

**Висновки.** Досвід розробки теоретичних основ і практичної реалізації інтелектуальних систем БДМ свідчить про їхню велику перспективність для застосування в галузі дорожніх робіт.

Проектування інтелектуальних систем підтримки оператора БДМ носить ітеративний характер і базується на проектуванні окремих модулів, підсистем і їхньої інтеграції в єдине ціле на основі штучного інтелекту й використання сучасних інструментальних засобів створення інтелектуальних додатків.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шабаев О. Е. Принципы интеллектуализации рабочих процессов мехатронной горной выемочной машины / О. Е. Шабаев, А. К. Семенченко, Н. В. Хиценко // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк.: ДГІ, 2010. – №1. – С. 68 – 77.

2. Амелин В. Н. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин / В. Н. Амелин, Ю. М. Иньков, В. И. Марсов, Б. И. Петленко. - М.: Интекст, 1998. – 382 с.

3. Плугина Т. В. Проектирование интеллектуальных операторских станций распределенных систем управления / Т. В. Плугина, Д. О. Маркозов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Х.: ХНАДУ, 2013. – Вып. 63. – С. 93 – 97.

4. Хмара Л. А. Сетецентрические технологии в эффективном сопровождении дорожно-строительной техники / Л. А. Хмара, С. И. Кононов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Х.: ХНАДУ, 2012. – Вып. 57. – С. 36 – 42.

**УДК 631.316.22**

**О. В. СТИНЬО, аспірант.**

*Національний університет водного господарства та природокористування*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ І ПИТОМОГО ОПОРУ ВІЛЬНОГО РІЗАННЯ ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Актуальність проблеми.** У Національному університеті водного господарства та природокористування був створений глибокорозпушувач, схема роботи якого

зображена на рисунку 1. Грунторозробні робочі органи розпушувача у верхньому ярусі працюють при блокованому різанні, суміжні робочі органи першого ярусу створюють умови для комбінованого різання ґрунту (верхня частина – вільне різання, нижня – блоковане різання) робочими органами другого ярусу. Нижче розпушувальної дії робочих органів першого ярусу залишаються нерозпушені ділянки ґрунту які мають трапецевидну форму з кутом нахилу стінок трапеції  $\gamma$ . Грунторозробні робочі органи розпушувача, які розпушують ділянки ґрунту нижче розпушувальної дії робочих органів верхнього ярусу працюють при вільному руйнуванні робочого середовища.

**Мета і постановка задачі.** Метою є визначення і дослідження сили різання і питомого опору при вільному руйнуванні ґрунту для обґрунтування параметрів двоярусного глибокорозпушувача для суцільного розпушення ґрунту.

**Основна частина.** Для дослідження сили різання і питомого опору при вільному руйнуванні ґрунтового середовища, розглянемо процес руйнування ґрунту сколом на основі схеми (рис. 2). При цьому в якості вихідних приймемо наступні умови: 1. ґрунт – однорідне ізотропне середовище, яке характеризується зчепленням, внутрішнім і зовнішнім тертям, щільністю і вологістю; 2. Впливом швидкості різання і сили тяжіння ґрунту на опір його руйнування знехтуємо [4, 5]; 3. Силу бокового зчеплення ґрунту приймаємо рівною нулю.

