

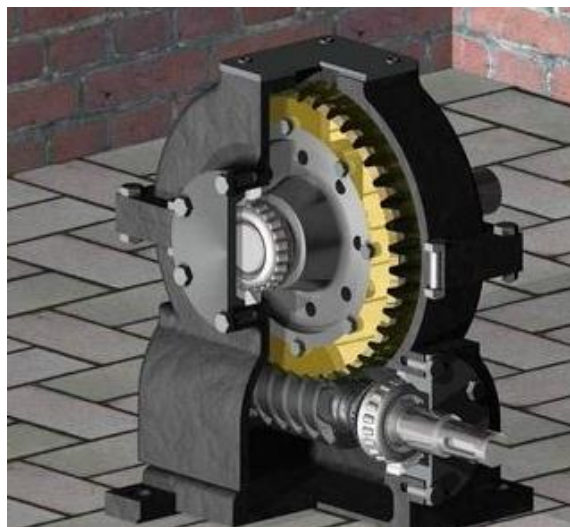
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра деталей машин та прикладної механіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з лабораторної роботи по деталях машин

Лабораторна робота № 7

Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра деталей машин та прикладної механіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з лабораторної роботи по деталях машин

Лабораторна робота № 7

Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі

для студентів спеціальностей «прикладна механіка»,
«галузеве машинобудування» та «агроінженерія».

Затверджено на засіданні кафедри
„Деталі машин та прикладна механіка”

Протокол № 3 від 10. 2020 р.

Кропивницький 2020

Методичні вказівки по деталях машин з лабораторної роботи № 7.

Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі

/Укладачі:

доц. Невдаха Юрій Андрійович

доц. Дубовик Віктор Олександрович

Відповідальний за випуск

доц. Невдаха Ю.А.

Рецензент

д.т.н., проф. Філімоніхін Г.Б.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

1.1 ККД черв'ячної передачі та її тепловий розрахунок.

Загальний ККД черв'ячної передачі можна визначити за залежністю

$$\eta = P_2/P_1 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3. \quad (1.1)$$

де P_2, P_1 – потужності на веденому і ведучому валах передачі відповідно;
 η_1, η_2, η_3 – ККД, що відображають втрати потужності у зачепленні,
підшипниках та на переміщення мастила у корпусі передачі відповідно.

Найбільшими є втрати потужності у зачепленні черв'ячної передачі, обумовлені ковзанням витків черв'яка по зубцях черв'ячного колеса. Щоб знайти ККД черв'ячного зачеплення, слід розглянути сили, які діють на виток черв'яка за умови, що черв'як є ведучим (рис. 1.1).

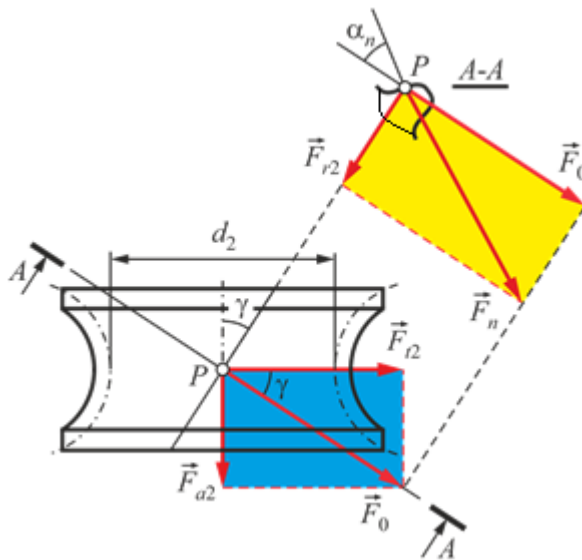


Рисунок 1.1 - Зусилля на зубцях черв'ячного колеса.

