

ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА
АРХІТЕКТУРИ

Інститут, факультет Навчально-науковий ін-т інноваційно-освітніх технологій

Кафедра експлуатації та ремонту машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва)

Освітня програма ОПП «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

к.т.н. Олександр Лиходій

«06» жовтня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Івану МАНЗА

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Тепловий розрахунок режиму обкатки ДВЗ

керівник роботи д.т.н., професор Володимир ЗАРЕНБІН

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора від «06» жовтня 2020 року № 459-КС

2. Строк подання роботи до захисту 03 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Діючий режим обкатки ДВЗ

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Стан питання і задачі дослідження. Принята методика розрахунку теплового режиму обкатки. Тепловий розрахунок діючого режиму обкатки двигуна 8Ч 13/14 при ремонті. Вибір скороченого режиму обкатки. Загальні висновки. Список використаних джерел. Відомість кваліфікаційної роботи.

5. Консультанти розділів проекту

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунково-пояснювальна записка:</i>		
1.1	<i>Вступ</i>	до 15.09	
1.2	<i>Стан питання і задачі дослідження</i>	до 31.09	
1.3	<i>Прийнята методика розрахунку теплового режиму обкатки</i>	до 05.10	
1.4	<i>Тепловий розрахунок діючого режиму обкатки двигуна 8Ч 13/14 при ремонті</i>	до 20.10	
1.5	<i>Вибір скороченого режиму обкатки</i>	до 25.10	
1.6	<i>Загальні висновки</i>	до 31.10	
2	<i>Список використаних джерел</i>		
3	Оформлення кваліфікаційної роботи	до 01.12	
4	Підготовка до попереднього захисту роботи	до 10.12	

Здобувач вищої освіти _____ / Іван МАНЗА /
(підпис) (імя та прізвище)

Керівник роботи _____ / Володимир ЗАРЕНБІН /
(підпис) (імя та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему: «*Тепловий розрахунок режиму обкатки ДВЗ*» складається із 61 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділи, 3 таблиці, 18 рисунків, 20 джерел інформації.

Об'єкт дослідження – дизельний двигун під час капітального ремонту

Предмет дослідження – температурні розрахунки в умовах обкатки дизельного двигуна під час капітального ремонту

За мету кваліфікаційної роботи прийнято тепловий розрахунок режиму обкатки ДВЗ

Наукова новизна отриманих результатів - уточнення методики розрахунку режиму обкатки двигуна.

В роботі «Тепловий розрахунок режиму обкатки ДВЗ» розглядається питання виконання за новою методикою теплового розрахунку діючого режиму обкатки дизельного двигуна під час капітального ремонту . Встановлено, що на усіх етапах прироблення максимальна температура в парі тертя «гільза циліндра-поршневе кільце» менша за критичну, тому режим обкатки є безпечним відносно можливого заїдання. Рекомендований режим обкатки двигуна, при якому загальний час прироблення скорочується на 24%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ОБКАТКА, РЕЖИМ, ГІЛЬЗА ЦИЛІНДРА, ТЕМПЕРАТУРА ТЕРТЯ.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
1. СТАН І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	5
2.ПРИНЯТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ	16
2.1. Основні положення.	16
2.2.Модель мікроконтакту та розрахункові формули.	18
3 .ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДІЮЧОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ ДВИГУНА 8Ч 13/14 ПРИ РЕМОНТІ	26
3.1. Діючий режим обкатки дизельного двигуна.	26
3.2. Блок-схема алгоритму теплового розрахунку.	29
3.3. Результати розрахунків.....	32
4. ВИБІР СКОРОЧЕНОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ.....	53
5. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	60

ВСТУП

Обкатка двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є завершальною операцією, яка має істотний вплив на працездатність автомобілів. Аналіз виконаних робіт показує, що пошук шляхів інтенсифікації процесів прироблення проходить в основному в 3-х напрямках: конструктивному, технологічному та експлуатаційному. Третій (експлуатаційний) шлях продовжує зберігати своє значення. Особливу зацікавленість набуває вивчення раціональних швидкісних, навантажувальних і температурних режимів при обкатці двигунів. Теоретичному обґрунтуванню оптимальних режимів приробки присвячено багато робіт, проте в них не передбачено визначення температурних характеристик тертя. Цей недолік можна усунути, якщо використовувати можливості теплового розрахунку на заїдання і температурного критерію Блоку.

Мета роботи - виконати тепловий розрахунок пари тертя «поршневе кільце-гільза циліндра» в умовах діючого режиму обкатки дизельного двигуна під час капітального ремонту двигунів. Результати роботи можуть бути використані при пошуку шляхів оптимізації обкатки ДВЗ.

1. СТАН І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обкатка двигунів є найважливішою операцією, що завершує технологічний процес ремонту і дозволяє оцінити його якість. Проведення обкатки двигунів по оптимальних режимах мінімізує початковий знос, зменшує або взагалі усуває обкатку автомобілів, підвищує їх надійність і довговічність в експлуатації [1...4, 15].

У зв'язку з цим обкатці двигунів приділяється серйозна увага і її подальше удосконалення є актуальним завданням для науковців і фахівців авторемонтних і автотранспортних підприємств.

Дослідженню процесів обкатки ДВЗ присвячено багато вітчизняних і закордонних робіт, у яких утримується значний обсяг інформації по різних аспектах розглянутої проблеми. Найбільш докладний огляд по припрацюванню деталей викладений у роботах [7...11]. У результаті цих досліджень визначені основні фактори, що впливають, і оптимальні шорсткості тертьових поверхонь, знайдені способи скорочення тривалості приробки, виявлена роль мастила й окремих присадок до нього, проведені розрахункові дослідження режимів обкатки, розкриті деякі механізми фізико-хімічних і хімічних явищ, що відбуваються у вузлах тертя двигунів.

Аналіз виконаних робіт показує, що вишукування шляхів інтенсифікації процесів прироблення проходить в основному в 3-х напрямках: конструктивному, технологічному і експлуатаційному.

До заходів першого напрямку можна віднести : вибір матеріалів пар тертя, створення умів охорони рідинного мастила, застосування конструктивних форм деталей, що забезпечують бажану «механіку контакту», підтримку оптимальних температурних режимів і так далі. До теперішнього часу в цьому напрямі виконаний ряд важливих

досліджень, що привели до практичних результатів. До другого (технологічного) напрямки відносяться такі заходи, як: підвищення точності виготовлення і зборки зв'язаних деталей і вузлів, застосування досконалих способів обробки поверхонь тертя, нанесення металізацією, хімічними електрохімічними способами різних покриттів, використання олій з присадками. У цьому напрямі проведені численні дослідження і виявлені найбільш ефективні заходи.

Добре зарекомендував себе спосіб вібраційного обкатування гільз з подальшим сульфоцианированием, що забезпечує отримання регулярного мікрорельєфу, оптимального з точки зору контактної взаємодії і маслостійкості поверхонь, що труться. Доцільне нарізування на робочі поверхні кілець і гільз безперервних гвинтових канавок змінної глибини за допомогою вібруючого різця [5, 6, 15].

Широке поширення для прискорення прироблення деталей і попередження задирів отримали покриття кілець, що наносяться хімічним і електрохімічним способами: лудіння, кадміювання, міднення, фосфатування, сульфідкування, сульфоцианирование, залізнення, оксидування, графітування і т. д. Позитивною властивістю сульфідних покриттів є їх здатність при терті і зносі виділяти сірку, яка сприяє ковзанню і запобігає задирам в умовах граничного тертя. М'які припрацьовані шари особливо ефективні при використанні твердих покриттів на поршневих кільцях [7, 14, 15].

Значний інтерес представляють дослідження, присвячені вивченню впливу на обкатку двигунів присадок до олій, палива і повітря [5, 6, 11]. З присадок, прискорюючих прироблення за рахунок інтенсифікації абразивного зносу, слід зазначити присадки до палива, в яких використовуються органічні сполуки алюмінію і хрому. При згоранні розчинні в паливі з'єднання металів перетворюються на

мелкодисперсные абразивні частки. Присадка до палива АЛП-2, що містить активний компонент у вигляді органічної сполуки алюмінію, спільно з обкатувальним мастилом ОМ-2, показала достатню ефективність і знайшла практичне використання для прискореної обкатки тракторних двигунів.

Багато дослідників продовжують вивчати можливість застосування при обкатці двигунів дисульфиду молібдену. Маючи хорошу хімічну стабільність, він утворює на поверхнях, що труться, плівку, здатну витримувати питомі тиски в межах 650.2300 МПа. Дисульфід молібдену, як і графіт, має шарувату структуру і легко розшаровується по площинах спайності. Згідно з відомостями [5, 11], добавка 4% присадки дисульфиду молібдену в олію зменшує знос поршневих кілець на 30.50% . З іншого боку, відзначається відсутність помітного впливу дисульфиду молібдену на початковий знос і потужність тертя. Не виключений рекламний характер літературних матеріалів, тому потрібне розширення досліджень по дисульфиду молібдену.

Надзвичайно широкий спектр присадок, що містять поверхнево-активні речовини [5, 10, 13]. Теоретичною передумовою для застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) служить ефект адсорбційного пониження міцності металів (ефект Ребиндера) і інверсія мастильної дії полярно-активних молекул. У роботах [4, 13] досліджені різні присадки, що містять сірку, до олій. Детально і докладно викладений вплив ПАР на механізми фізико-хімічних явищ в роботах [4, 9, 13] .

Багато двигунобудівельних заводів систематично застосовують спеціальні обкатувальні мастила в серійному виробництві. Враховуючи ускладнення технології і збільшення витрат праці в авторемонтному виробництві ставиться під сумнів необхідність використання

обкатувальних мастил з присадками сірки при капітальному ремонті ДВЗ.

Третій (експлуатаційне) напрям інтенсифікації процесів прироблення включає вибір раціональних швидкісних, навантажень і температурних режимів при обкатці двигунів. Обкатку ДВС можна робити із застосуванням як ступінчастої, так і безступінчатої зміни навантаження і частоти обертання. Питання про найбільш вигідну динаміку зміни етапів прироблення є дискусійним. Суперечливі дані досліджень можна пояснити конструктивною відмінністю випробовуваних двигунів і дією численних впливаючих чинників.

Вдосконалення процесів обкатки дизелів з метою скорочення термінів її проведення і зменшення що витрачаються при цьому електроенергії і палива розглянуто в роботі [14]. У ній аналізуються можливості інтенсифікації процесу обкатки високооборотного дизеля на окремих стадіях цього процесу. На першій стадії обкатки відбувається мікрометричне прироблення шляхом згладжування локальних нерівностей пар, що труться, при цьому можлива поява різкого зростання питомих навантажень в окремих зонах поверхонь, що приробляються, і мікрозадирів. Скорочення тривалості цієї стадії обкатки досягається застосуванням моторних мастил з протизадірними присадками, а також покриттів, що підвищують антязадірні властивості поверхонь, що труться. У другій стадії процесу обкатки робиться взаємне прироблення поверхонь пар (макрогеометричні прироблення), що труться, Прискорення процесу обкатки при цьому можливо шляхом раціонального вибору геометричних параметрів деталей, що сполучаються, і оптимальних проміжків в сполученнях. Із-за підвищеного тепловиділення в парах, що приробляються, при обкатці

рекомендується температури олії в системі мастила ДВС знижувати приблизно в 2 рази в порівнянні з експлуатаційним рівнем. При обкатці високооборотних дизелів застосовується багатоступінчастий режим вантаження. Про завершення необхідного прироблення основних пар, що труться, судили по стабілізації змісту в моторному мастилі металевих продуктів зносу за умови, що витрата палива і кількість газів, що прориваються в картер ДВС знаходяться в нормі. Тривалість усього періоду повної обкатки дизелів не перевищувала 4 години. Зменшення часу обкатки досягнуте шляхом раціонального вибору режимів обкатки і застосування високоефективних присадок мастила.

Теоретичному обґрунтуванню оптимальних режимів приробки присвячені роботи [8...11,16]. При розробці методу теоретичного розрахунку в роботах [8, 11] за основу узяті наступні положення: режим приробки ступінчастий. Вона проводиться при поступовому наростанні навантажень і частоти обертання від мінімальних значень до 0,8...0,85 від їх номінальних величин. Для визначення величин і характеру діючих на основні вузли тертя сумарних питомих навантажень від сил тиску газів і сил інерції робилося індицирування ДВЗ з подальшим динамічним розрахунком сил за цикл залежно від кута повороту колінчастого вала на кожному етапі усіх стадій прироблення. Методика розрахунку передбачала визначення режиму приробки по парах тертя: поршневе кільце-гільза, шатунова шийка-підшипник.

Тривалість кожного етапу прироблення і режиму в цілому, перевірка динаміки режиму робилася експериментальним шляхом з використанням методів «залізо в олії» і «ліній температур» поверхонь тертя деталей або олії картера. Розроблені режими обкатки пройшли перевірку в експлуатації і показали позитивні результати.

Трибологічні принципи призначення режимів обкатних випробувань двигунів викладені в роботі [8]. Автори думають, що для розробки трибологічно обґрунтованих режимів необхідно виявити умови реалізації ефективної приробки матеріалів, а також контролюючі ці умови критерії оцінки зміни зовнішніх навантажувальних факторів. Для забезпечення ефективної приробітки параметри зовнішнього впливу повинні призначатися таким чином, щоб:

а) не спостерігалось необоротних процесів, що супроводжуються підвищенням коефіцієнта тертя, тобто зовнішніми впливами повинні бути створені такі умови проходження приробітки, коли сполучення не одержують ушкоджень поверхонь і інтенсивно реалізуються процеси пристосовності;

б) не мали місце режими рідинного змащення, коли поверхні тертя повністю розділені шаром змащення й процеси приробки нездійсненні. Зовнішні впливи забезпечують ефективну приробітку в тому випадку, якщо робота сполучення буде відбуватися в режимі стійкого змішаного режиму тертя. Область ефективної приробітки з однієї сторони обмежується прямою, що характеризує досягнення на початку кожного шабля досягнення режиму змішаного змащення без переходу до граничного тертя. Іншої - режим обмежений областю рідинного тертя. Таким чином, реалізується така зміна зовнішніх параметрів, при яких сполучення, протягом всієї приробки, забезпечуються подібні умови контактування поверхонь при постійній відносній частці руйнування поділяючого шару змащення.

Автори вводять поняття запасу вантажопідйомності стосовно поточного навантаження.

$$\Delta P_i = k' \cdot \Delta P_{zi}, \quad k' = const$$

де

ΔP_i - приріст нормального навантаження на i - й ступені приробки ;

ΔP_{zi} - запас навантажувальної здатності сполучення на i -ой ступені приробки;

k' - відносна частка запасу навантажувальної здатності пари тертя.

Цей запас монотонно убуває з ростом навантаження приробки. Однак і сам запас і навантажувальна здатність, що досягається, визначаються режимом приробки. Із цього погляду режим зі щаблями росту початкової сили, що зменшуються, тертя є найбільш ефективним. У результаті проведення випробувань був отриманий режим зміни нормального навантаження в ході обкатки.

