

Дисципліна: Гідродинамічна теорія змащення

Практичне заняття №5

Підшипники ковзання колінчастих валів сучасних ДВЗ схильні до дії важких навантажень, мінливих за величиною і напрямком. Види зміни навантажень залежать від конструктивних особливостей двигуна, місця розташування в ньому даного підшипника, режиму роботи, особливостей робочого процесу то-що.

Максимальні значення навантажень бувають вельми великими. Відповідні їм середні питомі тиски на проекцію підшипників досягають 50 МПа і більше, а місцеві пікові значення можуть перевищувати середні в кілька разів.

В цих умовах в роботі більшості підшипників ДВЗ протягом деякої частини циклу навантаження відбувається порушення чисто рідинного і настає граничне тертя.

Розрахунок сил та крутних моментів у кривошипно-шатунному механізмі

Цей розрахунок виконується за схемою, зображеною на рис. 4.7. Для розрахунку сил та крутного моменту використовують наступні залежності.

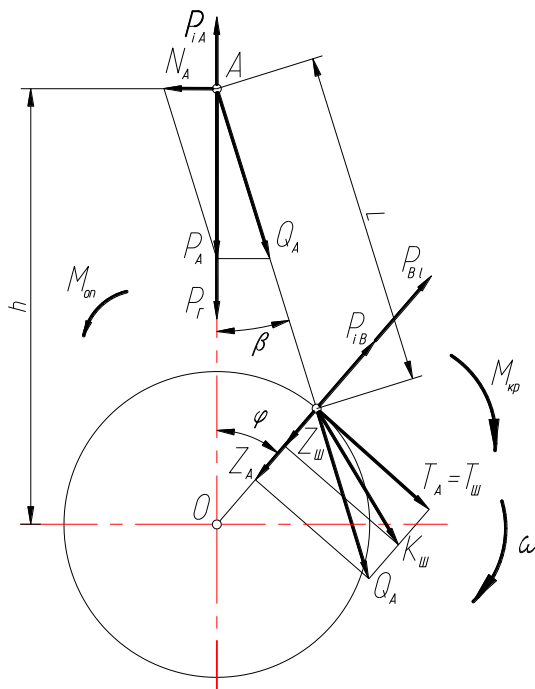


Рисунок 4.7 – Сили в аксіальному КШМ

Сила тиску газів на поршень, кН

$$P_r = (p_{\pi} - p_0) \cdot F_{\pi} \cdot 10^3. \quad (4.14)$$

Прискорення маси, що рухається зворотньо-поступально, м/с

$$a = R \cdot \omega^2 \cdot \left[\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \lambda \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right]. \quad (4.15)$$

Сила інерції маси, що рухається зворотньо-поступально, кН

$$P_{iA} = -m_A \cdot a \cdot 10^{-3}. \quad (4.16)$$

Сумарна сила в точці А, кН

$$P_A = P_z + P_{iA}. \quad (4.17)$$

Нормальна сила, яка передається на стінку циліндра, кН

$$N_A = P_A \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (4.18)$$

Сила, що передається по шатуну на кривошип, кН

$$Q_A = \frac{P_A}{\cos \beta}. \quad (4.19)$$

Радіальна складова сили Q_A на кривошипі, кН

$$Z_A = P_A \cdot \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}. \quad (4.20)$$

Повна радіальна сила, кН

$$Z = Z_A + P_{iB} \cdot \quad (4.21)$$

Тангенціальна складова сили Q_A на кривошипі, кН

$$T_A = P_A \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \cdot \quad (4.22)$$

Крутний момент на кривошипі, кН·м

$$M_{кр} = T_A \cdot R \cdot \quad (4.23)$$

Розрахунок сил та моментів представлений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Сили та крутні моменти у відсіку однорядного двигуна