Сила $F_0 = F_n \cos \alpha_n$ [див. рис.1.1 і рис. 1.2, а] перпендикулярна до лінії витка черв'яка, а сила тертя $F_s = F_n f$ напрямлена вздовж лінії витка. Ці дві сили дають результуючу силу F , яка складає з вектором сили F_0 кут φ'

$$\operatorname{tg} \varphi' = F_s/F_0 = f/\cos \alpha_n; \quad \varphi' = \arctg (f/\cos \alpha_n), \quad (1.2)$$

де φ' – зведений кут тертя, f – коефіцієнт тертя ковзання.

Розклавши силу F за напрямими колових швидкостей черв'яка та черв'ячного колеса, дістанемо колову силу F_{t1} на черв'яку і осьову силу F_{a1} , яка дорівнює коловій силі F_{t2} на черв'ячному колесі:

$$F_{t1} = F \cdot \sin(\gamma + \phi'); \quad F_{a1} = F_{t2} = F \cdot \cos(\gamma + \phi'). \quad (1.3)$$

ККД черв'ячного зачеплення при передаванні навантаження від черв'яка до черв'ячного колеса (черв'як ведучий) можна визначити за виразом

$$\eta_1 = T_2 \cdot \omega_2 / (T_1 \cdot \omega_1) = F_{t2} \cdot d_2 \cdot \omega_2 / (F_{t1} \cdot d_1 \cdot \omega_1). \quad (1.4)$$

Якщо у записане співвідношення підставити F_{t1} і F_{t2} і взяти $d_2 = m z_2$, $d_1 = m q$, $\tan \gamma = z_1 / q$ і $\omega_1 / \omega_2 = u = z_2 / z_1$, то матимемо остаточну формулу для визначення ККД зачеплення черв'ячної передачі

$$\eta_1 = \tan \gamma / \tan(\gamma + \phi') \quad (1.5)$$

де γ – дільний кут підйому витка черв'яка.

За аналогічними міркуваннями можна дістати формулу для ККД черв'ячного зачеплення при передаванні навантаження від черв'ячного колеса до черв'яка (черв'ячне колесо ведуче).

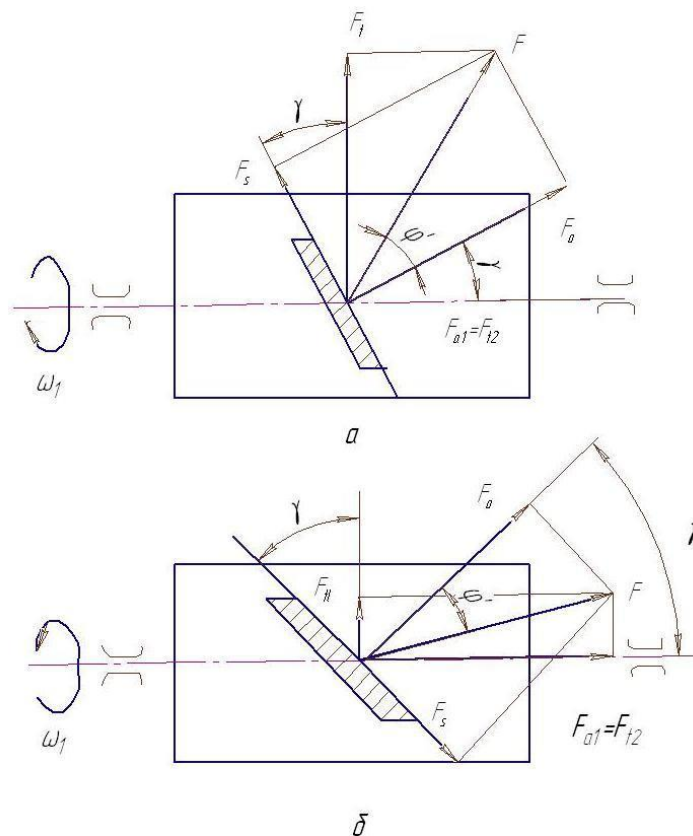


Рисунок 1. 2 - До визначення ККД черв'ячної передачі

У цьому разі схема сил, які діють на виток черв'яка, показана на рис. 1.2, б, а розрахункова формула має вигляд

$$\eta^*_1 = [\operatorname{tg}(\gamma - \varphi')] / \operatorname{tg} \gamma. \quad (1.6)$$

Значення зведеного кута тертя φ' для бронзового вінця колеса і сталевго черв'яка можна взяти з таблиць 28.8 [1]. Менші значення відповідають передачам із шліфованим черв'яком і твердістю витків $H > 45 \text{ HRC}$.