Зовнішня характеристика дизеля розглядалася як сукупність гранично можливих режимів роботи й границя заїдання сполучень. Таким чином, діапазон навантажень між зовнішньою характеристикою й режимом обкатки $[\Delta N_i]$ є запасом навантажувальної здатності сполучень до заїдання. При розробці режимів обкатних випробувань були встановлені дві критеріальні умови: по-перше, зберігалася необхідна інтенсивність росту гальмівної потужності при підтримці постійної відносної частини запасу навантажувальної здатності сполучень дизеля; по-друге, підтримувався постійний відносний запас потужності двигуна відповідно до його експлуатаційних характеристик:

$$\Delta N_i > \Delta N_{i+1} \quad \tau_{i+1} > \tau_i$$

$$\frac{\Delta N_i}{[\Delta N_{ij}]} = k = \text{const}$$

$$\frac{N_i + \Delta N_i}{\Delta N_i} = a' = \text{const}$$

На основі лабораторних досліджень закономірностей приробки матеріалів деталей тертя форсованих тепловозних дизелів, а також випробувань різних режимів обкатки на натурних двигунах у виробничих умовах розроблені трибологічно обґрунтовані режими обкатки дизелів після капітальних і поточних ремонтів. У результаті досліджень час обкатки скорочений на 30..60%, втрата палива й масла на 50%.

Концепція двоступінчатого прироблення сполучень машин, що труться, з позицій структурно-енергетичної теорії тертя викладена в роботі [5]. За оптимальний режим прироблення береться такий, коли на першому його етапі використовується властивість надпластичності вторинних структур I типу, а на другому - висока міра стабільності і міцності вторинних структур II типу. Швидкості ковзання, що забезпечують формування структур I і II типів для різних матеріалів і мастильних середовищ, встановлювалися в результаті попередніх тестових випробувань. Питомі навантаження варіювалися відповідно до навантажень, що прийнятими в практиці експлуатації конкретних деталей, забезпечують тертя без пошкоджуваності. Досвід застосування. В той же час, в роботі приведені тільки якісні узагальнюючі закономірності кінетики двоступінчатого прироблення показав її ефективність і доцільність утворення вторинних структур при двоступінчатого прироблення без відповідних формул, що містять

робочі параметри, властивості матеріалів і характеристики граничного мастила.

Незважаючи на очевидну важливість приведених теоретичних розробок, усі вони виходять з умови поступового наростання питомих навантажень на деталі зв'язаних пар в процесі їх прироблення і не передбачають визначення температурних характеристик тертя [9,16]. При такому підході залишається неясним, як оцінювати екстремальні умови прироблення, тобто режими роботи, здатні викликати заїдання деталей, що труться. До того ж само поняття «Поступового наростання навантаження» не отримало чіткого математичного опису або кількісного трактування. Це недолік можна усунути, якщо використовувати можливість запропонованого теплового розрахунку на заїдання і температурного критерію Блоку як обмежувального параметра при виборі сукупності умов навантажень і швидкісних прироблення. [19]

Логічно припустити, що треба прагне до максимальної зміни (наростання) частоти обертання і навантаження в ході прироблення, не допускаючи при цьому, щоб на кожному її етапі величини критерію заїдання перевершували критичні значення. У такому разі буде забезпечена мінімальна тривалість прироблення і відвернене заїдання деталей при терті, тобто досягнуте раціональне рішення по режиму обкатки ДВЗ. Дослідження критеріїв заїдання, крім того, сприяє комплексному підходу до оцінки умов тертя і зносу, полегшує узагальнення емпіричних даних по приробленню деталей ЦПГ ДВЗ. У зв'язку з чим, актуальним є подальше уточнення режимів обкатки двигунів внутрішнього згорання з урахуванням температур, що виникають на поверхнях зв'язаних деталей, що труться. Особливо це стосується ремонтних підприємств із-за їх недостатньої технологічної дисципліни і зниженої експлуатаційної надійності двигунів.

Виходячи з вищевикладеного, в пропонованій роботі ставилися наступні завдання:

- застосувати розроблену на кафедрі експлуатації і ремонту машин ПДАБА методику розрахунку температур тертя для оцінки температурного стану пар тертя при обкатці дизеля 8Ч 13/14;
- Виконати тепловий розрахунок пари тертя «поршневе кільце-гільза циліндра» в умовах діючого режиму обкатки дизельного двигуна під час капітального ремонту;
- Розробити рекомендації, що забезпечують зменшення витрату часу за належної якості деталей, які труться.

Висновки за розділом 1

- Вдосконаленню приробки ДВЗ присвячено достатньо робіт. Але ще низка кількість питань, які стосуються розрахунку теплового режиму обкатки ДВЗ, що ускладнює пошук оптимальних режимів роботи двигунів.
- Усі раніше викладені методи розрахунку обкатки ДВЗ не передбачають визначення температурних характеристик тертя. На кафедрі експлуатації і ремонту машин ПДАБА розроблена нова методика визначення раціональних режимів обкатки двигунів за температурним критерієм заїдання.
- Виходячи з вищевикладеного, сформульовані завдання магістерської роботи, що включають виконання за методикою кафедри ЕРМ теплового розрахунку діючого режиму обкатки дизельного двигуна 8Ч 13/14 під час капітального ремонту та розробку рекомендації, що забезпечує зменшення витрату часу за належної якості деталей, які труться.

2. ПРИНЯТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ

2.1. Основні положення.

З урахуванням вищевикладеного і досвіду проведених досліджень на кафедрі експлуатації і ремонту машин розроблена уточнена методика експериментально-теоретичного визначення раціонального режиму обкатки, яка ґрунтується на наступних положеннях :

- режим обкатки капітальновідремонтованого двигуна складається з холодного прироблення, прироблення на холостом ходу і прироблення під навантаженням;
- частота обертання колінчастого валу і навантаження змінюються ступінчасто при поступовому збільшенні від мінімальних до максимальних величин;
- температура на трибоконткті є найголовнішим чинником, що обумовлює протизадірну стійкість пар, що туться; без оцінки температур поверхонь тертя неможливо здійснити ефективно прироблення матеріалів;
- визначення необхідної динаміки навантажень і частоти обертання повинні здійснюватися за допомогою теплового розрахунку на заїдання і відомих експериментально-теоретичних методів оцінки теплового стану деталей;
- початкова частота обертання коленвалу приймається рівною $500...600 \text{ хв}^{-1}$;
- розрахунок режиму обкатки двигуна робиться по трибосопрязенню поршневе кільце-гільза циліндра.

Практична реалізація методики зводиться до оцінки максимальної температури поверхні тертя, яка знаходиться як сума середньої температури поверхні тертя і температури спалаху на фактичній плямі торкання. Умова заїдання відповідно до критерію Блоку набирає вигляду

$$t_{\max} = t_n + t_{всп} \cdot t_{кр}$$

де

t_{\max} - максимальна температура поверхні тертя;

t_n - середня температура поверхні тертя;

$t_{всп}$ - температура спалаху на фактичній плямі торкання;

$t_{кр}$ - критична температура для вибраного поєднання матеріалів пари, що треться, і моторного мастила.

Способи розрахунку t_n викладені в роботах [1, 4], проте з більшою достовірністю вона може бути визначена експериментально за допомогою термопар, встановлених на невеликій (до 0,5 мм) глибині від поверхні тертя.

Значення критичної температури $t_{кр}$ для окремих моторних мастил приведені в роботі [6], загалом же випадку потрібно проведення додаткових лабораторних досліджень або в якості першого наближення прийняти критичну температуру рівній сумарній температурі t_{\max} в кінці обкатки, не зухвалою заїдання поверхонь.

2.2. Модель мікроконтакту та розрахункові формули.

Для визначення температури спалаху використана модель мікроконтакту, представлена на рис. 2.1.

Мікровиступ поршневого кільця рухається зі швидкістю поршня $V_{ск}$ і вступає у взаємодію з мікровиступом гільзи циліндра. Передбачається, що обидві контактуючі поверхні покрито адсорбованими масляними плівками завтовшки δ . На фактичній плямі торкання під дією сил тиску газів і сил пружності кільця генерується питомий тепловий потік q , частина якого q_k передається поршневому кільцю, а інша частина q_c - гільзі циліндра.

Припущено, що плями фактичного торкання вилучені одне від іншого на значні відстані, тобто виключається взаємний вплив елементарних теплових потоків.

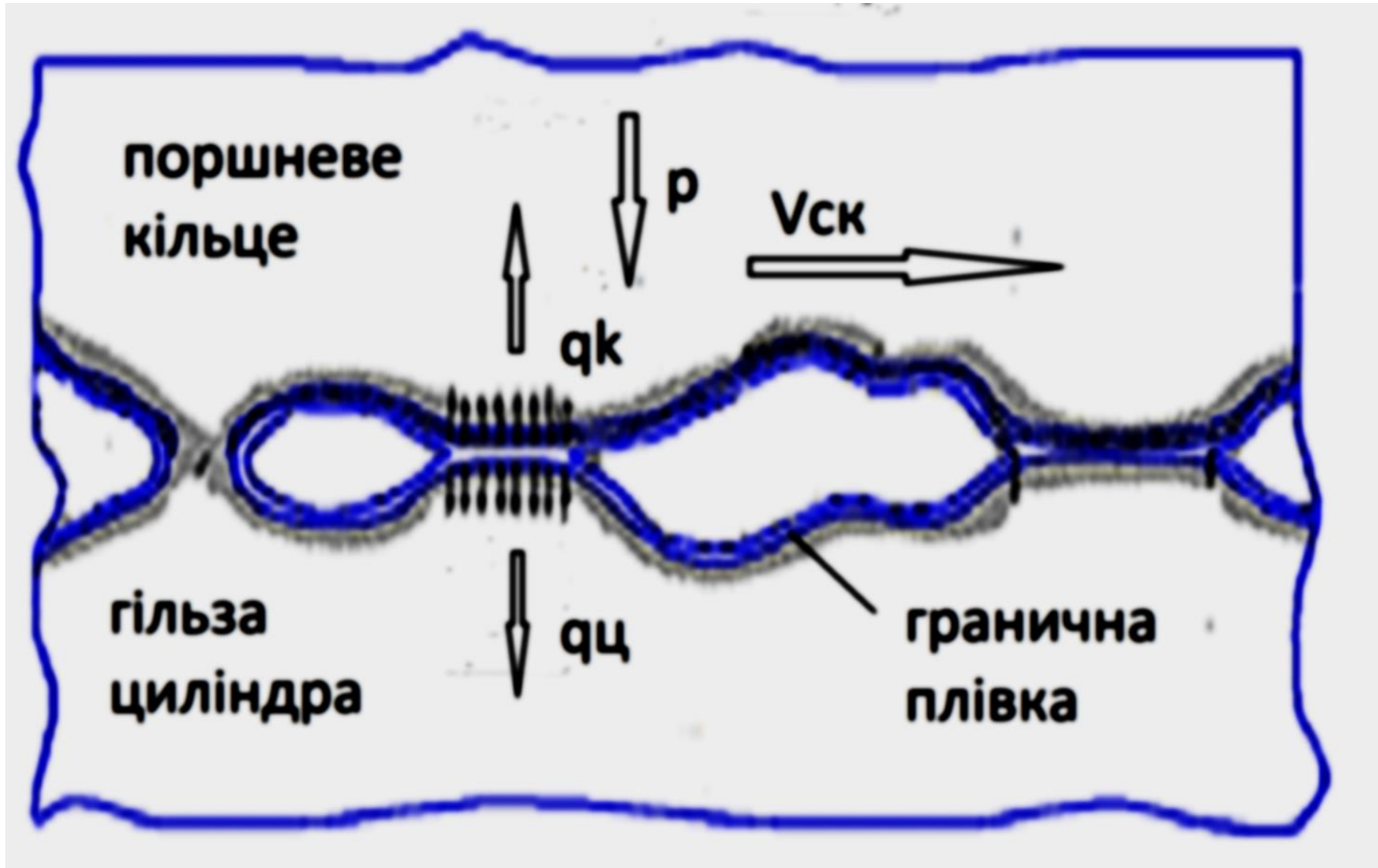


Рис. 2.1. Модель мікроконтакту при терті нерівностей гільзи циліндра і поршневого кільця в умовах граничного мастила.

Для спрощення розрахунків завдання про контакт двох шорстких поверхонь можна звести до випадку контакту гладкої і шорсткої поверхні шляхом введення еквівалентних величин параметрів кривої опорної поверхні [1]. Тоді, стосовно умов тертя пари «поршневе кільце-гільза циліндра» формулу для температури спалаху можна отримати, використовуючи рішення задачі теплопровідності для джерела тепла інтенсивністю q , напівпростору, що рухається по поверхні [12, 17. 18...20]:

$$t_{всп.ц} (Fo_{ц}, Pe) = \frac{(1 - a_{тп}) q d_c}{\lambda_{прц}} \cdot \Theta_{ц} (Fo_{ц}, Pe), \quad (2.1)$$

$$\Theta_{ц} (Fo_{ц}, Pe) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{2Fo_{ц}} \left[erf\left(\frac{1}{u}\right) \cdot \left[erf\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{2}uPe\right) - erf\left(\frac{-1}{u} + \frac{1}{2}uPe\right) \right] du \right]$$

$$Pe = \frac{V d_c}{2a_{прц}}; \quad Fo_{ц} = \frac{a_{прц} \tau}{d_c^2}; \quad (2.2)$$

де

$q = fr_{т} V_{ск} \alpha_{тп}$ – коефіцієнт розподілу теплових потоків;

$\lambda_{прц}$, $a_{прц}$ – відповідно приведені коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності ГЦ [6];

$V_{ск}$ - швидкість ковзання ПК,

p_f - фактичний тиск на контактi,

f - коефіцієнт тертя,

d_c - середній діаметр фактичної плями торкання,

τ - час.

За наявності граничної масляної плівки на контактi максимальна температура спалаху досягається тоді, коли глибина проникнення тепла буде рівній товщині граничної масляної плівки. В цьому випадку число

$$Fo_{cm} = 4a_{cm} \cdot \tau_{cm} / d_c^2,$$

де

$$\tau_{cm} = \frac{\delta_{cm}^2}{3a_{cm}},$$

a_{cm} - коефіцієнт теплопровідності МП.

Оскільки $Fo_{cm} \leq 2,5 \cdot 10^{-3}$, при якому температура спалаху не залежить від числа Re , то розрахункові формули істотно спрощуються

$$\Theta = 2 \sqrt{Fo_{cm}} / \sqrt{\pi}$$

$$t_{всп} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{(1 - \alpha_{тп}) q_{cm}}{\lambda_{cm}} \sqrt{a_{cm} \cdot \tau_{cm}}. \quad (2.3)$$

У нашому випадку в зоні граничного мастила коефіцієнт розподілу теплових потоків $\alpha_{тп}$ можна прийняти рівним 0,5.

