

**КЕРІВНИЦТВО
З НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВИХ
МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

**ДСТУ 3463—96 (ГОСТ 14209—97)
(ІЕС 354—91)**

БЗ № 1—94/73

**РУКОВОДСТВО
ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ
МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**ГОСТ 14209—97
(МЭК 354—91)**

Видання офіційне

**ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Київ**



ДСТУ 3463—96
(ГОСТ 14209—97)
(IEC 354—91)

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

КЕРІВНИЦТВО З НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВИХ МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Видання офіційне

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Київ

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО І ВНЕСЕНО ТК 30; Відкритим акціонерним товариством «Український науково-дослідний проектно-конструкторський і технологічний інститут трансформаторобудування» ВАТ «ВІТ»

2 ЗАТВЕРДЖЕНО наказом Держстандарту України від 26 листопада № 963

ВВЕДЕНО В ДІЮ наказом Держстандарту України від 5 грудня 1997 р. № 732

3 Цей стандарт є повним автентичним текстом ІЕС 354 (1991) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» з доповненнями, набраними курсивом

4 НА ЗАМІНУ ГОСТ 14209—85

5 РОЗРОБНИКИ: **О.І. Сисуненко**, канд. техн. наук; **В.П. Пустовий**; **П.Г. Кохан**, канд. техн. наук; **В.Г. Горових**; **Т.В. Дубицька**

ЗМІСТ

	С.
1 Загальні положення	1
1.1 Галузь використання	1
1.2 Призначення	1
1.3 Визначення	2
1.4 Основні обмеження і вплив режиму навантажень, які перевищують номінальні значення	3
1.5 Спеціальні обмеження для розподільних трансформаторів	5
1.6 Спеціальні обмеження для трансформаторів середньої потужності	6
1.7 Спеціальні обмеження для трансформаторів великої потужності	6
2 Розрахунок температури	7
2.1 Умовні позначення	7
2.2 Безпосереднє вимірювання температури найбільш нагрітої точки	8
2.3 Розрахункові теплові характеристики	8
2.4 Розрахунок температури в усталеному тепловому режимі	10
2.5 Розрахунок температури в неусталеному тепловому режимі	11
2.6 Термічне зношення ізоляції трансформатора	11
2.7 Температура охолодного середовища	13
2.8 Програма машинного розрахунку	15
3 Таблиці допустимих навантажень	23
3.1 Обмеження, прийняті в таблицях допустимих навантажень	23
3.2 Метод перетворення реальних добових графіків навантаження в еквівалентні їм добові двоступінчасті прямокутні графіки	23
3.3 Нормальний тривалий режим навантаження	25
3.4 Нормальні режими систематичних навантажень	25
3.5 Режими аварійних перевантажень	35
Додаток А Еквівалентний номінальний режим автотрансформаторів	60
Додаток В Альтернативний метод визначення перевищення середньої температури масла обмоток за результатами вимірювання під час випробування на нагрівання	62
Додаток С Відомості, які надаються в запитах і замовленнях	66
Додаток D Визначення параметрів синусоїдної зміни температури охолодного середовища	67
Додаток Е Приклад спрощеного застосування керівництва з навантаження силових масляних трансформаторів	73
Додаток G Визначення еквівалентної температури охолодного середовища	75
Додаток F Уточнений метод перетворення реального графіка навантаження	80
Додаток H Спрощені таблиці допустимих аварійних перевантажень	82

Додаток L Приклади розрахунку температури найбільш нагрітої точки обмотки та відносного зношення виткової ізоляції (без застосування ЕОМ)	84
Додаток I Таблиці допустимих систематичних навантажень з нормальним скороченням терміну служби.....	87

