

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ ПЛАСТИЧНОСТІ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ПІАМ, Савуляк В.В.

*Виконала: студентка 2 курсу, групи 1ПІМ-14м
спеціальності 8.05050201 – «Технології машинобудування»*

Кравчина В.Є.

Метою роботи є оцінка точності побудови діаграми пластичності з урахуванням неоднорідності і змінності в просторі властивостей експериментальних зразків.

Об'єкт дослідження: пластичність металевих матеріалів.

Предмет дослідження: діаграма пластичності

Методи дослідження. Теоретичні дослідження способів холодного пластичного деформування виконанні методами прикладної теорії пластичності. Для дослідження розподілу показників напруженого стану по перерізу зразків використано програму «ANSYS». Експериментальні дослідження виконанні на стандартному обладнанні із використанням спеціальних пристосувань. Механічні властивості оцінювали шляхом вимірювання твердості та мікротвердості. Мікроструктуру досліджували на оптичному та електронному мікроскопах.

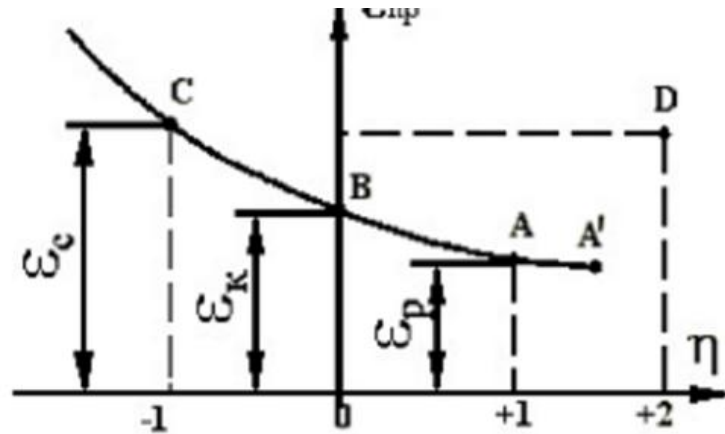
Наукова новизна одержаних результатів:

- встановлення впливу форми експериментальних зразків на показник напруженого стану;
- отримання залежності впливу різновтовщинності листа на показники напруженого стану ;
- встановлено вплив величини варіювання пластичності матеріалу в процесі випробувань на використання ресурсу пластичності для траєкторій деформування.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Отримання результатів дозволяє підвищити точність оцінки можливості отримання браку в процесі обробки металів тиском.
2. Розроблені рекомендації що до вибору форми зразків на зсув для листових матеріалів.

ДІАГРАМА ПЛАСТИЧНОСТІ І ЇЇ ПОБУДОВА



Типова діаграма пластичності матеріалу: $\varepsilon_p, \varepsilon_k, \varepsilon_c$ граничні деформації при розтягуванні, крученні та стиску

$$\eta = \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_H} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_H} \quad \varepsilon_k = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{3}}; \eta = -1 \quad \varepsilon_c = \ln \frac{H}{H_0}; \eta = -1$$

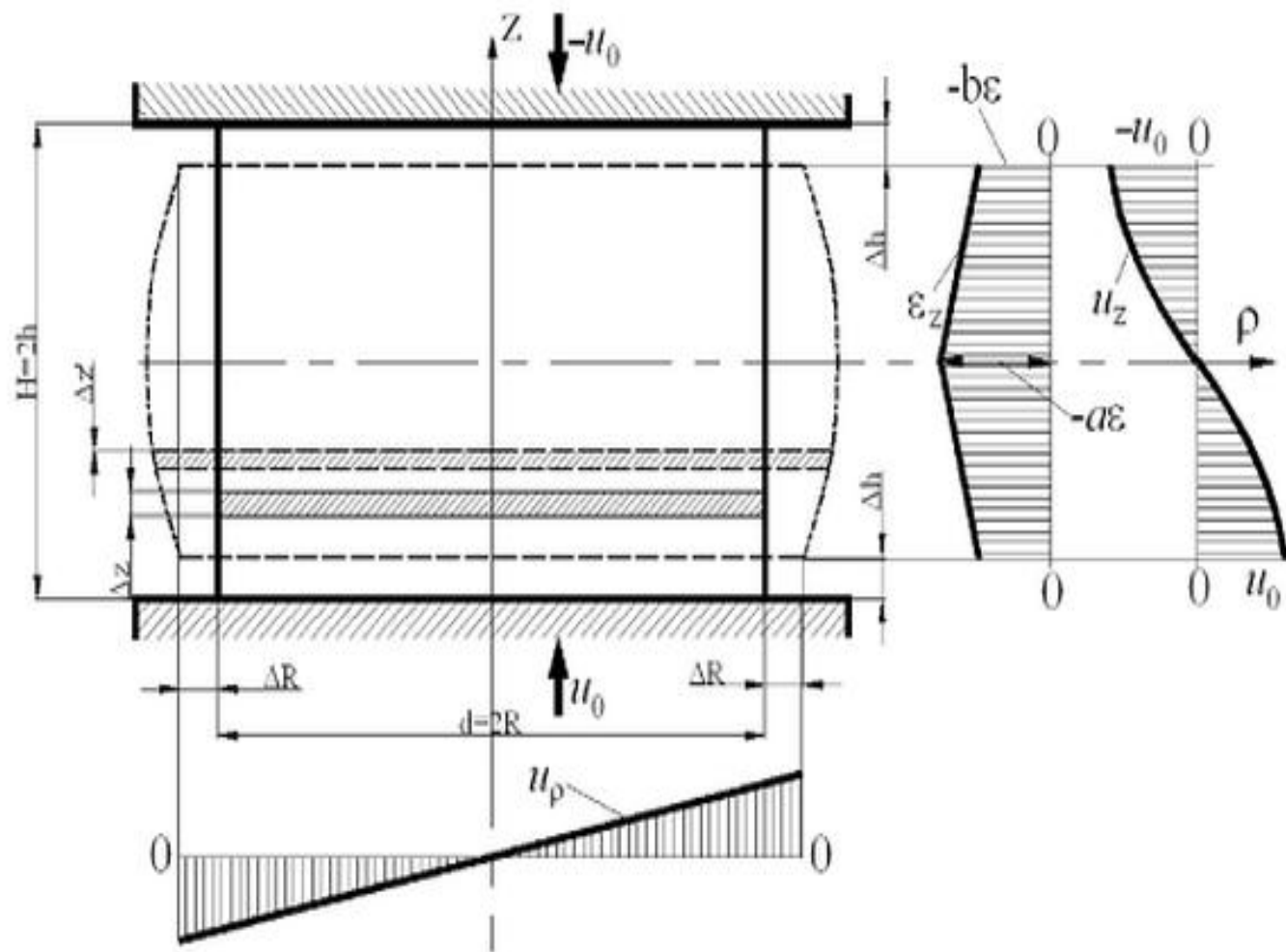
$$\varepsilon_{np} = \frac{\varepsilon_c \cdot \varepsilon_k \cdot e^{-n}}{\varepsilon_c + \eta \cdot (\varepsilon_c - e \cdot \varepsilon_k)} \quad \varepsilon_{np} = \frac{\varepsilon_c \cdot \varepsilon_k \cdot e^{-n}}{1 + \eta} \quad \varepsilon_{np} = \varepsilon_p \cdot e^{-0,72\eta}$$

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ

M :=

	0	1	2
0	0	671.54	-229.92
1	0.08	725.53	-232.06
2	0.16	818.92	-279.73
3	0.27	899.56	-276.37
4	0.34	933.5	-257.86
5	0.4	962.78	-197.65
6	0.5	981.85	-53.7
7	0.59	981.85	86.22
8	0.65	981.85	212.38
9	0.7	981.85	295.44
10	0.76	981.85	376.02
11	0.8	981.85	404.14
12	0.85	981.85	394.98
13	0.9	981.85	429.71
14	0.96	981.85	435.38
15	1.02	981.85	447.24
16	1.09	981.85	443.29
17	1.16	981.85	444.35

$\epsilon_{pr} :=$	1.8	$\eta_a :=$	-1.2
	1.54		-0.99
	1.37		-0.84
	1.25		-0.68
	1.08		-0.5
	0.98		-0.3
	0.87		0
	0.79		0.22
	0.7		0.58
	0.68		0.67
	0.63		0.92
	0.62		0.95
	0.61		0.98
	0.58		1.18



Вихідні дані для розрахунку запасу пластичності

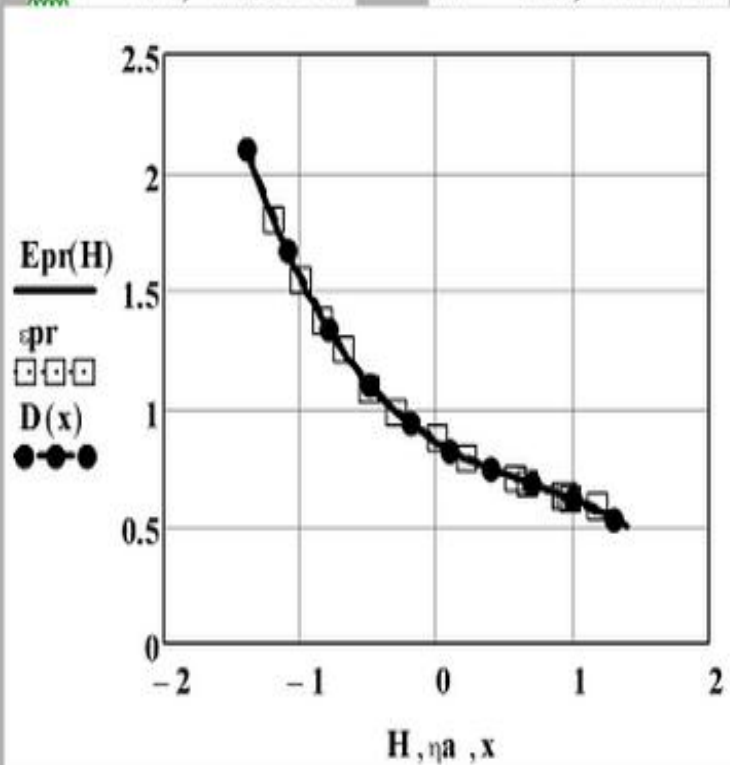
Розрахункова схема процесу осаджування циліндричних заготовок