У процесі тертя мають місце різні види фрикційних дій. Згідно робіт [5, 6, 13] **пластичний** контакт спостерігається при контурному тиску

$$P_{скр} = \frac{5,4^v}{2\Delta^v} \frac{HB^{2v+1} (1 + \mu^2)^{2v}}{E^{2v}},$$

де

Δ – комплексна характеристика шорсткості ;

v - параметр кривої опорної поверхні.

У цьому випадку:

фактичний тиск на контакті

$p_r \approx HB$, якщо $p_c \leq 1/3 HB_{ц}$;

середній діаметр плями торкання можна визначити по формулі

$$d_c = \frac{2^{1,5} r}{\sqrt{v}} \Delta^{0,5} \left(\frac{p_c}{HB_{ц}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

де $p_c = \frac{P_n A_n}{A_c}$ – контурний тиск на контакті.

Коефіцієнт тертя при пластичному контакті

$$f = \beta + 0,44 \Delta^{0,5} \left(\frac{2p_c}{HB_{ц}} \right)^{0,25},$$

де β_k – фрикційний параметр, що залежить від умов роботи сполучення.

Фактична площа контакту

$$A_r = \frac{P_n A_n}{HB_u} .$$

Для **пружного** контакту, тобто при $p_c \leq p_{c.кр}$

$$d_{cp} = \frac{2r}{\sqrt{\nu}} \left(\frac{2\sqrt{\pi}}{k_\nu} \Delta^\nu p_c \theta \right)^{\frac{1}{2\nu+1}} ,$$

де

$$\theta = \frac{1 - \mu_u^2}{E_u} + \frac{1 - \mu_\kappa^2}{E_\kappa} ;$$

$$k_\nu = \frac{\Gamma(\nu+1)}{\Gamma\left(\nu + \frac{3}{2}\right)}$$

$\Gamma(\nu)$ – Гамма-функція .

Фактичний тиск на контактi

$$p_r = p_c^{\frac{1}{2\nu+1}} \left(\frac{2^{\frac{1}{2\nu}} k_\nu \Delta^{0,5}}{\theta \sqrt{\pi}} \right)^{\frac{2\nu}{2\nu+1}}$$

Фактична площа контакту

$$A_r = \frac{p_H A_H}{p_r}$$

Коефіцієнт тертя $f = \beta$.

При контактуванні двох шорсткуватих поверхонь для параметрів ν і ν формули мають вигляд [5, 13,]:

$$b = \frac{k_{\nu_1,2} \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot (R_{\max 1} + R_{\max 2})^{\nu_1 + \nu_2}}{R_{\max 1}^{\nu_1} \cdot R_{\max 2}^{\nu_2}}$$

$$\nu = \nu_1 + \nu_2$$

де:

$k_{\nu_1,2}$ - коефіцієнт, що залежить від ν_1 і ν_2 ;

$$k_{\nu_1,2} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1 \cdot \nu_2} \cdot \frac{\Gamma(\nu_1) \cdot \Gamma(\nu_2)}{\Gamma(\nu_1 + \nu_2)}$$

де

b_1, ν_1, b_2, ν_2 - параметри кривої опорної поверхні відповідно ГЦ і ПК;

$R_{\max 1}, R_{\max 2}$ - максимальні висоти нерівностей ГЦ і ПК

$\Gamma(\nu_1)$, $\Gamma(\nu_2)$, $\Gamma(\nu_1 + \nu_2)$ - Гама-функції.

Висновки за розділом 2.

- Для визначення температури спалаху використана модель мікроконтакту при терті нерівностей гільзи циліндра і поршневого кільця в умовах граничного мастила. Завдання про контакт двох шорстких поверхонь спрощене шляхом зведенням її до випадку контакту гладкої і шорсткої поверхні.
- Приведені формули для умов граничного тертя, що реалізується для розглянутої пари тертя тільки на обмеженій частині ходу поршня поблизу мертвих точок.

3 .ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДІЮЧОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ ДВИГУНА 8Ч 13/14 ПРИ РЕМОНТІ

3.1. Діючий режим обкатки дизельного двигуна.

Виходячи з розглянутої вище методики експериментально-теоретичного визначення теплового режиму обкатки ДВЗ було проведено тепловий розрахунок діючого режиму обкатки дизельного двигуна, що включає 3 стадії (табл. 3.1). Приведені вище формули справедливі для умов граничного тертя, що реалізується для розглянутої пари тертя тільки на обмеженій частині ходу поршня поблизу мертвих крапок. Звідси необхідність оцінки довжини зони рідинного тертя, де заїдання, мабуть, неможливо.

Початок відтиску поршневого кільця від гільзи циліндра (початок зони рідинного тертя) можна знайти з рівняння , отриманого з використанням гідродинамічної теорії змащення [9,11].

Наведені розрахункові величини змінюються протягом приробки. Аналіз виконаних робіт показує, що найбільш значними є зміни геометричних характеристик поверхонь (комплекс Δk). Для рішення теплового завдання тертя ця обставина буде вирішальним фактором, тому що фактична площа визначає інтенсивність джерела тепла q , а контурна площа – його розмір (d_c), оскільки від величини контурної площі A_c залежить число мікровиступів, на яке розподіляється навантаження P . Внаслідок істотних експериментальних труднощів проведення досвідів, відомості про зміну A_c у літературі вкрай обмежені.

В той же час експериментами було встановлено, що закономірності зміни температур поверхонь тертя в період прироблення співпадають із закономірностями зміни зносу [5, 6 13]. Тому якщо в першому наближенні допустити, що знос зростає пропорційно площі контакту

деталей, то на кожному етапі розрахунків зміна контурної площі A_c можна прийняти ідентичною зміні температур поверхонь тертя.

Маючи у своєму розпорядженні досвідчену залежність поточних температур, можна також пророчити як буде відбуватися зміна параметрів шорсткості в період приробки сполучених поверхонь.

Справді, для пластичного контакту справедливе наступне співвідношення [6]

$$J \sim (\bar{R}_{\max})^{3/2} (1/A_c)^{7/4},$$

де

$$\bar{R}_{\max} = \frac{R_{\max}}{r}$$

Тоді, у різні моменти приробки, знаючи по кривій температур відповідні швидкості зміни температур $t' = \frac{dt}{d\tau}$ і, беручи до уваги $J_n \sim t'$, знайдемо

$$\frac{\bar{R}_{\max 2}}{\bar{R}_{\max 1}} = \left(t'_2 / t'_1 \right)^{2/3} \cdot (A_{c1} / A_{c2})$$

Значення величин R_{\max} і r визначаються, допускаючи наявність зв'язку між ними у вигляді [1].

$$r = \frac{C}{R_{\max}^m},$$

де

C і m - постійні коефіцієнти, що залежать від вихідної й кінцевої шорсткості поверхонь тертя.

Таблиця 3.1.

Припрацювання	Частота обертання хв^{-1}	Навантаженн я, Н	Тривалість, хв	$A_{\text{сн}}$
Холодне	600	—	30	0,30
	800	—	25	0,42
	1000	—	10	0,48
На холостом ходу	—	—	15	0,60
Під навантаженням	1550	150...170	15	0,70
	1650	250...270	10	0,74
	1700	500...520	10	0,77
	1800	720...750	10	0,79
	1900	760...780	10	0,80
	2000	780...800	10	0,81

Усього тривалість обкатки двигуна - 145 хв.

3.2. Блок-схема алгоритму теплового розрахунку.

Блок-схема алгоритму теплового розрахунку обкатки ДВЗ по трибосполученню «гільза циліндра-поршневе кільце» зображена на рис. 3.1.

Виконання розрахунків здійснюється в наступній послідовності. Спочатку задаються початкові дані, що включають:

- конструктивні розміри, механічні та теплофізичні властивості матеріалів пари і мастильного матеріалу;
- характеристики мікрогеометрії пари тертя;
- параметри граничних середовищ і режиму роботи.

Далі на основі експериментальних даних або розрахунковим шляхом оцінюються середні температури тц гільзи циліндра .

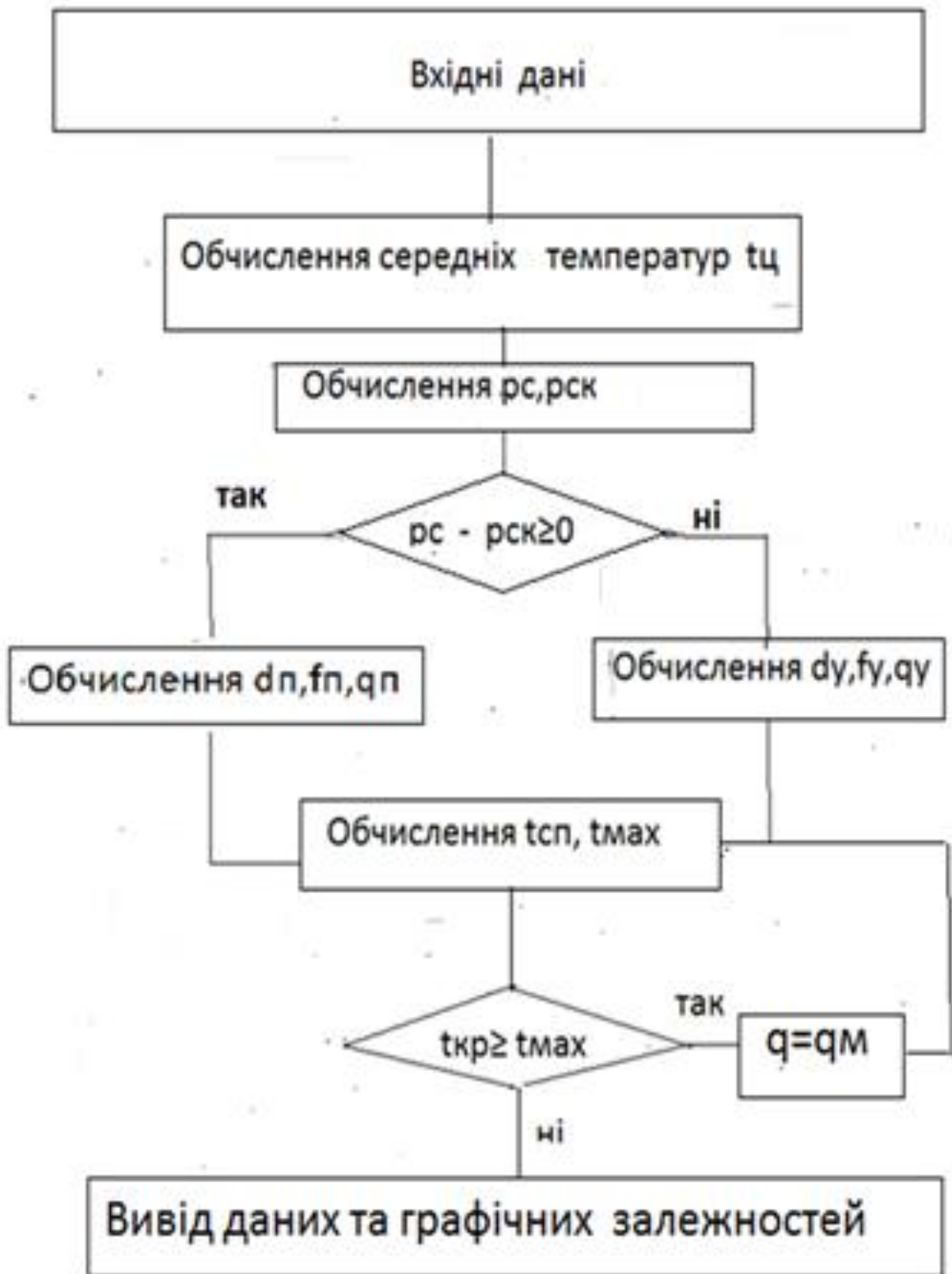


Рис. 3.1. Блок-схема алгоритму розрахунку температур у сполученні гільзи циліндра-поршневе кільце

Після чого обчислюється контурний тиск на контакті. Якщо він більш критичного $p_{ск.кр}$, то розрахунки діаметра плями контакту d_c , коефіцієнта тертя f і питомого теплового потоку q проводять за формулами пластичного контакту, інакше – за формулами пружного контакту. При розрахунковій оцінці температур t_c і t_{max} використовуються формули (1) і (3). Потім визначається знак виразу $(t_{кр} - t_{max})$. Якщо він позитивний, то розрахунок повторюється за умовами, що питомий тепловий потік при граничній мастилі q змінюється на тепловий потік q_m при металевому контакту. По закінченні розрахунків визначаються залежності зміни температур на кожному етапі режиму обкатки двигуна.

3.3. Результати розрахунків

Тепловий розрахунок кожного етапу приробки був проведений з використанням системи комп'ютерної математики Matcad. Результати розрахунків наведено на рис. 3.2...3.16.

Наступні вихідні дані:

$$\lambda_{\text{см}}=0.14 \text{ Вт}/(\text{м}^0\text{С}),$$

$$a_{\text{см}}=8.64 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$H_{\text{вц}}=4 \text{ ГПа},$$

$$E_{\text{ц}}=11 \cdot 10^4 \text{ МПа},$$

$$E_{\text{к}}=21 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$\delta_{\text{м}}=0.2 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$h_{\text{к}}=3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Початкові значення:

$$R_{\text{мк0}}=18 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$r_{\text{к0}}=20 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$R_{\text{мц0}}=1.2 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

