



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу**

**Кафедра експлуатації, надійності, міцності  
та будівництва ім. В. Я. Аніловича**

# **ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ЗНОС**

**Методичні вказівки до виконання практичної роботи  
з дисципліни "Випробування і контроль надійності"**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання, спеціальності:

133 Галузеве машинобудування,

Харків  
2021

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра експлуатації, надійності, міцності та будівництва  
імені В. Я. Аніловича

## **ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ЗНОС**

Методичні вказівки до виконання практичної роботи  
з дисципліни "Випробування і контроль надійності"

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання, спеціальності:

133 Галузеве машинобудування,

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ ТС ХНТУСГ  
Протокол № 7  
від 12 травня 2021р

Харків  
2021

Схвалено на засіданні  
кафедри експлуатації, надійності, міцності та будівництва ім. В.Я.Аніловича  
Протокол № 5 від "5" травня 2021 р.

**Прискоренні випробування на знос:** метод. вказівки до виконання практичної роботи з дисципліни "Випробування і контроль надійності" / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: О.С. Гринченко, Е.І. Калінін, В.І. Іванов, Р.М. Петров, В.С. Білих. - Харків : [б. в.], 2021. - 12с.

Фактичний рівень надійності машин оцінюють за результатами випробувань на надійність. Ефективність забезпечення надійності залежить від термінів проведення і можливості прискорення оцінки показників за результатами випробувань. Можливість прискорення оцінки надійності надають такі випробування, методи і режими прискорення яких забезпечують отримання необхідної інформації у більш короткі терміни, ніж в умовах експлуатації.

Скорочення тривалості випробувань може бути здійснено за рахунок збільшення жорсткості режимів випробувань, при яких інтенсивність процесів пошкоджень перевищує максимально можливу величину, що досягається в умовах експлуатації. Ступінь прискорення оцінки надійності під час випробувань часто характеризують кількісно за допомогою коефіцієнта прискорення. В роботі представлена методика розрахунку коефіцієнта прискорення при визначенні режимів прискорених стендових випробувань на знос.

## Рецензенти:

**В. М. Грищенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки і міцності НТУ "ХПІ"

**С. О. Поляшенко**, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Відповідальний за випуск (зав. каф.) : Е. І. Калінін**, д-р. техн. наук, проф.

**ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ЗНОС**

**Мета роботи:** вивчити методику розрахунку коефіцієнта прискорення при визначенні режимів прискорених стендових випробувань на знос.

**Загальні положення**

Зазвичай приймається, що знос  $U$  описується степеневою функцією виду:

$$U = a \cdot t^{\nu}, \quad (1)$$

де  $a$  і  $\nu$  - параметри, що характеризують працездатність об'єкта.

Параметр  $a$  - це випадкова величина, яка залежить від поєднання різноманітних факторів (конструктивних, виробничих, силових, абразивних, кліматичних та ін.) і може змінюватись в досить широких межах. Параметр  $\nu$  для одного найменування виробу зазвичай змінюється незначно, і його величина, визначена за результатами раніше проведених експериментів, при розрахунках приймається постійною (табл.1).

Таблиця 1

**Значення параметра  $\nu$**

1	Знос плунжерних пар паливного насосу	1,1
2	Зазор між клапаном і коромислом механізму газорозподілу	1,1
3	Зазори в кривошипно-шатунному механізмі	1,2÷1,6
4	Знос кулачків розподільчого валу	1,1
5	Радіальний зазор в підшипниках кочення і ковзання	1,5
6	Знос посадочних гнізд корпусних деталей	1,0
7	Знос зубів шестерень за товщиною	1,5
8	Знос валиків, пальців і осей	1,4
9	Знос накладок гальм та дисків муфт зчеплення	1,0
10	Знос втулочно-роликового ланцюга (подовження кроку)	1,0

У випадку, коли величина зносу досягає граничного значення  $U=U_{зр}$ , (рис.1) настає відмова при наробітках  $T_e$  і  $T_{нр}$  відповідно в експлуатації і в умовах прискорених випробувань.

Для експлуатаційного режиму роботи об'єкту, що зношується

$$U_{зр} = a_e \cdot T_e^{\nu}, \quad (2)$$

при прискорених стендових випробуваннях відповідно:

$$U_{зр} = a_{нр} \cdot t_{нр}^{\nu}, \quad (3)$$

де  $U_{зр}$  - величина зносу об'єкта при наробітку  $t_{нр}$  до моменту припинення випробувань.

Припиняти випробування слід тоді, коли результати контролю величини

зносу дозволять встановити закономірність зміни його у часі і, на цієї підставі, прогнозувати настання відмови.