Ісправка 11-99

Місце поправки	Надруковано		Повинно бути	
С. 7, 2.1.1	зношення температури		зношення і температури	
С. 8, 2.2	значним перевантаженням		значним обмеженням перевантаження	
С. 9, 2.3.3	ON		OD	
С. 12, відношення після примітки	$e^{-P\theta}$		$e^{-P\theta}$	
С. 17, Рисунок 3	$\Delta\theta_{hr};$ (θ_e, θ_m)		$\Delta\theta_{hr};$ (θ_e, θ_m)	
С. 24, 3.2.3, перше речення	однакові		однакової	
С. 39, Таблиця 10, графа 8, рядок 15	18,8		16,8	
С. 46, Таблиця 17, графи 8, 9, рядок 18	149	148	148	149
С. 60, Додаток А, формула (А.1)	$\frac{U_1}{U_1 - U_2}$		$\frac{U_1 - U_2}{U_1}$	
С. 62, Додаток В, В.2	або θb		або $\Delta\theta b$	
С. 67, Додаток D, перший абзац, третє речення	Тому, обчислення		Тому під час обчислення	
С. 72, Таблиця D2, останній рядок	В		В _m	
С. 80, Додаток F, F.2.7	вихідного навантаження		вихідного графіка наванта- ження	
С. 84, Додаток L, L.1.3, четвертий абзац	У кожному інтервалі...		L.1.3.1 У кожному інтервалі...	

(ІПС № 11–99)

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**КЕРІВНИЦТВО З НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВИХ
МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

**РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ
МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**LOADING GUIDE FOR OIL-IMMERSED
POWER TRANSFORMERS**

Чинний від 1999—01—01

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Галузь використання

Цей стандарт поширюється на масляні трансформатори, які відповідають вимогам ГОСТ 11677. Стандарт містить рекомендації з допустимих режимів навантаження, які перевищують номінальну потужність трансформаторів у межах установлених обмежень. Відносно пічних трансформаторів, через особливості їх режимів навантаження, потрібно користуватися відповідною консультацією у виробника.

1.2 Призначення

У цьому стандарті наведено вказівки щодо визначення технічно обгрунтованих режимів навантаження силових трансформаторів з точки зору допустимих температур і термічного зношення. Наведено рекомендації з експлуатації трансформаторів з навантаженням, що перевищує номінальне значення, та рекомендації для споживачів щодо вибору відповідних номінальних величин і умов навантаження заново встановлених трансформаторів.

Вимоги до перевищення температури масляних трансформаторів при постійному номінальному навантаженні та відповідні випробування — згідно з ГОСТ 3484.2. Слід зазначити, що в ГОСТ 3484.2 за основу прийняте середнє значення перевищення температури обмотки, тоді як у цьому стандарті посиляються здебільшого на температуру найбільш нагрітої точки; такі значення наводяться тільки як рекомендовані.

У стандарті наводяться математичні моделі для оцінки можливих наслідків різних режимів навантаження, циклічних або систематичних при різних температурах охолодного середовища. Ці моделі містять методики розрахунку допустимої температури в трансформаторі, зокрема температури найбільш нагрітої точки обмотки. Ця температура, в свою чергу, використовується для визначення відносної швидкості термічного зношення.

Стандарт містить також рекомендації з обмеження допустимих навантажень згідно з результатами розрахунку температури. Ці рекомендації поширюються на трансформатори різних категорій залежно від потужності та призначення, а також ураховують режими навантаження: режим

постійних навантажень, режим систематичних неаварійних навантажень або режим короточасних аварійних навантажень.

Для трансформаторів малої потужності, які називаються тут розподільними, в стандарті наведено графіки визначення циклічних режимів навантаження для заданої температури охолодного середовища відносно номінальних умов навантаження при номінальній температурі охолодного середовища для трансформаторів, які відповідають вимогам ГОСТ 3484.2.

Для трансформаторів великої потужності методи розрахунку температури відрізняються залежно від виду охолодження. Категорія трансформаторів середньої потужності містить трифазні двообмоткові трансформатори потужністю до 100 МВ·А або еквівалентні їм; трансформатори більшої номінальної потужності (понад 100 МВ·А) визначено як трансформатори великої потужності. Для таких трансформаторів рекомендовано виконувати розрахунки за значеннями окремих параметрів, отриманих під час проведення типових випробувань. За викладеними в цьому документі причинами рекомендовані обмеження для цих двох категорій трансформаторів мають незначні відмінності.

Частина перша «Загальні положення» містить визначення, загальні принципи, основні дані та спеціальні рекомендації з роботи різних категорій трансформаторів.

У другій частині «Розрахунок температури» наведено використовувані математичні моделі.