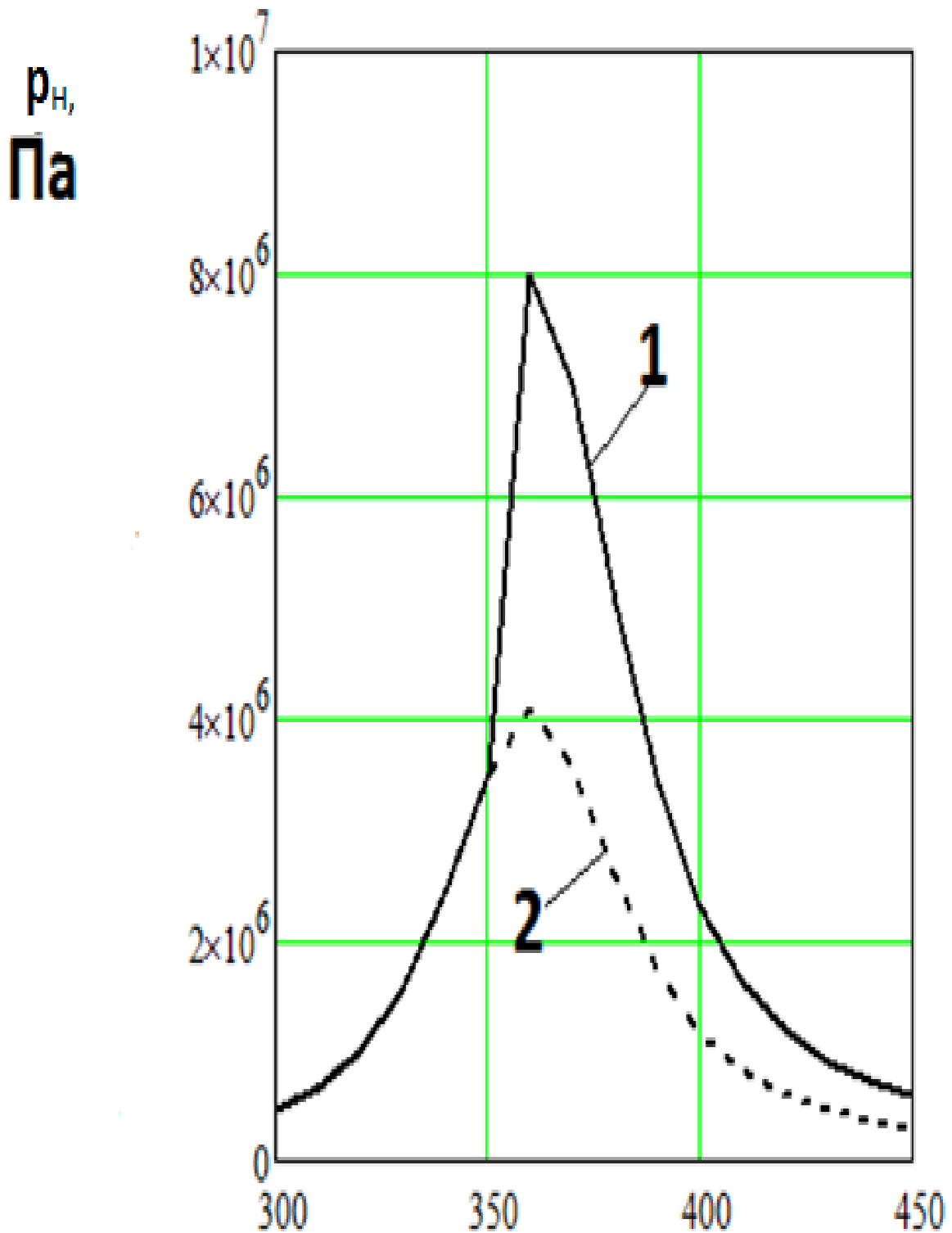
$$r_{\text{ц0}}=35 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$A_{\text{сн0}}=0.2;$$

$$f_{\text{см}}=0.08.$$

Поточні питомі тиски $p_{\text{н}}$ на номінальному контактi для верхнього кільця визначалися з індикаторних діаграм (рис. 3.2), а поточна контурна площа $A_{\text{с}}$ – за кривою температур гільзи циліндра у зоні нижньої кромки

верхнього кільця при положенні поршня у ВМТ, отриманої за допомогою термопар (рис. 3.3).



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.2. Індикаторна діаграма: 1 - під навантаженням,
2- без навантаження

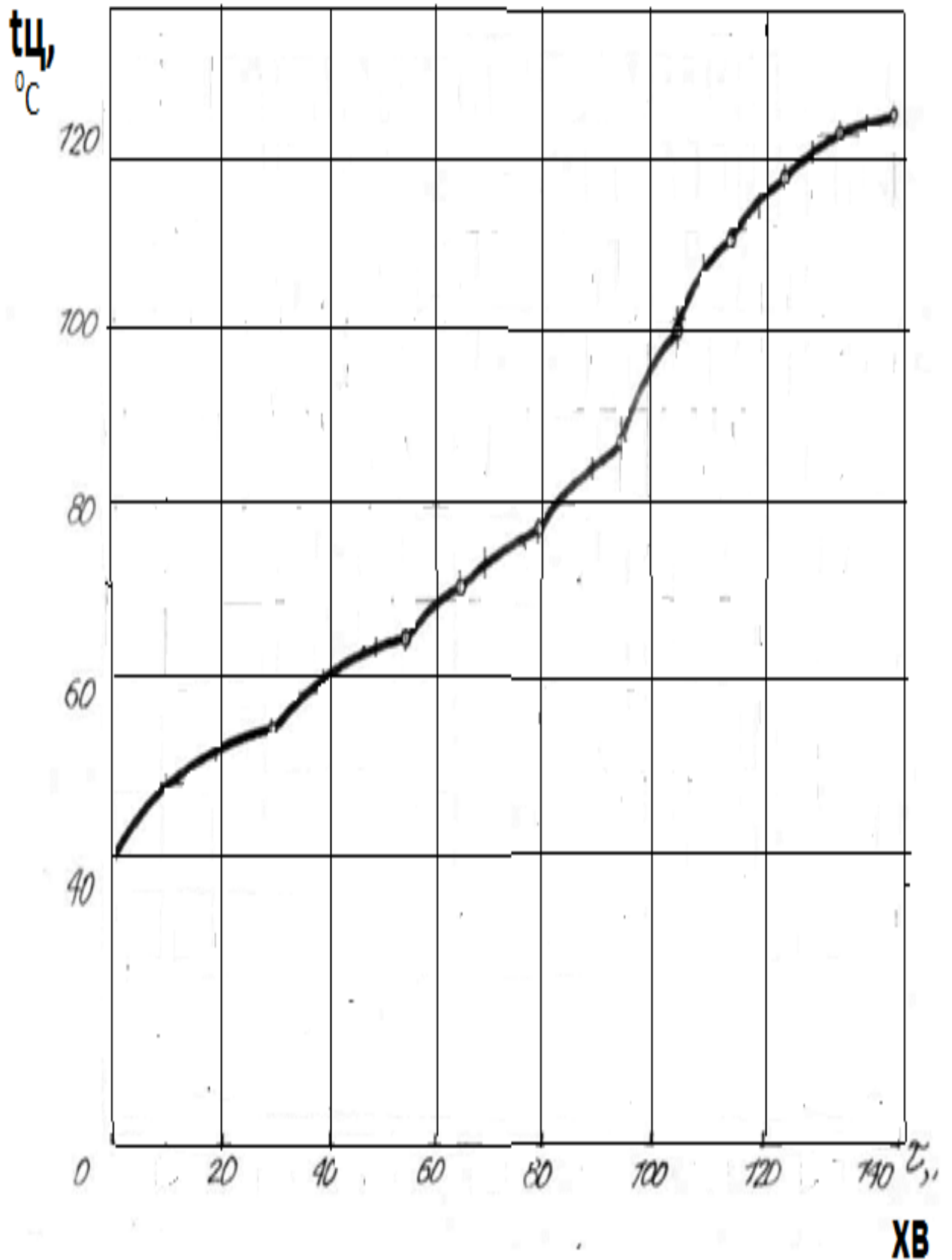


Рис. 3.3. Залежність температури гільзи циліндра $t_{ц}$ за час припрацювання

У таблиці 3.2. наведені величини відносної контурної площі контакту $A_{сн}$, гільзи циліндра, що відповідають відносній температурі, залежно від режиму прироблення.

На усіх етапах прироблення критична температура руйнування масляної плівки при граничній смазці $t_{кр}$, знайдена експериментальним шляхом в лабораторних випробуваннях, приймалася рівною 220°C .

При цьому допускалося, що при переході до металевого контакту нерівностей відбувається тільки їх згладжування і прироблення, без виникнення заїдання, оскільки незважаючи на збільшення коефіцієнта тертя температура спалаху знижується із-за великих значень λ на поверхнях тіл, що труться.

При розрахунку температурного спалаху можна використовувати теплофізичні характеристики масляної плівки, коли глибина проникнення теплоти буде меншій або рівнішій товщині масляної плівки, тобто за умови $\tau_f \leq \tau_{до}$,

де

$$\tau_{до} = \frac{d_c}{V_{ск}} - \text{тривалість тертя нерівності,}$$

τ_f – час досягнення температурного спалаху значення, при якому буде досягнута $t_{кр}$.

$$\tau_f = \frac{\pi}{a_{см}} \cdot \left[\frac{(t_{кр} - t_{ц}) \cdot \lambda_{см}}{q_{см}} \right]^2,$$

де

$$q_{cm} = f_{cm} \cdot p \cdot r \cdot V_{ck},$$

f_{cm} - коефіцієнт тертя при граничному мастилі.

Зміна відношення τ_f / τ_k залежно від етапів прироблення представлено на рис. 3.4.

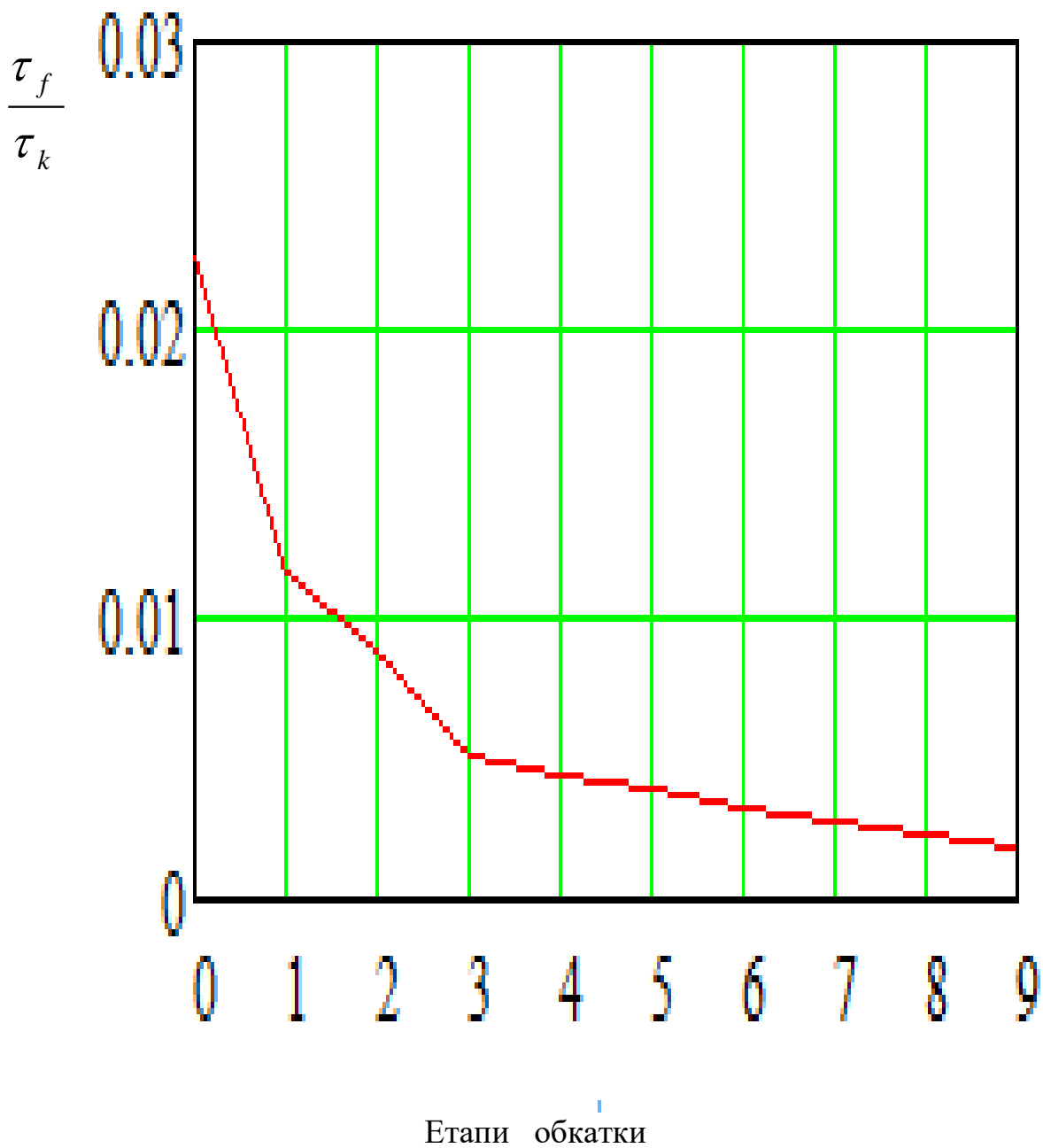
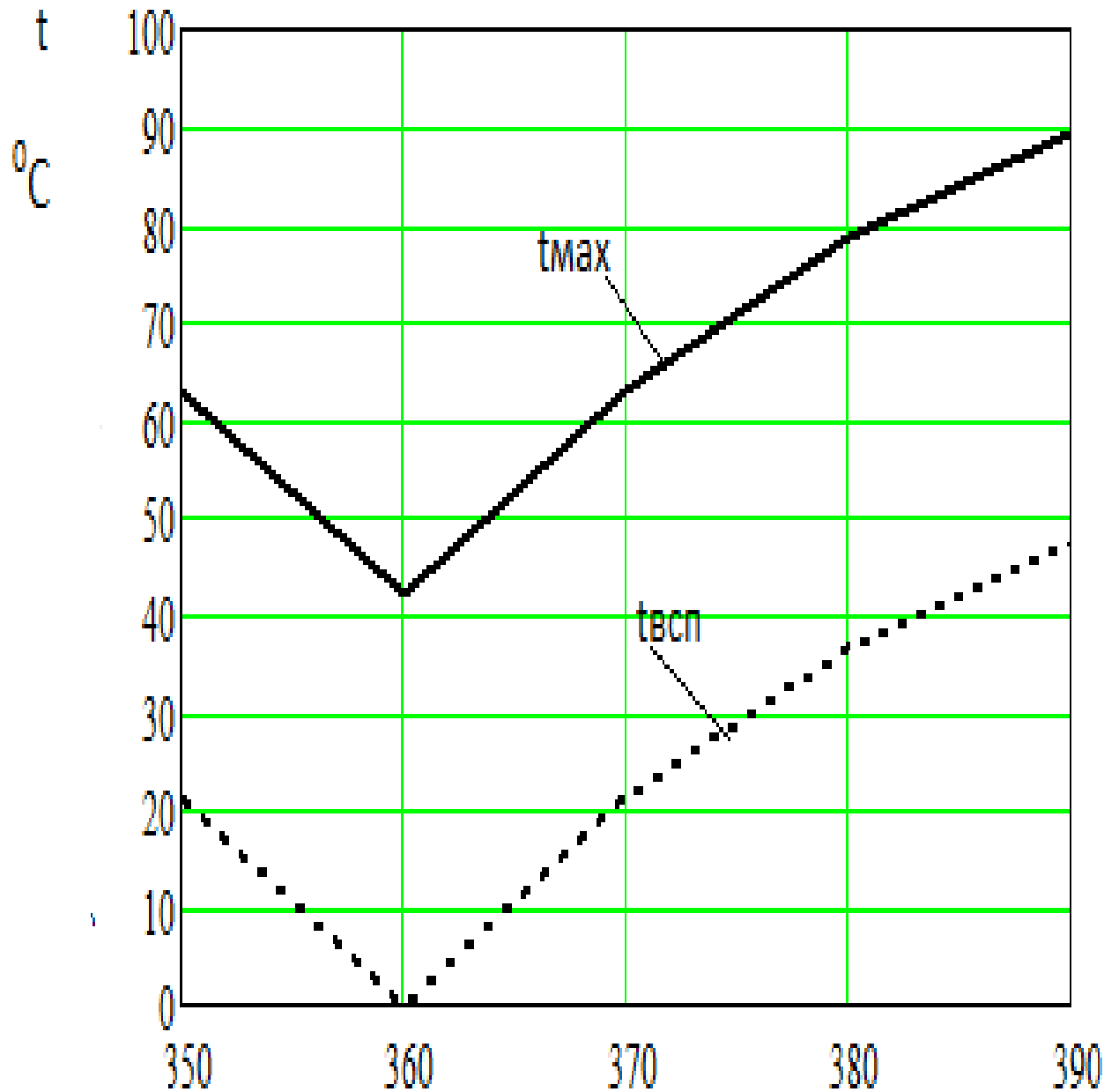


Рис. 3.4. Залежність τ_f / τ_k від етапів обкатки

З приведенного графіку виходить, що величина τ_f в порівнянні з величиною $\tau_{до}$ нехтує мала, тому після короткочасного руйнування масляної плівки при розрахунку максимального температурного спалаху у кінці контакту нерівностей можна використовувати формули (1) і (2).