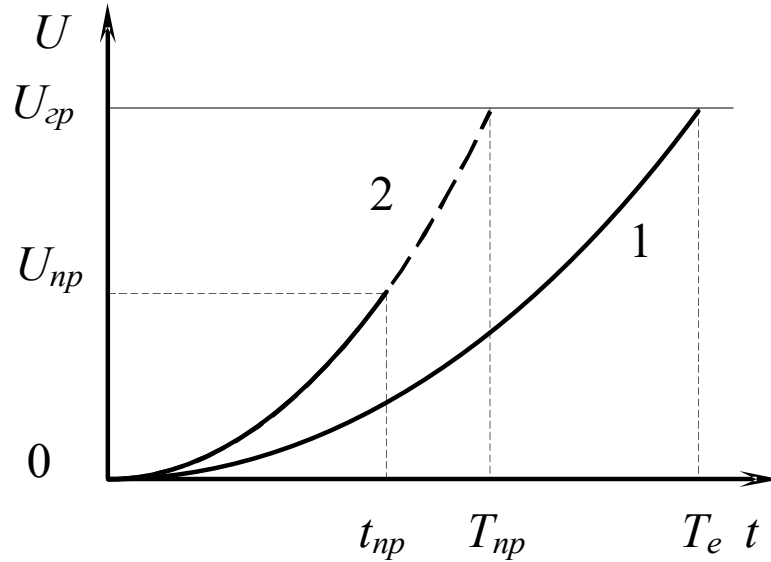


Рис.1. До визначення коефіцієнтів прискорення при зносі:  
1 – експлуатаційні випробування; 2 – прискорені випробування

Візьмемо відношення відповідно лівих і правих частин залежностей (2) і (3):

$$\frac{U_{zp}}{U_{np}} = \frac{a_e \left( \frac{T_e}{t_{np}} \right)^v}{a_{np}} \quad (4)$$

Тут  $\frac{T_e}{t_{np}} = K_{np1}$ , а відношення  $\frac{U_{zp}}{U_{np}}$  і  $\frac{a_e}{a_{np}}$  слід розуміти як характеристики режимів прискорених випробувань.

Розв'яжемо отримане рівняння відносно  $K_{np1}$ :

$$K_{np1} = \left( \frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}} \left( \frac{a_{np}}{a_e} \right)^{\frac{1}{v}}$$

Будемо вважати, що параметри  $a_e$  і  $a_{np}$  є функціями зусилля навантаження  $Q$  і відносної швидкості  $V$  переміщення деталей, що зношуються в експлуатації і при прискорених випробуваннях (відповідно з індексами "e" і "np")

$$\begin{aligned} a_e &= Q_e^\beta \cdot V_e^\alpha; \\ a_{np} &= Q_{np}^\beta \cdot V_{np}^\alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\beta$  і  $\alpha$ - емпіричні коефіцієнти.

Тоді

$$K_{np1} = \left( \frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}} \left( \frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{\frac{\beta}{v}} \left( \frac{V_{np}}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{v}} \quad (6)$$

У наведеному виразі можна вважати, що відношення  $\frac{U_{zp}}{U_{np}}$  є характеристикою режиму прискорених випробувань, яка визначає величину коефіцієнта прискорення шляхом прогнозування результатів випробувань

$$K_{np1n} = \left( \frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}}; \quad (7)$$

де відношення  $\frac{Q_{np}}{Q_e}$  і  $\frac{V_{np}}{V_e}$  - характеристиками режиму збільшення жорсткості випробувань. Перше - за рахунок підвищення силового, а друге - швидкісного режимів навантаження.

Вони визначають величини коефіцієнтів переходу  $K_{nQ}$  і  $K_{nV}$ :

$$K_{nQ} = \left( \frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{\frac{\beta}{v}} \text{ і } K_{nV} = \left( \frac{V_{np}}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{v}}. \quad (8)$$

Практика вказує на те, що прискорені випробування дають прийнятні результати при наступних співвідношеннях факторів, які входять у рівняння (6):

$$1,0 \leq \frac{Q_{np}}{Q_e} \leq 1,54; \quad 1,0 \leq \frac{V_{np}}{V_e} \leq 1,33; \quad 1 \leq \frac{U_{zp}}{U_{np}} \leq 2.$$

При подальших розрахунках, як показує досвід, можливо прийняти значення  $\beta=1,382$  і  $\alpha=0,96$ . У таблиці 2 наведені діапазони можливих значень коефіцієнтів  $K_{nQ}$ ,  $K_{nV}$ ,  $K_{np1n}$  і  $K_{np1}$  (при  $\beta = 1,382$ ;  $\alpha = 0,96$ ).

