Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
КАФЕДРА ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

# Прогнозування ресурсної міцності кромки камери згоряння поршня транспортного дизеля

*Виконав: ст-т Зозуля А.М. гр. Е-42бм(ТМ)*
*Керівник: доктор технічних наук, професор*
*Пылёв Владимир Александрович*

# Критерії надійності

**Надійність** – властивість об’єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Поняття надійності є найважливішою характеристикою якості ДВЗ, однак не вичерпує його, оскільки в це поняття не входять зручність обслуговування, дизайн і т.д.

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об’єкта і умов його застосування, може містити в собі довговічність, безвідмовність, ремонтопридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей.

**Довговічність** – властивість об’єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

*Стосовно ДВЗ довговічність це властивість двигуна зберігати працездатність до наставання граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й поточних ремонтів.*

*Граничний стан* ДВЗ визначається неможливістю його подальшої експлуатації (фізичною надійністю) або недопустимим зменшенням параметричної надійності (провалом потужності, економічності, токсичності, наприклад) чи вимогами безпеки, що обумовлено технічною документацією.

Поняття довговічності є однією з характеристик надійності ДВЗ, однак воно часто використовується як самостійний показник якості деталей чи вузлів, якщо відмова деталі чи вузла може виникнути тільки через появу одного, руйнуючого або зношувального показника, який залежить від умов експлуатації.

***Під ресурсною міцністю при цьому розуміють довговічність деталі, пов'язану з її міцністю, тобто фізичним граничним станом, який досягається в часі.***

**Безвідмовність** – властивість об’єкта виконувати потрібні функції у певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи напрацювання, тобто це властивість безперервно зберігати працездатність, що розуміється як відсутність вимушених зупинок ДВЗ у зв’язку з відмовами.

**Збережуваність** – властивість об’єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об’єкта виконувати потрібні функції підчас і після зберігання (чи) транспортування.

**Ремонтопридатність** – властивість об’єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту. Коротко – це властивість об’єкта бути пристосованим до виконання ремонтів його та технічного обслуговування.

**Готовність** – властивість об’єкта бути здатним виконувати потрібні функції в будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами. Підкреслимо, що перелічені вище поняття характеризують різні сторони надійності.

***Ступінь значущості кожного з них залежить від призначення двигуна та умов експлуатації двигуна.***

# Актуальність теми

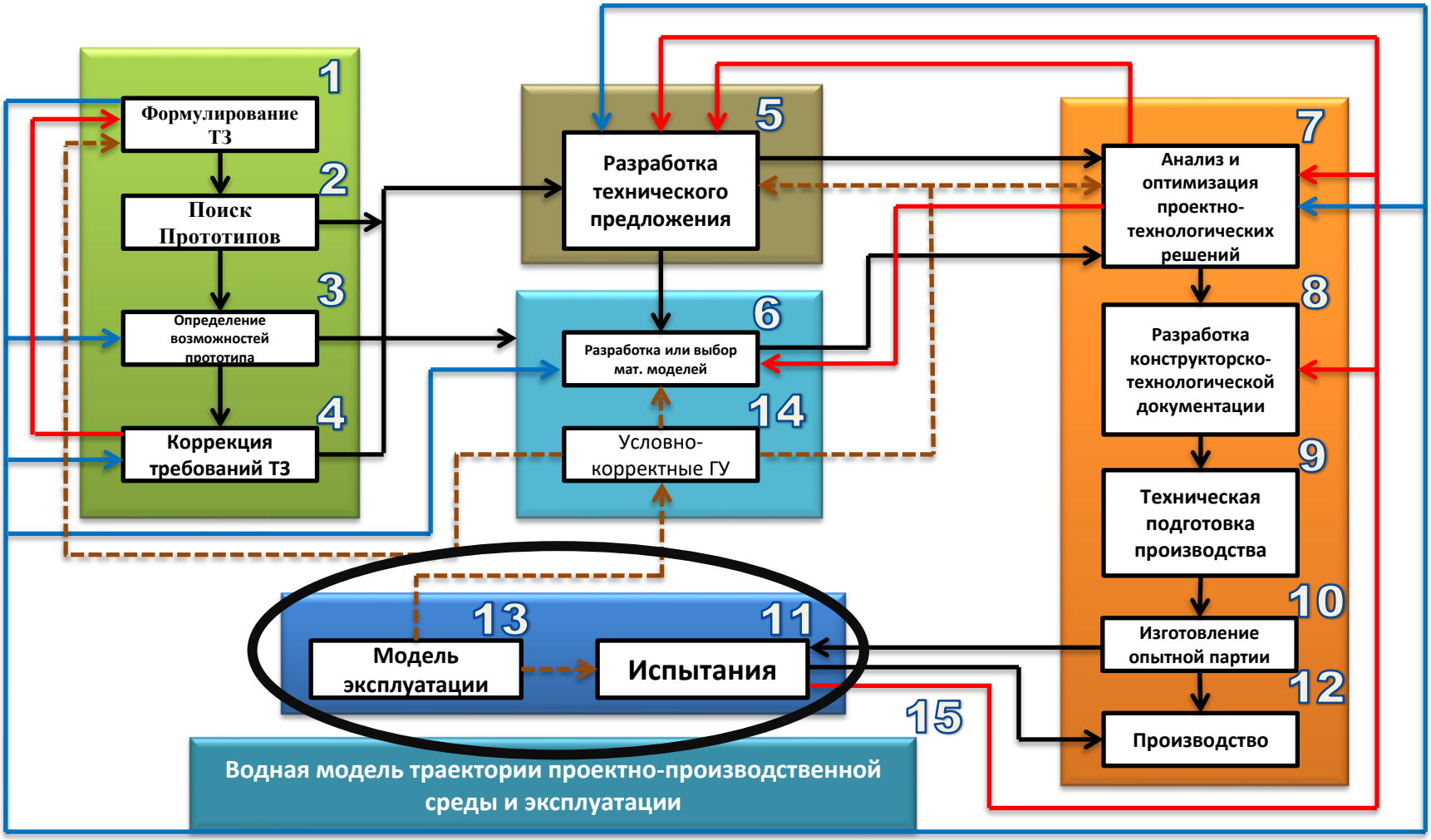
В експлуатації робота деталей циліндро-поршневої групи відбувається в умовах великих термічних і механічних навантажень. Втрата фізичної та параметричної надійності має місце для поршнів, гільз циліндрів, головок циліндрів, клапанів.