У третій частині «Таблиці допустимих навантажень» наведено результати розрахунку у вигляді графіків і таблиць для стандартних умов.

1.3 Визначення

У цьому стандарті прийнято такі визначення.

1.3.1 Розподільний трансформатор

Трифазний трансформатор номінальною потужністю не більше 2500 кВ·А або однофазний номінальною потужністю не більше 833 кВ·А класів напруги до 35 кВ включно, тобто знижувальний трансформатор з роздільними обмотками і напругою розподільної мережі, з охолодженням *ON* і без перемикачів відгалужень обмоток під навантаженням.

1.3.2 Трансформатор середньої потужності

Трифазний трансформатор номінальною потужністю не більше 1000 МВ·А або однофазний номінальною потужністю не більше 33,3 МВ·А з роздільними обмотками, в якому опір короткого замикання z_r (у відсотках) через обмеження густини потоку розсіяння не перевищує значення

$$z_r = (25 - 0,1 \frac{3S_r}{W}),$$

де W — кількість стрижнів;
 S_r — номінальна потужність, МВ·А.

Еквівалентний номінальний режим для автотрансформаторів визначають згідно з додатком А.

1.3.3 Трансформатор великої потужності

Трансформатор потужністю понад 100 МВ·А (трифазний) або з граничним значенням опору короткого замикання, яке перевищує наведене вище значення.

1.3.4 Режим циклічних навантажень

Режим навантажень з циклічними змінами (як правило, цикл дорівнює добі), який визначають з урахуванням середнього значення зношення протягом тривалості циклу. Режим циклічних навантажень може бути режимом систематичних навантажень або режимом тривалих аварійних перевантажень.

а) Режим систематичних навантажень

Режим, протягом частини циклу якого температура охолодного середовища може бути вищою і струм навантаження перевищує номінальний, проте з точки зору термічного зношення (згідно з математичною моделлю) таке навантаження еквівалентне навантаженню при номінальній температурі охолодного середовища. Це досягається за рахунок зниження температури охолодного середовища або струму навантаження протягом решти частини циклу.

Під час планування навантажень цей принцип може бути поширений на тривалі періоди, протягом яких цикли з швидкістю відносного зношення ізоляції понад одиницю компенсуються циклами з швидкістю зношення меншою за одиницю.

б) Режим тривалих аварійних перевантажень

Режим навантаження, що виникає внаслідок тривалого виходу з ладу деяких елементів мережі, які можуть бути відновлені тільки після досягнення сталого значення перевищення температури

трансформатора. Це не звичайний робочий стан, і передбачається, що він виникатиме рідко, проте може тривати протягом тижня або навіть місяців і спричинятиме значне термічне зношення. Однак таке навантаження не повинно бути причиною аварії внаслідок термічного пошкодження або зниження електричної міцності ізоляції трансформатора.

1.3.5 Режим короткочасних аварійних навантажень

Режим надзвичайно високого навантаження, спричинений непередбаченими впливами, які призводять до значних порушень нормальної роботи мережі, при цьому температура найбільш нагрітої точки провідників досягає небезпечних значень і в деяких випадках відбувається тимчасове зниження електричної міцності ізоляції. Проте на короткий період часу цей режим може бути кращим за інші. Можна припустити, що перевантаження такого типу виникатимуть рідко. Їх необхідно якомога швидше зменшити або на короткий час вимкнути трансформатор, щоб уникнути його пошкодження. Допустима тривалість такого навантаження менша за теплову сталу часу трансформатора і залежить від досягнутої температури до перевантаження; як правило, тривалість перевантаження становить менш як півгодини.

1.4 Основні обмеження і вплив режиму навантажень, які перевищують номінальні значення

1.4.1 Вплив режиму навантажень, які перевищують номінальні значення

1.4.1.1 Чинники, що впливають на терміни служби

Дійсний термін служби трансформатора значною мірою залежить від виняткових впливів, таких як перенапруги, короткі замикання в мережі та аварійні перевантаження. Ймовірність безвідмовної роботи при таких впливах, що виникають окремо або в поєднанні, залежить в основному від:

- а) значимості (амплітуди і тривалості) впливу;
- б) конструкції трансформатора;
- в) температури різних частин трансформатора;
- г) вмісту вологи в ізоляції і маслі;
- д) вмісту кисню та інших газів в ізоляції і маслі;
- е) кількості, розміру та виду частинок домішок.