Маючи у наявності особисті реальні дані що до режимів роботи конкретної деталі, слід скористатися наведеною методикою для розрахунку коефіцієнта прискорення.

Таблиця 2

*Діапазон можливих значень коефіцієнтів  $K_{nQ}$ ,  $K_{nV}$ ,  $K_{np1n}$  і  $K_{np1}$*

Коефіцієнт v	Для більш жорсткого режиму випробувань				Прогнозування		$K_{np1}$
	силового		швидкісного		$\frac{U_{zp}}{U_{np}}$	$K_{np1n}$	
	$\frac{Q_{np}}{Q_e}$	$K_{nQ}$	$\frac{V_{np}}{V_e}$	$K_{nV}$			
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,54	1,816	1,33	1,315	2	2,0	4,78
2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,0	1,54	1,35	1,33	1,15	2	1,414	2,2

Коефіцієнти прискорення  $K_{np2}$  і  $K_{np3}$  визначаються за наведеними вище залежностями.

## Порядок виконання роботи

Під час виконання індивідуального завдання за вихідними даними (табл. 3) підібрати режими цілодобових прискорених випробувань, забезпечуючи (якщо це необхідно), задане значення коефіцієнта прискорення  $[K_{np}]$  варіюванням даних колонок 3, 5, 6 і 7 табл. 3.

Таблиця 3

**Вихідні дані до завдання що до вибору режимів стендових випробувань на знос**

№ строки	$[K_{np}]$	$K_{np3}$	$\nu$	$\frac{Q_{np}}{Q_e}$	$\frac{V_{np}}{V_e}$	$\frac{U_{zp}}{U_{np}}$	$t_{e2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	15	2,60	1,1	1,10	1,03	2,0	8,0
2	20	2,70	1,2	1,15	1,07	1,9	10,0
3	25	2,80	1,3	1,20	1,10	1,8	12,0
4	30	2,90	1,4	1,25	1,14	1,7	14,0
5	35	3,00	1,5	1,30	1,17	1,6	16,0
6	35	3,10	1,6	1,35	1,20	1,5	16,0
7	30	3,20	1,7	1,40	1,23	1,4	14,0
8	25	3,30	1,8	1,45	1,26	1,3	12,0
9	20	3,40	1,9	1,50	1,30	1,2	10,0
0	15	3,50	2,0	1,54	1,33	1,1	8,0

### Приклад.

Підібрати режими прискорених стендових випробувань на знос пальців гусеничного ланцюга трактора Т-150 таким чином, щоб коефіцієнт прискорення випробувань складав  $[K_{np}]=24,5$ .

Вихідні дані:  $\nu = 1,1$ ;  $t_{e2}=8$ год;  $t_{np2}=24$ год;  $\frac{U_{zp}}{U_{np}}=2$ .

Спочатку підрахувати коефіцієнт прискорення  $K_{np}$  під час роботи стенда в ущільненому за часом режимі випробувань.

Якщо отримане значення  $K_{np}$  виявиться менше потрібного значення  $[K_{np}]=24,5$ , то подальше прискорення випробувань забезпечити за рахунок збільшення жорсткості швидкісного режиму. При цьому збільшення жорсткості швидкісного режиму не має перевищувати 10% від номінального, тобто

$$\left[ \frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1.$$

Подальше прискорення випробувань до значення  $K_{np}=[K_{np}]$  реалізувати за рахунок підвищення жорсткості силового режиму навантаження.

## Розв'язок.

Прискорення випробувань забезпечуємо, по перше, за рахунок ущільнення випробувань, і, по друге, за рахунок підвищення жорсткості швидкісного і силового режимів випробувань.

Режим ущільнених випробувань досягається за рахунок:

- прогнозування результатів випробувань, що характеризується коефіцієнтом прискорення  $K_{np1n}$ , якій дорівнює (формула 7)

$$K_{np1n} = \left( \frac{U_{zp}}{U_{np}} \right)^{\frac{1}{v}} = 2^{1,1} = 1,88;$$

- збільшення тривалості роботи стенда продовж доби, що характеризується коефіцієнтом  $K_{np2}$

$$K_{np2} = \frac{t_{np2}}{t_{e2}} = \frac{24}{8} = 3;$$

- максимального "ущільнення" циклів навантаження пальців гусеничного ланцюга, що характеризується коефіцієнтом прискорення  $K_{np3max}$ :

$$K_{np3max} = \frac{1}{n_3} \cdot \frac{t_3}{t_{y3}}. \quad (9)$$

Для визначення величини коефіцієнта  $K_{np3max}$  розглянемо схему роботи гусеничного ланцюга трактора (рис.2).