**У поршнів спостерігаються такі основні види граничного стану:**

- знос канавок поршневих кілець;
- знос бічної поверхні поршня;
- задири на голівці і тронці поршня;
- проплав днища;
- проплав бічної поверхні;
- злам канавок і поршневих кілець;
- ослаблення або обрив шпильок кріплення жароміцної накладки складових поршнів;
- тріщини кромки камери згоряння поршня і в його поглибленнях.

***На сьогодні проблема виникнення тріщин в кромці камери згоряння стає актуальною.***

# Маршрутизація підтримки ЖЦ поршня ДВЗ в проектно-виробничому середовищі САПР-АСТПП-АСПП




***Важливою задачею стає прогнозування ресурсної міцності кромки камери згоряння поршня транспортного дизеля за скороченим маршрутом проектування.***

# Загальний математичний вираз

Для виконання аналізу якості проекту, а також для удосконалення маршруту проектування слід звернутися до загального математичного виразу, що застосовується при проектуванні. Щодо поршня ДВЗ вираз має наступний вигляд:

$$f \xleftarrow{\mu_x} x, \xi_i,\ f \subset F,\ x \in X,\ \xi_i \in \Xi \subset \Psi,\ i=1,2\ldots N0. \qquad (1)$$

F – множина критеріїв якості конструкції, що проектується;

$f$ – критерій якості, що розглядається;

X – множина можливих варіантів конкуруючих конструкцій об’єкта проектування;

$x$ – вектор опису конструктивних параметрів поршня;

Ψ – множина можливих перехідних процесів двигуна;

Ξ – модель експлуатації двигуна певного призначення, $\Xi=\{\xi_1, \xi_2\ldots\xi_{N0}\}$;

$\xi_i$ – представницький перехідний процес двигуна у вибраній моделі експлуатації;

$\mu_x=\{\mu_{x1}, \mu_{x2}, \mu_{x3}\}$ – множина відповідних до $f$ математичних моделей;

$\mu_{x1}$ – модель теплопровідності;

$\mu_{x2}$ – модель термопружності;

$\mu_{x3}$ – модель ресурсної міцності теплонапруженої зони конструкції.

# Загальний математичний вираз

$$f \xleftarrow{\mu_x} x, \xi_i,\ f \subset F,\ x \in X,\ \xi_i \in \Xi \subset \Psi,\ i=1,2\ldots N0. \qquad (1)$$

Множина моделей $\mu_x(x, \Xi, y, f)$ в (1) зв'язує вхідні $x$, зовнішні $\Xi$, внутрішні $y$ та вихідні параметри $f$ об'єкта проектування.

В практиці проектування з метою швидкого отримання $f$ використовують ряд спрощень і припущень вмісту і значень $y$, $x$, $\Xi$, доходить навіть до $f$.

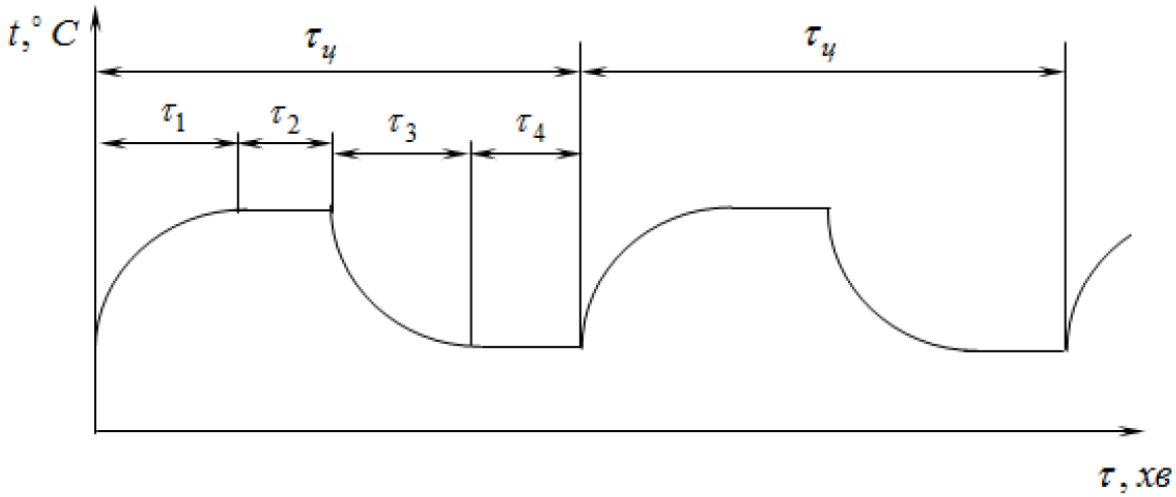
Допустимий рівень конкретизації спрощень та припущень параметрів $y$, $x$, $\Xi$ повинен гарантувати дотримання гарантованого забезпечення ресурсної міцності поршня $f$.