Передбачуваний нормальний термін служби — це деяка умовна величина, яка приймається для безперервного постійного навантаження при нормальній температурі охолодного середовища та за номінальних умов експлуатації. Навантаження і (або) температура охолодного середовища, які перевищують номінальні, викликають прискорене зношення, містять деякий ступінь ризику. Метою цього стандарту і є визначення ступеня ризику і встановлення деяких обмежень режимів навантаження трансформаторів, що перевищують номінальні значення.

Режим навантаження трансформатора, яке перевищує номінальне значення, спричинює такі наслідки:

- а) температура обмоток, відводів, з'єднань, ізоляції та масла збільшується і може перевищити допустимі значення;
- б) зростає густина потоку розсіювання поза магнітною системою, що внаслідок виникнення вихрових струмів спричинює більше нагрівання металевих частин, охоплених цим потоком;
- в) поєднання основного і додаткового потоків розсіювання обмежує експлуатаційні можливості магнітної системи при високій індукції;
- г) зі зміною температури змінюється вміст вологи і газу в ізоляції і маслі;
- д) вводи, перемикачі, кінцеві закладання кабелю і трансформатори струму також зазнають підвищених навантажень, що обмежує можливості їх використання.

Отже, із збільшенням струму навантаження і температури виникає небезпека передчасної відмови. Така небезпека може виникнути негайно або бути наслідком загального погіршення стану трансформатора протягом багатьох років.

1.4.1.2 Небезпека короткочасних впливів:

- а) основною небезпекою, що спричиняє відмову трансформатора під час короткочасних впливів, є зниження електричної міцності ізоляції внаслідок можливого виділення бульбашок газу в місцях з високою електростатичною напруженістю, тобто в обмотках або з'єднаннях.

У паперовій ізоляції бульбашки газу можуть скупчуватися під час раптового підвищення критичного значення температури найбільш нагрітої точки, що становить для трансформаторів з нормальним вмістом вологи приблизно від 140 до 160 °С. Із збільшенням концентрації вологи ця критична температура незначно зменшується.

Бульбашки газу можуть також скупчуватись на поверхні масивних металевих частин, нагрітих потоком розсіяння, або виділятись під час перенасичення масла. Проте бульбашки, як правило, накопичуються в місцях з низькою електростатичною напруженістю і повинні переміщуватись в місця з вищою електростатичною напруженістю до того, як відбудеться значне зниження електричної міцності ізоляції.

Допускається різке, до 180 °С, підвищення температури неізольованих металевих частин, які знаходяться в трансформаторному маслі, але безпосередньо не стикаються з основною органічною ізоляцією;

б) тимчасове погіршення механічних властивостей у разі підвищення температури може зменшити стійкість трансформатора під час короткого замикання;

в) у разі підвищення тиску у вводах може відбутися пробій внаслідок витікання масла. Якщо температура ізоляції перевищує значення 140 °С, у вводах також може відбутися накопичення газів;

г) у разі розширення масла може відбуватися його переливання із розширювача;

д) перемикання дуже високих струмів перемикачем може бути небезпечним.

1.4.1.3 Небезпека тривалих впливів

а) при значній температурі швидкість сукупного термічного зношення ізоляції провідників збільшується. Якщо такий вплив продовжується тривалий час, може відбутися скорочення дійсного терміну служби трансформатора, особливо якщо трансформатор піддається коротким замиканням мережі;

б) у разі підвищеної температури може також збільшитись швидкість зношення інших ізоляційних матеріалів, а також провідників та деяких металевих частин;

в) у разі підвищених струму і температури перехідний опір контактів перемикальних пристроїв може збільшуватись і в кінцевому рахунку спричиняти недопустиме їх перегрівання;

г) ущільнювальні матеріали в трансформаторі у разі підвищеної температури стають крихкішими.

Небезпека короточасних впливів закінчується, як правило, після зниження навантаження до номінального, однак з точки зору рівня надійності трансформатора вони можуть заподіяти значнішу шкоду, ніж тривалі впливи.