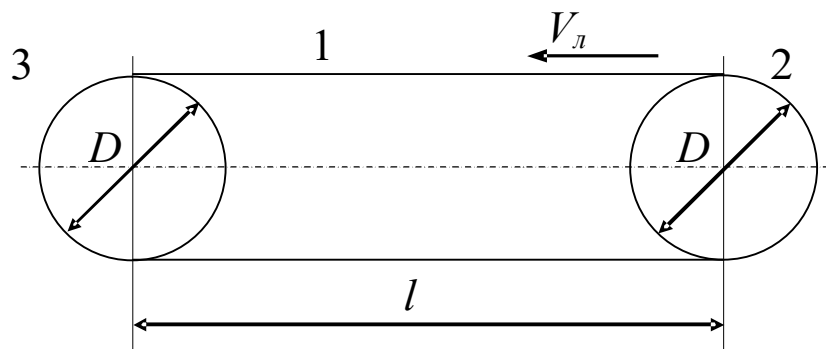


Рис. 2. Схема гусеничного ланцюга трактора:  
1 – ланцюг гусеничний; 2 - зірочка ведуча; 3 - колесо

Будемо вважати, що за один оберт гусеничного ланцюга впродовж часу  $t_3$ , що відповідає його довжині  $L_l$

$$L_l = 2l + \pi D, \quad (10)$$

де  $l$  - відстань між осями ведучої зірочки і колеса;

$D$  - діаметр зірочки (колеса),

відбуваються два перегини шарніра - по одному відповідно на зірочці та на колесі. Отже,  $n_{e3}=2$ .

Довжина шляху  $l_{ш}$ , пройденого шарніром ланцюга кожен раз на зірочці або колесі, дорівнює



$$l_{ш} = \frac{\pi D}{2}; \quad (11)$$

і цей шлях відповідає тривалості одного циклу навантаження  $t_{ц3}$ .

Виразимо довжину ланцюга  $L_l$  і шлях шарніра  $l_{ш}$  через швидкість руху ланцюга  $V_l$  і відповідний час  $t_3$ :

$$L_l = V_l \cdot t_3; \quad l_{ш} = V_l \cdot t_{ц3}.$$

Виключивши з останніх виразів  $V_l$ , знайдемо з урахуванням (10) і (11) відношення

$$\frac{t_3}{t_{ц3}} = \frac{L_l}{l_{ш}} = \frac{2(2l + \pi D)}{\pi D},$$

і з урахуванням цього, визначимо  $K_{np3 \max}$  з (9):

$$K_{np3 \max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2(2l + \pi D)}{\pi D} = \frac{2l}{\pi D} + 1.$$

Для трактора Т-150  $l=2604$  мм;  $D=604$  мм. Тоді

$$K_{np3 \max} = \frac{2 \cdot 2604}{3,14 \cdot 604} + 1 = 3,75.$$

Максимально можливе розрахункове значення загального коефіцієнта прискорення при обраних режимах прискорених випробувань складає:

$$K_{np} = K_{np1n} \cdot K_{np2} \cdot K_{np3} = 1,88 \cdot 3 \cdot 3,75 = 21,15,$$

що менше за потрібне  $[K_{np}] = 24,5$ .

Подальше збільшення коефіцієнта прискорення  $K_{np}$  можливе за рахунок підвищення жорсткості швидкісного і силового режимів навантаження.

Збільшення значення коефіцієнта прискорення, якого не вистачає

$$K'_{np} = \frac{24,5}{21,15} = 1,16$$

спочатку слід забезпечити збільшенням жорсткості швидкісного режиму.

Тоді на підставі (8) маємо:

$$K_{nV} = \left( \frac{V_{np}}{V_e} \right)^{1,1}_{0,96} = 1,16, \quad \text{звідки} \quad \frac{V_{np}}{V_e} = 1,16^{0,96}_{1,1} = 1,19.$$

Як видно, при такому режимі  $\frac{V_{np}}{V_e}$  більше допустимого  $\left[ \frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1$ . Допус-

тиме значення коефіцієнта  $K_{nV}$ , що відповідає допустимому значенню  $\left[ \frac{V_{np}}{V_e} \right] = 1,1$ ,

складає:

$$[K_{nV}] = \left[ \frac{V_{np}}{V_e} \right]^{1,1}_{0,96} = 1,1^{1,1}_{0,96} = 1,09.$$

Тепер  $K_{np} = 1,88 \cdot 3 \cdot 3,75 \cdot 1,09 = 23,05$ . Таке значення  $K_{np}$  все ще менше за потрібне  $[K_{np}] = 24,5$ .