На рис. 3.5...3.7 наведені залежності максимальної температури на мікроконтакті t_{max} і температури спалаху $t_{всп}$ від кута повороту колінчастого валу в процесі холодного прироблення

На початковому етапі холодного прироблення при $n=600 \text{ хв}^{-1}$ температури швидко зростають до максимальної температури 90°C при куті повороту валу, рівному 390° (рис. 3.5). Діючий контурний тиск на мікроконтакті $P_c = 4 \text{ МПа}$ перевищує критичний тиск $P_{скр}$, тому на мікроконтактах відбуваються процеси пластичної деформації і мікроруйнування поверхневих шарів, що призводять до збільшення відносної контурної площі торкання до $A_{сн}=0,35$ і радіусу скруглення нерівностей до $r = 18 \text{ мкм}$.



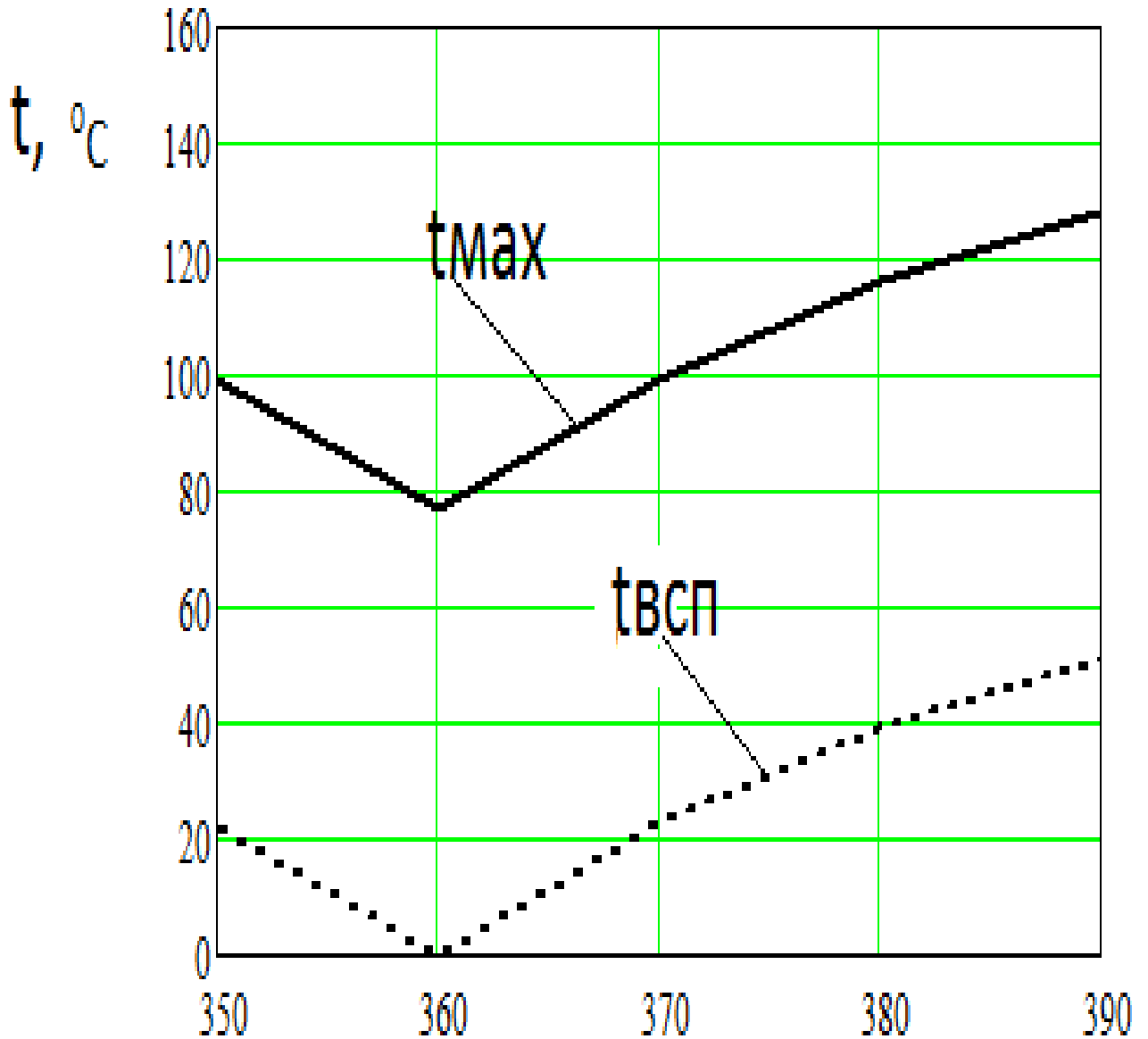
Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.5. Залежності максимальної температури нерівності t_{max} і температури спалаху $t_{всп}$ від кута повороту колінчастого валу при $n=600 \text{ хв}^{-1}$.

Подальше підвищення частоти обертання колінчастого валу до 800 хв^{-1} , не змінюючи характер деформації нерівностей, призводить до

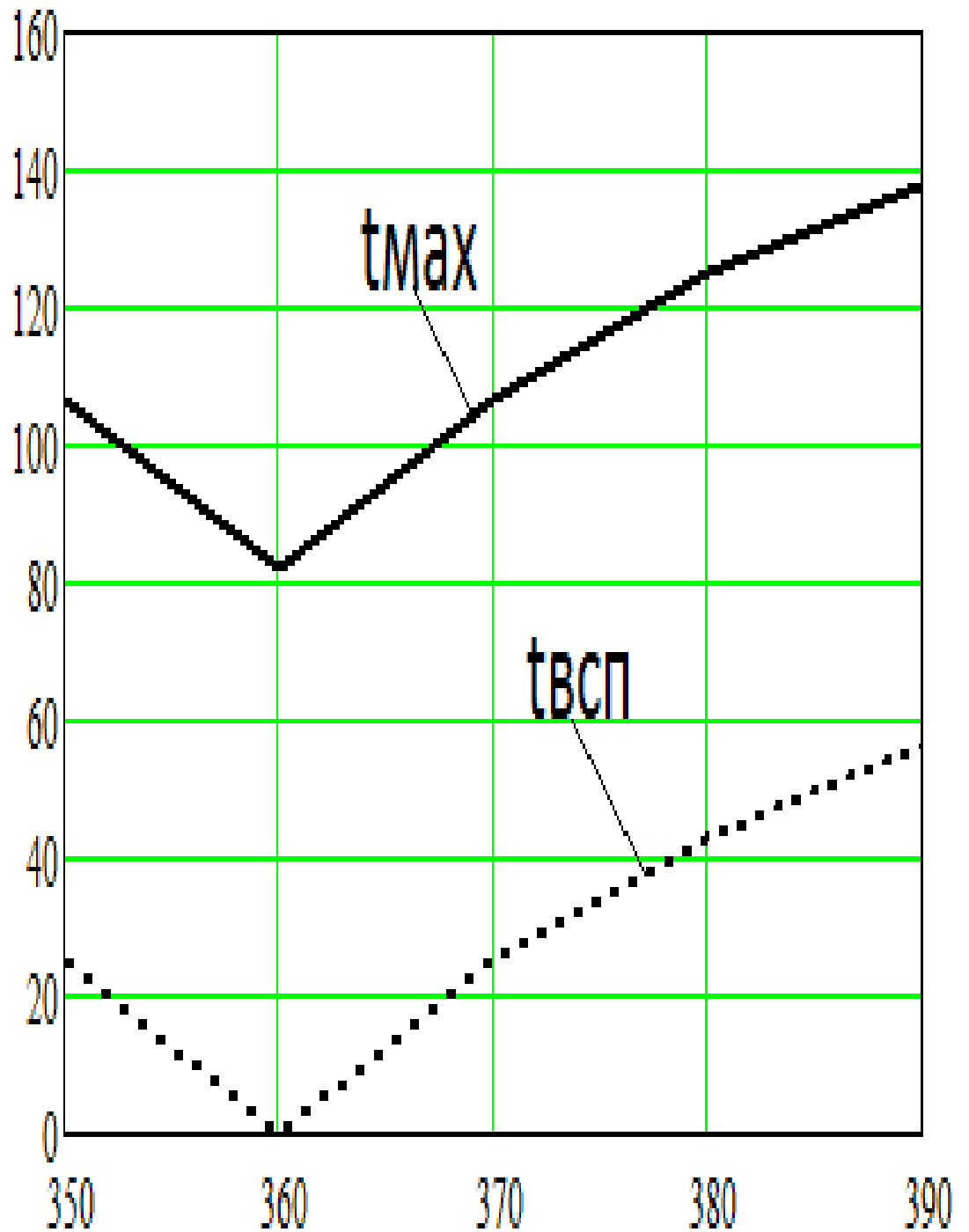
збільшення максимальної температури на мікроконтакті до 128°C (рис. 3.6).

На останньому етапі холодної обкатки $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ максимальна температура на контакті досягає 138°C . (рис. 3.7).



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.6. Залежності максимальної температури нерівності t_{max} і температури спалаху $t_{\text{всп}}$ від кута повороту колінчастого валу при $n=800 \text{ хв}^{-1}$.

$t, ^\circ\text{C}$


Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.7. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалаху $t_{\text{всп}}$ від кута повороту колінчастого валу при $n=1000 \text{ хв}^{-1}$.

На рис. 3.8 представлені зміни максимальної температури і температури спалаху від кута повороту колінчастого валу на холостому ході. Тривалість прироблення на холостому ході визначається лише необхідністю прогрівання і підготовки двигуна до прироблення під навантаженням. Проте зміни температур за цей період відчутні, оскільки максимальна температура збільшується до 167°C (22%). Подібна обставина вимагає виключення швидких змін частоти обертання колінчастого валу під час запуску двигуна.

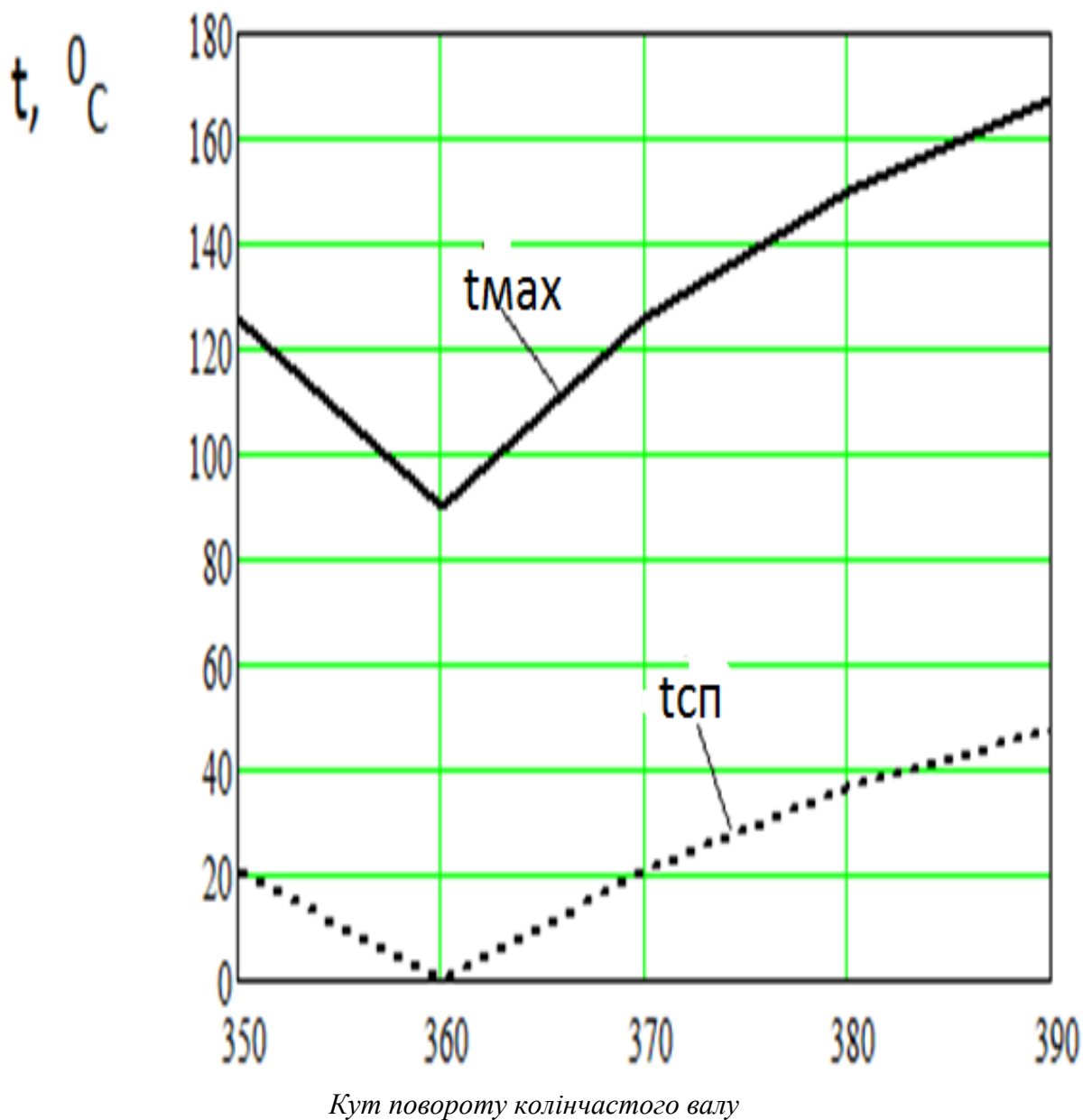
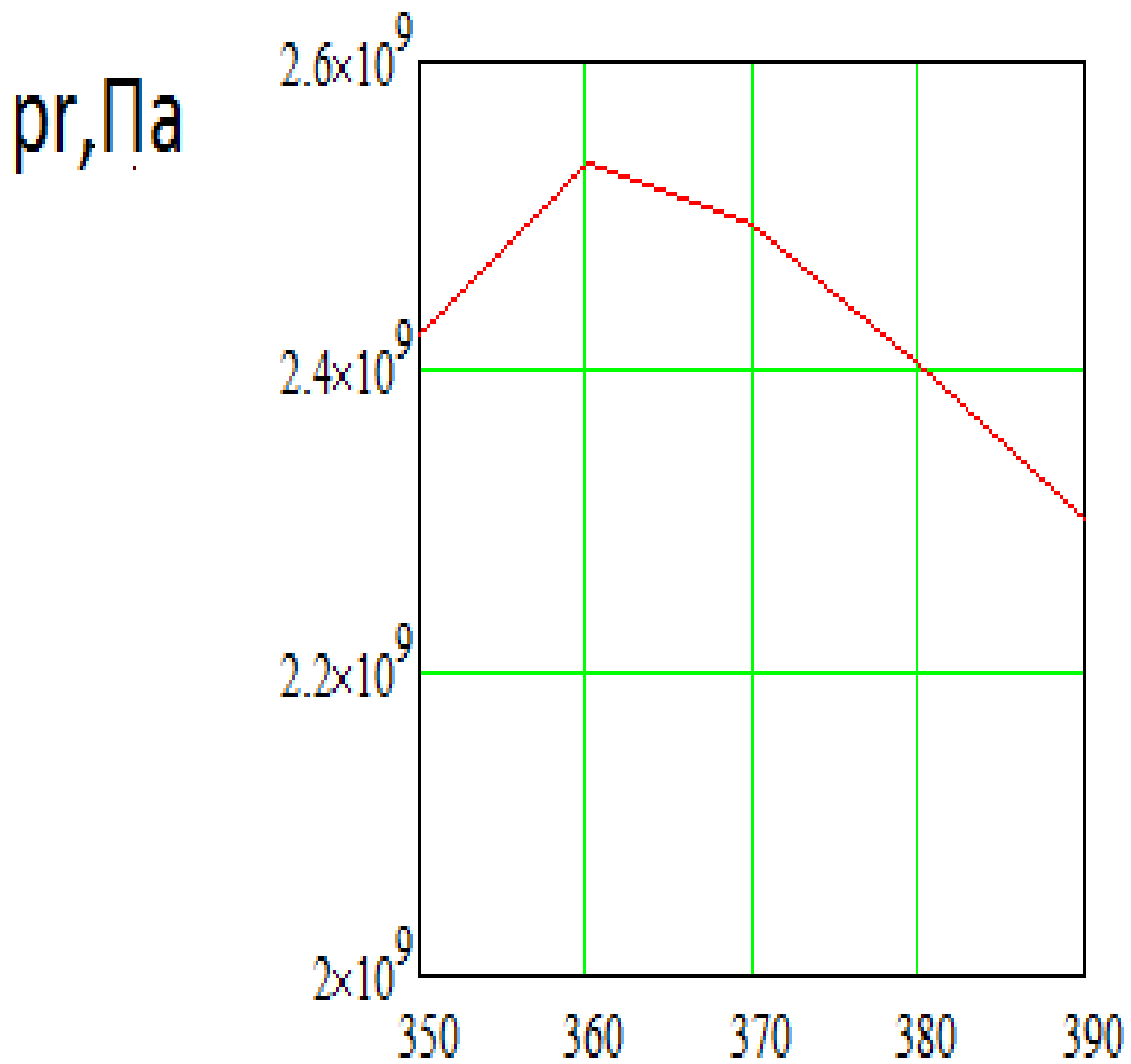