| φ | $P_{e-0,1}$ | P_e | P_{iA} | P_A | β | N_A | Q_A | T_A | Z_A | Z | M | A |
|-----------|-------------|-------|----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| °ПКВ | МПа | кН | кН | кН | рад | кН | кН | кН | кН | кН | кН·м | м/с ² |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 0 | 0,154 | 0,936 | -12,1 | -11,2 | 0 | 0 | -11,2 | 0 | -11,2 | -28,3 | 0 | 10322 |
| 10 | 0,103 | 0,627 | -11,8 | -11,2 | 0,052 | -0,59 | -11,2 | -2,51 | -10,9 | -28,1 | -0,10 | 10067 |
| 20 | 0,085 | 0,520 | -10,9 | -10,4 | 0,103 | -1,08 | -10,4 | -4,57 | -9,40 | -26,6 | -0,19 | 9317 |
| 30 | 0,085 | 0,520 | -9,51 | -8,99 | 0,151 | -1,37 | -9,09 | -5,68 | -7,10 | -24,3 | -0,23 | 8120 |
| 40 | 0,085 | 0,520 | -7,68 | -7,16 | 0,195 | -1,41 | -7,30 | -5,68 | -4,57 | -21,8 | -0,23 | 6555 |
| 50 | 0,085 | 0,520 | -5,54 | -5,02 | 0,233 | -1,19 | -5,16 | -4,61 | -2,31 | -19,5 | -0,19 | 4729 |
| 60 | 0,085 | 0,520 | -3,25 | -2,73 | 0,264 | -0,74 | -2,83 | -2,73 | -0,72 | -17,9 | -0,11 | 2772 |
| 70 | 0,085 | 0,520 | -0,97 | -0,45 | 0,287 | -0,13 | -0,47 | -0,47 | -0,03 | -17,2 | -0,02 | 828 |
| 80 | 0,085 | 0,520 | 1,134 | 1,654 | 0,301 | 0,514 | 1,732 | 1,718 | -0,22 | -17,4 | 0,070 | -968 |
| 90 | 0,085 | 0,520 | 2,937 | 3,457 | 0,306 | 1,093 | 3,625 | 3,457 | -1,09 | -18,3 | 0,142 | -2508 |
| 100 | 0,085 | 0,520 | 4,360 | 4,880 | 0,301 | 1,517 | 5,110 | 4,542 | -2,34 | -19,5 | 0,186 | -3723 |
| 110 | 0,085 | 0,520 | 5,384 | 5,904 | 0,287 | 1,744 | 6,156 | 4,951 | -3,66 | -20,8 | 0,203 | -4597 |
| 120 | 0,085 | 0,520 | 6,042 | 6,562 | 0,264 | 1,775 | 6,797 | 4,795 | -4,82 | -22,0 | 0,197 | -5159 |
| 130 | 0,085 | 0,520 | 6,404 | 6,923 | 0,233 | 1,643 | 7,116 | 4,247 | -5,71 | -22,9 | 0,174 | -5468 |
| 140 | 0,085 | 0,520 | 6,555 | 7,074 | 0,195 | 1,397 | 7,211 | 3,477 | -6,32 | -23,5 | 0,143 | -5597 |
| 150 | 0,085 | 0,520 | 6,579 | 7,098 | 0,151 | 1,082 | 7,180 | 2,612 | -6,69 | -23,9 | 0,107 | -5617 |
| 160 | 0,085 | 0,520 | 6,545 | 7,065 | 0,103 | 0,732 | 7,103 | 1,728 | -6,89 | -24,1 | 0,071 | -5589 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 170 | 0,085 | 0,520 | 6,505 | 7,025 | 0,052 | 0,368 | 7,035 | 0,857 | -6,98 | -24,2 | 0,035 | -5554 |
| 180 | 0,086 | 0,520 | 6,489 | 7,009 | 0 | 0 | 7,009 | 0 | -7,01 | -24,2 | 0 | -5540 |
| 190 | 0,087 | 0,529 | 6,505 | 7,034 | -0,05 | -0,37 | 7,044 | -0,86 | -6,99 | -24,2 | -0,04 | -5554 |
| 200 | 0,091 | 0,552 | 6,545 | 7,098 | -0,10 | -0,74 | 7,136 | -1,74 | -6,92 | -24,1 | -0,07 | -5589 |
| 210 | 0,098 | 0,595 | 6,579 | 7,174 | -0,15 | -1,09 | 7,257 | -2,64 | -6,76 | -23,9 | -0,11 | -5617 |
| 220 | 0,109 | 0,662 | 6,555 | 7,217 | -0,20 | -1,43 | 7,356 | -3,55 | -6,44 | -23,6 | -0,15 | -5597 |