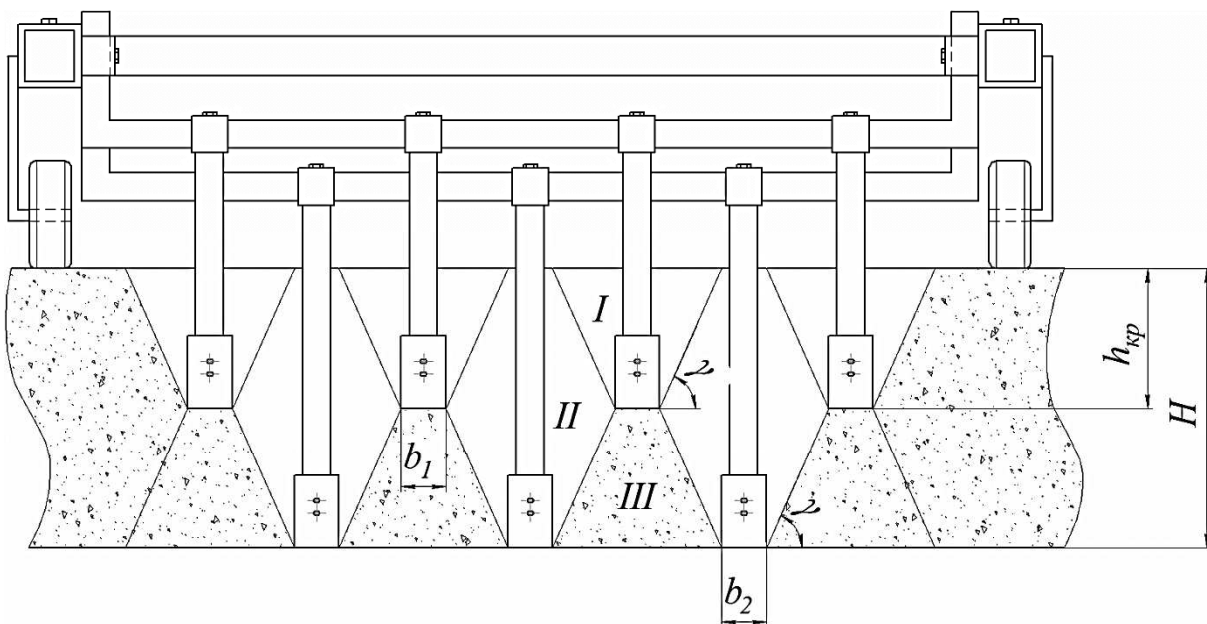


Рис. 1. Схема розпушування ґрунту двоярусним глибокорозпушувачем: I – блоковане різання; II – комбіноване різання; III – вільне різання.

Закон розподілу нормального тиску на лобову поверхню ножа при вільному різанні обґрунтуємо на основі теорії різання ґрунтів Ветрова Ю.О. [2]. Згідно цієї теорії сила вільного різання дорівнює:

$$P(h) = \varphi_{\alpha_p} m_b F_c, \quad (1)$$

де  $\varphi_{\alpha_p}$  – коефіцієнт, який враховує вплив кута різання ножа на опір вільного різання;  $m_b$  – питома сила вільного різання ґрунту ножом з кутом різання  $45^\circ$ ; де  $F_c$  – площа розпушеної ділянки ґрунту (рис 2, б).

Максимальна  $B_p$  ширини тіла сколу рівна:

$$B_p = 2h_6 \operatorname{ctg} \gamma + b_6, \quad (2)$$

де  $\gamma$ , – кут нахилу бокових поверхонь прорізу (рис. 2) [1, 2, 3].

$$F_c = b_6 h_6 + h_6^2 \operatorname{ctg} \gamma. \quad (3)$$

З врахування площі бокових розширень прорізу сила вільного різання запишеться у вигляді:

$$P(h) = \varphi_{\alpha_p} m_b (b_6 h_6 + h_6^2 \operatorname{ctg} \gamma). \quad (4)$$

Тиск ґрунту на ґрунторозробний робочий орган визначиться за залежністю:

$$q(h) = \varphi_{\alpha_p} m_b \cdot \left(1 + \frac{h_6}{b_6} \operatorname{ctg} \gamma\right) \cdot \frac{\cos \varphi \sin \alpha_p}{\sin(\alpha_p + \varphi)}. \quad (5)$$

Закон розподілу нормального тиску на ніж по глибині запишемо у вигляді:

$$q_1 = q_0 \cdot \left(1 + \frac{h}{b_6} \cdot \operatorname{ctg} \gamma\right) dh. \quad (6)$$

Мінімальний тиск  $q_0$  який діє на денній поверхні визначимо за формулою [1]:

$$q_0 = c \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 (A_1 - 1), \quad (7)$$

де  $A_1$  – коефіцієнт який залежить від кута різання ножа, визначається по формулі Соколовського В. В. для проміжних граней [1].