Цей стандарт передбачає обмеження навантажувальної здатності короточасними і тривалими впливами. Таблиці та графіки, наведені в стандарті, ґрунтуються на традиційних методах розрахунку передбачуваної довговічності паперової ізоляції за механічними властивостями залежно від часу і температури, тоді як обмеження граничних температур найбільш нагрітої точки ґрунтуються на міркуваннях небезпеки негайної відмови.

1.4.2 Потужність трансформатора

Чутливість трансформатора до навантажень, вищих за номінальні, здебільшого залежить від потужності. Із збільшенням потужності трансформатора спостерігається таке:

а) збільшується індуктивність розсіяння;

б) збільшуються зусилля короткого замикання;

в) збільшується поверхня ізоляції з електростатичною напруженістю;

г) ускладнюється визначення достовірної температури найбільш нагрітої точки.

Отже, трансформатори великої потужності можуть бути менш стійкими до перевантажень, ніж трансформатори меншої потужності. Крім того, вихід з ладу потужних трансформаторів спричиняє важчі наслідки, ніж відмова трансформаторів малої потужності.

З метою збереження можливо меншого ступеня ризику у разі очікуваних перевантажень у цьому стандарті розглядаються три категорії трансформаторів:

а) розподільні трансформатори, для яких враховуються тільки температура найбільш нагрітої точки і термічне зношення;

б) трансформатори середньої потужності, для яких вплив потоку розсіяння не є критичним, однак повинні враховуватись різні види охолодження;

в) трансформатори великої потужності, для яких вплив потоку розсіяння і наслідки відмов можуть бути значними.

1.4.3 Обмеження струму і температури

Під час перевантаження, яке перевищує номінальне, рекомендується не перевищувати граничні значення, зазначені в таблиці 1, і враховувати спеціальні обмеження, наведені в 1.5—1.7.

Таблиця 1 — Граничні значення температури і струму для режимів навантаження, яке перевищує номінальне

Тип навантаження	Трансформатори		
	розподільні	середньої потужності	великої потужності
Режим систематичних навантажень			
Струм, відн. од.	1,5	1,5	1,3
Температура найбільш нагрітої точки та металевих частин, що контактують з ізоляційним матеріалом, °C	140	140	120
Температура масла у верхніх шарах, °C	105	105	105
Режим тривалих аварійних перевантажень			
Струм, відн. од.	1,8	1,5	1,3
Температура найбільш нагрітої точки та металевих частин, що контактують з ізоляційним матеріалом, °C	150	140	130
Температура масла у верхніх шарах, °C	115	115	115
Режим короточасних аварійних перевантажень			
Струм, відн. од.	2,0	1,8	1,5
Температура найбільш нагрітої точки та металевих частин, що контактують з ізоляційним матеріалом, °C	Згідно з 1.5.2	160	160
Температура масла у верхніх шарах, °C	Згідно з 1.5.2	115	115

1.5 Спеціальні обмеження для розподільних трансформаторів

1.5.1 Обмеження потужності

У цьому пункті розглядаються розподільні трансформатори потужністю не більше 2500 кВ·А, визначення яких наведено в 1.3.1.

1.5.2 Обмеження струму і температури

Не слід перевищувати наведені в таблиці 1 граничні значення струму навантаження, температури найбільш нагрітої точки обмоток і температури масла у верхніх шарах. Для режимів короточасних аварійних перевантажень граничні значення температури масла у верхніх шарах і найбільш нагрітої точки не встановлені, через те, що на практиці неможливо контролювати тривалість аварійного перевантаження розподільних трансформаторів. Потрібно мати на увазі, що при температурі найбільш нагрітої точки, яка перевищує 140—160 °C, можливе виділення бульбашок газу, що знижують електричну міцність ізоляції трансформатора (див. 1.4.1.2. Небезпека короточасних впливів).

1.5.3 Інші частини трансформатора

Робота трансформатора в режимі навантаження, яке перевищує 1,5 номінального струму, крім обмоток може обмежуватись деякими іншими частинами трансформатора, такими як вводи, кінцеві кабельні з'єднання, пристрої перемикання відгалужень обмоток та з'єднання. Причиною обмеження роботи трансформатора може бути також розширення і тиск масла.