Проведене узагальнення можливих варіацій спрощення моделей, за допомогою яких визначають ресурсну міцність теплонапруженої зони камери згоряння поршня поршня, подано на наступному слайді.

# Варіації параметрів, формуючих моделі аналізу міцності поршня

| | | |
|---|---|---|
| Особливості геометричної моделі (деталізація $x$) | | |
| **Деталізована модель** | Спрощена модель | |
| ГУ стаціонарної задачі теплопровідності (деталізація і $\xi_i$ ) | | |
| Несиметричні ГУ | **Симетричні ГУ** | |
| Урахування частоти обертання колінчастого валу | Урахування літрової потужності | |
| Урахування кута випередження подачі палива | | |
| Сумісне урахування факторів | | |
| Функції керування ГУ нестаціонарної задачі теплопровідності (деталізація і $\xi_i$) | | |
| Гладка функція | Ступінчаста функція | |
| Особливості моделі експлуатації (деталізація $\Xi=\{\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_{N0}\}$) | | |
| Розгорнута модель $\Xi$ | Економічна модель, що враховує скорочений набір N0 представницьких перехідних процесів | **Найбільш важкий експлуатаційний перехідний процес $\xi_1$** |
| Особливості розрахункової моделі (деталізація $y$) | | |
| **Повна геометрична модель** | Частина геометричної моделі, що відсічена площиною, яка проходять віссю циліндра нормально або вздовж вісі колінчастого валу | Частина геометричної моделі, що відсічена площинами, які проходять віссю циліндра нормально та вздовж вісі колінчастого валу |

# Типовий низькочастотний цикл температурного навантаження певної зони поршня




$\tau_1$– перехідний процес накидання навантаження;

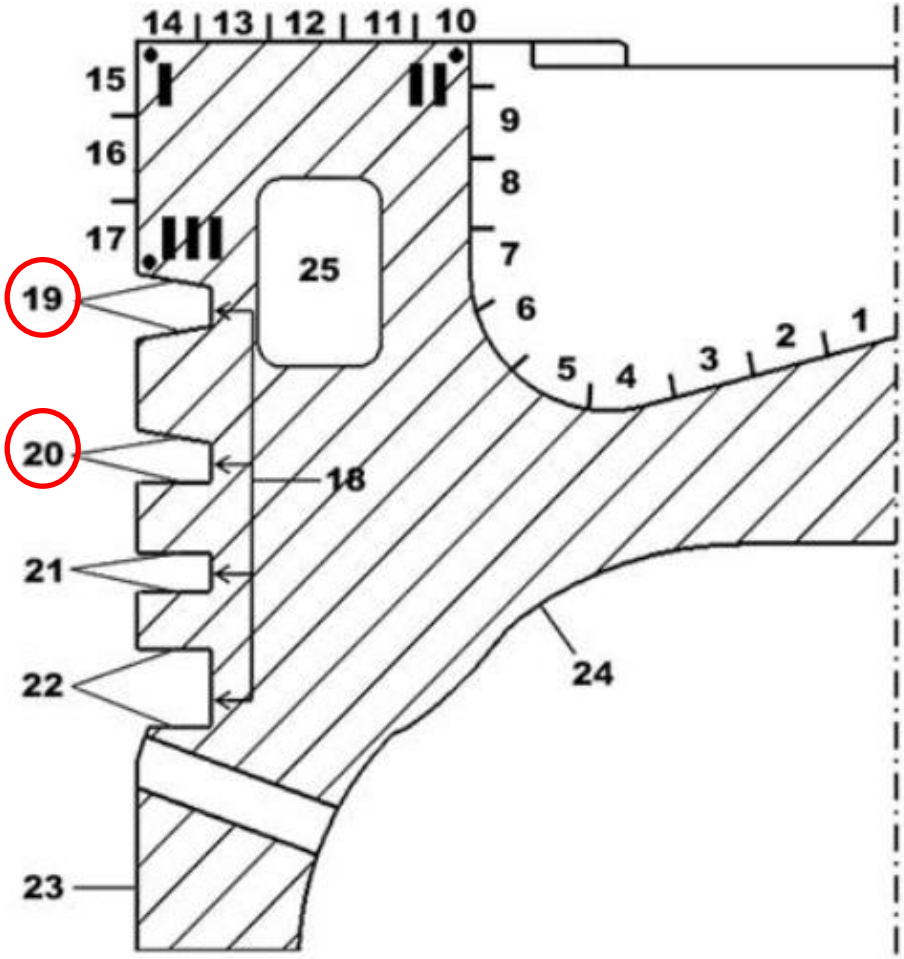
$\tau_2$– представницький сталий режим, на який здійснюється накидання навантаження;