Кут тертя φ' спадає з ростом швидкості ковзання v_s , оскільки при цьому створюються більш сприятливі умови для утворення неперервного шару мастила, що розділяє поверхні зубців та витків (зменшується коефіцієнт тертя f).

Аналіз формули (1.6) показує, що при $\gamma \leq \varphi'$ передавати рух від колеса до черв'яка неможливо, оскільки $\eta^*_1 \leq 0$. У цьому разі здійснюється самогальмування передачі.

ККД черв'ячного зачеплення суттєво залежить від ділильного кута підйому витків черв'яка γ , тобто від числа витків z_1 та коефіцієнта діаметра черв'яка q . Середні значення ККД зачеплення залежно від числа витків черв'яка такі:

$$\eta_1 = 0,70 \dots 0,75 \text{ при } z_1 = 1; \quad \eta_1 = 0,80 \dots 0,90 \text{ при } z_1 = 2 \dots 4.$$

Втрати потужності у підшипниках і на переміщування мастила в корпусі передачі здебільшого оцінюються $\eta_2 \eta_3 = 0,95 \dots 0,96$. Тому загальний ККД черв'ячної передачі рекомендують визначати за формулою

$$\eta = (0,95 \dots 0,96) \cdot \operatorname{tg} \gamma / \operatorname{tg}(\gamma + \varphi'). \quad (1.7)$$

1.2. Тепловий розрахунок черв'ячної передачі.

Через значні втрати потужності за рахунок низького ККД черв'ячної передачі відбувається нагрівання корпусу передачі і мастила, що в ньому знаходиться. При підвищених температурах мастило втрачає свої мастильні властивості, що може призвести до виходу передачі з ладу. Тому для черв'ячної передачі виконують тепловий розрахунок. Цим розрахунком слід забезпечити умову

$$t_M < [t]_M. \quad (1.8)$$

де t_M – температура мастила при усталеному режимі роботи передачі;
[t] $_M$ – допустима температура мастила, що становить 75–85°, деякі спеціальні марки мастил допускають температуру до 100–110°C.

Потужність, що втрачається у передачі,

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1 \cdot (1 - \eta).$$

Тепловий потік, що виділяється поверхнею площі A корпусу передачі,

$$\Phi = K \cdot A \cdot (t_M - t_0).$$

Усталений режим роботи передачі має тепловий баланс

$$\Delta P = \Phi \quad \text{або} \quad P_1 \cdot (1 - \eta) = K \cdot A \cdot (t_M - t_0).$$

звідки дістаємо температуру мастила

$$t_M = t_0 + P_1 \cdot (1 - \eta) / (K \cdot A), \quad (1.9)$$

де P_1 – потужність, що підводиться до передачі, Вт;

K – коефіцієнт теплопередачі, $K = (9 \dots 17) \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ залежно від швидкості повітря, що омиває корпус передачі;

A – площа охолоджуваної поверхні корпусу, м^2 ;

t_0 – температура середовища, в якому працює передача, $^\circ\text{C}$.

Щоб задовольнити умову (1.8), інколи збільшують поверхню корпусу передачі (ребристі форми корпусів), застосовують обдування корпусу вентилятором тощо. При обдуванні за допомогою вентилятора

$$K = (25 \dots 30) \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

2. Практична частина.

Лабораторна робота № 7

Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі

Мета роботи - визначити ККД редуктора розрахунковим і експериментальним шляхом.

2.1. Теоретична частина

2.1.1. Загальні відомості.

Черв'ячні передачі використовують для передачі руху між валами, осі яких перетинаються, як правило під кутом 90° . Черв'ячні передачі відносяться до зубчасто-гвинтових.