$i := 0..17$ $vs := \text{regress}(\eta a, \varepsilon pr, 3)$ $D(x) := \text{interp}(vs, \eta a, \varepsilon pr, x)$

$vs^T = (3 \ 3 \ 3 \ 0.853 \ -0.357 \ 0.228 \ -0.11)$

$Epr(H) := 0.853 + (-0.357) \cdot H + (0.228) \cdot H^2 + (-0.11) \cdot H^3$

$H := -1.4, -1.35..1.4$ $x := -1.4, -1.1..1.4$



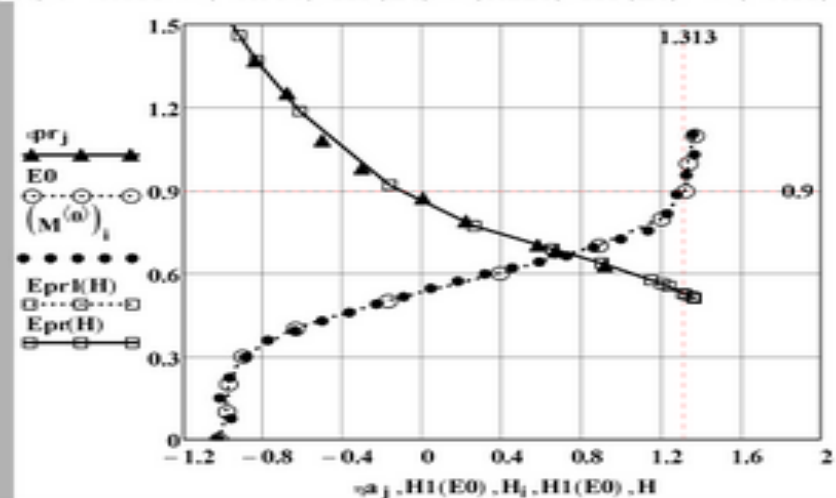
Апроксимація діаграми пластичності поліномом третього порядку за допомогою вбудованої функції regress

$$H_i := \frac{3 \cdot (M^{(2)})_i}{(M^{(1)})_i}$$

$Epr(H) := 0.853 + (-0.357) \cdot H + (0.228) \cdot H^2 + (-0.11) \cdot H^3$

$vse := \text{regress}(M^{(0)}, H, 7)$ $H1(E0) := \text{interp}(vse, M^{(0)}, H, E0)$
 $E0 := 0, 0.1..1.1$

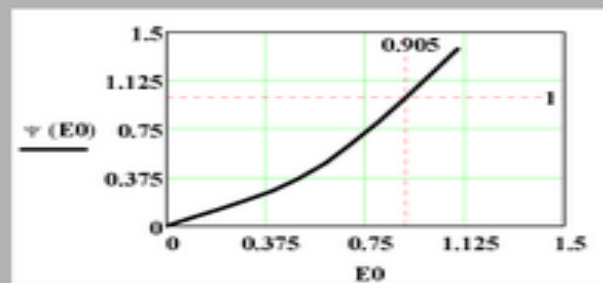
$Epr1(E0) := 0.853 + (-0.357) \cdot H1(E0) + (0.228) \cdot H1(E0)^2 + (-0.11) \cdot H1(E0)^3$



$$\int_0^{0.907} \frac{1}{Epr1(E0)} dE0 = 1$$

$$\Psi(E0) := \int_0^{E0} \frac{1}{Epr1(E0)} dE0$$

$E0 := 0, 0.05..1$



Розрахунок ресурсу пластичності

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТЯГ, СТИСК І ЗСУВ

Механічні властивості	Сталь 20	Сталь 45	ШХ15	30ХГСА	X18H10T
$\sigma_b, (Кг/мм^2)$	440-540 (45-55)	695-725 (71-74)	647-677 (66-69)	785-833 (82-85)	540-618 (55-63)
$\sigma_s, (Кг/мм^2)$	284-402 (29-41)	480-657 (49-67)	460-500 (47-51)	588-745 (60-76)	353-431 (36-44)
$\delta_3, \%$	26-35	16-20	21-27	16-17	47-48

Механічні властивості металів, використаних в дослідженні

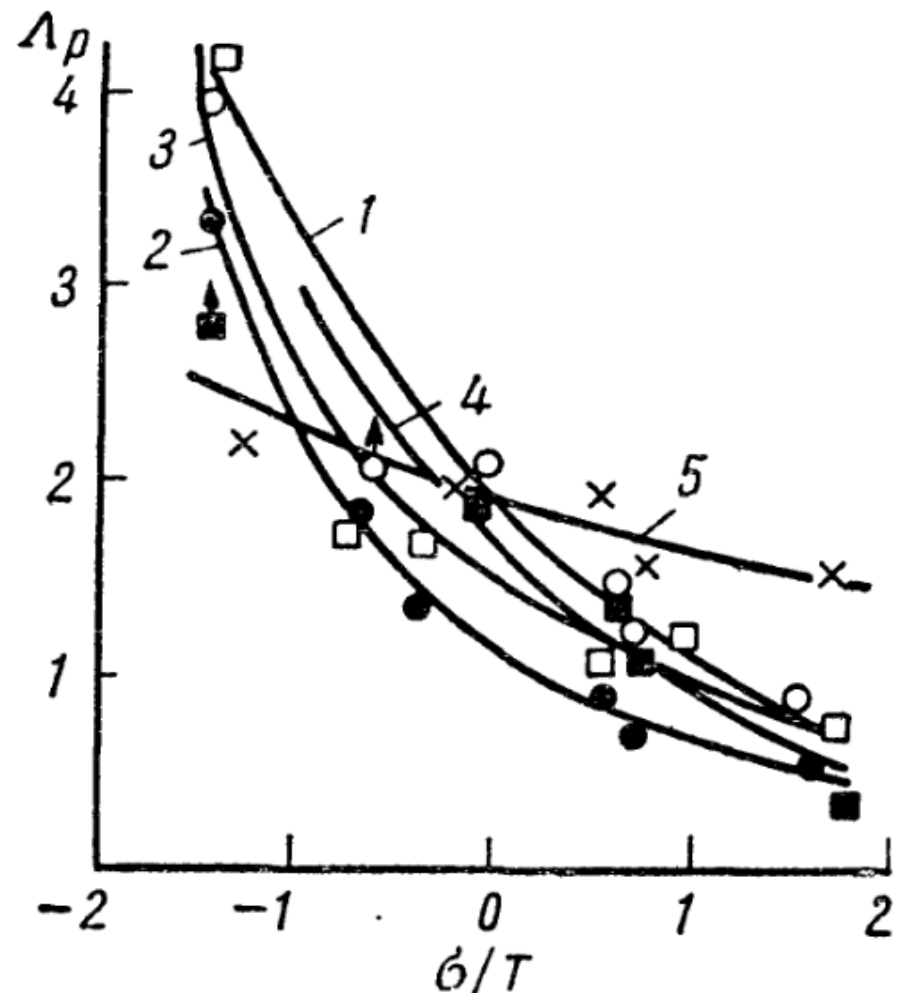
$$\frac{\sigma}{T} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{d}{R} \right)$$

$$\frac{\sigma}{T} = 3,60 - 2,37 \left(1 + \frac{d_0}{d_1} \right)$$

$$\Lambda_p = 2\sqrt{3} \ln \frac{d_0}{d_1}$$

$$\square = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\Lambda_p - \Lambda_{pi})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

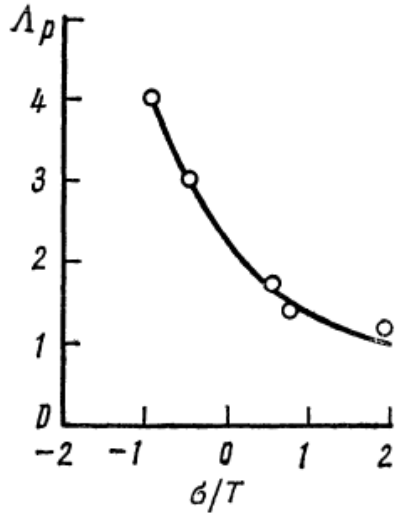
$$\Psi = \frac{\Lambda_0 - \Lambda_k}{\Lambda_0}$$



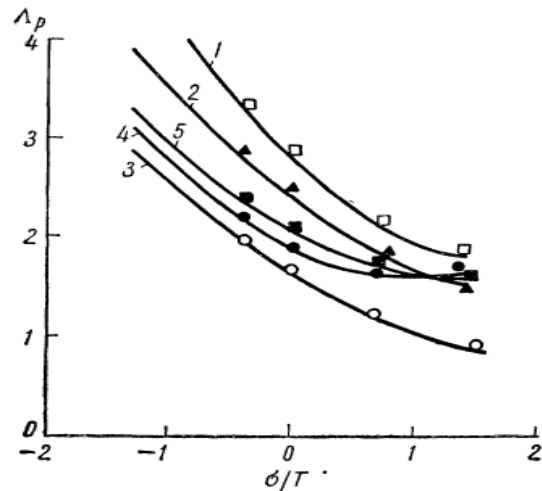
Залежність граничної степені деформації стиску відносно гідростатичного тиску:
1- сталь 20; 2 - сталь 45; 3- ШХ15; 4 - 30ХГСА; 5 - X18H10T

Середнє квадратичне відхилення пластичності сталей різних випробуваннях.