| 230 | 0,125 | 0,757 | 6,404 | 7,161 | -0,23 | -1,70 | 7,360 | -4,39 | -5,90 | -23,1 | -0,18 | -5468 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 240 | 0,146 | 0,888 | 6,042 | 6,930 | -0,26 | -1,87 | 7,179 | -5,06 | -5,09 | -22,3 | -0,21 | -5159 |
| 250 | 0,176 | 1,069 | 5,384 | 6,453 | -0,29 | -1,91 | 6,728 | -5,41 | -4,00 | -21,2 | -0,22 | -4597 |
| 260 | 0,218 | 1,328 | 4,360 | 5,689 | -0,30 | -1,77 | 5,957 | -5,30 | -2,73 | -19,9 | -0,22 | -3723 |
| 270 | 0,280 | 1,703 | 2,937 | 4,640 | -0,31 | -1,47 | 4,866 | -4,64 | -1,47 | -18,7 | -0,19 | -2508 |
| 280 | 0,366 | 2,225 | 1,134 | 3,360 | -0,30 | -1,04 | 3,518 | -3,49 | -0,45 | -17,6 | -0,14 | -968 |
| 290 | 0,493 | 2,997 | -0,97 | 2,027 | -0,29 | -0,60 | 2,114 | -2,11 | 0,131 | -17,1 | -0,09 | 828 |
| 300 | 0,699 | 4,254 | -3,25 | 1,007 | -0,26 | -0,27 | 1,043 | -1,01 | 0,268 | -16,9 | -0,04 | 2772 |
| 310 | 1,037 | 6,308 | -5,54 | 0,770 | -0,23 | -0,18 | 0,792 | -0,71 | 0,355 | -16,8 | -0,03 | 4729 |
| 320 | 1,568 | 9,539 | -7,68 | 1,862 | -0,20 | -0,37 | 1,898 | -1,48 | 1,190 | -16,0 | -0,06 | 6555 |
| 330 | 2,417 | 14,699 | -9,51 | 5,189 | -0,15 | -0,79 | 5,249 | -3,28 | 4,098 | -13,1 | -0,13 | 8120 |
| 340 | 3,933 | 23,920 | -10,9 | 13,01 | -0,10 | -1,35 | 13,08 | -5,72 | 11,76 | -5,42 | -0,23 | 9317 |
| 350 | 6,754 | 41,076 | -11,8 | 29,29 | -0,05 | -1,54 | 29,33 | -6,60 | 28,57 | 11,39 | -0,27 | 10067 |
| 360 | 9,584 | 58,290 | -12,1 | 46,20 | 0 | 0 | 46,20 | 0 | 46,20 | 29,01 | 0 | 10322 |
| 370 | 10,62 | 64,583 | -11,8 | 52,79 | 0,052 | 2,767 | 52,87 | 11,89 | 51,51 | 34,32 | 0,488 | 10067 |
| 380 | 8,482 | 51,587 | -10,9 | 40,68 | 0,103 | 4,216 | 40,89 | 17,87 | 36,78 | 19,59 | 0,733 | 9317 |
| 390 | 5,872 | 35,715 | -9,51 | 26,21 | 0,151 | 3,996 | 26,51 | 16,56 | 20,70 | 3,510 | 0,679 | 8120 |
| 400 | 3,904 | 23,742 | -7,68 | 16,06 | 0,195 | 3,173 | 16,38 | 12,76 | 10,27 | -6,92 | 0,523 | 6555 |
| 410 | 2,737 | 16,649 | -5,54 | 11,11 | 0,233 | 2,637 | 11,42 | 10,21 | 5,122 | -12,1 | 0,418 | 4729 |
| 420 | 2,020 | 12,288 | -3,25 | 9,041 | 0,264 | 2,445 | 9,366 | 9,053 | 2,403 | -14,8 | 0,371 | 2772 |
| 430 | 1,543 | 9,387 | -0,97 | 8,417 | 0,287 | 2,486 | 8,776 | 8,759 | 0,542 | -16,6 | 0,359 | 828 |
| 440 | 1,230 | 7,481 | 1,13 | 8,615 | 0,301 | 2,679 | 9,022 | 8,949 | -1,14 | -18,3 | 0,367 | -968 |
| 450 | 1,020 | 6,202 | 2,937 | 9,139 | 0,306 | 2,890 | 9,585 | 9,139 | -2,89 | -20,1 | 0,375 | -2508 |
| 460 | 0,857 | 5,215 | 4,360 | 9,575 | 0,301 | 2,977 | 10,03 | 8,913 | -4,59 | -21,8 | 0,365 | -3723 |
| 470 | 0,723 | 4,399 | 5,384 | 9,783 | 0,287 | 2,890 | 10,20 | 8,204 | -6,06 | -23,2 | 0,336 | -4597 |