В більшості випадків ведучою ланкою є черв'як, а веденою - черв'ячне колесо. Переваги черв'ячних передач — можливість отримання великих передаточних чисел, компактність, безшумність роботи, самогальмування та інше.

Недоліки - великі втрати потужності (низький ККД), необхідність використання дефіцитних антифрикційних матеріалів для виготовлення черв'ячного колеса.

Середнє значення ККД черв'ячних передач, в залежності від числа заходів черв'яка, знаходиться в межах 0,6...0,9. Використання багатозахідних черв'яків підвищує ККД. За ДСТУ 2144 - 76 черв'як має число заходів 1, 2 і 4.

2.1.2. Теоретичне визначення ККД черв'ячного редуктора.

ККД черв'ячного редуктора:

$$\eta = \eta_{\text{зач}} \cdot \eta_{\text{оп}} \cdot \eta_{\text{р}}$$

де $\eta_{\text{зач}}$, $\eta_{\text{оп}}$, $\eta_{\text{р}}$ - ККД, враховуючи втрати енергії в зачепленні, в опорах валів і на розбризкування мастила в редукторі.

Так як втрати на розбризкування мастила незначні, то:

$$\eta = (0,95...0,96) \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi')},$$

де γ - кут підйому гвинтової лінії на ділільному циліндрі черв'яка;

ϕ' - приведений кут тертя.

Коефіцієнт (0,95...0,96) приблизно враховує втрати енергії в опорах валів, і на розбризкування мастила.

Значення кута γ залежить від числа витків черв'яка z_1 і числа осьових модулів діаметрів початкового циліндра черв'яка q :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{z_1}{q}; \quad \gamma = \operatorname{arctg} \frac{z_1}{q}$$

Значення приведенного кута тертя ϕ' залежить від швидкості ковзання V_s , яку можна визначити:

$$V_s = \frac{V}{\cos \gamma}, \quad \text{або} \quad V_s = \frac{m_s \cdot n_1}{19100} \cdot \sqrt{Z_2 + q}$$

Значення ϕ' в залежності від швидкості ковзання V_s при роботі, якщо черв'ячне колесо з олов'яної бронзи, а черв'як сталевий приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Приведений кут тертя ϕ' в залежності від швидкості ковзання V_s

V_s , м/с	$\phi' = \operatorname{arctg}$	V_s , м/с	$\phi' = \operatorname{arctg} f_{\text{тр}}$
0,10	$4^\circ 34 \dots 5^\circ$	2,50	$1^\circ 43 \dots 2^\circ 17$
0,25	$3^\circ 43 \dots 4^\circ$	3,00	$1^\circ 36 \dots 2^\circ 00$
0,50	$3^\circ 09 \dots 3^\circ$	4,00	$1^\circ 19 \dots 1^\circ 43$
1,00	$2^\circ 35 \dots 3^\circ$	7,00	$1^\circ 02 \dots 1^\circ 29$
1,50	$2^\circ 17 \dots 2^\circ$	10,00	$0^\circ 55 \dots 1^\circ 22$
2,00	$2^\circ 00 \dots 2^\circ$	15,00	$0^\circ 48 \dots 1^\circ 09$

Менші значення ϕ' слід приймати при шліфованих і полірованих черв'яках. Якщо вінець колеса виготовлений з безолов'яної бронзи, то табличні значення ϕ' збільшуються на 30...50%.

2.2. Експериментальна частина

2.2.1. Обладнання та прилади.

Експериментальна установка (рис. 2.1) для визначення ККД черв'ячної передачі складається з балансирного електродвигуна 1 і черв'ячного редуктора 2, з'єднаного з електродвигуном муфтою 3.

На вихідному валу редуктора встановлено баланsirне колодкове гальмо 4, призначене для навантаження передачі. Баланsirне виконання електродвигуна і гальма дозволяє робити заміри обертових моментів на входному і вихідному валах редуктора з допомогою плоских консольних пружин 5, один кінець яких закріплений нерухомо в кронштейнах, а другий опирається в призму штиря, з'єднаного з корпусом електродвигуна і гальма. Ці пружини відтаріровані з індикаторами 6 (таріровочні графіки зображені на рис. 2.2 і 2.3).