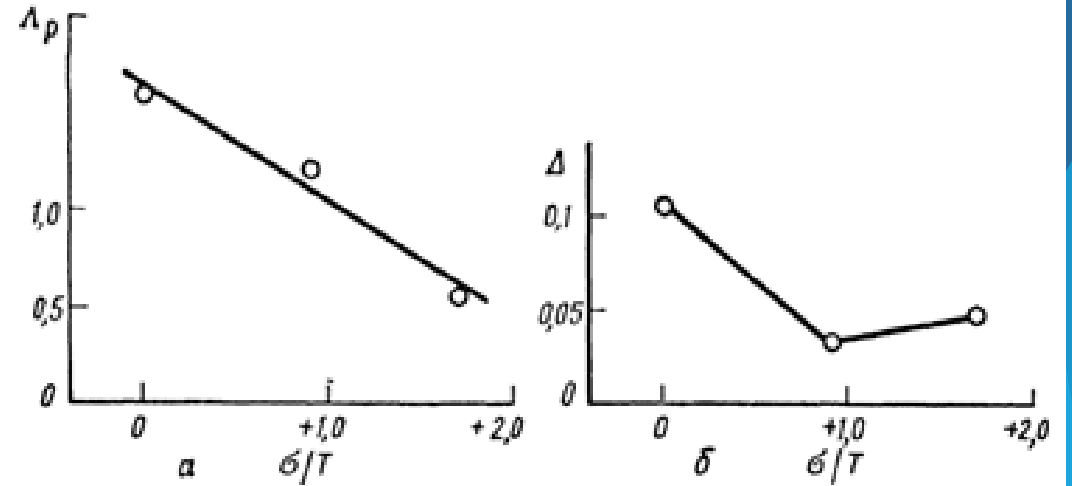
Вид випробувань	Марка сталі				
	20	45	ШХ15	30ХГСА	X18H9T
Розтяг зразків з шийкою	0,0647	0,0877	0,1187	0,1380	0,2160
Згин плоских зразків	0,0831	0,0321	0,1005	0,0520	0,0812
Згин зразків квадратного перерізу	0,1047	0,0887	0,1157	0,2350	0,2285
Згин - осаджування	0,0115	0,0944	0,0171	0,1170	0,0118
Осаджування в стиснутій рідині	-	0,0986	0,0264	-	-



Діаграма пластичності для сталі марки 20А



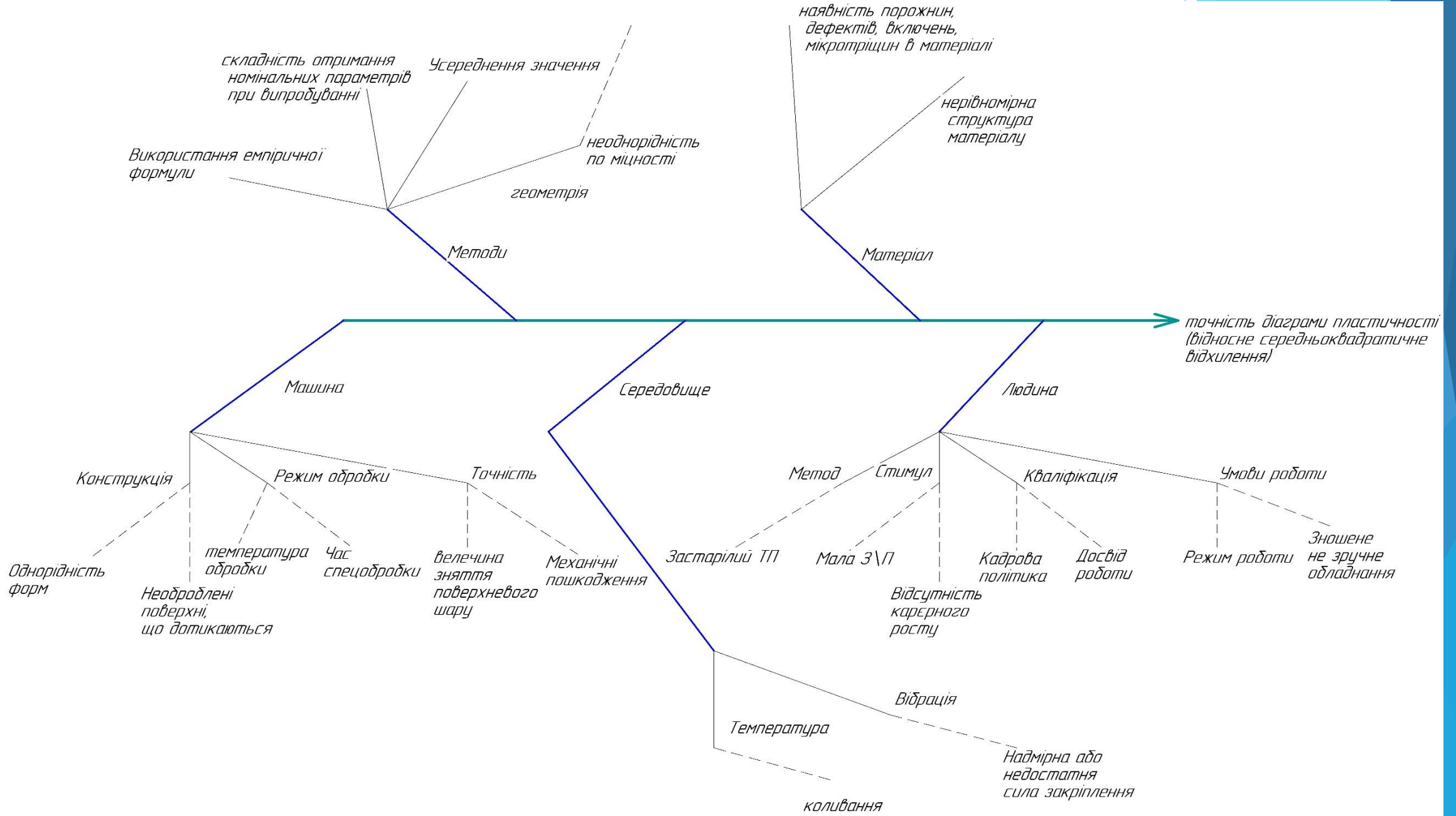
Діаграма пластичності для сталей марок: 1-12Х1МФ; 2-12Х2МФСР; 3-30ХМА; 4-ЕІ578; 5-ЕІ579



Значення пластичності Δ_p (а) і середнього квадратичного відхилення Δ (б)

для сталі марки 30

ПОХИБКИ, ЯКІ МОЖУТЬ ВИНИКНУТИ В ЗРАЗКАХ. ДІАГРАМА ІСІКАВИ



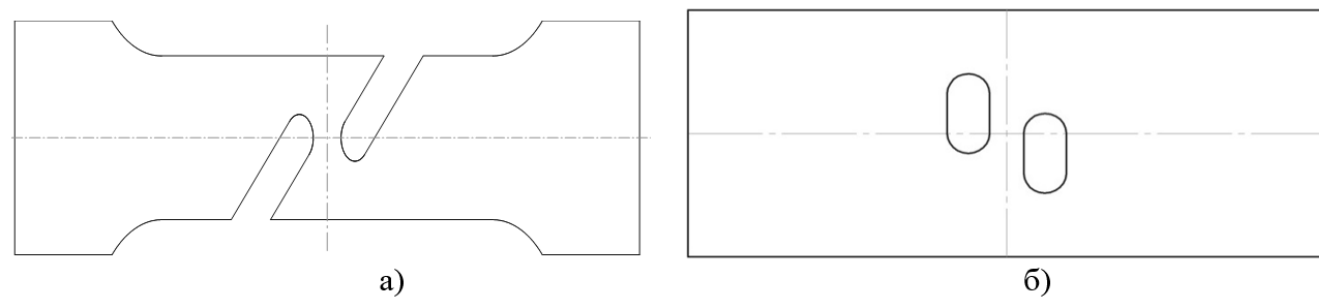


Рисунок 2.18 - Конструкції зразків для випробувань листових матеріалів на зсув:

- а - зразок запропонований в роботі;
- б - зразок запропонований авторами

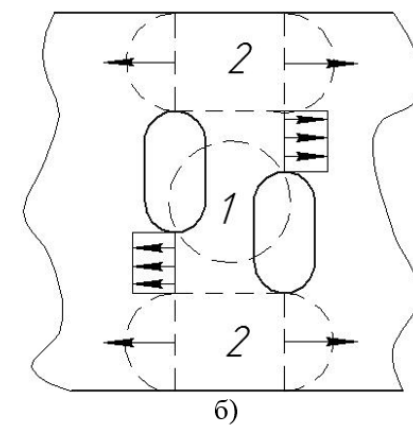
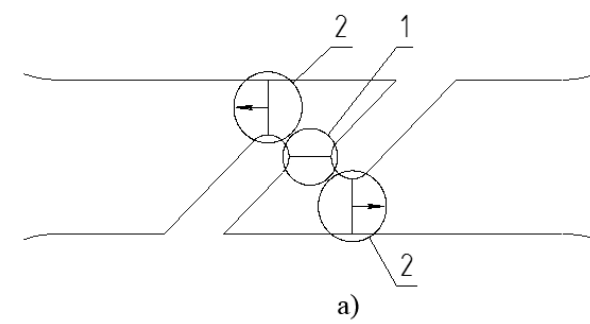


Рисунок 2.19 - Механічні моделі деформування зразків:

- а - зразок запропонований в роботі [17];
- б - зразок запропонований авторами

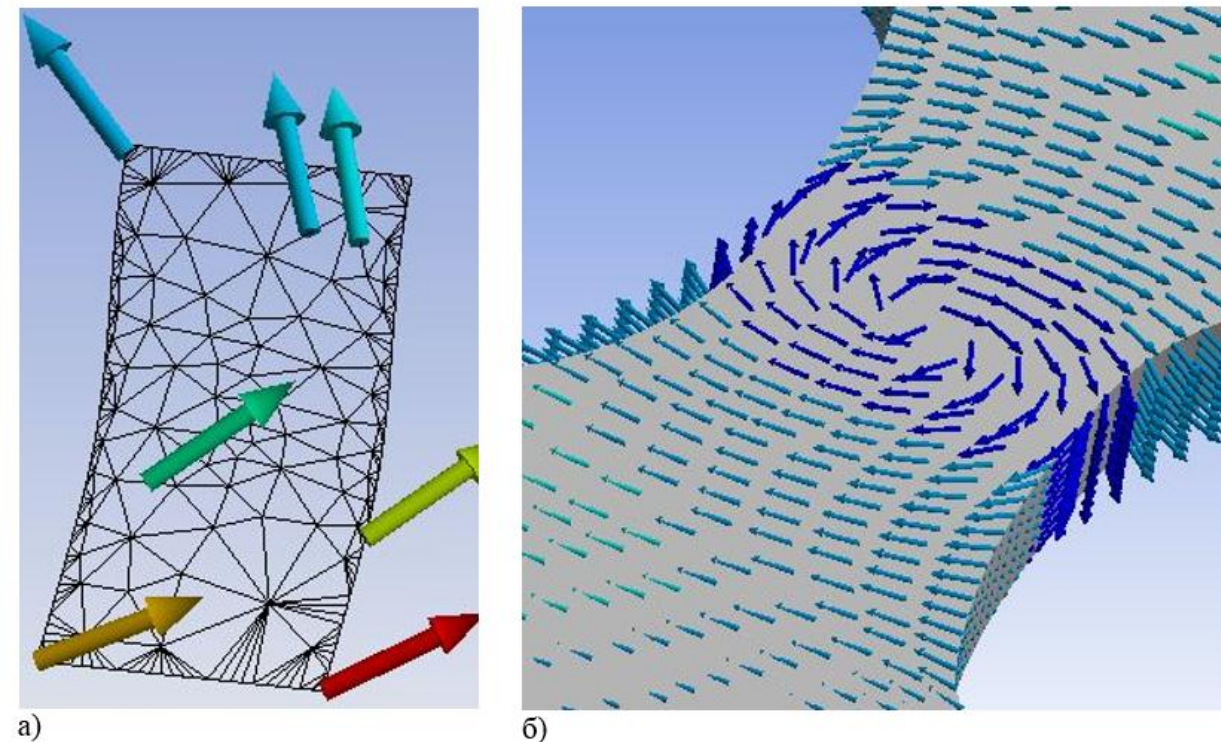


Рисунок 2.20 - Напрямки переміщень точок перемички в процесі деформування:



Рисунок 2.21 - Вигляд зразків після натурних випробувань:

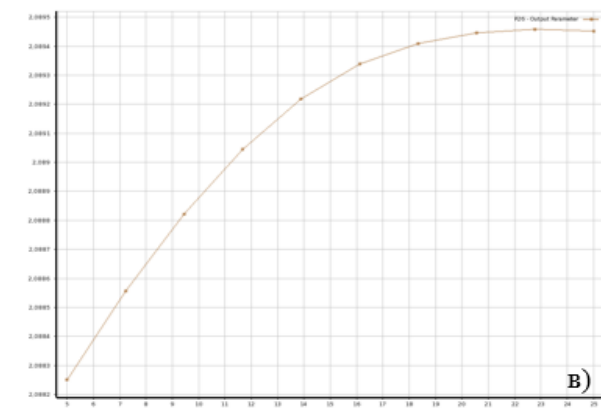
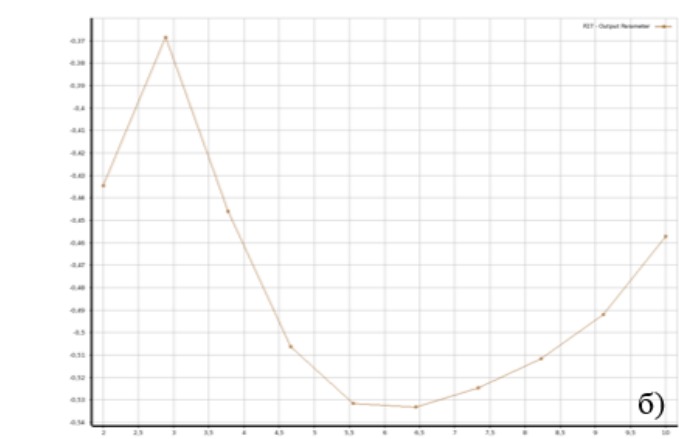
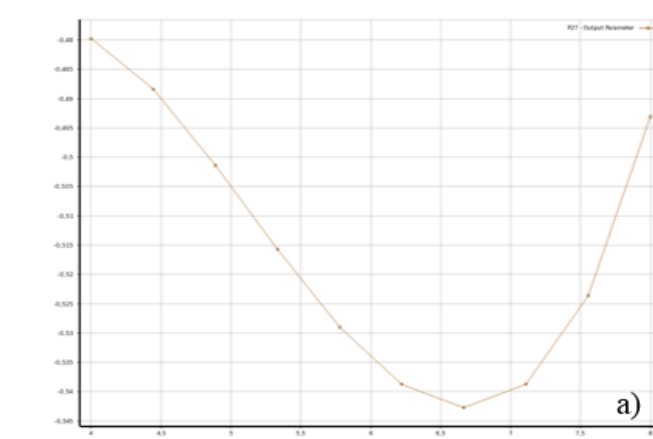
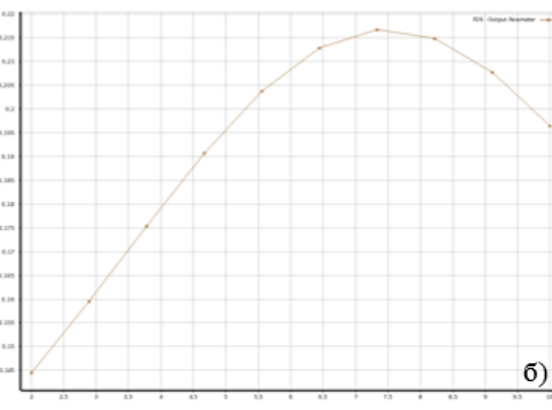
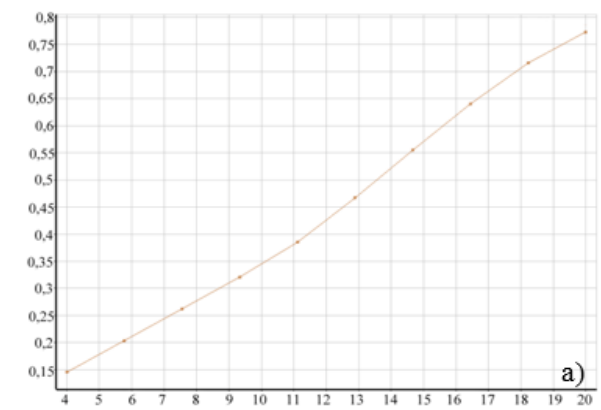


Рисунок 2.23 - Вплив геометричних параметрів на показник напруженого стану η :
 а- вплив ширини перемички H_1 ;
 б - вплив радіусу заокруглення паза R_1 ;
 в- вплив довжини паза V_1

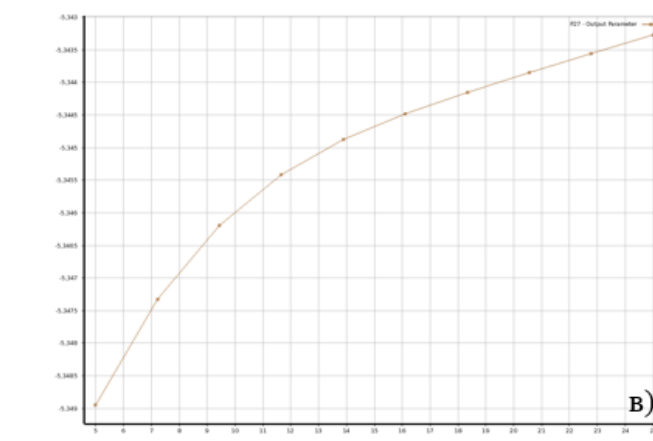


Рисунок 2.24 - Вплив геометричних параметрів на показник напруженого стану η :
 а- вплив ширини перемички H_1 ;
 б - вплив радіусу заокруглення паза R_1 ;
 в- вплив довжини паза V_1