| 480 | 0,636 | 3,866 | 6,042 | 9,908 | 0,264 | 2,680 | 10,26 | 7,241 | -7,27 | -24,5 | 0,297 | -5159 |
| 490 | 0,574 | 3,491 | 6,404 | 9,895 | 0,233 | 2,349 | 10,17 | 6,070 | -8,16 | -25,3 | 0,249 | -5468 |
| 500 | 0,523 | 3,178 | 6,555 | 9,733 | 0,195 | 1,922 | 9,92 | 4,783 | -8,69 | -25,9 | 0,196 | -5597 |
| 510 | 0,476 | 2,896 | 6,579 | 9,475 | 0,151 | 1,445 | 9,585 | 3,486 | -8,93 | -26,1 | 0,143 | -5617 |
| 520 | 0,433 | 2,634 | 6,545 | 9,180 | 0,103 | 0,952 | 9,229 | 2,245 | -8,95 | -26,1 | 0,092 | -5589 |
| 530 | 0,392 | 2,387 | 6,505 | 8,892 | 0,052 | 0,466 | 8,904 | 1,085 | -8,84 | -26,0 | 0,044 | -5554 |
| 540 | 0,354 | 2,152 | 6,489 | 8,641 | 0 | 0 | 8,641 | 0 | -8,64 | -25,8 | 0 | -5540 |
| 550 | 0,316 | 1,923 | 6,505 | 8,428 | -0,05 | -0,44 | 8,439 | -1,03 | -8,38 | -25,6 | -0,04 | -5554 |
| 560 | 0,280 | 1,705 | 6,545 | 8,250 | -0,10 | -0,86 | 8,294 | -2,02 | -8,05 | -25,2 | -0,08 | -5589 |
| 570 | 0,246 | 1,497 | 6,579 | 8,076 | -0,15 | -1,23 | 8,169 | -2,97 | -7,61 | -24,8 | -0,12 | -5617 |
| 580 | 0,214 | 1,301 | 6,555 | 7,856 | -0,20 | -1,55 | 8,008 | -3,86 | -7,02 | -24,2 | -0,16 | -5597 |
| 590 | 0,185 | 1,123 | 6,404 | 7,527 | -0,23 | -1,79 | 7,736 | -4,62 | -6,21 | -23,4 | -0,19 | -5468 |
| 600 | 0,161 | 0,977 | 6,042 | 7,019 | -0,26 | -1,90 | 7,272 | -5,13 | -5,15 | -22,3 | -0,21 | -5159 |
| 610 | 0,154 | 0,936 | 5,384 | 6,320 | -0,29 | -1,87 | 6,590 | -5,30 | -3,92 | -21,1 | -0,22 | -4597 |
| 620 | 0,154 | 0,936 | 4,360 | 5,296 | -0,30 | -1,65 | 5,546 | -4,93 | -2,54 | -19,7 | -0,20 | -3723 |
| 630 | 0,154 | 0,936 | 2,937 | 3,873 | -0,31 | -1,22 | 4,062 | -3,87 | -1,22 | -18,4 | -0,16 | -2508 |
| 640 | 0,154 | 0,936 | 1,13 | 2,070 | -0,30 | -0,64 | 2,168 | -2,15 | -0,27 | -17,5 | -0,09 | -968 |
| 650 | 0,154 | 0,936 | -0,97 | -0,03 | -0,29 | 0,010 | -0,04 | 0,035 | 0,00 | -17,2 | 0,00 | 828 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 660 | 0,154 | 0,936 | -3,25 | -2,31 | -0,26 | 0,625 | -2,39 | 2,314 | -0,61 | -17,8 | 0,095 | 2772 |
| 670 | 0,154 | 0,936 | -5,54 | -4,60 | -0,23 | 1,092 | -4,73 | 4,228 | -2,12 | -19,3 | 0,173 | 4729 |
| 680 | 0,154 | 0,936 | -7,68 | -6,74 | -0,20 | 1,331 | -6,87 | 5,353 | -4,31 | -21,5 | 0,219 | 6555 |
| 690 | 0,154 | 0,936 | -9,51 | -8,57 | -0,15 | 1,307 | -8,67 | 5,419 | -6,77 | -24,0 | 0,222 | 8120 |
| 700 | 0,154 | 0,936 | -10,9 | -9,98 | -0,10 | 1,034 | -10,0 | 4,384 | -9,02 | -26,2 | 0,180 | 9317 |
| 710 | 0,154 | 0,936 | -11,8 | -10,9 | -0,05 | 0,569 | -10,9 | 2,445 | -10,6 | -27,8 | 0,100 | 10067 |
| 720 | 0,154 | 0,936 | -12,1 | -11,2 | 0 | 0 | -11,2 | 0 | -11,2 | -28,3 | 0 | 10322 |

