

## **КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ З ВИТКОМ ШНЕКА ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ**

**О.О. Труханська, здобувач\***

**І.Є. Кравченко, кандидат технічних наук**

**Вінницький національний аграрний університет**

**В.М. Барановський, кандидат технічних наук**

**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя**

*Викладено результати дослідження процесу взаємодії коренеплодів з робочою поверхнею витка шнека, який встановлено під кутом до напрямку руху вороху. Аналітично визначено результуючу швидкість співудару та кут відбивання коренеплодів від поверхні витка шнека.*

**Комбінована очисна система, коренеплоди, шнек, кут відбивання, результуюча швидкість руху.**

**Постановка проблеми.** Аналіз роботи відомих очисних робочих органів коренезбиральних машин (КМ) показав, що вони не забезпечують необхідної якості роботи і в них не повністю розкриті переваги і можливість використання принципу та ефекту косоного співудару коренеплодів з робочими поверхнями, який забезпечує їх мінімальні пошкодження. Підвищення показників якості роботи КМ досягається шляхом удосконалення конструкції та покращення показників якості виконання процесу очищення вороху коренеплодів (ВК) шляхом застосування комбінованої очисної системи (КОС). Інтенсифікація процесу відокремлення землі та рослинних домішок від коренеплодів відбувається за рахунок збільшення часу знаходження вороху коренеплодів на робочих поверхнях КОС.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідження, які наведено в працях [1, 2], відносяться до встановлення характеру взаємодії коренеплодів з гвинтовим конвеєром, вісь обертання якого розташована поперек руху вороху. Запропонована КОС має свої специфічні властивості, які вносять певні корективи в технологічний процес роботи, що і зумовило проведення даних досліджень.

**Мета досліджень** – подальший розвиток методів і методики обґрунтування параметрів очисників вороху коренеплодів.

**Результати дослідження.** Ефективність відокремлення домішок від коренеплодів, або показники якості роботи КОС (ступінь

\*Науковий керівник – кандидат технічних наук В.М. Барановський

відокремлення вільного та налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, вільних рослинних домішок і зв'язаної гички на головках коренеплодів кормових буряків) значно залежить від встановлених значень основних конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів КОС.

Процес переміщення коренеплодів цукрових і кормових буряків розглянемо в аспекті руху твердого тіла по поверхні робочої гілки транспортера після контакту коренеплодів з витком шнека. Для рішення даної задачі розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 1. На рис. 2 наведено план швидкостей взаємодії коренеплоду з витком шнека. У процесі формалізації моделюючої системи «транспортер-коренеплід-шнек» приймаємо певні обмеження та припущення.

