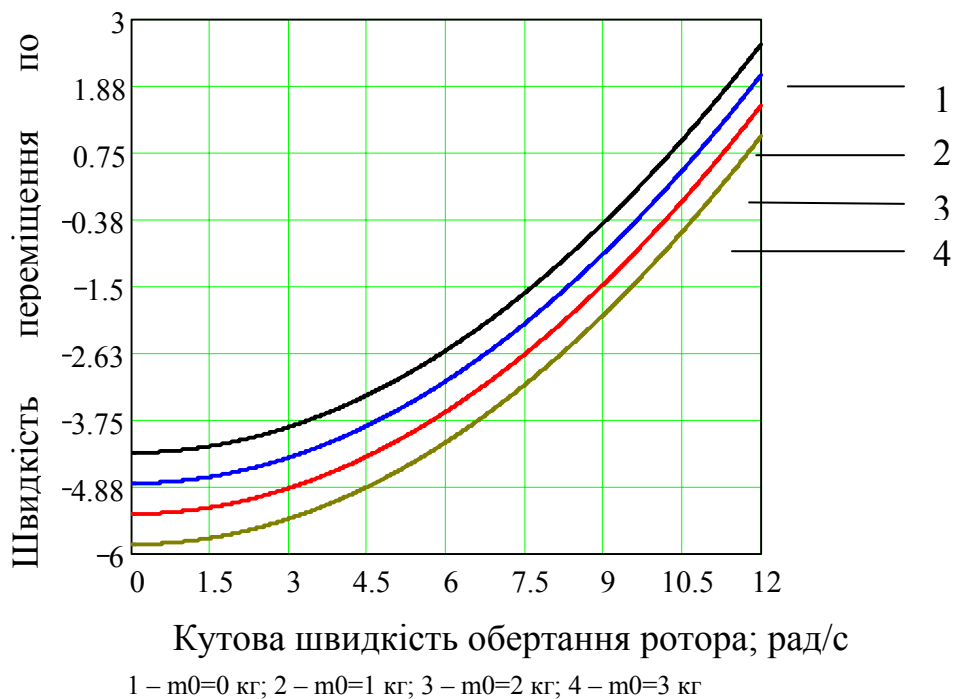
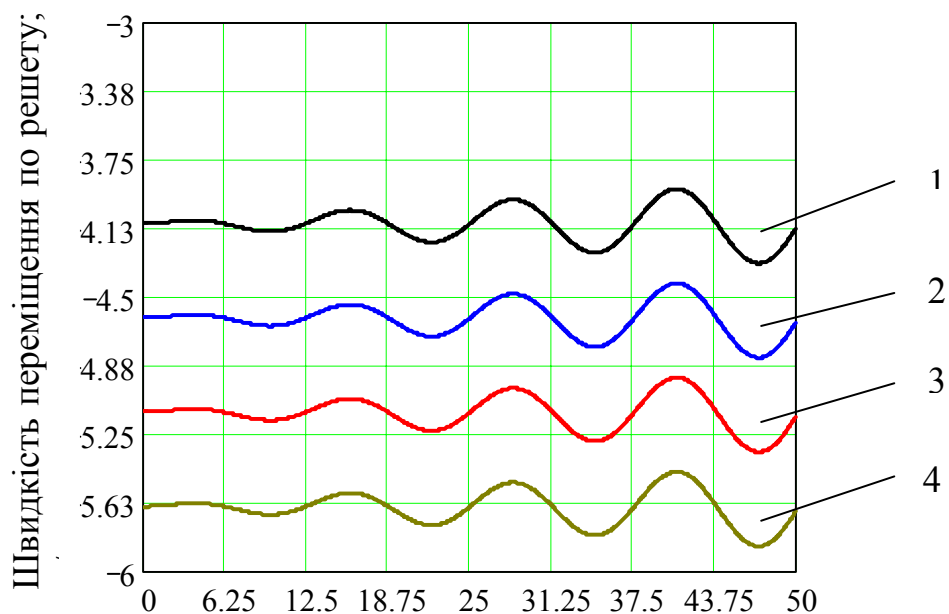


Рисунок 4 – Залежність швидкості переміщення зернової маси по решету від кутової швидкості обертання ротора при різних значеннях початкової маси



Кутова швидкість коливання ротора ; рад/с  
1 –  $m_0=0$  кг; 2 –  $m_0=1$  кг; 3 –  $m_0=2$  кг; 4 –  $m_0=3$  кг

Рисунок 5 – Залежність швидкості переміщення зернової суміші по решету від кутової швидкості коливання ротора при різних значеннях початкової маси

### Висновки.

1. Складена математична модель вібраційного переміщення зерноматеріалу на конічній поверхні ротора відцентрового сепаратора з урахуванням кінетики просіювання прохідної фракції зернової суміші.