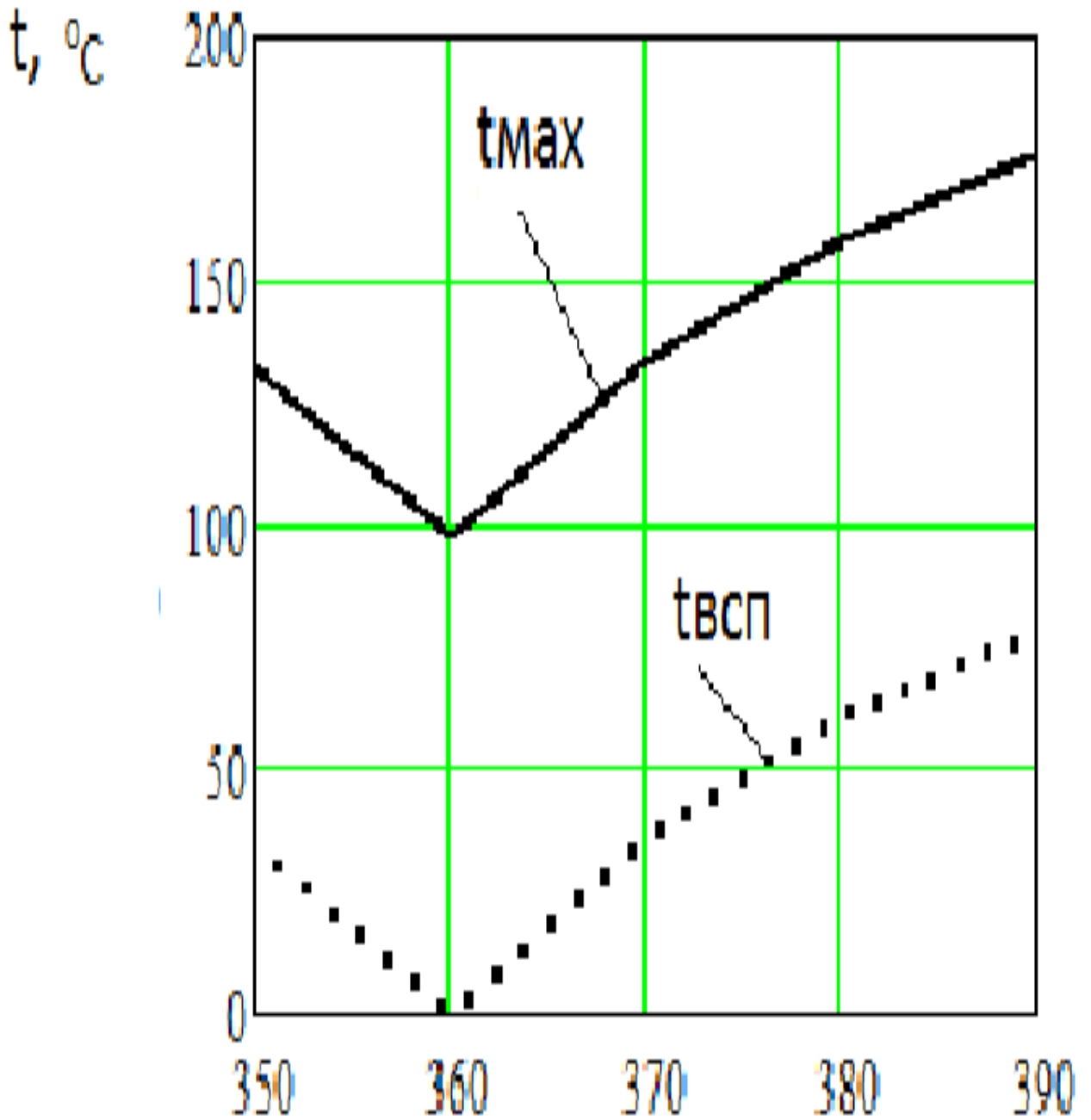
Рис. 3.8. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалаху t_{cp} від кута повороту колінчастого валу на холостому ході.

На рис. 3.10...3.15 приведені залежності температур під час обкатки двигуна під навантаженням. На режимі початкового навантаження при $n = 1550 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 26 \text{ кВт}$ (рис. 3.10) максимальна температура $t_{\text{max}} = 176^\circ\text{C}$ не перевищує критичну, при цьому як показали розрахунки фактичний тиск на реальних мікромайданчиках відповідає умовам пластичного контакту, що сприяє прискоренню прироблення (рис. 3.9).



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.9. Залежність фактичного тиску на контакті p_r від кута повороту колінчастого валу на початковому етапі під навантаженням.



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.10. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалаху $t_{\text{сп}}$ від кута повороту колінчастого валу при $N_e=26\text{кВт}$, $n=1550\text{ хв}^{-1}$.

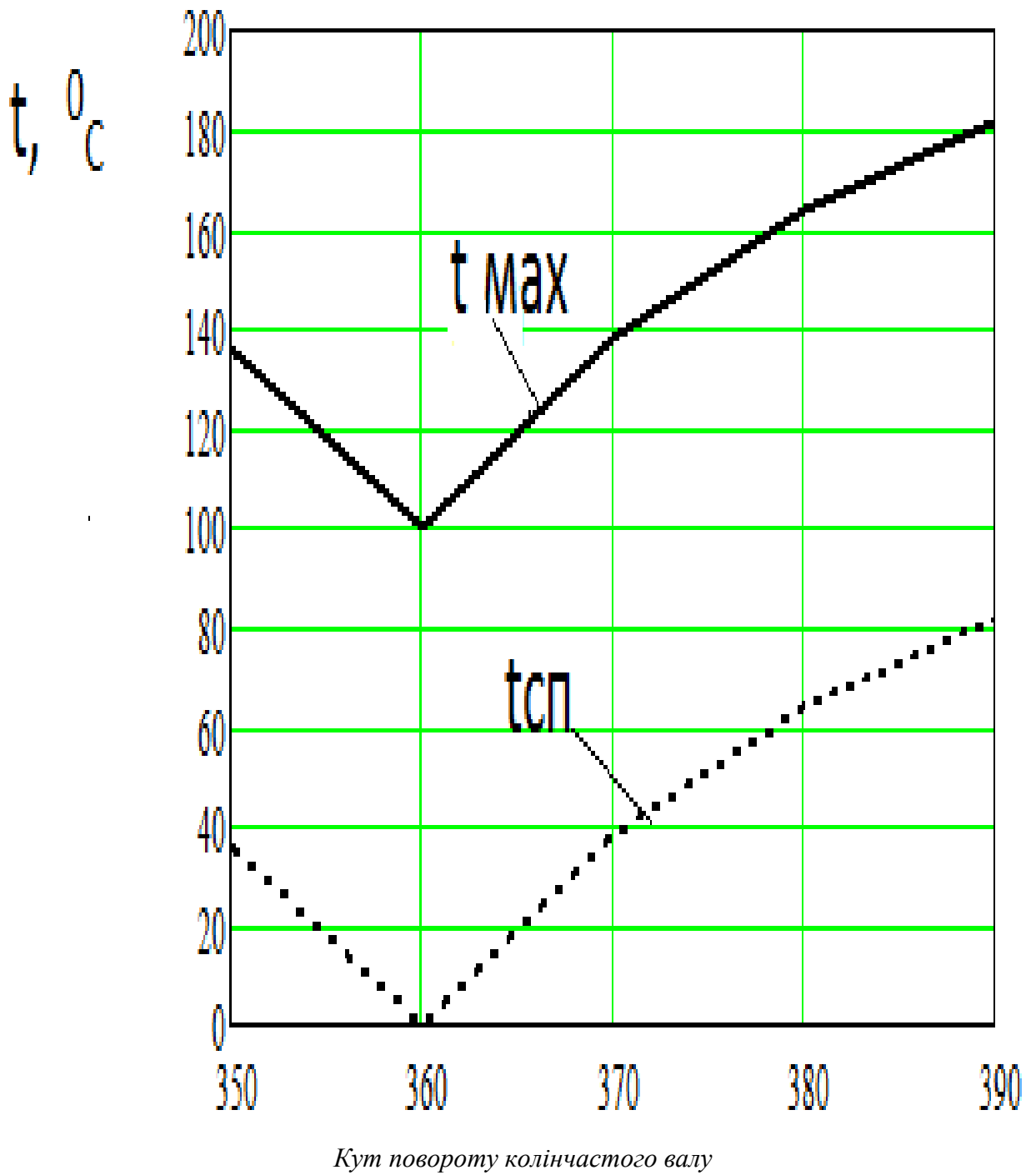


Рис. 3.11. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалаху t_{cp} від кута повороту колінчастого валу при $N_e=44\text{кВт}$, $n=1650\text{ хв}^{-1}$.