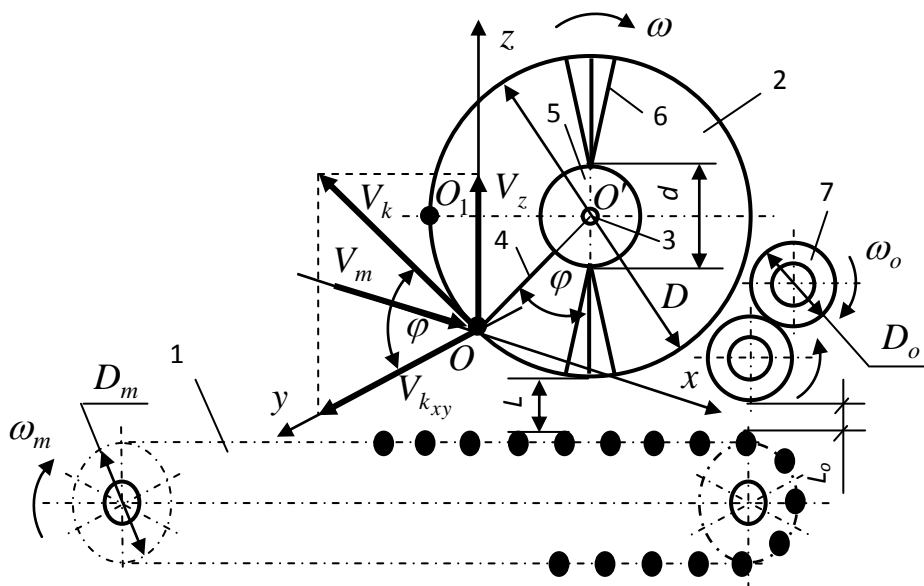


Рис. 1. Схема для розрахунку параметрів КОС, вигляд збоку: 1 – транспортер; 2 – шнек; 3, 4, 5 – вісь обертання, виток, барабан шнека; 6 – очисні елементи; 7 – відминальні вальці.

ВК з швидкістю  $V_m$  руху подавального транспортера 1 (рис. 1) надходить до шнека 2, який обертається зустрічно напрямку руху ВК з кутовою швидкістю  $\omega$ . Коренеплід, з початковою швидкістю  $V_m$ , після контакту з витком 4 шнека у точці  $O$ , відбивається від витка з результуючою швидкістю  $V_p$  (рис. 2) та рухається у напрямку її вектора.

На першому етапі з конструктивних міркувань встановлюємо зазори  $L$  і  $L_o$  (рис. 1): зазор  $L$  приймаємо рівним половині усередненого діаметра коренеплоду з умови забезпечення його ефективного транспортування витками шнека, а зазор  $L_o$  – меншим

за діаметр кондиційного коренеплоду з умови усунення його втрат, При цьому згідно з [3, 4] приймаємо:  $L$  для коренеплодів цукрових буряків  $L \geq 0,07$  м, а для кормових буряків –  $L \geq 0,09$  м;  $L_o \leq 0,05$  м для двох груп коренеплодів. Згідно з [5] встановлено, що збільшення швидкості руху пруткового транспортера в межах  $V_m = 1,6 \dots 1,8$  (м/с) не призводить до значного зростання сепарації ґрунтових домішок, тому приймаємо  $V_m = 1,6$  м/с.