$$A_1 = \frac{\cos \varphi \left( \frac{\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \varphi}}{\sqrt{\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \varphi}} \right) \cdot \left( \frac{\sin \varphi_0 \cos \varphi_\alpha + \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_0 \sin^2 \varphi_\alpha}}{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi_0 \sin^2 \varphi_\alpha}} \right)^2}{\cos^2 \varphi_0 (1 - \sin \varphi_0)}; \quad (8)$$

$$\varphi_\alpha = \pi - \alpha_p - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0}, \quad (9)$$

де  $\gamma$  – кут нахилу бокових площин елемента стружки до горизонту:

$$\gamma = \arccos \left( \frac{c \cdot \cos \varphi_0}{\left( \frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{q_{кр}} - \frac{1,52 \cdot c}{q_{кр}} \right) \cdot q_{сер}} \right) - \varphi_0, \quad (10)$$

де  $q_{сер}$  – середній тиск ґрунту на лобову площину ножа:

$$q_{сер} = \frac{q_{кр} + q_0}{2}. \quad (11)$$

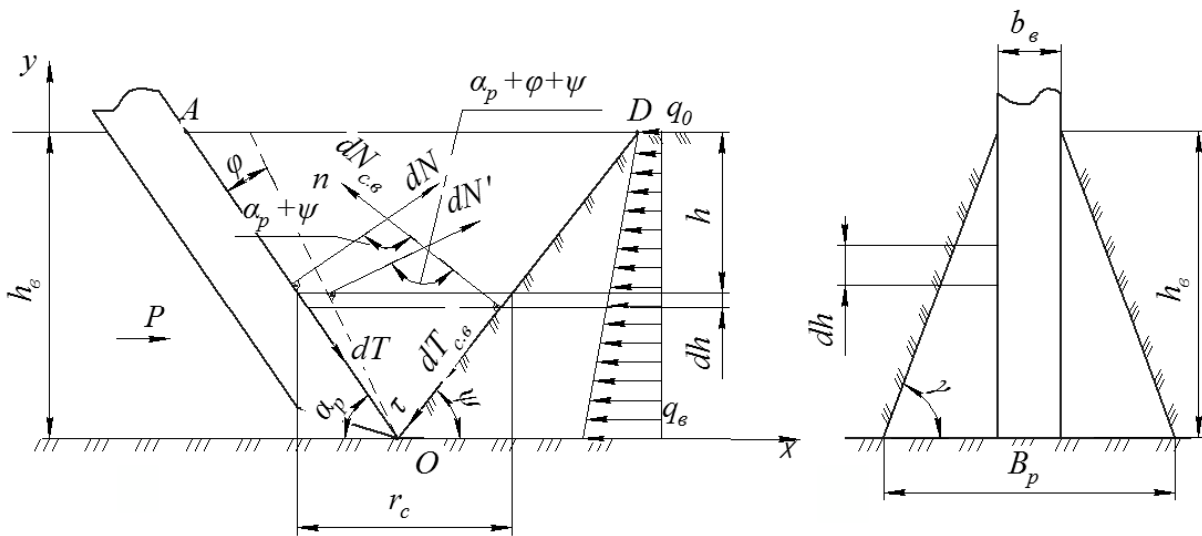


Рис.2 Схема взаємодії ножа з ґрунтовим середовищем при вільному різанні ґрунту: а - у повздовжній площині; б - у поперечній площині.

На елементарний об'єм елемента стружки висотою  $dh$  в момент попередній сколюванню діють наступні сили які приведенні у вертикальну площину ОАД (рис. 2,

а): активна сила  $dN' = \frac{dN}{\cos \varphi}$ , яка направлена під кутом зовнішнього тертя ґрунту  $\varphi$  до

нормалі лобової площини ножа; нормальна реакція  $dN_c$  і дотична сила  $dT_c$ . Тоді система рівнянь рівноваги всіх сил на нормальну ( $n$ ) і дотичну ( $\tau$ ) осі до лобової площини сколювання матиме вигляд:

$$\begin{cases} \sum P_n = dN_c + dN' \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0, \\ \sum P_\tau = dT_c - dN' \sin(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0; \end{cases} \quad (12)$$