$\tau_3$– перехідний процес скидання навантаження;

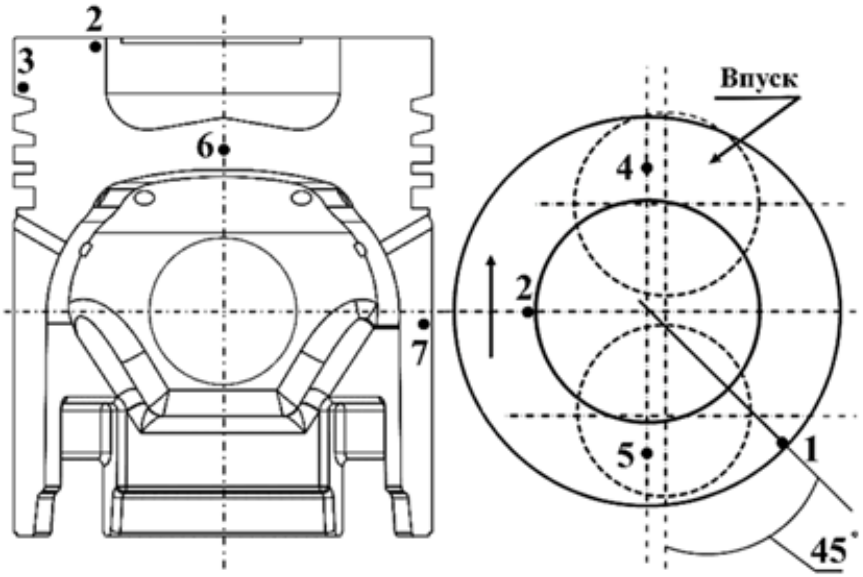
$\tau_4$– представницький сталий режим, на який здійснюється скидання навантаження;

$\tau_ц$ – тривалість одиничного низькочастотного циклу навантаження поршня

# Зони завдання ГУ задачі теплопровідності поршня



# Функція керування граничними умовами 3-го роду в зоні поршневих кілець




При накиданні навантаження:

- для першого поршневого кільця

$$\Phi_t(\tau) = 0{,}9055 + 0{,}001\tau - 6E-6\tau^2 + 1E-8\tau^3 \quad (2)$$

- для другого поршневого кільця

$$\Phi_t(\tau) = 0{,}8947 + 0{,}0017\tau - 1E-05\tau^2 + 3E-8\tau^3 \quad (3)$$

При скиданні навантаження:

- для першого поршневого кільця

$$\Phi_t(\tau) = 1{,}1157 - 0{,}0019\tau + 1E-5\tau^2 - 3E-8\tau^3 \quad (4)$$

- для другого поршневого кільця

$$\Phi_t(\tau) = 1{,}1104 - 0{,}0021\tau + 1E-5\tau^2 - 4E-8\tau^3 \quad (5)$$

Інтервал часу для всіх функцій однаковий [1,180) с.

# Значення ГУ задачі теплопровідності поршня дизеля 4ЧН12/14 при θ=24° ПКВ до ВМТ, $n_{хх}$=1500 хв$^{-1}$, $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$

| № зони | $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$ | | | $n_{хх}$=1500 хв-1 | | | $n_{ном}$ /$n_{хх}$ | | $n_{хх}$ /$n_{ном}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | α, Вт/м²К | t, °С | T, К | α, Вт/м²К | t, °С | T, К | α, Вт/м²К | T, К | α, Вт/м²К | T, К |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 200 | | | 79 | | | | | | |
| 2 | 212 | | | 84 | | | | | | |
| 3 | 224 | | | 88 | | | | | | |
| 4 | 233 | | | 92 | | | | | | |
| 5 | 242 | | | 95 | | | | | | |
| 6 | 249 | 862 | 1135 | 98 | 647 | 920 | 2,536 | 1,232 | 0,492 | 0,811 |
| 7 | 256 | | | 101 | | | | | | |
| 8 | 260 | | | 103 | | | | | | |
| 9 | 264 | | | 104 | | | | | | |
| 10 | 266 | | | 105 | | | | | | |
| 11 | 267 | | | 105 | | | | | | |