Перевірка для таблиці 4.1:

Крутний момент за результатами теплового розрахунку, кН·м

$$\frac{M_i}{i} = \frac{30000}{\pi} N_i / n \quad (4.24)$$

$$\frac{M_i}{i} = \frac{30000}{3,14} \cdot 89,265 / 4200 = 0,192.$$

Середній момент, Н·м

$$M_{cp} = \frac{\sum_{i=0}^{71} M_{ikp}}{72} = 0,188. \quad (4.25)$$

Похибка, %

$$\delta = \frac{M_{cp} - \frac{M_i}{i}}{\frac{M_i}{i}} \cdot 100 \quad (4.26)$$

$$\delta = \frac{0,192 - 0,188}{0,188} \cdot 100 = 2,14.$$

Похибка не перевищує 5%.

Розрахунок навантажень на шатунні шийки та підшипники, побудова годографів їх навантажень

В однорядному двигуні шатунна шийка навантажена силою Q_A , яка в точці В замінюється силами T_A і Z_A , а також силою інерції P_{BL} маси шатуна, що рухається по колу. [5]

Радіальна складова навантаження на шийку, кН

$$Z_{ш} = Z_A - m_{BL} R \omega^2 10^{-3}. \quad (4.31)$$

Тангенціальна складова навантаження, кН

$$T_{ш} = T_A. \quad (4.32)$$

Повне навантаження на шатунну шийку, кН

$$K_{ш} = \sqrt{Z_{ш}^2 + T_{ш}^2}. \quad (4.33)$$

Одержані значення навантажень $T_{ш}$ та $Z_{ш}$ використовують для визначення навантажень на шатунний підшипник. Складові навантажень $R_{Z_{ш}}$ та $R_{T_{ш}}$ визначають за формулами

$$R_{Z_{ш}} = T_{ш} \cdot \sin(\varphi + \beta) + Z_{ш} \cdot \cos(\varphi + \beta); \quad (4.34)$$

$$R_{T_{ш}} = T_{ш} \cdot \cos(\varphi + \beta) - Z_{ш} \cdot \sin(\varphi + \beta). \quad (4.35)$$

Розрахунок навантажень на шатунну шийку та підшипник представлений у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Навантаження на шатунні шийку та підшипник