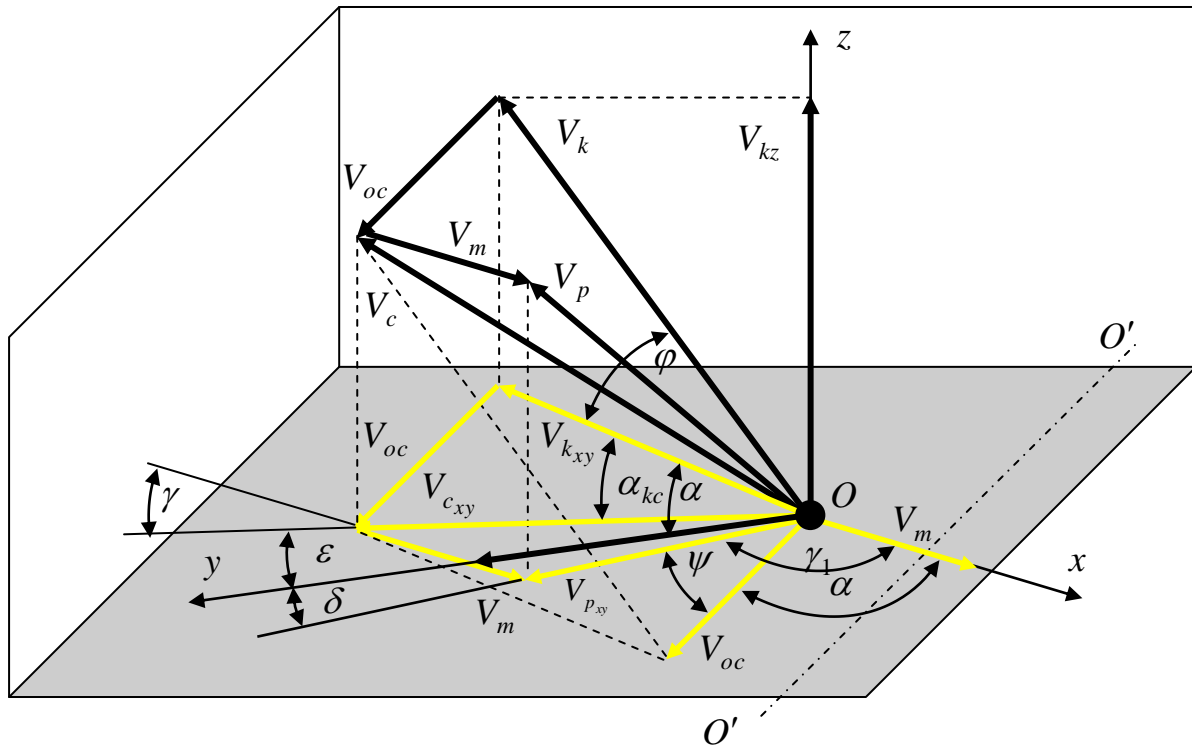


Рис. 2. План швидкостей косої співудару коренеплоду з витком шнека.

Для рішення контактної задачі процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека вибираємо загальну просторову декартову систему координат, початок відліку якої знаходиться у точці контакту  $O$ , рис. 1, рис. 2. Осі  $Ox$  і  $Oy$  просторової системи координат  $xyz$  направимо, відповідно, паралельно та перпендикулярно напрямку вектора  $\vec{V}_m$  швидкості руху транспортера 1, а вісь  $Oz$  – паралельно вертикальній осі шнека. Враховуючи, що основне переміщення коренеплодів робочою гілкою транспортера відбувається без їх відриву від її поверхні, розглянемо варіант рішення косої удару в горизонтальній площині  $xOy$ , план швидкостей якого наведено на рис. 2. Коренеплід після контакту з витком шнека у точці  $O$  з початковою швидкістю  $V_m$  відбивається від поверхні витка шнека зі швидкістю  $V_p$  та рухається у напрямку її вектора під кутом

відбивання  $\psi$ , який є кутом між напрямками проекції  $\vec{V}_{p_{xy}}$  вектора  $\vec{V}_p$  на горизонтальну площину  $xOy$  та вектора швидкості переміщення коренеплоду  $\vec{V}_{oc}$  відносно поздовжньої осі  $O'O'$  обертання шнека та характеризує умову забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів і задовільної (стабільної) технологічної ефективності роботи КОС згідно з [6].

Значення кута відбивання коренеплодів  $\psi$ , або напрямку руху коренеплоду після його контакту з витком шнека визначається:

$$\psi = 90 - (\alpha + \delta), \quad (1)$$

де  $\psi$  – кут відбивання коренеплодів, град.;  $\alpha$  – кут встановлення шнека відносно напрямку вектора  $\vec{V}_m$ , град.;  $\delta$  – кут між напрямками  $\vec{V}_{p_{xy}}$  вектора  $\vec{V}_p$  на горизонтальну площину  $xOy$  та осі  $Oy$ , град.

Згідно з рис. 2 маємо:

$$\delta = \arccos(\vec{V}_{c_y} / \vec{V}_{p_{xy}}); \quad \delta = \arccos(V_{c_{xy}} \cos[\alpha - \arcsin(V_{k_{xy}} / V_{c_{xy}})] / V_{p_{xy}}), \quad (2)$$

де  $V_{c_y}$  – проекція сумарної швидкості шнека  $V_{c_{xy}}$  на вісь  $Oy$ , м/с;  $V_{p_{xy}}$  – проекція результуючої швидкості  $V_p$  взаємодії коренеплоду з витком шнека на площину  $xOy$ , м/с;  $V_{c_{xy}}$  – проекція сумарної швидкості шнека  $V_c$  на вісь  $Oy$ , м/с;  $V_{k_{xy}}$  – проекція колової швидкості шнека  $V_k$  на площину  $xOy$ , м/с.