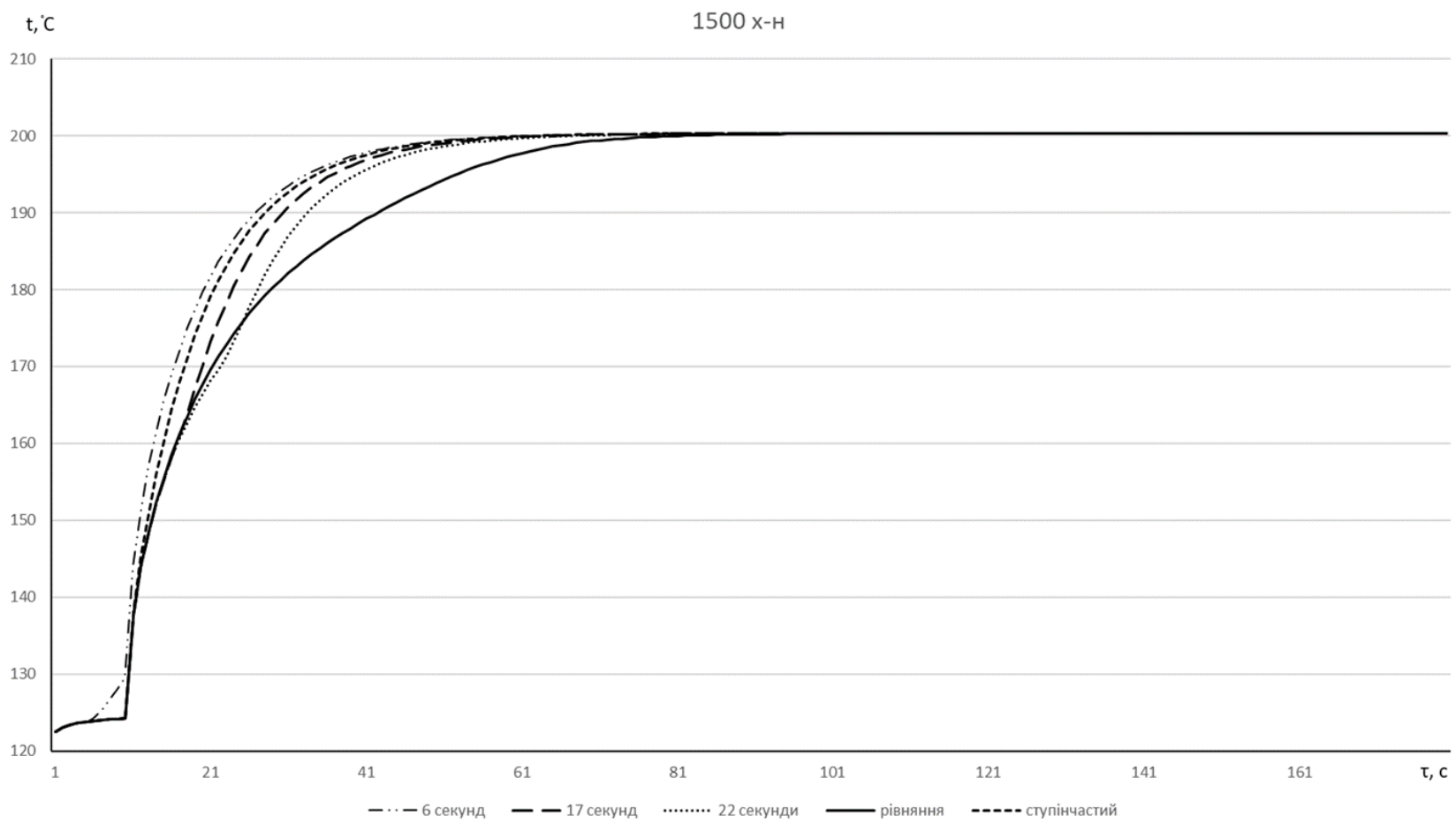
Закінчення таблиці

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 267 | 862 | 1135 | 105 | 647 | 920 | 2,536 | 1,232 | 0,492 | 0,811 |
| 13 | 266 | | | 105 | | | | | | |
| 14 | 263 | | | 104 | | | | | | |
| 15 | 156 | 431 | 704 | 101 | 324 | 597 | 1,549 | 1,179 | 0,645 | 0,847 |
| 16 | | 287 | 560 | | 215 | 488 | | 1,146 | | 0,872 |
| 17 | | 142 | 415 | | 107 | 380 | | 1,093 | | 0,914 |
| 18 | 188 | 135 | 408 | 121 | 99 | 372 | | 1,097 | | 0,910 |
| 19 | 16000 | 1 п. к. рівняння | | 16000 | 1 п. к. рівняння | | 1 | 1 п. к. | 1 | 1 п. к. |
| 20 | 12000 | 2 п. к. рівняння | | 12000 | 2 п. к. рівняння | | | 2 п. к. | | 2 п. к. |
| 21 | 6000 | 128 | 401 | 6000 | 89 | 362 | | 1,106 | | 0,904 |
| 22 | 3000 | 126 | 399 | 3000 | 84 | 357 | | 1,116 | | 0,896 |
| 23 | 500 | 124 | 397 | 500 | 76 | 349 | | 1,135 | | 0,880 |
| 24 | 2200 | 96,2 | 369,2 | 2200 | 76,7 | 349,7 | | 1,055 | | 0,947 |