| φ | $\varphi+\beta$ | Z_A | $Z_{ш}$ | $T_{ш}$ | $K_{ш}$ | $R_{zш}$ | $R_{mш}$ |
|-----------|-----------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| °ПКВ | рад | кН | кН | кН | кН | кН | кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0 | -11,031 | -16,97 | 0 | 16,970 | -16,97 | 0 |
| 10 | 0,226 | -10,847 | -16,786 | -2,504 | 16,971 | -16,919 | 1,336 |
| 20 | 0,452 | -9,258 | -15,197 | -4,499 | 15,849 | -15,635 | 2,595 |
| 30 | 0,674 | -6,979 | -12,918 | -5,585 | 14,074 | -13,576 | 3,710 |
| 40 | 0,893 | -4,475 | -10,414 | -5,561 | 11,806 | -10,862 | 4,626 |
| 50 | 1,105 | -2,242 | -8,181 | -4,468 | 9,322 | -7,663 | 5,308 |
| 60 | 1,311 | -0,684 | -6,622 | -2,577 | 7,106 | -4,190 | 5,740 |
| 70 | 1,508 | -0,019 | -5,958 | -0,308 | 5,966 | -0,676 | 5,927 |
| 80 | 1,697 | -0,239 | -6,178 | 1,877 | 6,457 | 2,644 | 5,891 |
| 90 | 1,877 | -1,141 | -7,080 | 3,610 | 7,947 | 5,576 | 5,662 |
| 100 | 2,046 | -2,415 | -8,354 | 4,685 | 9,578 | 7,992 | 5,278 |
| 110 | 2,207 | -3,753 | -9,691 | 5,080 | 10,942 | 9,844 | 4,776 |
| 120 | 2,358 | -4,930 | -10,869 | 4,907 | 11,925 | 11,165 | 4,189 |
| 130 | 2,501 | -5,835 | -11,774 | 4,341 | 12,549 | 12,038 | 3,544 |
| 140 | 2,638 | -6,454 | -12,393 | 3,552 | 12,892 | 12,57 | 2,863 |
| 150 | 2,769 | -6,833 | -12,772 | 2,668 | 13,047 | 12,867 | 2,16 |
| 160 | 2,895 | -7,039 | -12,978 | 1,765 | 13,097 | 13,017 | 1,444 |
| 170 | 3,019 | -7,134 | -13,073 | 0,875 | 13,103 | 13,083 | 0,723 |
| 180 | 3,141 | -7,161 | -13,1 | 8,77 | 13,1 | 13,1 | 7,28 |
| 190 | 3,263 | -7,229 | -13,168 | -0,887 | 13,198 | 13,178 | -0,723 |
| 200 | 3,387 | -7,237 | -13,176 | -1,815 | 13,301 | 13,222 | -1,444 |
| 210 | 3,513 | -7,142 | -13,081 | -2,788 | 13,375 | 13,199 | -2,16 |
| 220 | 3,644 | -6,875 | -12,814 | -3,784 | 13,361 | 13,051 | -2,863 |
| 230 | 3,781 | -6,362 | -12,301 | -4,733 | 13,18 | 12,695 | -3,544 |
| 240 | 3,924 | -5,545 | -11,484 | -5,519 | 12,741 | 12,032 | -4,189 |
| 250 | 4,076 | -4,418 | -10,357 | -5,98 | 11,96 | 10,964 | -4,776 |
| 260 | 4,236 | -3,068 | -9,007 | -5,952 | 10,796 | 9,417 | -5,278 |
| 270 | 4,4 | -1,68 | -7,623 | -5,326 | 9,299 | 7,377 | -5,662 |
| 280 | 4,585 | -0,526 | -6,465 | -4,126 | 7,669 | 4,911 | -5,891 |
| 290 | 4,774 | 0,157 | -5,781 | -2,548 | 6,317 | 2,186 | -5,927 |
| 300 | 4,97 | 0,252 | -5,686 | -0,95 | 5,765 | -0,54 | -5,74 |
| 310 | 5,177 | -0,118 | -6,057 | 0,235 | 6,061 | -2,927 | -5,308 |
| 320 | 5,39 | -0,505 | -6,444 | 0,628 | 6,475 | -4,53 | -4,626 |
| 330 | 5,608 | -0,044 | -5,983 | 0,035 | 5,983 | -4,693 | -3,71 |
| 340 | 5,83 | 2,887 | -3,051 | -1,403 | 3,358 | -2,131 | -2,595 |