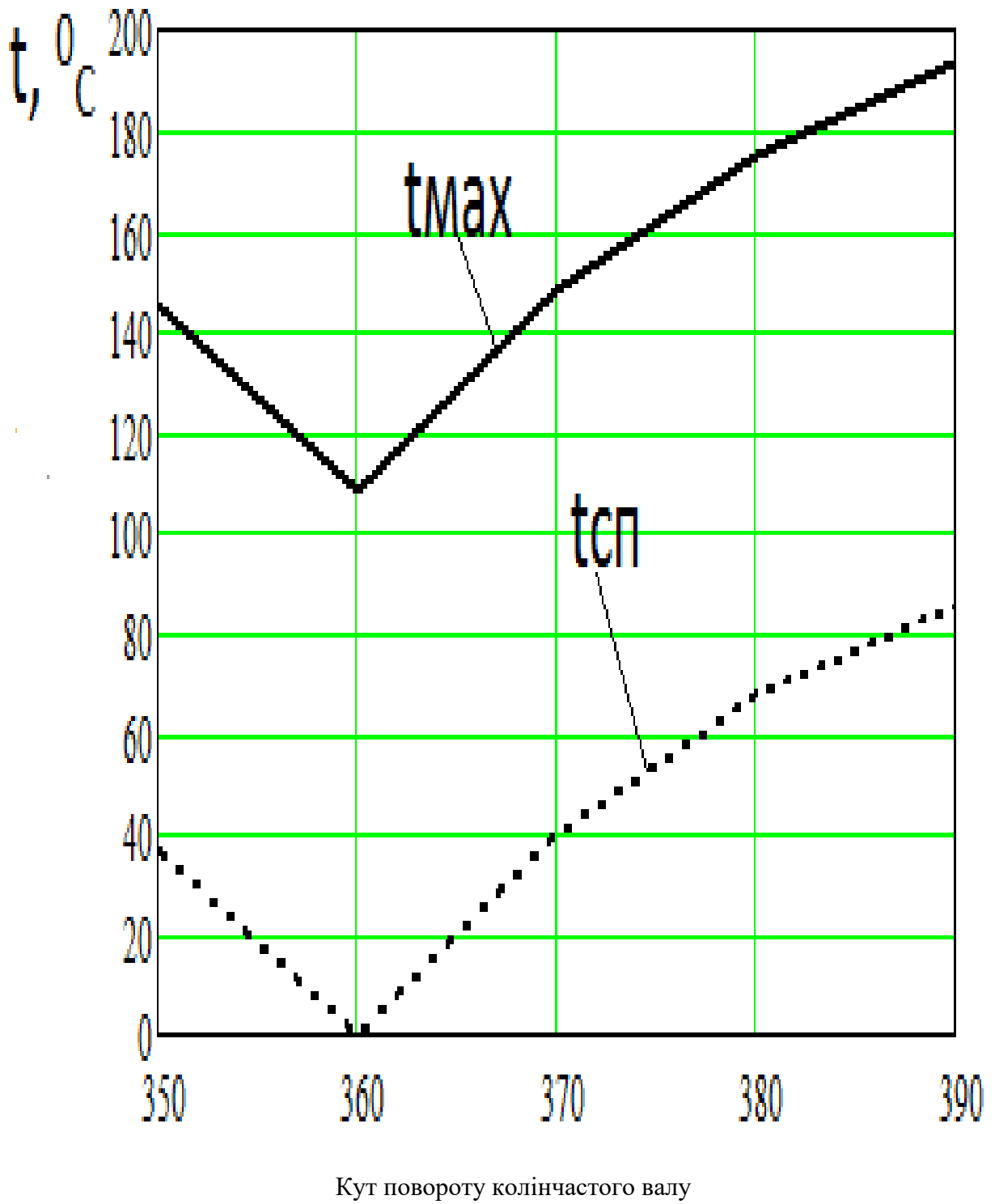
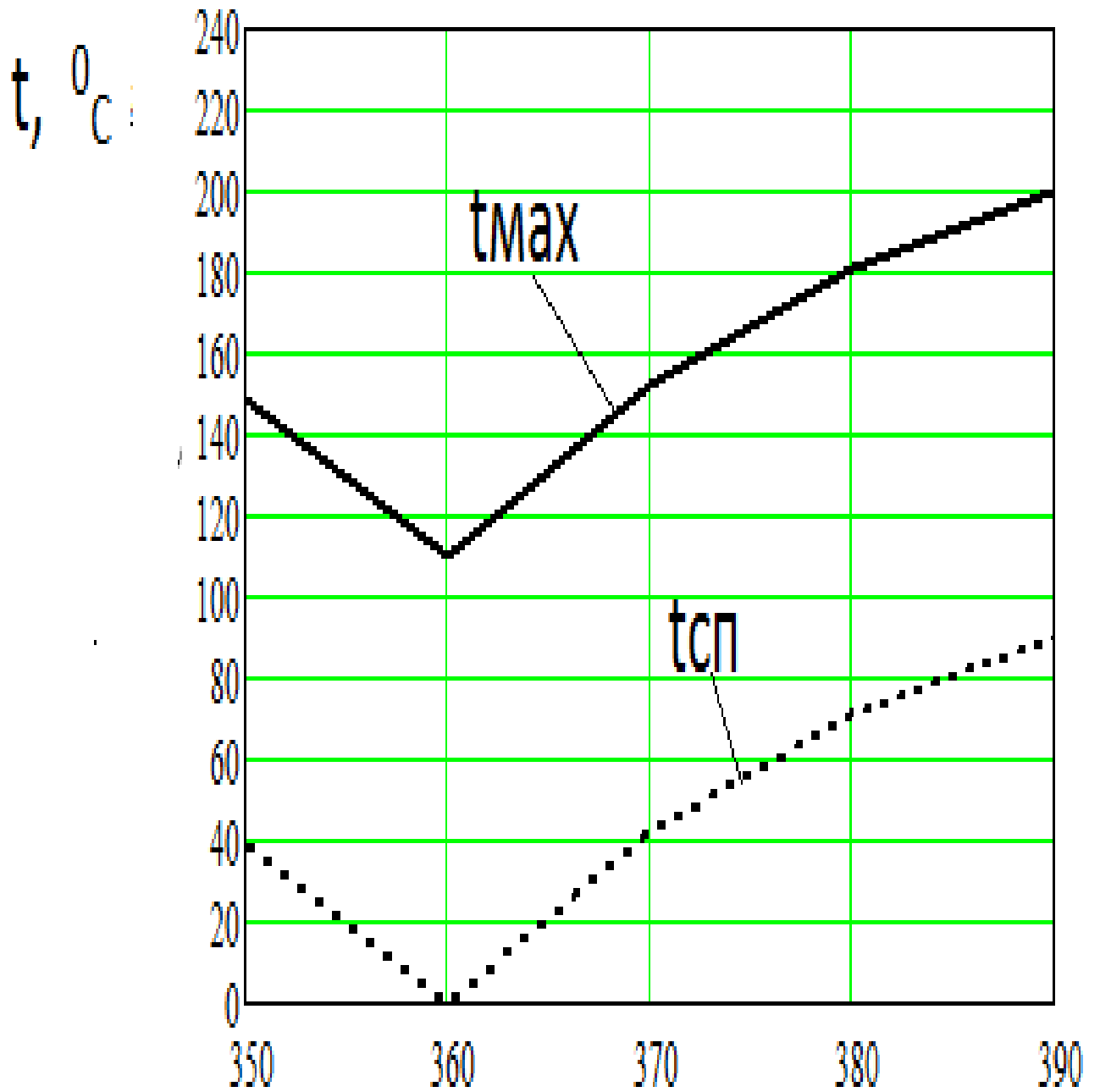
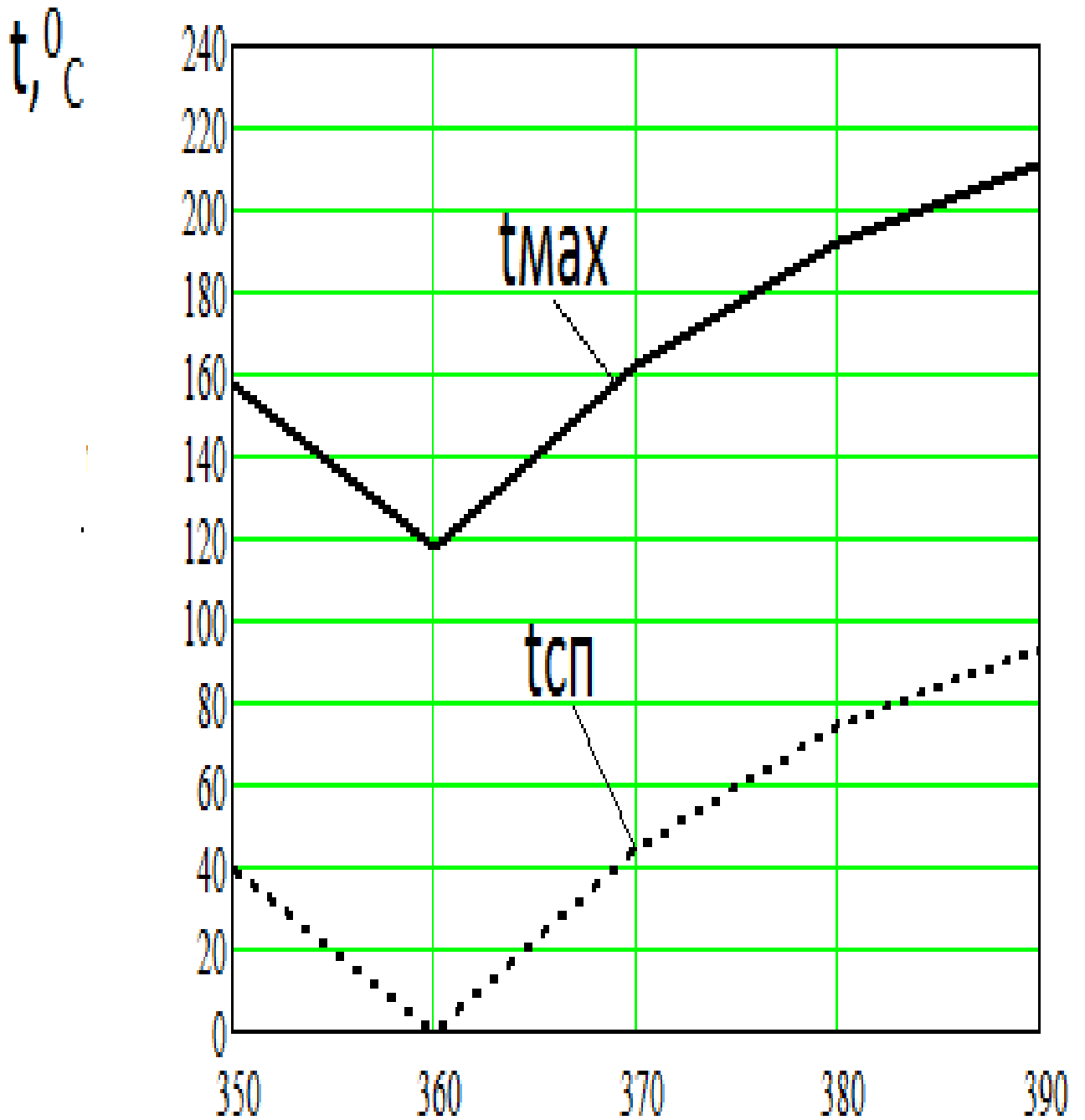


Рис. 3.12. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалахи t_{cn} від кута повороту колінчастого валу при $N_e=90\text{кВт}$, $n=1700\text{ хв}^{-1}$.



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.13. Залежності максимальної температури нерівності t_{max} і температури спалахи t_{cp} від кута повороту колінчастого валу при $N_e=135\text{кВт}$, $n=1800\text{ хв}^{-1}$.



Кут повороту колінчастого валу

Рис. 3.14. Залежності максимальної температури нерівності t_{\max} і температури спалахи $t_{\text{сп}}$ від кута повороту колінчастого валу при $N_e=135\text{кВт}$, $n=1900\text{ хв}^{-1}$.

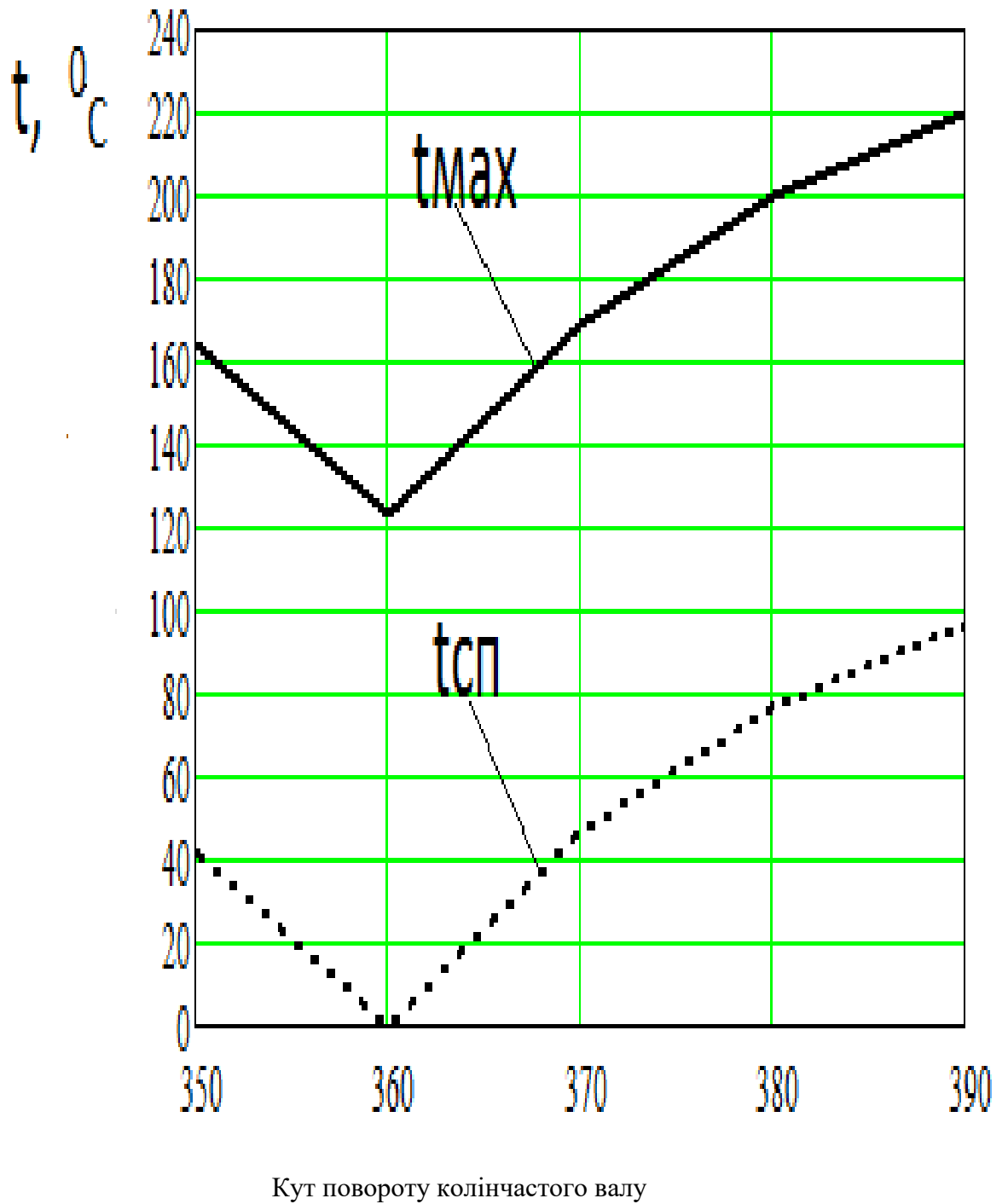


Рис. 3.15. Залежності максимальної температури нерівності t_{max} і температури спалахи t_{cp} від кута повороту колінчастого валу при $N_e=155\text{кВт}$, $n=2000\text{ хв}^{-1}$.

Звідні значення максимальних температур спалахів і їх відносних величин представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Припрацювання	Частота обертання, хв^{-1}	максимальна температура $t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	температура спалаху $t_{\text{сп}}, ^\circ\text{C}$	температура $t_{\text{ц}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{сп}}/t_{\text{ц}}$
Холодне	600	89	47	42	1,1
	800	128	51	77	0,66
	1000	138	56	82	0,68
На холостому ході	–	167	77	90	0,86
Під навантаженням	1550	176	78	98	0,80
	1650	180	80	100	0,80
	1700	193	85	108	0,85
	1800	200	90	110	0,82
	1900	211	93	118	0,79
	2000	220	97	123	0,79

Графічні зміни температур поверхні гільзи циліндра на етапах обкатки дизеля показані на рис. 3.16.