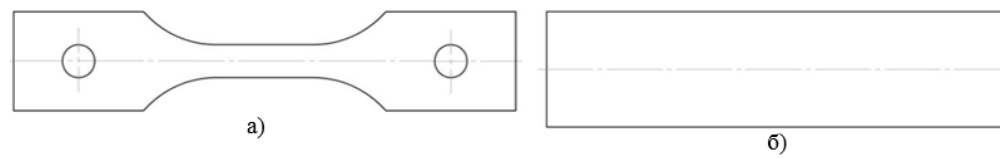


Рис. 2.25 – Конструкції зразків для випробувань листових матеріалів на розтяг

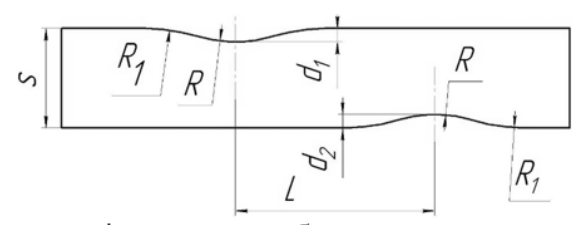


Рис. 2.26 – Геометричні параметри робочої зони зразка з неоднорідною товщиною

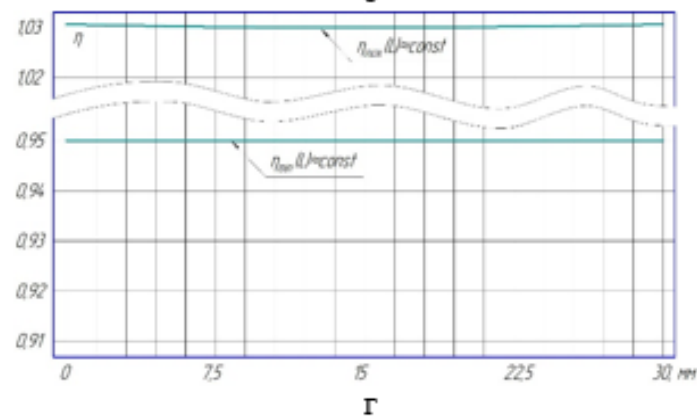
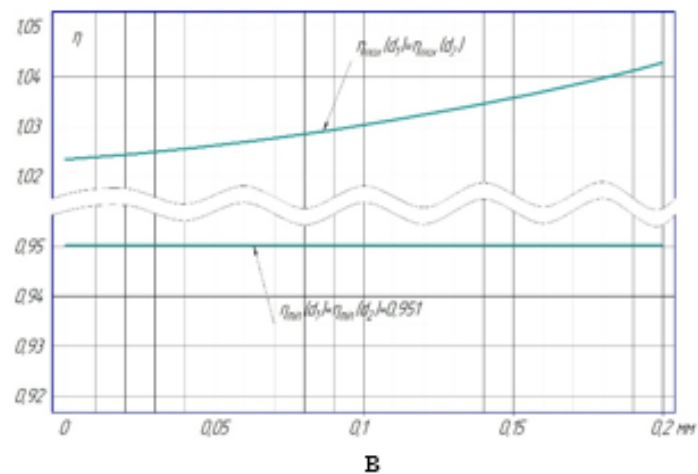
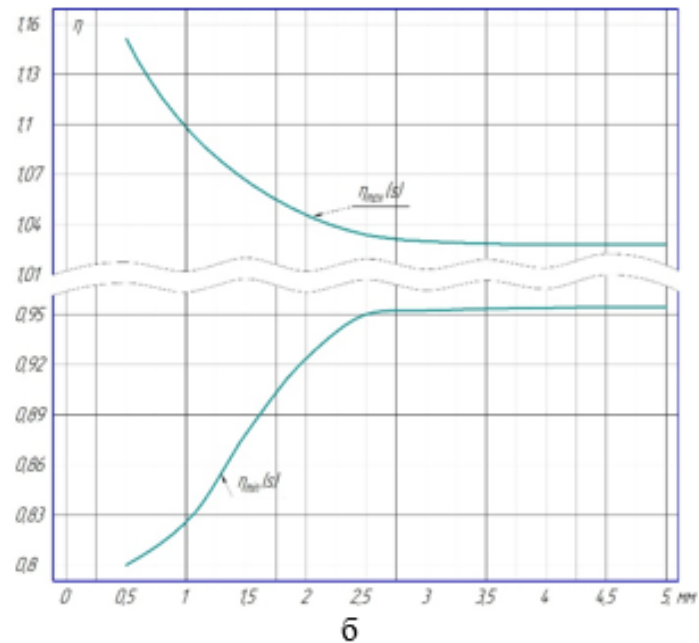
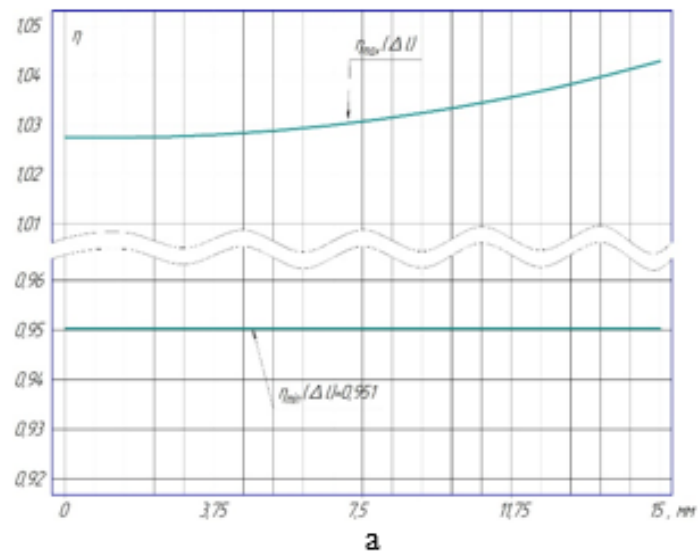
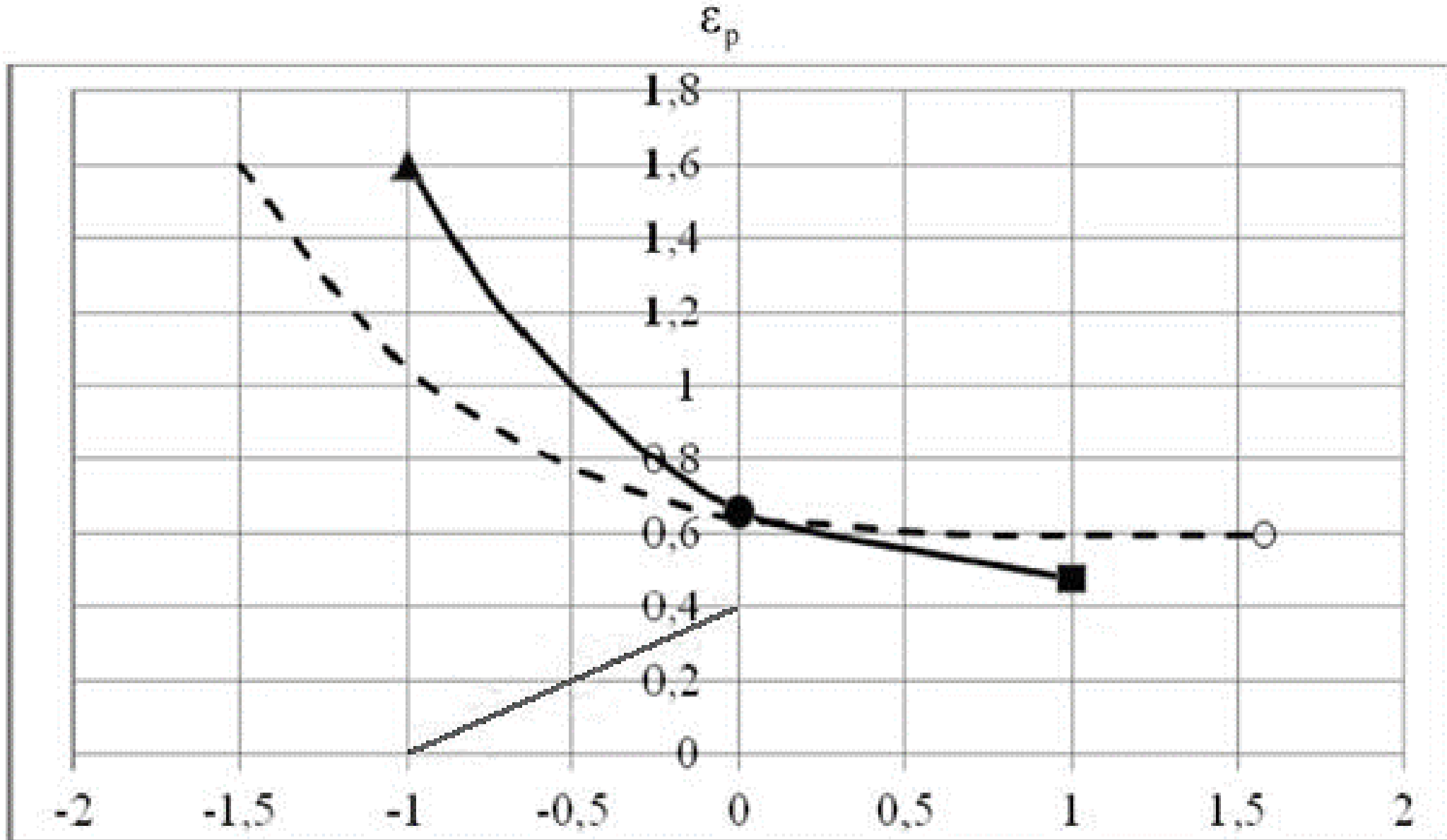


Рис. 2.27 – Характер впливу на мінімальні та максимальні значення показника η геометричних параметрів: а – видовження листа Δl ; б – товщини листа s ; в – величини заглиблення d_1 або d_2 ; г – відстані між западинами L

ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ПОБУДОВИ НА ОЦІНОЧНИЙ РІВЕНЬ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ



Граничні деформації зсуву і стиску

$$\epsilon_{p_nom_zsuv} := 0.65$$

$$\epsilon_{p_nom_stisk} := 1.6$$

Коефіцієнт варіації

$$\text{var} := 0.05$$

Максимальні і мінімальні значення граничних деформацій зсуву та розтягу

$$\epsilon_{p_max_zsuv} := (1 + \text{var}) \cdot \epsilon_{p_nom_zsuv} \quad \epsilon_{p_max_zsuv} = 0.683$$

$$\epsilon_{p_min_zsuv} := (1 - \text{var}) \cdot \epsilon_{p_nom_zsuv} \quad \epsilon_{p_min_zsuv} = 0.617$$

$$\epsilon_{p_max_stisk} := (1 + \text{var}) \cdot \epsilon_{p_nom_stisk} \quad \epsilon_{p_max_stisk} = 1.68$$

$$\epsilon_{p_min_stisk} := (1 - \text{var}) \cdot \epsilon_{p_nom_stisk} \quad \epsilon_{p_min_stisk} = 1.52$$

Опис траєкторії деформування

$$\eta_1 := -1 \quad \epsilon_{u1} := 0 \quad (\text{eu при } \eta_1 \text{ рівне } 0)$$

$$\eta_2 := 0 \quad \epsilon_{u2} := 0.4$$

$$\Delta\eta := \eta_2 - \eta_1$$

$$a := \frac{\epsilon_{u2} - \epsilon_{u1}}{\eta_2 - \eta_1} \quad a = 0.4$$

$$\eta(\epsilon_u) := \frac{\epsilon_u}{a} + \eta_1$$

$$n := 1 + 0.2 \cdot \text{atan}\left(\frac{1}{a}\right) \quad n = 1.238$$

Побудова можливих кривих граничних деформацій

Крива 1. $\epsilon_{p_max_zsuv}, \epsilon_{p_max_stisk}$

$$\lambda_1 := \ln\left(\frac{\epsilon_{p_max_stisk}}{\epsilon_{p_max_zsuv}}\right)$$

Використаний ресурс пластичності для кривої 1

$$\psi_1 := \int_{\epsilon_{u1}}^{\epsilon_{u2}} n \cdot \frac{\epsilon_u^{n-1}}{(\epsilon_{p1}(\epsilon_u))^n} d\epsilon_u \quad \psi_1 = 0.328$$