| 350 | 6,056 | 12,424 | 6,485 | -2,868 | 7,091 | 6,964 | -1,336 |
| 360 | 6,283 | 30,514 | 24,576 | -7,5 | 24,576 | 24,576 | -1,5 |
| 370 | 6,51 | 70,977 | 65,038 | 16,387 | 67,071 | 67,058 | 1,336 |
| 380 | 6,735 | 46,774 | 40,835 | 22,73 | 46,735 | 46,663 | 2,595 |
| 390 | 6,958 | 17,462 | 11,523 | 13,975 | 18,113 | 17,729 | 3,71 |
| 400 | 7,176 | 7,798 | 1,859 | 9,689 | 9,866 | 8,714 | 4,626 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 410 | 7,155 | 7,388 | 4,782 | -1,156 | 9,529 | 9,599 | 7,998 |
| 420 | 7,33 | 7,594 | 2,635 | -3,303 | 9,928 | 10,464 | 8,749 |
| 430 | 7,504 | 7,792 | 0,656 | -5,282 | 10,599 | 11,843 | 10,253 |
| 440 | 7,679 | 7,98 | -1,426 | -7,365 | 11,179 | 13,387 | 12,021 |
| 450 | 7,853 | 8,16 | -3,594 | -9,533 | 11,367 | 14,835 | 13,712 |
| 460 | 8,028 | 8,329 | -5,675 | -11,614 | 11,01 | 16,003 | 15,108 |
| 470 | 8,203 | 8,49 | -7,474 | -13,413 | 10,117 | 16,801 | 16,108 |
| 480 | 8,377 | 8,641 | -8,857 | -14,796 | 8,816 | 17,224 | 16,706 |
| 490 | 8,552 | 8,785 | -9,788 | -15,727 | 7,282 | 17,331 | 16,964 |
| 500 | 8,726 | 8,921 | -10,31 | -16,249 | 5,674 | 17,211 | 16,971 |
| 510 | 8,901 | 9,052 | -10,514 | -16,453 | 4,105 | 16,958 | 16,819 |
| 520 | 9,075 | 9,179 | -10,499 | -16,43 | 2,633 | 16,647 | 16,585 |
| 530 | 9,25 | 9,302 | -10,348 | -16,286 | 1,27 | 16,336 | 16,32 |
| 540 | 9,424 | 9,424 | -9,146 | -15,085 | 3,36 | 15,085 | 15,085 |
| 550 | 9,599 | 9,546 | -8,545 | -14,484 | -1,049 | 14,522 | 14,504 |
| 560 | 9,773 | 9,67 | -7,859 | -13,798 | -1,971 | 13,938 | 13,863 |
| 570 | 9,948 | 9,797 | -7,247 | -13,186 | -2,83 | 13,486 | 13,312 |
| 580 | 10,122 | 9,927 | -6,798 | -12,737 | -3,741 | 13,275 | 12,963 |
| 590 | 10,297 | 10,064 | -6,153 | -12,092 | -4,577 | 12,929 | 12,434 |
| 600 | 10,471 | 10,207 | -5,213 | -11,152 | -5,188 | 12,3 | 11,564 |
| 610 | 10,646 | 10,359 | -3,991 | -9,93 | -5,402 | 11,305 | 10,246 |
| 620 | 10,821 | 10,519 | -2,599 | -8,538 | -5,043 | 9,917 | 8,395 |
| 630 | 10,995 | 10,689 | -1,263 | -7,202 | -3,995 | 8,236 | 5,98 |
| 640 | 11,17 | 10,868 | -0,29 | -6,229 | -2,277 | 6,632 | 3,047 |
| 650 | 11,344 | 11,057 | 0,005 | -5,933 | -0,091 | 5,933 | -0,274 |
| 660 | 11,519 | 11,255 | -0,581 | -6,52 | 2,191 | 6,879 | -3,791 |
| 670 | 11,693 | 11,46 | -2,065 | -8,003 | 4,115 | 8,999 | -7,267 |
| 680 | 11,868 | 11,673 | -4,229 | -10,168 | 5,255 | 11,446 | -10,469 |
| 690 | 12,042 | 11,891 | -6,675 | -12,614 | 5,342 | 13,698 | -13,186 |
| 700 | 12,217 | 12,114 | -8,91 | -14,849 | 4,33 | 15,467 | -15,248 |
| 710 | 12,391 | 12,339 | -10,471 | -16,41 | 2,417 | 16,587 | -16,533 |
| 720 | 12,566 | 12,566 | -11,031 | -16,97 | 5,41 | 16,97 | -16,97 |