Таким чином, кут відбивання коренеплодів  $\psi$ , або напрямок руху коренеплоду після його контакту з витком шнека з врахуванням залежностей (1) і (2) визначається за формулою  $\psi = 90^\circ - \alpha - \arccos(V_{c_y} / V_{p_{xy}})$ , або

$$\psi = \frac{\pi'}{2} - \alpha - \arccos \frac{V_{c_{xy}} \cos\left(\alpha - \arcsin \frac{V_{k_{xy}}}{V_{c_{xy}}}\right)}{V_{p_{xy}}}. \quad (3)$$

Згідно з планом швидкостей косого співудару коренеплоду з витком шнека (рис. 2), векторне значення результуючої швидкості руху коренеплоду  $\vec{V}_{p_{xy}}$  після його контакту з витком шнека в площині  $xOy$  має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \vec{V}_{p_{xy}} &= -\vec{V}_{c_{xy}} + \vec{V}_m = -\vec{V}_c \cos(\vec{V}_c; \vec{V}_{c_{xy}}) + \vec{V}_m = (-\vec{V}_k + \vec{V}_{oc}) \cos(\vec{V}_c; \vec{V}_{c_{xy}}) + \vec{V}_m = \\ &= \vec{V}_{k_{xy}} + \vec{V}_{oc} + \vec{V}_m = [-\vec{V}_k \cos(\vec{V}_k; \vec{V}_{k_{xy}}) + \vec{V}_{oc}] + \vec{V}_m \end{aligned}, \quad (4)$$

де  $\vec{V}_{c_{xy}}$  – проекція вектора сумарної швидкості шнека  $V_c$  на площину

$xOy$ ;  $\vec{V}_m$  – вектор швидкості руху транспортера;  $\vec{V}_c$  – вектор сумарної швидкості шнека;  $\cos(\vec{V}_c; \vec{V}_{c_{xy}}) = \cos(\vec{V}_k; \vec{V}_{k_{xy}}) = \cos \varphi$  – відповідно, косинус кута між напрямками вектора сумарної швидкості шнека  $V_c$  і проекції вектора  $\vec{V}_{c_{xy}}$  сумарної швидкості шнека  $V_c$  на площину  $xOy$  та між напрямками вектора колової швидкості шнека  $V_k$  та проекцією  $\vec{V}_{k_{xy}}$  вектора колової швидкості шнека  $V_k$  на площину  $xOy$ , де  $\varphi$  – кут повороту витка шнека за час  $t$ , град.;  $\vec{V}_k$  – вектор колової швидкості шнека;  $\vec{V}_{oc}$  – вектор швидкості переміщення коренеплоду відносно поздовжньої осі  $O'O'$  обертання шнека;  $\vec{V}_{k_{xy}}$  – проекція вектора колової швидкості шнека  $V_k$  на площину  $xOy$ .

Для визначення скалярного значення проекції  $V_{p_{xy}}$  застосовуємо теорему косинусів. Враховуючи (4) та згідно з [7] скалярне значення результуючої швидкості  $V_{p_{xy}}$  руху коренеплоду після його контакту з витком шнека в площині  $xOy$  визначається:

$$\begin{aligned} V_{p_{xy}} &= \sqrt{V_{c_{xy}}^2 + V_m^2 - 2V_{c_{xy}} V_m \cos \gamma} = \sqrt{V_c^2 \cos^2 \varphi + V_m^2 - 2V_c \cos \varphi V_m \cos \gamma} = \\ &= \sqrt{V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{oc}^2 + V_m^2 - 2V_m \cos \gamma \sqrt{V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{oc}^2}}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $V_m$  – швидкість руху транспортера, м/с;  $\gamma$  – кут між напрямками проекції  $V_{c_{xy}}$  сумарної швидкості витка шнека  $V_c$  на площину  $xOy$  та швидкості руху транспортера  $V_m$ , град.;  $V_c$ ,  $V_k$  – сумарна та колова швидкість шнека, м/с;  $V_{oc}$  – швидкість переміщення коренеплоду відносно поздовжньої осі  $O'O'$  обертання шнека, м/с;