З першого рівняння системи маємо:

$$dN_c = -\frac{dN}{\cos \varphi} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = -\frac{qb_s}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) dh =$$

$$= \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_s q_0 \left( 1 + \frac{h}{b_s} \operatorname{ctg} \gamma \right) dh. \quad (13)$$

Елементарна дотична сила  $dT_c$ , яка діє у лобовій площині сколювання визначається по закону Кулона для ґрунтів:

$$dT_c = \operatorname{tg} \varphi_0 dN_c + cdF_c. \quad (14)$$

Елементарна площа буде визначатися залежністю:

$$dF_c = (b_s + 2\rho r_c) \frac{dh}{\sin \psi} = (b_s + 2\rho(\operatorname{ctg} \psi + \operatorname{ctg} \alpha_p)(h_s - h)) \frac{dh}{\sin \psi}, \quad (15)$$

де  $\psi$  – кут зсуву ґрунту;  $\alpha_p$  – кут різання ґрунту;  $r_c$  – поточне значення радіуса сколювання ґрунту.

Кут зсуву ґрунту для вільного різання визначається за формулою Зворікіна К.А. [3]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{\alpha_p + \varphi + \varphi_0}{2}, \quad (16)$$

де  $\varphi_0$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Для визначення сили вільного різання ґрунту у відповідності із рис. 2, а. складемо рівняння рівноваги всіх сил на вісь OX:

$$\sum P_{OX} = -dN \cdot \sin \psi - dT_c \cdot \cos \psi + dN' \cdot \sin(\alpha_p + \varphi) = 0. \quad (17)$$

Після підстановки значень  $dN_c$ ,  $dT_c$ ,  $dN'$  отримаємо:

$$\begin{aligned} & -\frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_s \cdot q_0 \cdot \left( 1 + \frac{h_s}{b_s} \operatorname{ctg} \gamma \right) dh \cdot \sin \psi - \\ & - \operatorname{tg} \varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_s \cdot q_0 \cdot \left( 1 + \frac{h_s}{b_s} \operatorname{ctg} \gamma \right) dh \cdot \cos \psi + \\ & c \cdot \left( (b_s + 2\rho(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi)(h_s - h)) \frac{dh}{\sin \psi} \right) \cdot \cos \psi + dN' \cdot \sin(\alpha_p + \varphi) = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Після інтегрування виразу (18) в межах від 0 до  $h_s$ , та після ряду математичних перетворень отримаємо математичну модель для визначення сили вільного різання ґрунту:

$$P_s = -(\sin \psi + \operatorname{tg} \varphi_0 \cos \psi) \frac{b_s h_s}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} q_0 \cdot \left( 1 + \frac{h_s}{2b_s} \operatorname{ctg} \gamma \right) \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) +$$

$$+ c \cdot b_s h_s \cdot \operatorname{ctg} \psi + h_s^2 c \rho (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \operatorname{ctg} \psi. \quad (19)$$

Проаналізувавши вираз (19) залежності сили вільного різання  $P_g$  можна зробити висновок, що сила вільного різання ґрунту від ширини різання залежить прямо пропорційно, що підтверджується дослідженнями Ветров Ю.О. [2].

Графіки залежності сили вільного різання  $P_g$  від глибини різання  $h_g$ , та при куті різання  $\alpha_p=20^\circ \div 60^\circ$  на рис. 3.