Температури стінок редуктора і мастила вимірюються з допомогою термопар.

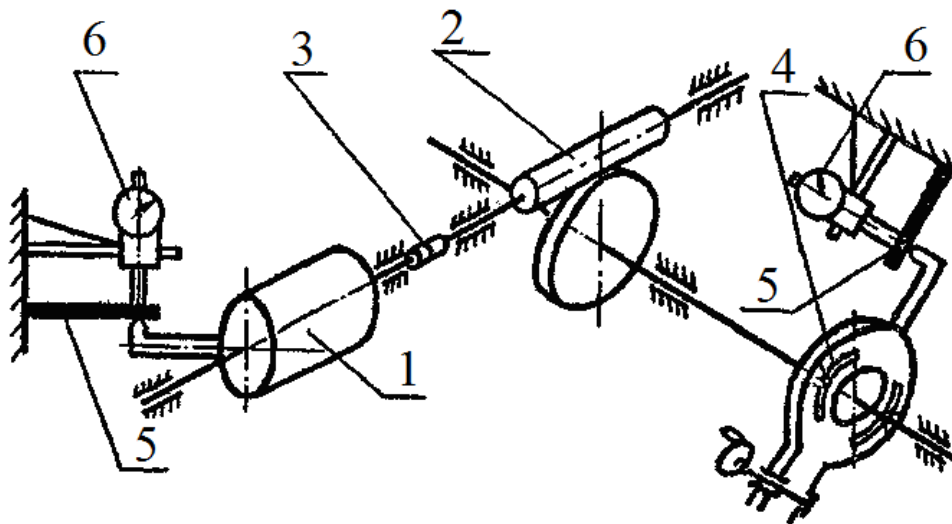


Рисунок 2.1 - Установка для визначення ККД черв'ячної передачі



Рисунок 2.2 - Таріровочний графік для визначення обертового моменту на валу електродвигуна T_1

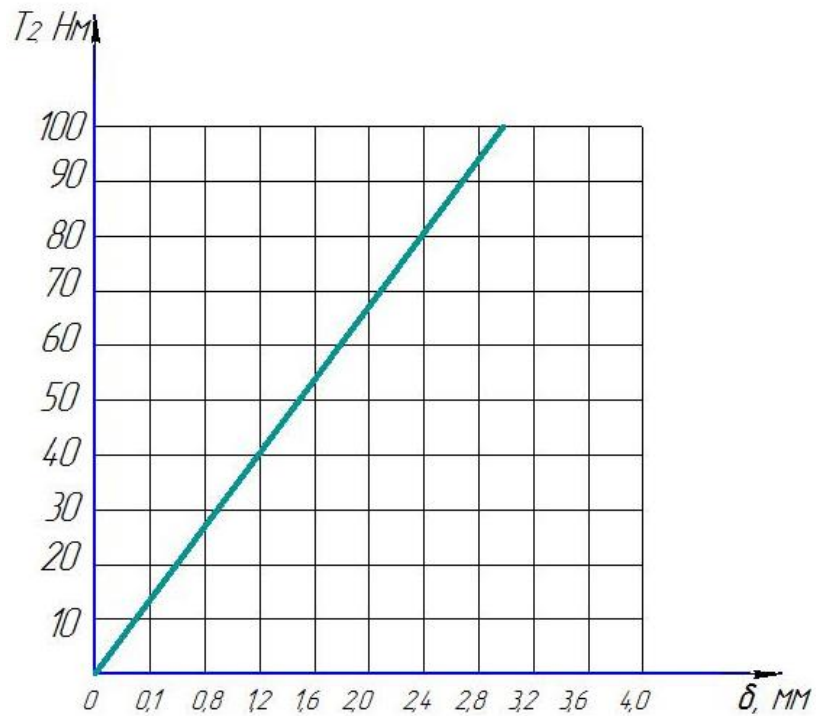


Рисунок 2.3 - Таріровочний графік для визначення обертового моменту на вихідному валу редуктора T_2

2.2.2. Технічна характеристика установки.