Крива 2. $\epsilon_{p_min_zsuv}, \epsilon_{p_max_stisk}$

$$\lambda_2 := \ln\left(\frac{\epsilon_{p_min_stisk}}{\epsilon_{p_max_zsuv}}\right)$$

$$\epsilon_{p2}(\epsilon_u) := \epsilon_{p_min_zsuv} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot \eta(\epsilon_u)}$$

Використаний ресурс пластичності для кривої 2

$$\psi_2 := \int_{\epsilon_{u1}}^{\epsilon_{u2}} n \cdot \frac{\epsilon_u^{n-1}}{(\epsilon_{p2}(\epsilon_u))^n} d\epsilon_u \quad \psi_2 = 0.389$$

Крива 3. $\epsilon_{p_min_zsuv}, \epsilon_{p_min_stisk}$

$$\lambda_3 := \ln\left(\frac{\epsilon_{p_min_stisk}}{\epsilon_{p_min_zsuv}}\right)$$

$$\epsilon_{p3}(\epsilon_u) := \epsilon_{p_min_zsuv} \cdot e^{-\lambda_3 \cdot \eta(\epsilon_u)}$$

Використаний ресурс пластичності для кривої 3

$$\psi_3 := \int_{\epsilon_{u1}}^{\epsilon_{u2}} n \cdot \frac{\epsilon_u^{n-1}}{(\epsilon_{p3}(\epsilon_u))^n} d\epsilon_u \quad \psi_3 = 0.372$$

$$\epsilon_{p4}(\epsilon_u) := \epsilon_{p_max_zsuv} \cdot e^{-\lambda_4 \cdot \eta(\epsilon_u)}$$

Використаний ресурс пластичності для кривої 4

$$\psi_4 := \int_{\epsilon_{u1}}^{\epsilon_{u2}} n \cdot \frac{\epsilon_u^{n-1}}{(\epsilon_{p4}(\epsilon_u))^n} d\epsilon_u \quad \psi_4 = 0.314$$

Крива 5. $\epsilon_{p_nom_zsuv}, \epsilon_{p_nom_stisk}$

$$\lambda_5 := \ln\left(\frac{\epsilon_{p_nom_stisk}}{\epsilon_{p_nom_zsuv}}\right)$$

$$\epsilon_{p5}(\epsilon_u) := \epsilon_{p_nom_zsuv} \cdot e^{-\lambda_5 \cdot \eta(\epsilon_u)}$$

Використаний ресурс пластичності для кривої 5

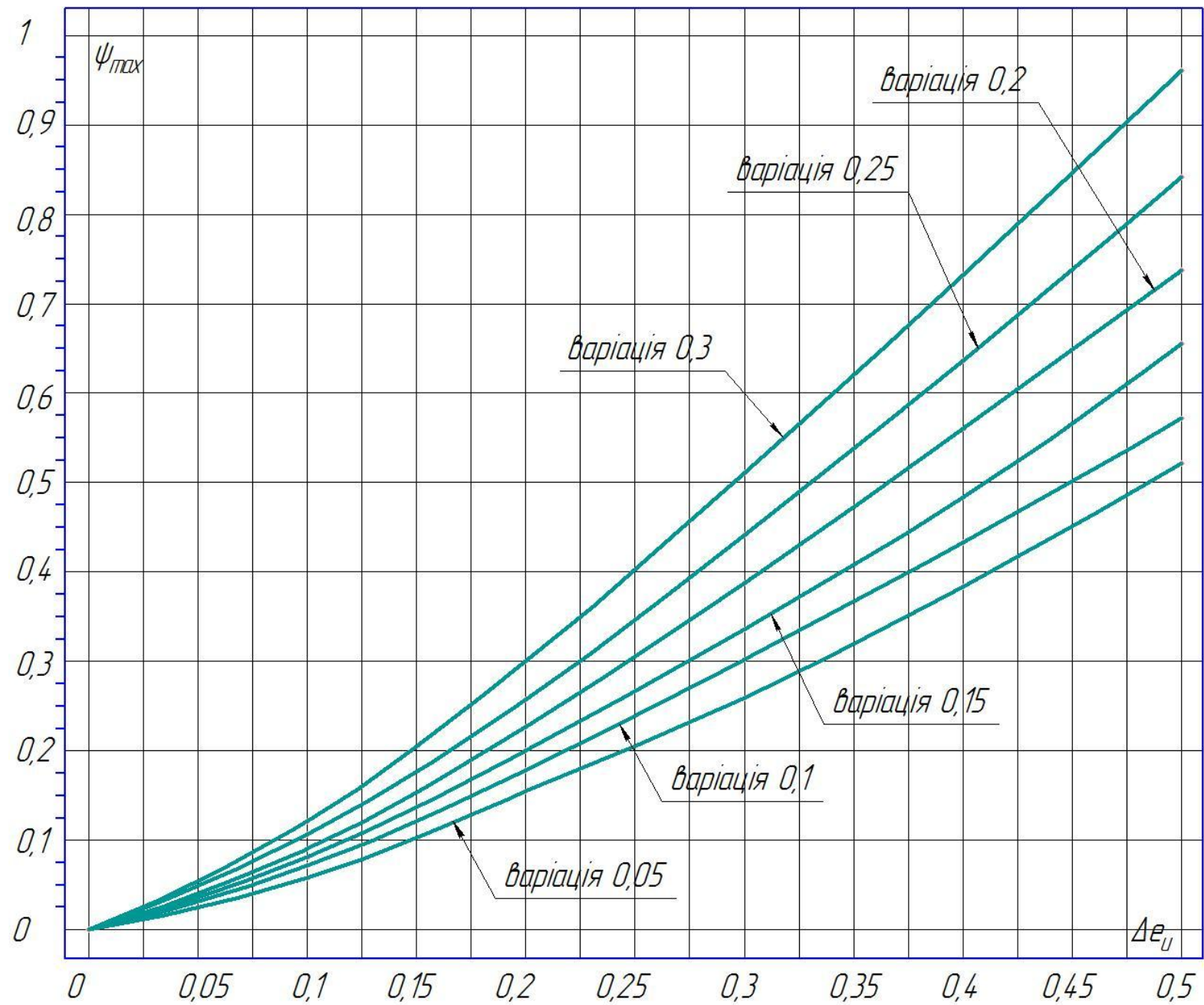
$$\psi_5 := \int_{\epsilon_{u1}}^{\epsilon_{u2}} n \cdot \frac{\epsilon_u^{n-1}}{(\epsilon_{p5}(\epsilon_u))^n} d\epsilon_u \quad \psi_5 = 0.349$$

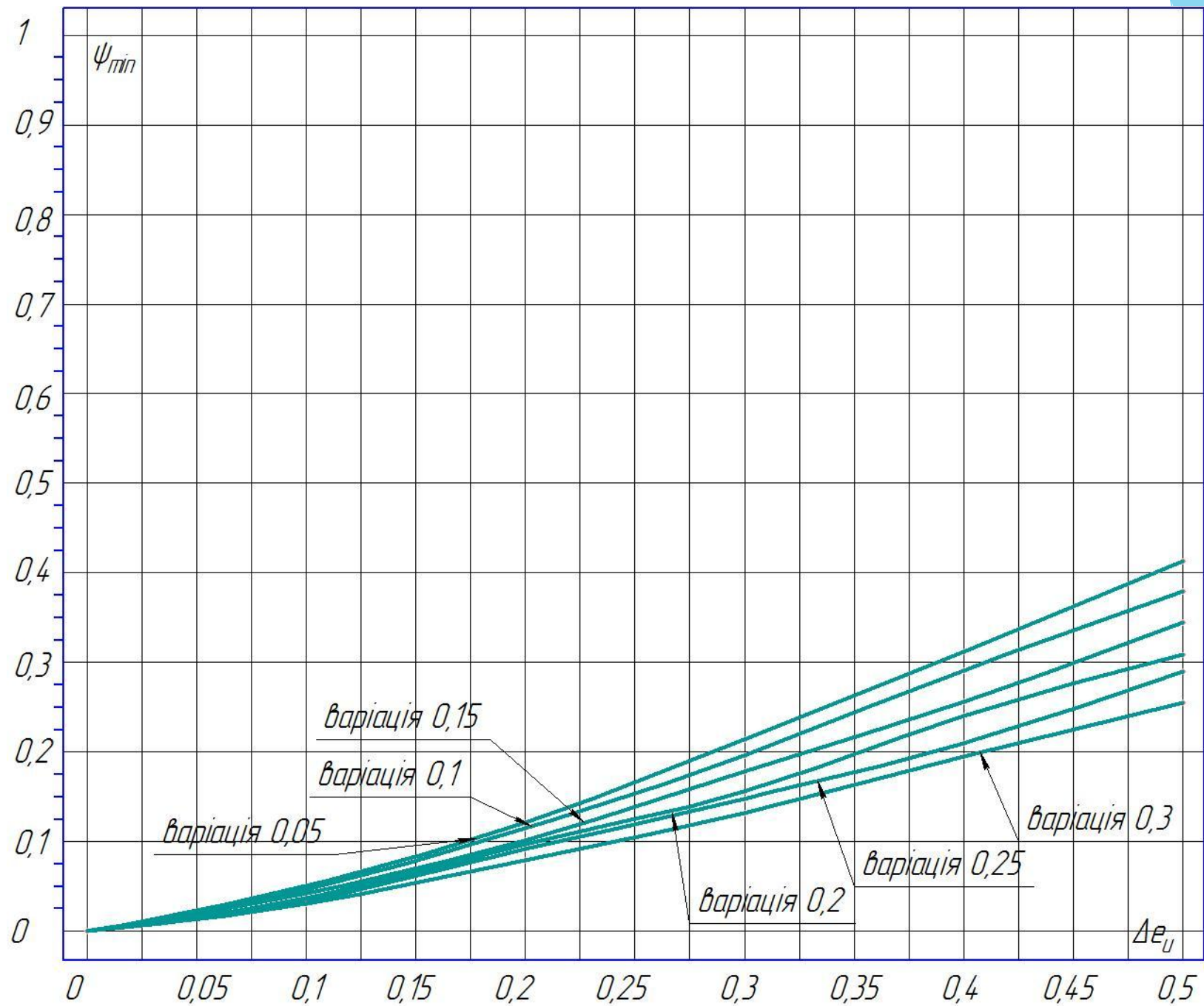
Максимальне і мінімальне значення використаного ресурсу пластичності