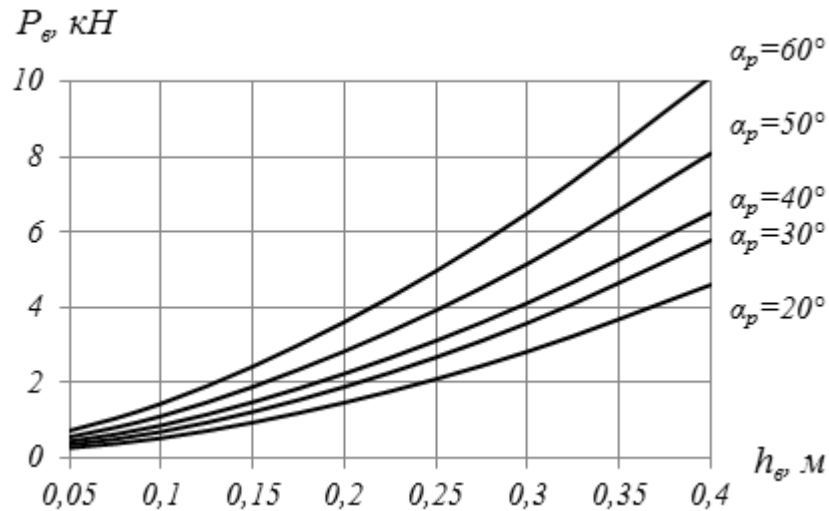


Рис. 3 Залежність сили вільного різання  $P_g$  від глибини різання  $h_g$  при  $b_g=0,1$ м, при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ \div 60^\circ$  для напівтвердого суглинку.

Графіки залежності сили вільного різання від глибини різання при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ \div 60^\circ$  (рис. 3) мають прискорено зростаючий характер, оскільки із збільшенням глибини різання різко збільшуються бокові розширення ділянки ґрунту, що руйнується. Із збільшенням кута різання збільшується значення лобових сил, внаслідок чого сила вільного різання збільшується.

Для оцінки енергоефективності вільного різання ґрунту визначимо значення питомого опору для вільного різання ґрунту:

$$k_g = \frac{P_g}{F}, \quad (20)$$

де  $F$  – площа контакту ґрунторозробного робочого органу з ґрунтом.

$$k_g = \frac{-(\sin \psi + \operatorname{tg} \varphi_0 \cos \psi) \frac{b_g h_g}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} q_0 \cdot \left(1 + \frac{h_g}{2b_g} \operatorname{ctg} \gamma\right) \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) + c \cdot b_g h_g \cdot \operatorname{ctg} \psi + h_g^2 c \rho (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \operatorname{ctg} \psi}{h_g \cdot b_g + h_g^2 \operatorname{ctg} \gamma}. \quad (21)$$

Графіки залежності питомого опору вільного різання  $k_g$  від глибини різання  $h_g$  ширини різання  $b$  при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ \div 60^\circ$  для напівтвердого суглинку зображені на рисунку 4.