Привод – електродвигун потужність $P_{ед} = (1...1,4)$ кВт, частота обертання $n_d = (1450... 2850)$ об/хв.

2.2.3. Черв'ячна передача:

тип черв'яка - архімедів;

осьовий модуль - $m = 3$ мм;

число заходів черв'яка $z_1 = 2$;

число зубців черв'ячного колеса $z_2 = 41$;

кут підйому витка черв'яка - $\gamma = 9^\circ 27' 44''$;

число модулів в початковому діаметрі черв'яка $q = 12$.

2.2.4. Методика проведення експериментів.

а). Накреслити схему експериментальної установки і записати основні технічні дані.

б). Включити електродвигун і за допомогою маховика гальма навантаження створюємо момент рівний $0,2 T_2 \text{ max}$. $T_2 \text{ max}$ - максимальний гальмівний момент рівний 59 Нм. В такому стані установка повинна працювати 5 хвилин для прогрівання мастила.

в). Збільшувати гальмівний момент ступінчасто по $0,1 T_2 \text{ max}$ до $T_2 \text{ max} = 59 \text{ Нм}$. Регіструючи на кожній ступені навантаження показання індикаторів електродвигуна і гальма. Потім по таріровочних графіках визначити відповідно обертові моменти на валу електродвигуна T_1 і вихідному валу редуктора T_2 .

2.2.5. Обробка результатів експериментів.

Після проведення експериментів визначити ККД редуктора для всіх ступеней навантаження:

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 \cdot U}.$$

Побудувати криву залежності ККД редуктора від моменту на виході редуктора T_2 .

Крива залежності ККД від T_2 .



Рисунок 2.4 - Координати для побудови кривої залежності ККД від моменту.

2.3. Висновки

В висновках необхідно відмітити, як змінюється ККД редуктора з зміною моменту на вихідному валу T_2 .

2.4. Оформлення звіту

Звіт повинен мати: технічну характеристику установки, розрахункові залежності по визначенню теоретичного значення ККД редуктора, схему установки, результати розрахунків і замірів зведених в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Розрахункові значення.

п/п №	Показання індикаторів		Обертові моменти		Експериментальне начення ККД редуктора
	δ_1 , мм	δ_2 , мм	T_1 Нм	T_2 , Нм	
1					
2					
:					
:					
n					

2.5. Питання для самоконтролю

1. Основні переваги та недоліки черв'ячних передач.
2. Як впливає зміна обертового моменту на виході на ККД черв'ячного редуктора.
3. Матеріали для виготовлення черв'яків і черв'ячних коліс.
4. Як визначається передаточне число черв'ячного редуктора.
5. Які зусилля діють в черв'ячному зачепленні.

Література

1. Павлище В.П. Основи конструювання та розрахунків деталей машин, К: Вища школа, 1993.
2. Решетов Д.Н. Деталі машин, М: "Машиностроение", 1989.
3. Чернин И.М. и др. Расчеты деталей машин.- М; "Высшая школа", 1978

Зміст

1. Теоретична частина.....	4
1.1. ККД черв'ячної передачі	4
1.2. Тепловий розрахунок черв'ячної передачі.....	6
2. Практична частина. Лабораторна робота № 7. Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі.....	8
2.1. Теоретична частина.....	8
2.2. Експериментальна частина	10
2.3. Висновки.....	13
2.4. Оформлення звіту.....	13
2.5. Питання для самоконтролю.....	14
Література.....	14

Методичні вказівки з лабораторної роботи по деталям машин.
Лабораторна робота № 7. Дослідження втрат на тертя в черв'ячному редукторі

Укладачі:

доц. Невдаха Ю.А.,
доц. Дубовик В.О.

Підписано до друку 3.10.2020 р.

Формат А4 Ум. друк. арк. Тираж прим. Зам. №
РВЛ ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.
тел. 597-541, 390-551, 559-245.