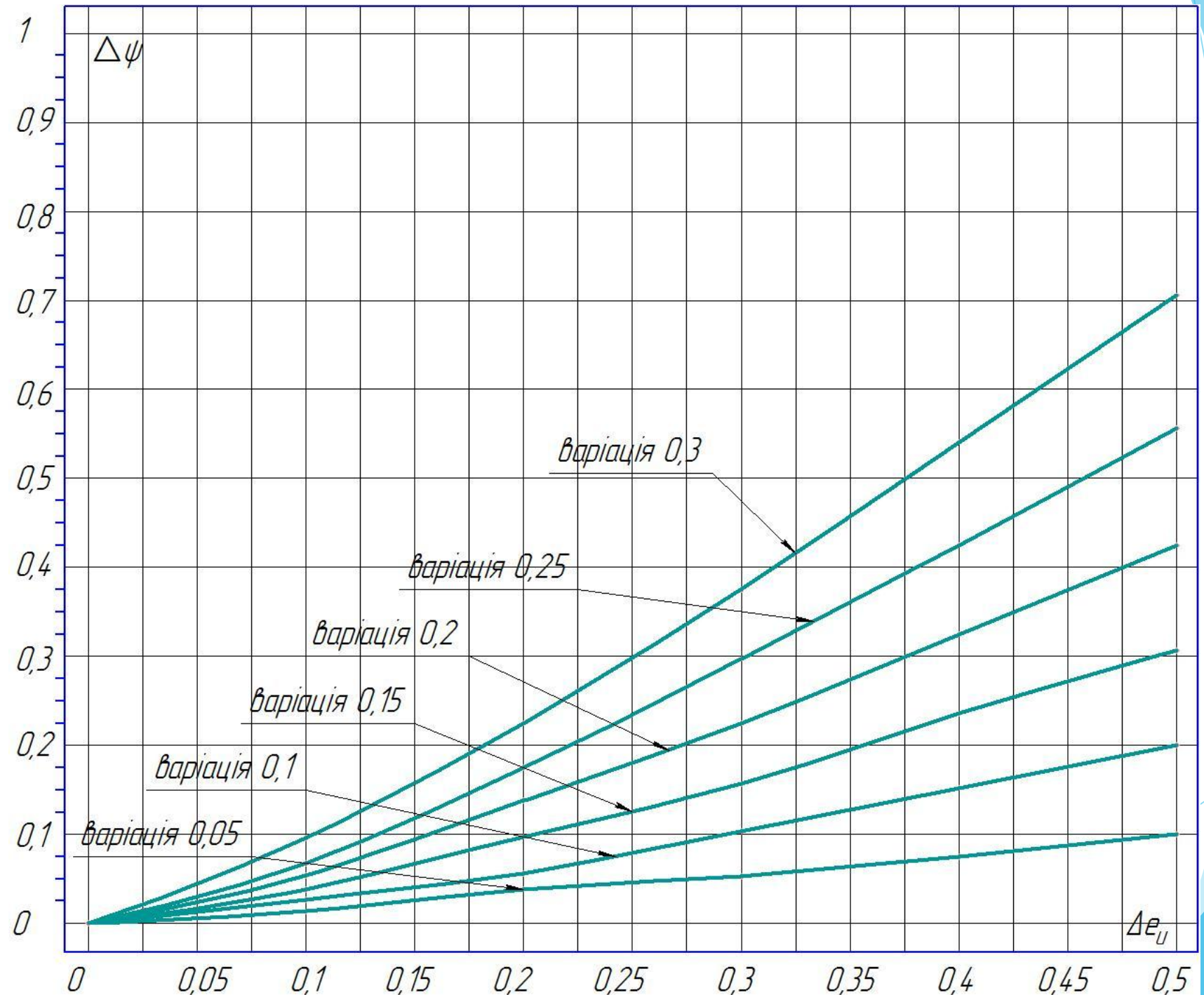
$$\max(\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5) = 0.389$$

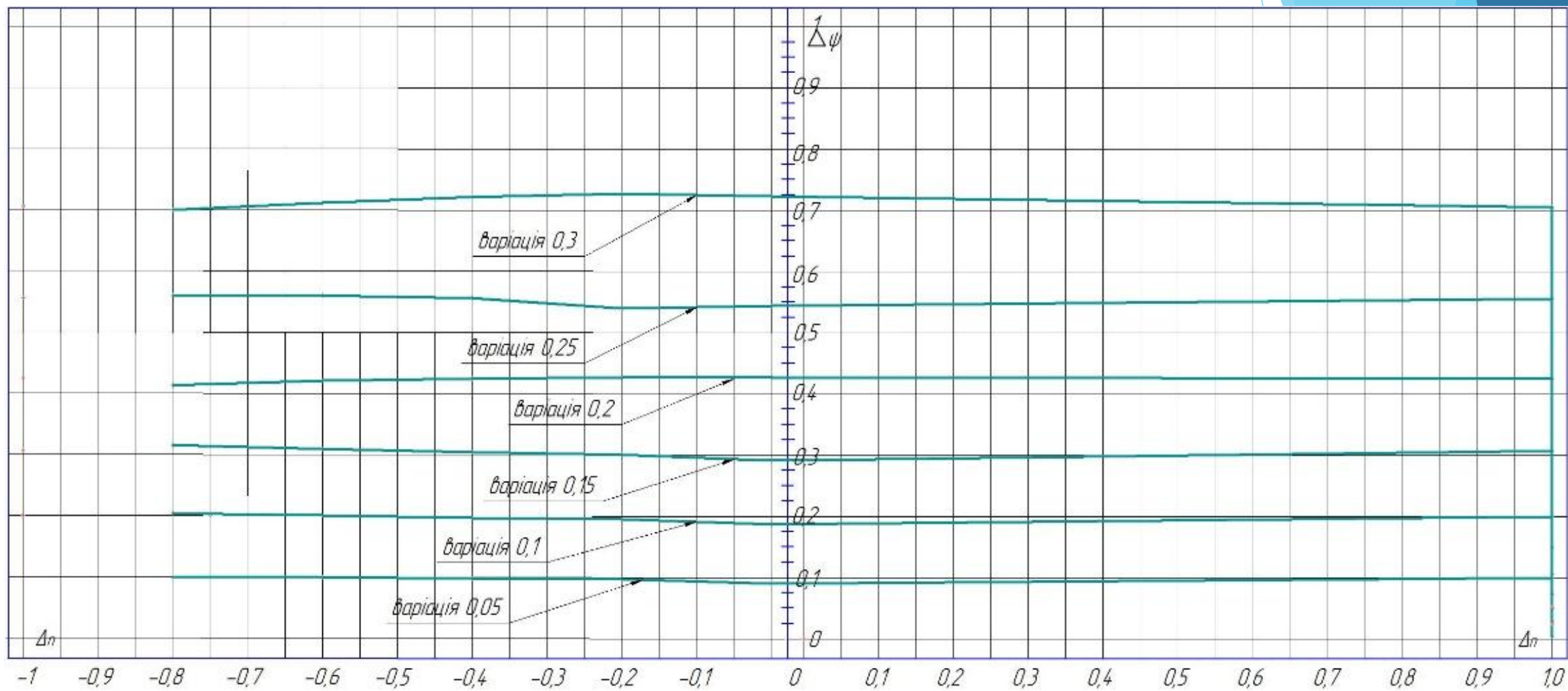
$$\min(\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5) = 0.314$$