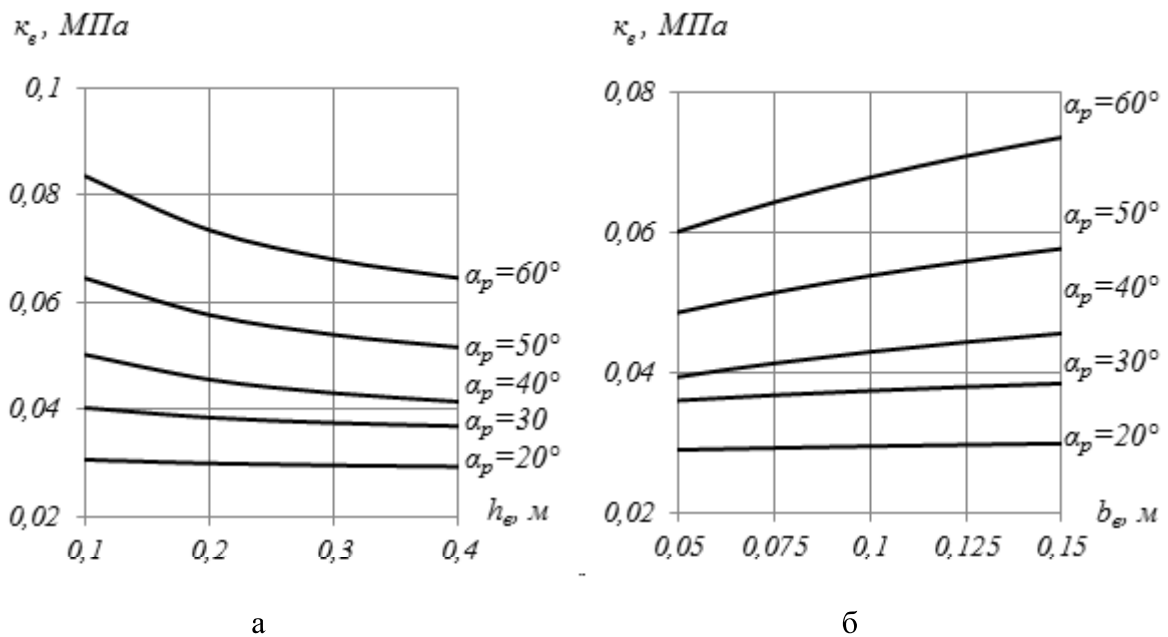


Рис. 4 Залежність питомого опору вільного різання  $k_g$ : а - від глибини різання  $h_g$  при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ\div 60^\circ$  прийнявши, що  $b=0,1$ м для напівтвердого суглинку; б - від ширини різання  $b_g$  при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ\div 60^\circ$  прийнявши, що  $h=0,3$ м для напівтвердого суглинку.

Проаналізувавши графіки залежності питомого опору вільного різання  $k_g$  (рис.4 а) можна зробити висновок, що із збільшенням глибини різання питомий опір вільного різання зменшується за рахунок збільшення бокових розширень прорізу що руйнується, ця закономірність дотримується для всіх типів ґрунту.

Проаналізувавши графіки (рис. 4. б) залежності питомого опору вільного різання ґрунту при значеннях кута різання  $\alpha_p=20^\circ\div 60^\circ$  при постійній глибині розпушування спостерігається збільшення питомого опору різання ґрунту із збільшенням ширини різання, це пояснюється за рахунок того, що при збільшенні ширини різання при постійній глибині площа контакту ножа із ґрунтом збільшується.

**Висновки.** 1. Із збільшенням глибини, ширини і кута різання сила вільного різання зростає для всіх типів ґрунту; 2. Із збільшенням глибини різання питомий опір вільного різання ґрунту зменшується для всіх типів ґрунту. 3. Із збільшенням ширини і кута різання питомий опір вільного різання зменшується для всіх типів ґрунту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець С. В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. (Основи теорії, проектування та створення) / С. В. Кравець. – Рівне: РДТУ, 1999. – 278 с.

2. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров – М.: Машиностроение, 1971. – 258 с.

3. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ. (Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення) / С. В. Кравець. – Рівне: НУВГП, 2008. – 174 с.

4. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / [Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В. та інші]; під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та Кравця С. В. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.

5. Станевский В. П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин / Станевский В. П. – К.: Вища школа. Изд-во КГУ, 1984. – 128 с.

**УДК 624.04**

**М. Е. ХОЖИЛО, к. т. н., І. А. КУЛИК, к. т. н.,**

**М. І. ДЕРЕВЯНЧУК, ст. викладач.**

*ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

## **СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В СТРУКТУРІ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО ІНЖЕНЕРА-МЕХАНІКА**

**Вступ.** Сьогодні існує певна світова об'єктивна тенденція до зменшення кількості фізичної праці, а необхідність інтелектуальної, творчої – відповідно зростає (рис. 1).

Сучасний етап розвитку науки характеризується величезним зростанням упровадження новітніх комп'ютерних технологій на всіх стадіях проектування і виробництва. Застосування комп'ютерних програм у проектній та конструкторській діяльності значно скорочує терміни проектування, а якість графічного супроводу проекту піднімається на небувало високий рівень, що забезпечує отримання креслень високої якості, оформлених у відповідності до вимог стандартів [1, 2].

Зростання ролі системи автоматизованого проектування (САПР) призвело до якісної зміни професійних вимог, що пред'являються до підготовки фахівців. Сучасний інженер – це фахівець, що володіє сучасними графічними, автоматизованими програмами та вміло поєднує на практиці сучасні досягнення науки з потребами виробництва та суспільства на основі мінімізації шкоди навколишньому середовищу (рис. 2) [3].