2. Розв'язок рівняння математичної моделі дає можливість визначити розподіл маси зерноматеріалу на решеті і відповідно висоти шару зерна, що дає можливість оптимізувати параметри сепаратора критерієм інтенсивності просіювання.

### Список літератури

1. Блехман И.И., Дженелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М. Наука, 1964. – 410 с.
2. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики. – К.:Изд – во УСХА, 1992. - 512 с.
3. Гортинский В.В. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях /В.В. Гортинский., А.Б. Демский., М.А. Борискин. – М. Колос, 1980. - 303 с.
4. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К : Изд – во УАСА, 1960. - 283 с.
5. Гончаров Е.С. Механико–математическая модель движения частиц семенной смеси по поверхности ротора пневмовиброцентробежного сепаратора (Е.С. Гончаров., С.И. Малюта //Механизация и электрификация сельского хозяйства. Киев.– 1986, вып. 64. – С. 24 - 29.
6. Берг Б.А. Движение материальной точки по наклонной плоскости с трением, совершающей круговое поступательное движение. /Б.А.Берч //Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. М. – Л.: Сельхозиздат, 1936, Т. 3. – С. 552 - 539.
7. Ямполов С.С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетками. - Улан – Уде: Изд – во ВСГТУ, 2004. -165с.

**Boris Kotov**

*National University of Bio-resources and Environmental Sciences of Ukraine*

**Sergey Stepanenko, Victor Shvidy, Nicholas Pastushenko**

*NSC "Institute of mechanization and electrification of agriculture"*

**Dynamic simulation of vibration on moving dispersive materials cone sieve separator**

Objective - improving mathematical model material moving along a conical surface in the presence of harmonic oscillations by considering changes in the mass of grain on the sieve by sieving fraction part.

Method for studies of the dynamics of a point, which simulates the rolling element layer of grain, the mathematical description of the vibrating particles moving along the grain of the material cone sieve that rotates around a vertical axis, while harmonically oscillating in the vertical direction.

Particle moves on the surface of the rotor element up and down according to the vertical oscillation sieve. In this case, consider the motion of a particle along the axis  $\xi$  is the same as forming a conical surface and carries with it both rotational and vibrational motion for the harmonic law.

Thus found that an increase in velocity of the screening rate decreases.

In this paper the improved mathematical model of vibration displacement grain conical sieve material in the changing weight of the product in the direction of its movement.

Conclusions:

1. Compiled mathematical model of a vibrating movement of grain on the conical surface of the rotor of a centrifugal separator based on the kinetics of screening throughput fraction of grain mixture.

2. Solution of the mathematical model makes it possible to determine the mass distribution of grains in a sieve and therefore the height of the layer of grain, which makes it possible to optimize the separator intensity of screening criteria.

**vibrational dynamics, dispersion material, sieve, separator**

Одержано 25.10.13

УДК:621.644:621.833.15

**Ю.В. Кулешков, проф., канд. техн. наук, Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук., К.Ю. Кулешкова, инж.**

*Кировоградский национальный технический университет*

## Анализ теоретических исследований пульсации мгновенной подачи шестеренного насоса

В статье представлены результаты анализа теоретических исследований пульсации мгновенной подачи и давления в процессе рабочего цикла подачи шестеренного насоса.

**шестеренный насос, пульсация, мгновенная подача**

**Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, М.В. Красота, К.Ю. Кулешкова**

*Кіровоградський національний технічний університет*

**Аналіз теоретичних досліджень пульсації миттєвої подачі шестеренного насоса**

В статті представлені результати аналізу теоретичних досліджень пульсації миттєвої подачі і тиску в процесі робочого циклу подачі шестеренного насоса.

**шестеренний насос, пульсація, миттєва подача**

**Актуальность.** Шестеренный насос (НШ) является один из наиболее востребованных объемных насосов, используемых в гидроприводах машин самого разнообразного назначения. При сравнении технических характеристик объемных насосов, представленных в работах [1, 2] отмечено, что всем типам объемных насосов, за исключением винтовых, присуще такое негативное качество, как пульсация мгновенной подачи (МПП) и давления.

Разработка и исследование методов снижения пульсации МПП и давления НШ является актуальной научно-технической проблемой, которая имеет важное значение для развития насосостроения в Украине.