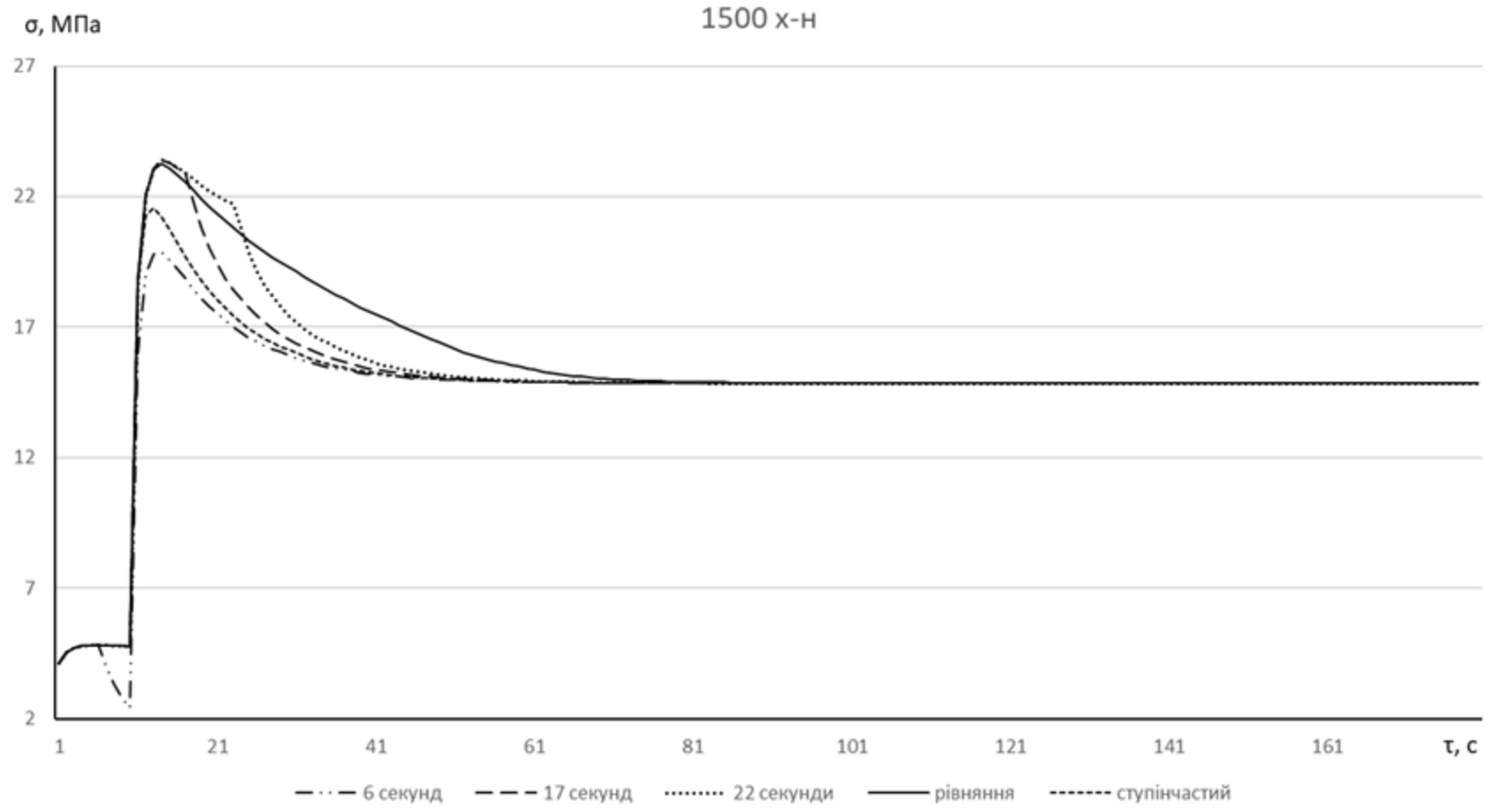
# Плавний перехід температури 1-го і 2-го поршневих кілець за рівнянням при заданому проміжку часу на перехідних режимах $n_{хх}$-$n_{ном}$ і $n_{ном}$-$n_{хх}$

| № зони 19-20 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| τ, с | $n_{хх}$ /$n_{ном}$ | | $n_{ном}$ /$n_{хх}$ | |
| | 1 п. к. | 2 п. к. | 1 п. к. | 2 п. к. |
| 0-10 | 0,907 | 0,912 | 1,097 | 1,103 |
| 15 | 0,9155 | 0,915 | 1,0875 | 1,097 |
| 20 | 0,924 | 0,92 | 1,078 | 1,086 |
| 30 | 0,941 | 0,93 | 1,059 | 1,065 |
| 40 | 0,958 | 0,94 | 1,04 | 1,044 |
| 50 | 0,975 | 0,95 | 1,021 | 1,023 |
| 60 | 0,98 | 0,96 | 1,002 | 1,002 |
| 70-180 | 0,98 | 0,96 | 1 | 0,980 |

# Графік порівнянь змін температур кромки поршня, за двома методами та зміщеннями часу ступінчастого переходу, при заданому часі на перехідному режимі $n_{хх}$-$n_{ном}$, коли $n_{хх}$=1500 хв$^{-1}$ $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$



# Графік порівнянь змін навантажень кромки поршня, за двома методами та зміщеннями часу ступінчастого переходу, при заданому часі на перехідному режимі $n_{хх}$-$n_{ном}$, коли $n_{хх}$=1500 хв$^{-1}$ $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$



# Модель втрати ресурсної міцності

$$d_{fs} = \sum_{j=1}^{N1} \frac{1}{N_{fj}^{(1)}} + \frac{1}{U^*} \sum_{j=1}^{N1} U_j^{(1)} \qquad (6)$$