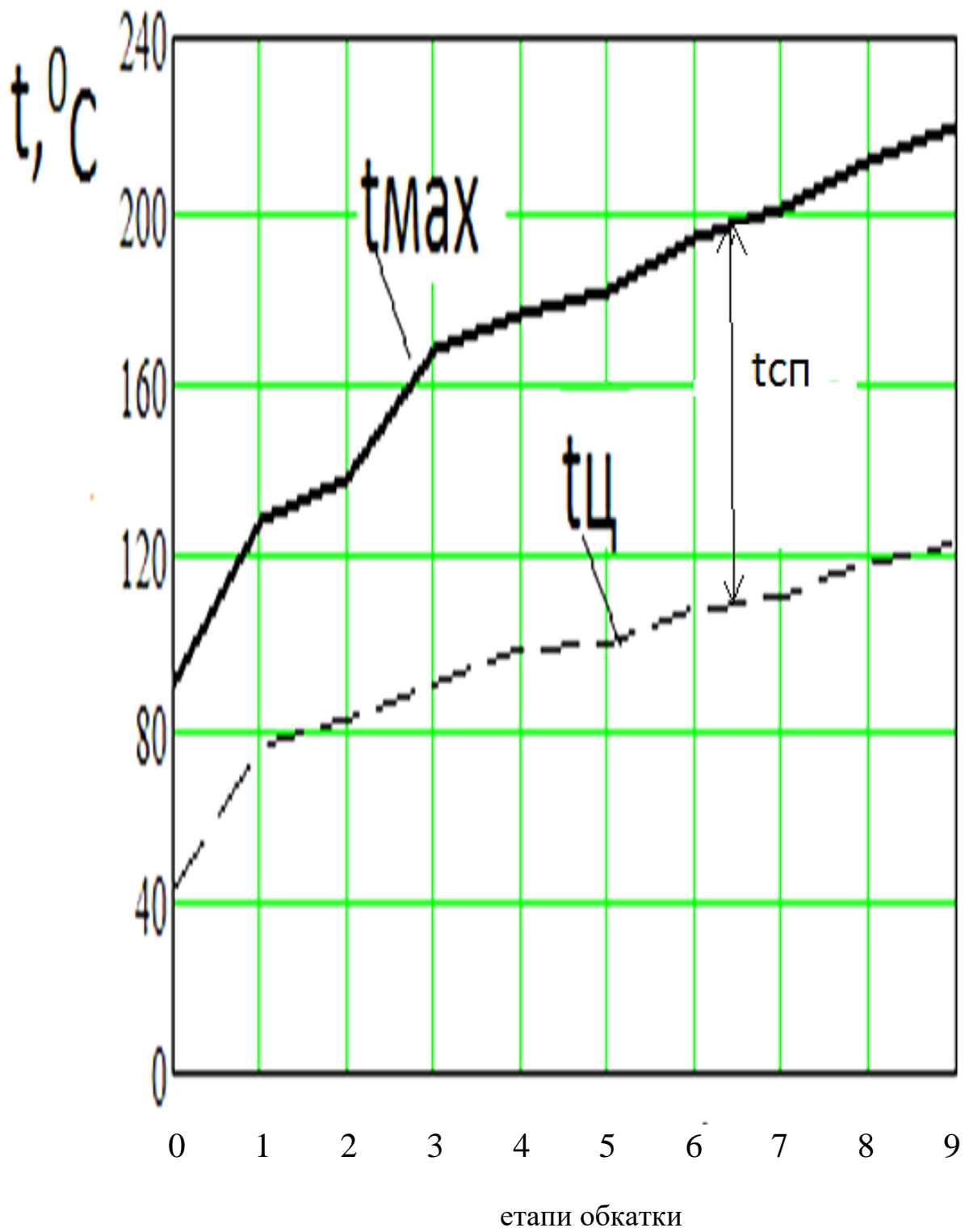


Рис. 3.16. Зміни температур на етапах обкатки дизеля.

На усіх етапах діючого режиму обкатки максимальна температура t_{\max} менша за критичну, тобто він є безпечним відносно можливого заїдання поверхонь, що труться, що і підтверджується практикою експлуатації двигунів.

На першому етапі холодного прироблення відбувається швидке підвищення температур, після чого інтенсивність росту знижується і у кінці холодної обкатки (третій етап) максимальна температура на мікроконтакті досягає 138°C . Під час прироблення під навантаженням відбувається подальше підвищення температур з коливанням інтенсивності росту в невеликому діапазоні. При цьому, незважаючи на зниження фактичного тиску на нерівностях, температура спалаху практично не збільшується, оскільки підвищується частота обертання колінчастого валу (швидкість ковзання поршневого кільця). Цим підтверджується загальновідомий факт переважаючого впливу на температуру спалаху швидкості ковзання в порівнянні з тиском на контакті.

Таким чином, враховуючи, що в діючому режимі на проміжних етапах прироблення під навантаженням максимальні температури значно нижчі критичної, з'являється можливість збільшити навантаження на етапах і скоротити їх кількість.

Для спрощення подальших розрахунків бажано виявити взаємозв'язок між середньою поверхневою температурою $t_{\text{ц}}$ і температурою спалаху $t_{\text{сп}}$. Аналіз результатів розрахунків показав, що для етапів прироблення під навантаженням відношення $t_{\text{сп}}/t_{\text{ц}}$ коливається в межах $0,79\dots 0,82$ (таблиця 3.2), тобто його можна прийняти рівним $0,8$. Тоді максимальна температура знайдеться з виразу

$$t_{\max} = t_{\text{ц}} \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{сп}}}{t_{\text{ц}}} \right), \text{ тобто } t_{\max} = 1,8 \cdot t_{\text{ц}}$$

Висновки за розділом 3.

- Запропонована блок-схема алгоритму теплового розрахунку обкатки ДВЗ по трибосполученню «гільза циліндра-поршневе кільце» і описана послідовність його виконання.
- Виконаний теплової розрахунок режиму обкатки дизельного двигуна при капітальному ремонті по парі тертя «поршневе кільце-гільза циліндра». Встановлені залежності максимальної температури на мікроконтакті t_{\max} і температури спалаху $t_{\text{сп}}$ від кута повороту колінчастого валу на усіх етапах обкатки двигуна.
- На усіх етапах максимальна температура t_{\max} на $5...40^{\circ}\text{C}$ менша за критичну, тобто режим обкатки є безпечним відносно можливого заїдання поверхонь, що труться, що і підтверджується практикою експлуатації дизелів.

4. ВИБІР СКОРОЧЕНОГО РЕЖИМУ ОБКАТКИ.

Виявлена динаміка зміни температур вказує на прийнятність діючого режиму обкатки ДВС, хоча з точки зору прискорення прироблення і забезпечення її якості не є оптимальним. Як встановлено раніше [5, 14], при оптимальному режимі діюче навантаження на контакт повинне наближатися до допустимої при заїданні .

Таким чином, враховуючи, що в діючому режимі на проміжних етапах прироблення під навантаженням максимальні температури значно нижчі критичної, з'являється можливість збільшити навантаження на етапах і скоротити їх кількість.

Для спрощення подальших розрахунків бажано виявити взаємозв'язок між середньою поверхневою температурою t_u і температурою спалаху t_{cn} . Аналіз результатів розрахунків показав, що для етапів прироблення під навантаженням відношення t_{cn}/t_u коливається в межах 0,79...0,82 (таблиця 3.2), тобто його можна прийняти рівним 0,8. Тоді максимальна температура знайдеться з виразу

$$t_{\max} = t_u \cdot \left(1 + \frac{t_{cn}}{t_u} \right),$$

тобто

$$t_{\max} = 1,8 \cdot t_u$$

Розрахунок значень навантаження для етапів прироблення з урахуванням наближення максимальних температур до критичних дозволив запропонувати наступний скорочений за часом режим обкатки двигуна (таблиця 4.1). Загальний час прироблення складає 110 хв, тобто тривалість обкатки скорочується на 35 хв або на 24%.

Зміни температур від часу при скороченому і діючому режимах прироблення показані на рис. 4.1.

Таблиця 4.1

Припрацювання	Частота обертання хв^{-1}	Навантаження, Н	Тривалість, хв
Холодне	600	–	30
	800	–	25
	1000	–	10
На холостом ходу	–	-	15
Під навантаженням	1600	240...260	10
	1800	480...500	10
	2000	780...800	10

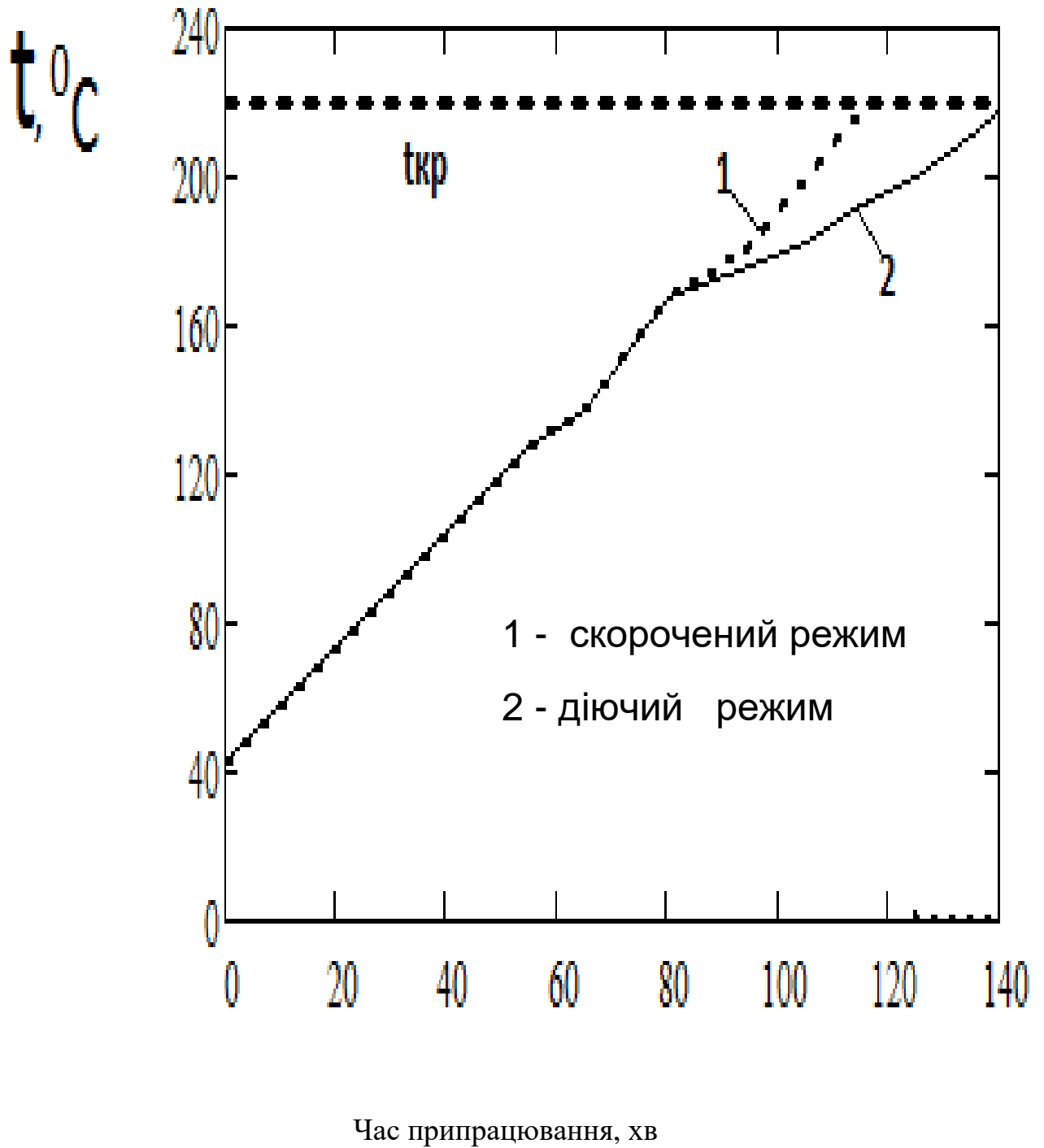


Рис. 4.1. Зміни температур під час приробки:

1 – скорочений режим, 2 – діючий режим.

Висновки за розділом 4

- В діючому режимі на проміжних етапах прироблення під навантаженням максимальні температури значно нижчі критичної, тому з'являється можливість збільшити навантаження на етапах і скоротити їх кількість.
- Запропонована формула, що дозволяє визначити максимальну температуру мікроконтакту при відомому значенні середньої поверхневої температури. Відношення температури спалаху до середньої поверхневої температури коливається в межах 0,79...0,82.
- Запропонований скорочений за часом режим обкатки двигуна, при якому загальний час прироблення складає 110 хв, тобто тривалість обкатки скорочується на 35 хв або на 24%.

5. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведеного теплового розрахунку режиму обкатки дизеля можна зробити наступні висновки:

- Питання теплового стану режиму обкатки двигунів освітлені недостатньо, що ускладнює пошук оптимальних режимів роботи двигунів.
- За методикою кафедри ЕРМ виконано тепловий розрахунок режиму обкатки двигуна при капітальному ремонті по парі тертя «поршневе кільце-гільза циліндра». Встановлені залежності температур від кута повороту колінчастого валу на кожному етапі обкатки двигуна.
- На усіх етапах максимальна температура t_{\max} на $5...40^{\circ}\text{C}$ менша за критичну, тобто режим обкатки є безпечним відносно можливого заїдання поверхонь, що труться, що і підтверджується практикою експлуатації дизелів.
- Отримана формула, що дозволяє визначити максимальну температуру мікроконтакту при відомому значенні середньої поверхневої температури. Відношення температури спалаху до середньої поверхневої температури коливається в межах $0,79...0,82$.
- Рекомендований скорочений за часом режим обкатки двигуна, при якому загальний час прироблення складає 110 хв, тобто тривалість обкатки скорочується на 35 хв або на 24%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Е., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни.-К.:Арістей,2005.-476 с
2. Полянський С.К., Білякович М.О.Технічна експлуатація будівельно-дорожніх машин та автомобілів.-К.:Видавничий Дім «Слово»,2010.-384с.
3. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згорання: серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин/А.П.Марченко, М.К.Рязанцев, А.Ф.Шеховцов; за ред. А.П. Марченко та проф. А.Ф. Шеховцова – Харків, Прапор, 2004 – 384с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. Динамика и конструирование. Под ред. В. Н. Луканина, М.Г.Шатрова.-М.: Высшая школа, 2005.-400с.
5. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) /А.В.Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Брауни др./Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 2003.-576с.
6. Трение, изнашивание и смазка. Справочник/Под ред. И.В. Крагельского, В. Алисина. -М.: Машиностроение, 1979.-кн.2.-358с.
7. Храпцов Н.В., Королев А.Е., Малаев В.С. Обкатка и испытание автотракторных двигателей.-М.: Агропромиздат, 1991.-125с.
8. Волченков А.В., Буше Н.А. Трибологические принципы назначения режимов обкаточных испытаний двигателей.//Трение и износ.-1991.-т.12-№3.- С.506-514.
9. Заренбин В.Г., Касумов А. Х. Исследование режимов приработки автомобильных двигателей при капитальном ремонте. - М.: Транспорт,1983.- 78 с.
- 10.Войтов А.В.,. Бекиров А. Ш., Войтов В.А. и др. Методика приработки трибосистемы и экспериментальная проверка ее эффективности// Трение и износ. — 2019 (40), № 5.-С.128—136.
- 11.Мухин Е.М., Столяров И.И. Приработка и испытание автомобильных двигателейю-М.:Транспорт,1981.-62с.

12. Мышкин Н. К., Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
13. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
14. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах - Киев: Техника, 1970.- 396с. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел.-М.: Машиностроение, 1968.- 543с.
15. Гаркунов Д.Н. Триботехника-М.:Машиностроение,1985.-424с.
16. Заренбін В.Г., Волчок Л.М. Розрахунки і вибір раціональних режимів обкатки двигунів під час капітальному ремонту. Науково-технічне видання.- Дніпропетровськ: ІМА-прес.-2007.-72с.
17. Чичинадзе А.В. Расчет и исследование внешнего трения при торможении.- М.: Наука,1967 -231с.
18. Archard J.F. The temperature rise of rubbing surfaces//Wear.-vol.2.-№6.-1959.- p.438-455.
19. Blok H. Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions – Proc/. Inst/ Mech. Eng. London, 1937. V2.2., p. 222.
20. Jaeger J.C. Moving sources of heat and the temperature at sliding surfaces. – Proc. Roy. Soc. NSW. 1942,V.76. p.203-224