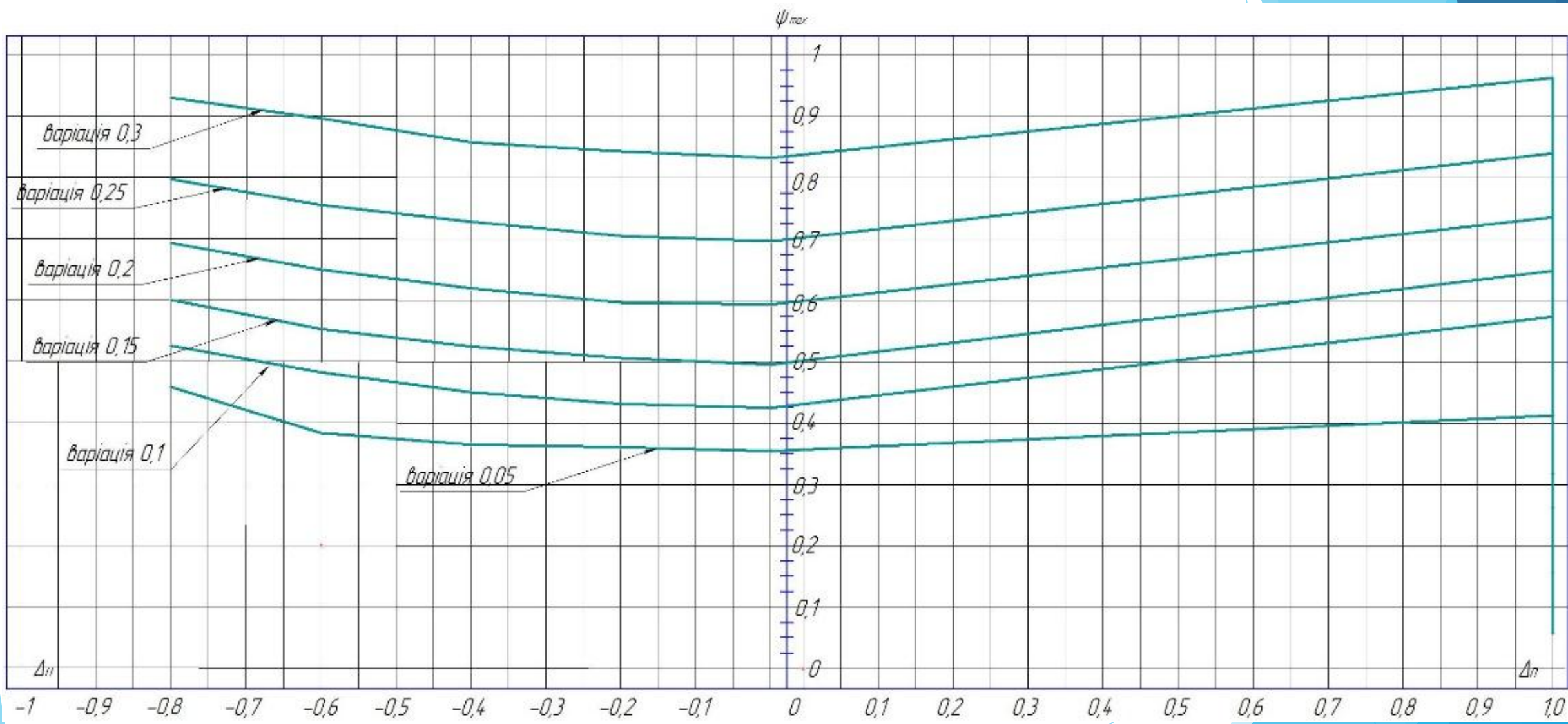


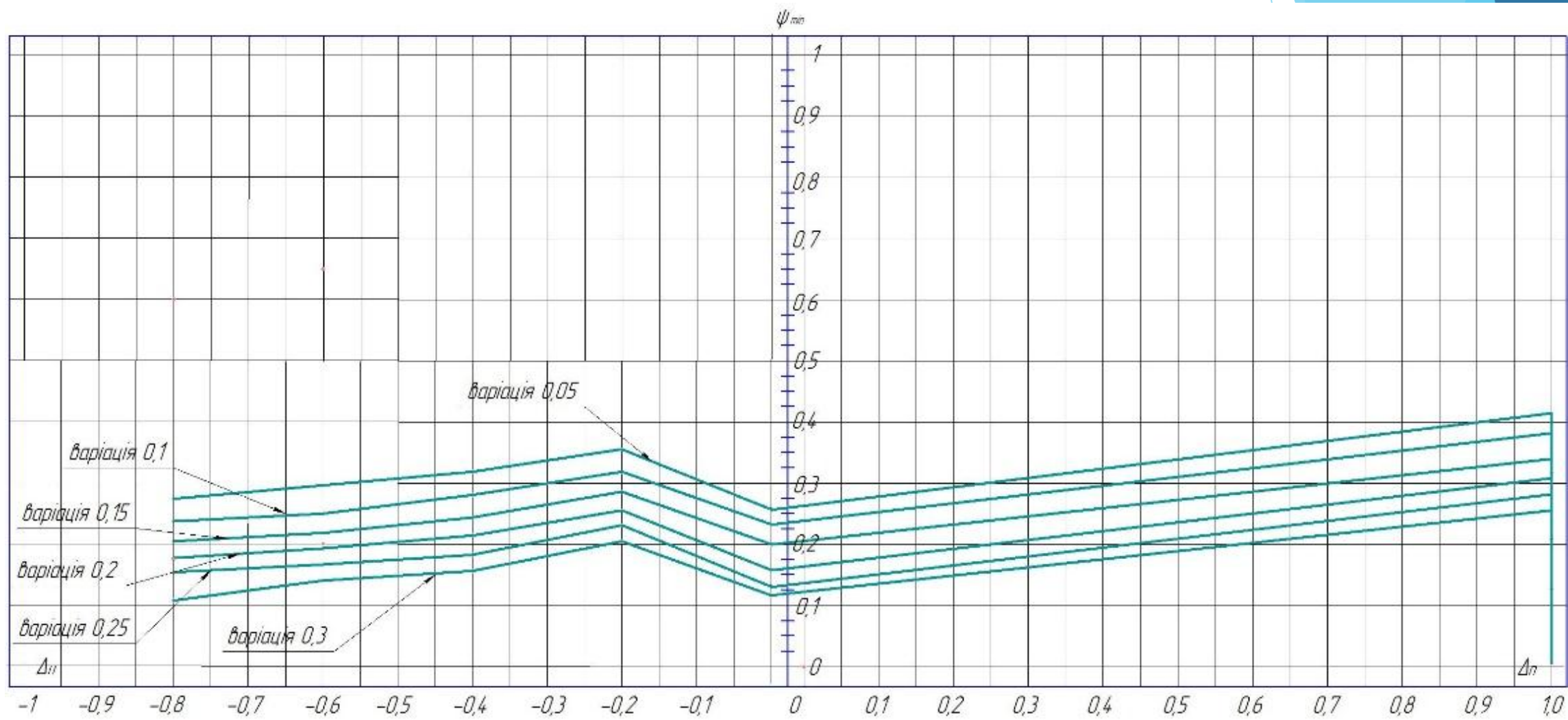


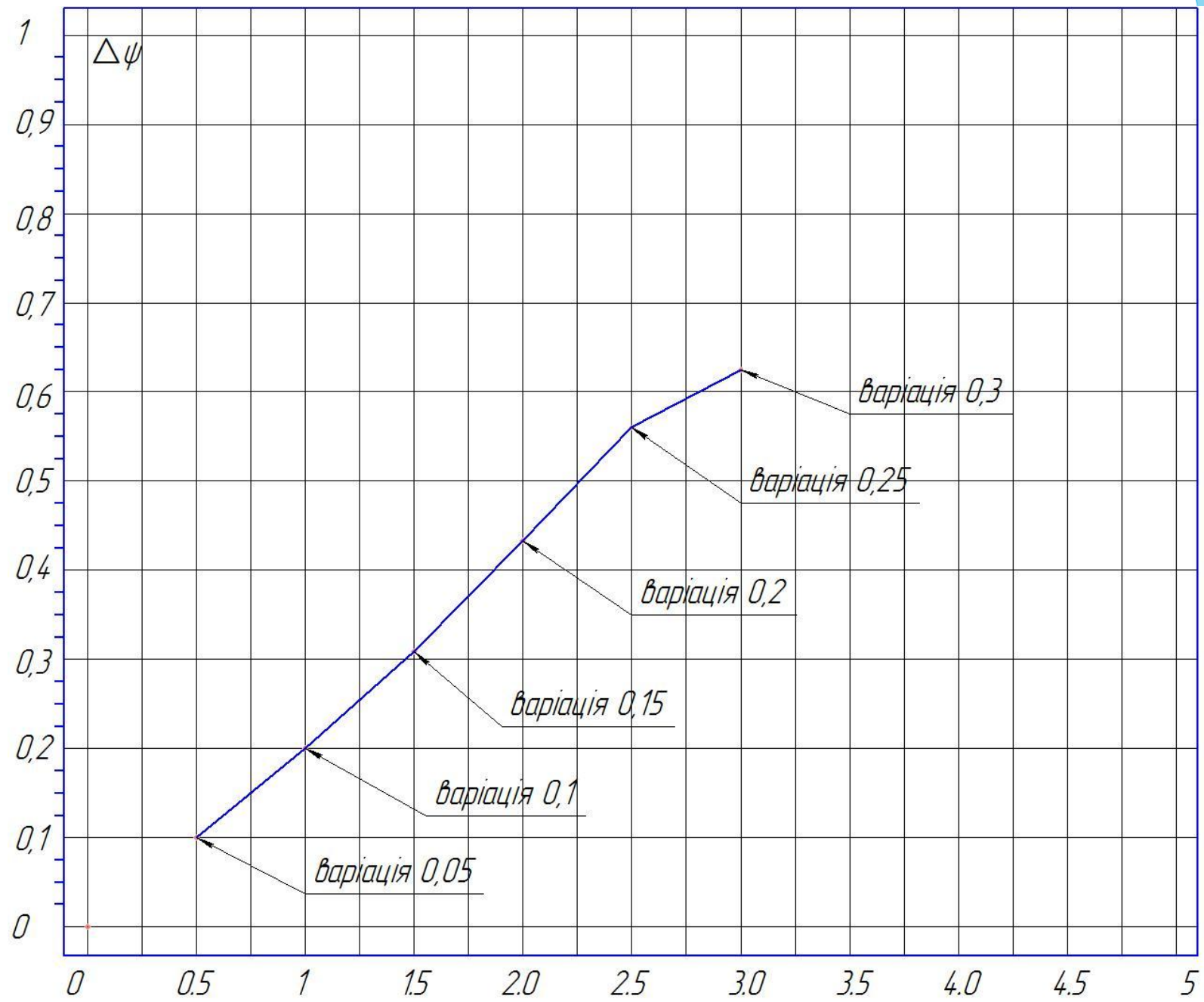












ВИСНОВКИ

1. Випробування типових плоских зразків на розтяг тільки за рахунок різнотовщинності зразків призводить до розкиду значень граничної деформації в межах $\pm 15\%$.
2. Застосування зразків запропонованих авторами для проведення випробувань на зсув листових матеріалів дозволяє в зоні вимірювання отримати показники напруженого стану близькі до чистого зсуву.
3. Усереднення значень випробувань для побудови діаграми пластичності призводить до похибок в обрахунку використаного ресурсу пластичності в зонах зі значною локалізацією деформацій.
4. Величина похибки розрахунку використаного ресурсу пластичності прямо залежить від діапазону розкиду експериментальних значень граничних деформацій, які використовують для побудови діаграм пластичності.
5. Збільшення інтенсивності деформацій призводить до збільшення розкиду значень використаного ресурсу пластичності, в той же час різниця показників напруженого стану в початковій і кінцевій точці траєкторії навантаження практично не впливає на розкид значень використаного ресурсу пластичності.
6. При величині розкидів значень пластичності понад 20% не можна провести адекватну теоретичну оцінку можливості виготовлення не бракованої продукції методами холодної пластичної деформації.
7. Здійснено економічне обґрунтування доцільності модернізації технологічного процесу відновлення деталі «Хомут ХМ-01».
8. Висвітлено основні питання з техніки безпеки та охорони праці на робочому місці.