Величини сумарних низькочастотних та високочастотних температур і термічних напружень в лінійній постановці визначено за спрощеною методикою

При накиданні навантаження:

$$t_k^{(j)} = \bar{t}_k^{(j)} + 0{,}7\Delta\tilde{t}^{(j)} \qquad (7)$$

$$\sigma_k^{(j)} = \bar{\sigma}_k^{(j)} - 0{,}7\Delta\tilde{\sigma}^{(j)}; \qquad (8)$$

При скиданні навантаження:

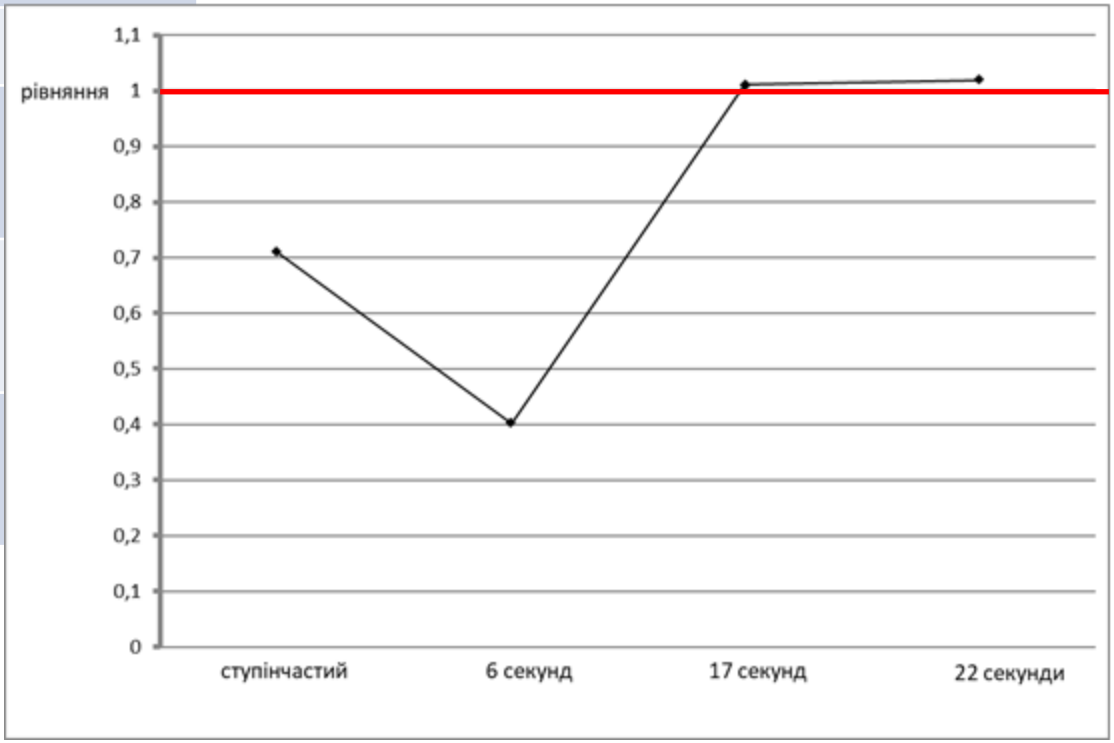
$$t_k^{(j)} = \bar{t}_k^{(j)} - 0{,}3\Delta\tilde{t}^{(j)}; \qquad (9)$$

$$\sigma_k^{(j)} = \bar{\sigma}_k^{(j)} + 0{,}3\Delta\tilde{\sigma}^{(j)}. \qquad (10)$$

# Результати розрахунку в програмі «Ресурс»

Отримані результати порівняння за двома методами та зсувами ступінчастого переходу, на перехідних режимах $n_{хх}$-$n_{ном}$, при $n_{хх}$=1500 хв$^{-1}$ $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$ **без урахування високочастотних коливань температури на поверхні КЗ**