Величину коефіцієнта прискорення  $K_{np}''$ , якої не достає, слід забезпечити за рахунок підвищення жорсткості силового режиму навантаження:

$$K_{np}'' = \frac{24,5}{23,05} = 1,06.$$

В цьому випадку, з урахуванням (8), коефіцієнт переходу  $K_{nQ}$  має дорівнювати:

$$K_{nQ} = \left( \frac{Q_{np}}{Q_e} \right)^{1,1} = 1,06, \quad \text{звідки} \quad \frac{Q_{np}}{Q_e} = 1,06^{\frac{1,1}{1,382}} = 1,05.$$

Таким чином, щоб результати випробувань були отримані з коефіцієнтом прискорення  $[K_{np}] = 24,5$ , режими випробувань мають бути такими:

- випробування проводити цілодобово ( $K_{np2} = 3$ );
- з ущільненим режимом циклів навантаження ( $K_{np3} = 3,75$ );
- підвищення жорсткості випробувань забезпечити за рахунок збільшення

швидкісного режиму у  $\frac{V_{np}}{V_e} = 1,1$  рази, що забезпечує значення  $K_{nV} = 1,09$ , і сило-

вого - у  $\frac{Q_{np}}{Q_e} = 1,05$  рази, що дає значення  $K_{nQ} = 1,06$ . При таких режимах випробу-

вань коефіцієнт прискорення  $K_{np}$  дорівнює

$$K_{np} = K_{np1n} \cdot [K_{nV}] \cdot K_{nQ} \cdot K_{np2} \cdot K_{np3} = 1,88 \cdot 1,09 \cdot 1,06 \cdot 3 \cdot 3,75 = 24,44,$$

що достатньо наближено до потрібного  $[K_{np}] = 24,5$ .

Якщо палець гусеничного ланцюга трактора має експлуатаційний ресурс  $T_e = 4000$  мото-год, то при 8-годинній добовій роботі машини ( $t_{e2} = 8$  год.) він досягне граничного стану за

за  $\frac{T_e}{t_{e2}} = \frac{4000}{8} = 500$  календарних діб. При прискорених

випробуваннях той же результат буде досягнутий у  $K_{np} = 24,5$  рази швидше, тоб-

то за  $\frac{500}{24,5} = 20,5$  діб.

Щоб отримати експлуатаційний ресурс  $T_{np}$ , необхідно тривалість випробувань, виражену у годинах, помножити на коефіцієнт прискорення при  $K_{np2} = 1$ , тобто на величину

$$\frac{K_{np}}{K_{np2}} = \frac{24,44}{3} = 8,15.$$

### Питання для самоконтролю

1. Коли і при яких умовах слід припиняти випробування?
2. Яким чином можна збільшити жорсткість режиму випробувань?
3. За рахунок чого досягається режим ущільнених випробувань?

## Рекомендована література

1. Міцність та надійність машин: Навчальний посібник /В.Я.Анілович, О.С.Грінченко, В.В.Карабін, В.О.Літвінов, В.Л.Литвиненко, за ред. В.Я.Аніловича. –К., Урожай, 1996. 288с.
2. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах /За ред В.Я.Аниловича. – Харьков: Око, 2001. – 320с.
3. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль – Х.:Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.
4. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники./ Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович – Научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. – Феникс, 2004. – 208 с.
5. Армашов Ю.В., Випробування сільськогосподарської техніки на надійність: Навч. посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат Дніпропетровськ, 2002.- .219 с.
6. Випробування і сертифікація техніки АПК: Навчальний посібник/ К.І. Шмат, Є.І. Бондарев, О.В. Мігальов та ін. - Херсон: ОПДІ-плюс, 2004. - 268 с.
7. Надійність машин: Практикум / О.С.Грінченко, В.Г.Кухтов, О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко, Є.І.Калінін, В.І.Іванов, Г.П.Юр'єва; За ред. О.С.Грінченка, В.Г.Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-принт», 2018. 140 с.

# **ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ НА ЗНОС**

Методичні вказівки до виконання практичної роботи  
з дисципліни "Випробування і контроль надійності"

## **Укладачі:**

**ГРІНЧЕНКО** Олександр Степанович

**КАЛІНІН** Євгеній Іванович

**ІВАНОВ** Володимир Іванович

**ПЕТРОВ** Руслан Максимович

**БІЛИХ** Владислав Сергійович

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.

Папір для цифрового друку. Друк принтерний.

Умов. друк. арк. 0,5

Наклад 100 примірників.