Підставивши значення складових у залежність (5) та після перетворення і спрощення виразу одержимо проміжну залежність для визначення скалярного значення результуючої швидкості руху коренеплоду  $V_{p_{xy}}$  після його контакту з витком шнека в площині  $xOy$ :

$$V_{p_{xy}} = 0,5 \sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \theta + D_m \frac{d\varphi_m}{dt} \left( D_m \frac{d\varphi_m}{dt} - D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta} \right) \cos \gamma}, \quad (6)$$

де  $D$ ,  $D_m$  – зовнішній діаметр шнека та діаметр барабана приводного вала транспортера, м;  $\varphi_m$  – кут повороту барабана приводного вала транспортера, рад.;  $\theta = \cos^2 \varphi + k_V^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi'}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \right)$ , де  $k_V$  – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості  $V_{oc}$  відносно  $V_o$ ;  $\varphi_k$  – коефіцієнт тертя коренеплоду з матеріалом поверхні витка.

Кут  $\gamma$  між напрямками проекції  $V_{c_{xy}}$  сумарної швидкості витка шнека  $V_c$  на площину  $xOy$  та швидкості руху транспортера  $V_m$ , згідно з рис. 2, визначається:

$$\gamma = \frac{\pi'}{2} - \alpha - \arcsin \frac{D \frac{d\varphi}{dt} \cos \varphi}{0,5D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta}} = \frac{\pi'}{2} - \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}}. \quad (7)$$

Тоді, враховуючи одержані значення залежності кута  $\gamma$  (7) та результуючої швидкості руху коренеплоду  $V_{p_{xy}}$  після його контакту з витком шнека в площині  $xOy$  (6), кінцеве скалярне значення результуючої швидкості руху коренеплоду  $V_{p_{xy}}$  після його контакту з витком шнека в площині  $xOy$  визначається за формулою:

$$V_{p_{xy}} = 0,5 \sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \theta + D_m \frac{d\varphi_m}{dt} \left( D_m \frac{d\varphi_m}{dt} - D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta} \right) \times \sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}. \quad (8)$$

Таким чином кут відбивання коренеплодів  $\psi$ , або напрямок руху коренеплоду після його контакту з витком шнека з врахуванням залежностей (3) і (8) та після перетворення і спрощення виразу визначається за формулою:

$$\psi = \frac{\pi'}{2} - \alpha - \arccos \frac{D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta} \cos \left( \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}{\sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \theta + D_m \frac{d\varphi_m}{dt} \left( D_m \frac{d\varphi_m}{dt} - D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta} \right) \times \sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}}. \quad (9)$$

Одержана залежність (9) є математичною моделлю, яка характеризує залежність кута відбивання коренеплодів  $\psi$ , або умову забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів від зміни конструктивно-кінематичних параметрів КОС.

Забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів досягається за умови, коли кут  $\psi = 0$ , тобто у цьому випадку коренеплоди не відбиваються від поверхні витка шнека з результуючою швидкістю  $V_{p_{xy}}$  та не повертаються знову до витка на повторну взаємодію з ним, відлітаючи знову від нього з повторною результуючою швидкістю  $V_{p_{1xy}}$  (рис. 2), а переміщуються витками шнека вздовж їх осі обертання  $O'O'$ .

У цьому випадку та того, що  $\frac{\pi'}{2} - \arccos x = \arctg\left(x/\sqrt{1-x^2}\right)$  повинна бути забезпечена умова:

$$\psi = \arctg \frac{D \frac{\pi n}{30} \operatorname{ctg}\left(\alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}}\right) \sqrt{\sin\left(\alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}}\right)}}{\sqrt{D^2 \frac{\pi^2 n^2}{900} + V_m \left(\frac{V_m}{\sqrt{\theta}_m} - D \frac{\pi n}{30}\right)}} - \alpha = 0. \quad (10)$$

**Висновок.** Побудовані математичні моделі технологічного процесу функціонування КОС та подальший їх аналіз є передумовою для обґрунтування параметрів очисників вороху коренеплодів.