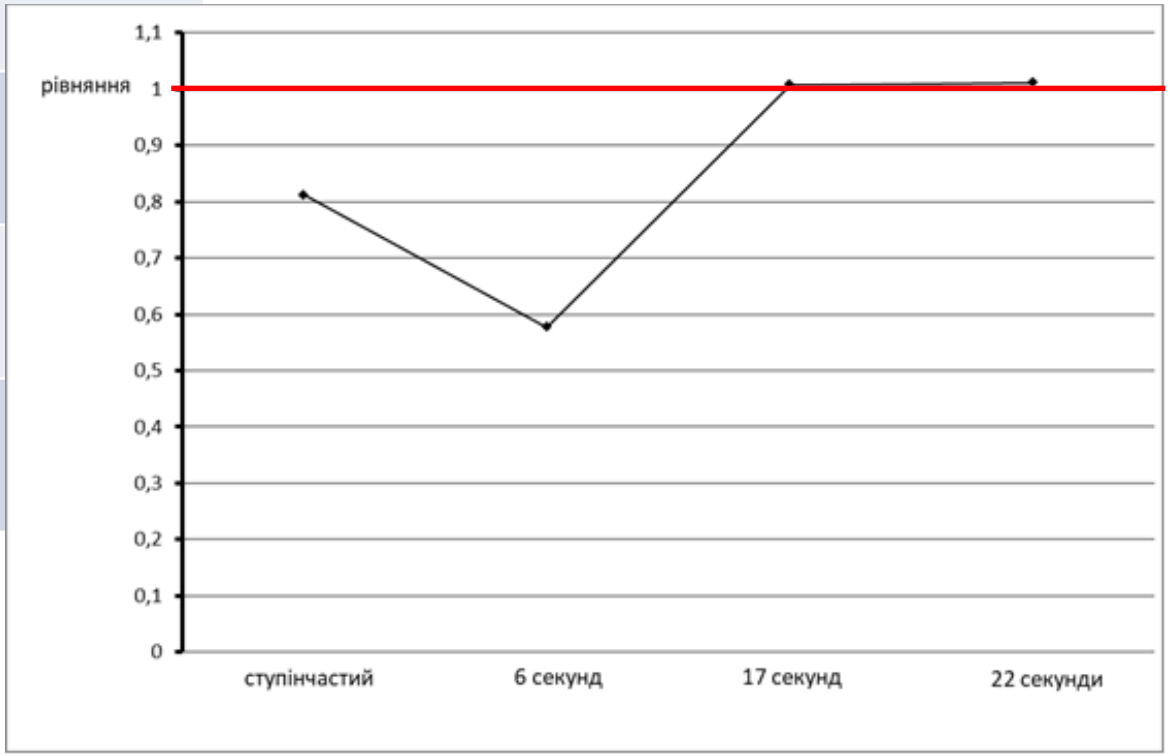
| Перехід | $d_{fs}$ | Співвідношення |
|---|---|---|
| **Рівняння** | **0,000468** | **1** |
| Ступінчастий | 0,000332 | 0,7095 |
| Ступінчастий з зсувом 6 секунд | 0,000188 | 0,4018 |
| Ступінчастий з зсувом 17 секунд | 0,000473 | 1,0107 |
| Ступінчастий з зсувом 22 секунд | 0,000477 | 1,0193 |



# Результати розрахунку в програмі «Ресурс»

Отримані результати порівняння за двома методами та зсувами ступінчастого переходу, на перехідних режимах $n_{хх}$-$n_{ном}$, при $n_{хх}$=1500 хв$^{-1}$ $n_{ном}$=1500 хв$^{-1}$
**з урахуванням високочастотних коливань температури на поверхні**

| Перехід | $d_{fs}$ | Співвідношення |
|---|---|---|
| **Рівняння** | **0,005411** | **1** |
| Ступінчастий | 0,004392 | 0,81168 |
| Ступінчастий з зсувом 6 секунд | 0,003122 | 0,57698 |
| Ступінчастий з зсувом 17 секунд | 0,005449 | 1,00703 |
| Ступінчастий з зсувом 22 секунд | 0,005474 | 1,01165 |



# ВИСНОВОК

У дипломному проекті було розглянуто питання прогнозування ресурсної міцності кромки камери згоряння поршня транспортного дизеля.
За основу були взяті данні поршня транспортного дизеля 4ЧН 12/14. Матеріал поршня – алюмінієвий сплав АК12М2МгН.

Було обґрунтовано критерії надійності і проаналізовано втрати фізичної надійності поршнів і можливі шляхи їх усунення. Особливу увагу приділили розгляду аналізу підходів до математичного моделювання ресурсної міцності кромки камери згоряння та аналізу якості проектування та маршрутизація аналізу термонапруженого стану поршня.

Було виконано 34 дослідження за допомогою програми SolidWorks і розглянуто напружений та температурний стан зони КЗ на різних перехідних режимах за запропонованим новим методом. Було вибрано оптимальний перехідний режим nxx-nном, при nxx=1500 хв$^{-1}$ nном=1500 хв$^{-1}$ і порівняно з базовим ступінчастим законом та його зсувами на 6, 17 і 22 секунди, у зоні 1-го і 2-го поршневих кілець.

Також були виконані 10 досліджень у програмному комплексі «Ресурс», спроектованому на нашій кафедрі. Дослідження проводилися з урахуванням високочастотних коливань температури на поверхні та без урахування.

# ВИСНОВОК

Усі проведені розрахунки дали нам змогу зрозуміти не ефективність нового методу. Хоча метод використання рівняння у зоні 1-го і 2-го поршневих кілець давав нам низькі температурні показники серед усіх, але в плані навантаження були одним з найвищих, що не задовільняє концепцію гарантованого забезпечення ресурсу. Однак актуальність даного напрямку залишається.

Економічно обґрунтовано ефективність розробки і застосування розглянутої математичної моделі розрахунку у програмі: конструктивних змін не було введено, тому початкові дані за базовим і за новим методами були одинакові, річний економічний ефект у виробника вийшов 32478,49, а річний економічний ефект у споживача не розраховувався оскільки базова модель вийде з ладу раніше і будуть додаткові збитки на ремонт. Виходячи з цього отриманий результат не є остаточним.

Норми охорони праці і навколишнього середовища та цивільного захисту цілком дотримані за стандартами, законами, правилами і кодексом цивільного захисту України.

Дякую за увагу !