Годограф навантажень на шатунну шийку та підшипник представлений на рис.4.11 та рис.4.12 відповідно.

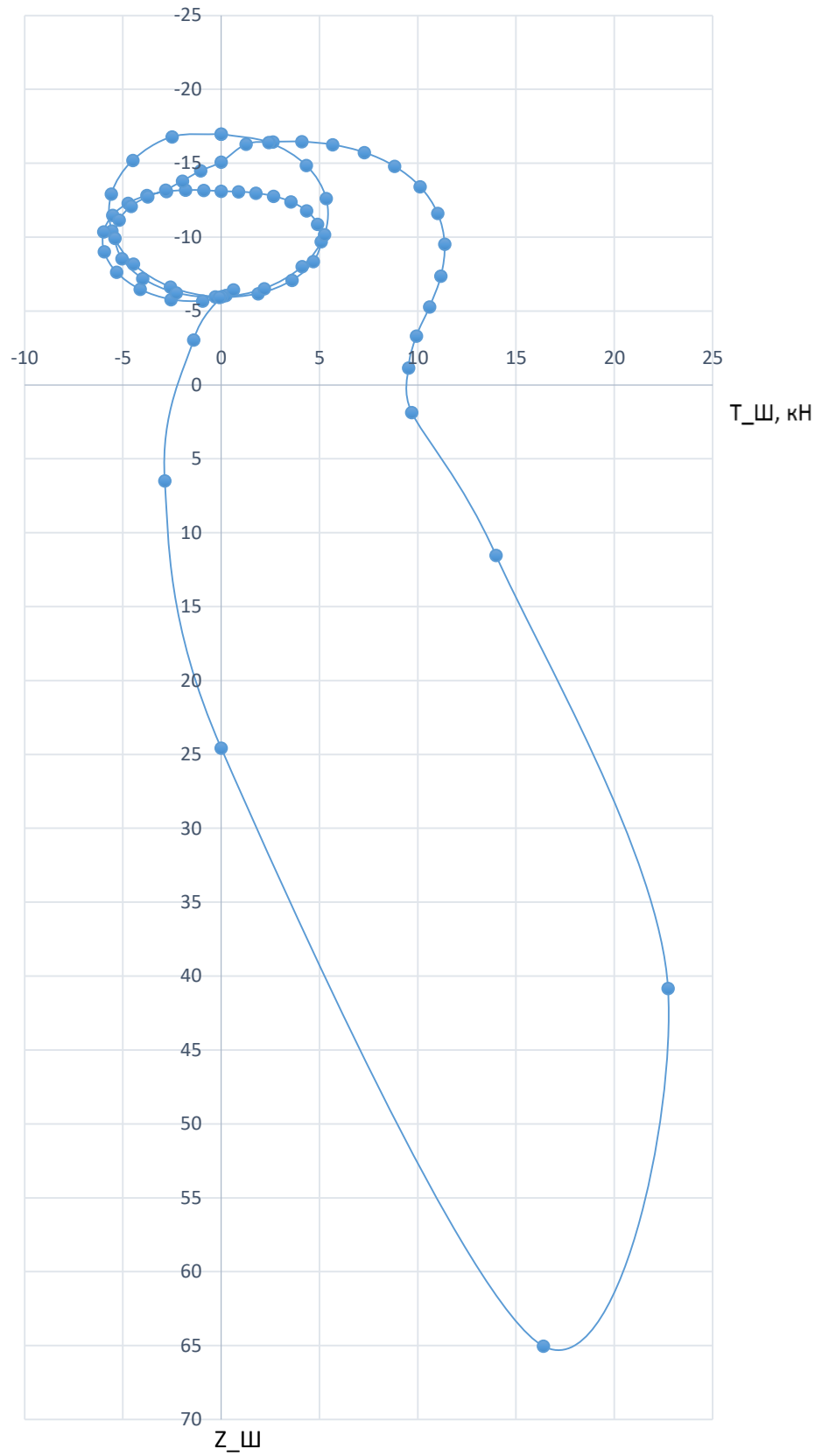


Рисунок 4.11 – Годограф навантажень на шатунну шийку

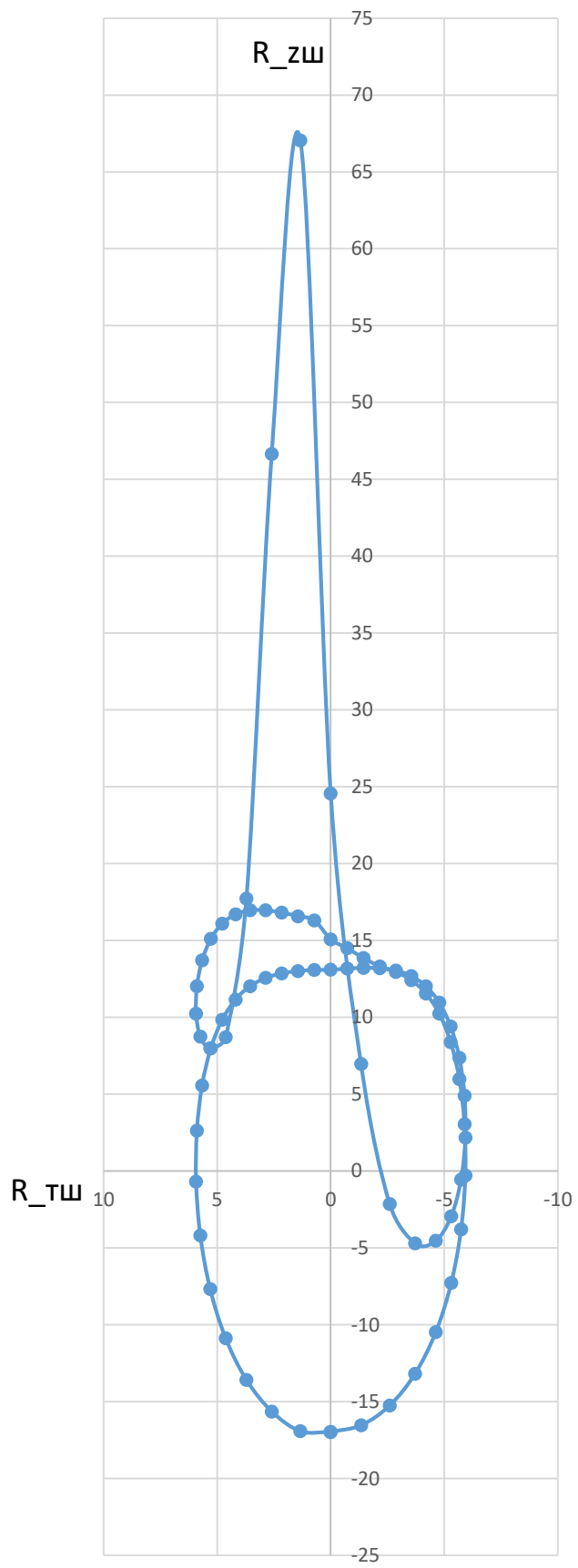


Рисунок 4.12 – Годограф навантажень на шатунний підшипник