### Список літератури

1. *Механізми з гвинтовими пристроями* / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко., Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів: Світ, 1992. – 380 с.
2. *Виговський А.Ю.* Обґрунтування технологічного процесу і параметрів комбінованого очисника вороху кормових буряків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / А.Ю. Виговський. – Вінниця, 2006. – 20 с.
3. *Погорілий Л.В.* Біологічні та агротехнічні передумови використання механізованого збирання коренеплодів кормових буряків / Л.В. Погорілий, А.М. Фомічов, Ф.М. Архипенко // Вісник сільськогосподарської науки. – № 10. – 1987. – С. 96.
4. *Результати випробувань модернізованої коренезбиральної машини КС-6Б* / [М.О. Гандзюк, В.М. Осуховський, І.Г. Ткаченко та ін.] // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 25–30.
5. *Жистин Е.А.* Обоснование параметров шнеко-елеваторного сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин: дисс...кандидата техн. наук : 05.20.01 / Жистин Евгений Анатоліевич. – М., 1986. – С. 43, 139–160.
6. *Дубчак Н.* Аналіз процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека / [Наталія Дубчак, Віктор Барановський, Володимир Онищенко та ін.] // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2011. – Т. 16, № 2. – С. 51–59.
7. *Бутенин Н.В.* Курс теоретической механики : [учебник, том II. : динамика, 3-е изд.] / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1985. – 496 с.

*Изложены результаты исследования процесса взаимодействия корнеплодов с рабочей поверхностью витка шнека, который установлен под углом к направлению движения вороха. Аналитически определено результирующую скорость соударения и угол отражения корнеплодов от поверхности витка шнека.*

**Комбинированная очистительная система, корнеплоды, шнек, угол отражения, результирующая скорость движения.**

*The results of research process interaction roots with working surface of spiral auger, which is set at angle to direction of heaps. Analytical defined collision resulting speed and corner of reflection from root surface coil screw.*

***Cleaning system combined roots, screw, angle of reflection, resultant speed of motion.***

УДК 631.511.018

## **СТАНДАРТИЗАЦІЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

***О.В. Дубровіна, магістр  
І.Л. Роговський, кандидат технічних наук***

*В статті представлено результати аналітичних викладок методики оцінки технічного рівня продукції сільськогосподарського машинобудування з перспективною їх стандартизацією.*

***Метод, стандартизація, технічний рівень.***

**Постановка проблеми.** Технічний рівень продукції сільськогосподарського машинобудування (далі – об'єкт) прийнято оцінювати в співставленні з рівнем вітчизняних і світових об'єктів аналогів [1].

Проводити подібне співставлення на практиці містить додаткові складності. Це зумовлено тим, що співставляються показники об'єкта, як правило, що відрізняється за початком і ресурсом свого циклу експлуатації від інших об'єктів аналогів. Крім того, показники об'єкта, що оцінюється, можуть бути стабільними протягом всього ресурсу або тільки незначно змінюватись в межах закладеного в об'єкт конструкторського чи технічного рішення, а показники, в цілому, що визначають рівень світових досягнень (даного типу продукції сільськогосподарського машинобудування), набувають значних змін в часі, відтворюючи безперервний процес відбору оптимальних технічних рішень.

Таким чином, відношення відносно стабільних показників об'єкта, що оцінюється, і безперервно оновлюваних в часі показників рівня світового розвитку науки і техніки буде завжди функцією часу. Це значить. Що оцінка технічного рівня об'єкта може бути достовірною тільки на конкретний момент часу, до якого відноситься існування об'єктів аналогів, що обрані в якості порівняння.

© О.В. Дубровіна, І.Л. Роговський, 2012