Допустимі перевантаження, розраховані для обмоток, не повинні обмежуватися навантажувальними характеристиками виробів, які комплектують трансформатор.

1.5.4 Трансформатори внутрішнього встановлення

Якщо трансформатор призначено для внутрішнього встановлення, потрібно до значення номінального перевищення температури масла у верхніх шарах внести поправку на навколишнє середовище. Таке додаткове збільшення перевищення температури необхідно визначати переважно під час випробувань трансформаторів (див. 2.7.6).

1.5.5 Вплив зовнішніх чинників

Вітер, сонце і дощ можуть певною мірою впливати на навантажувальну здатність розподільних трансформаторів, проте через нерегулярність впливів цих чинників враховувати їх недоцільно.

1.6 Спеціальні обмеження для трансформаторів середньої потужності

1.6.1 Обмеження номінального режиму

У цьому пункті розглядаються трифазні трансформатори номінальної потужності не більше 100 МВ·А, на які поширюються обмеження з опору короткого замикання, наведені в 1.3.2.

1.6.2 Обмеження струму і температури

Не слід перевищувати наведені в таблиці 1 граничні значення струму навантаження, температури найбільш нагрітої точки обмоток, температури масла у верхніх шарах і температури металевих частин, що контактують з ізоляційним матеріалом. Крім того, потрібно мати на увазі, що при температурі найбільш нагрітої точки, яка перевищує 140—160 °С, можливе виділення бульбашок газу, що зменшують електричну міцність ізоляції трансформатора (див. 1.4.1.2. Небезпека короткочасних впливів).

1.6.3 Інші частини трансформатора та приєднане устаткування

Крім обмоток, робота трансформатора в режимі навантаження, яке перевищує 1,5 номінального струму, може обмежуватись також можливостями інших частин трансформатора, зокрема вводів, кінцевих кабельних з'єднань, пристроїв перемикання відгалужень обмоток та з'єднання. Причиною обмеження роботи трансформатора може бути також розширення і тиск масла. Потрібно враховувати і характеристики такого приєданого устаткування, як кабелі, вимикачі, трансформатори струму тощо.

Допустимі перевантаження, розраховані для обмоток, не повинні обмежуватися навантажувальними характеристиками виробів, які комплектують трансформатор.

1.6.4 Вимоги до стійкості під час короткого замикання

Під час роботи в умовах навантаження, яке перевищує номінальне, або безпосередньо після такої роботи трансформатори можуть не задовольняти вимоги ГОСТ 11677 до термічної стійкості під час короткого замикання, які допускають тривалість струмів короткого замикання 2 с. Проте здебільшого в умовах експлуатації тривалість струму короткого замикання менш як 2 с.

1.6.5 Обмеження напруги

Якщо немає інших обмежень для регулювання напруги із змінним потоком (див. ГОСТ 11677), то прикладувана напруга не повинна перевищувати 1,05 номінальної напруги (основне відгалуження) або напруги відгалуження (інші відгалуження) на будь-якій обмотці трансформатора.

1.7 Спеціальні обмеження для трансформаторів великої потужності

1.7.1 Загальні положення

Для трансформаторів великої потужності потрібно враховувати додаткові обмеження, пов'язані переважно із сильними потоками розсіювання. У зв'язку з цим доцільно зазначати під час замовлення трансформатора або по запиту навантажувальну здатність трансформатора спеціального призначення (див. додаток С).

Метод розрахунку термічного зношення ізоляції для всіх категорій трансформаторів однаковий. Проте рекомендується виконувати машинний розрахунок за фактичними тепловими характеристиками кожного трансформатора, що розглядається індивідуально, а не користуватися даними таблиць допустимих навантажень, наведених у розділі 3.

Сучасний рівень знань, вимоги високої надійності трансформаторів великої потужності, пов'язані з наслідками їх пошкодження, а також наведені нижче положення зумовлюють консервативніший та індивідуальніший підхід до рекомендацій для цих трансформаторів, ніж для трансформаторів меншої потужності:

а) поєднання потоку розсіювання і головного намагнічувального потоку в стрижнях або ярах магнітної системи зумовлює значну схильність трансформаторів великої потужності до перезбуджень, особливо в умовах перевантажень;

б) наслідки погіршення механічних властивостей ізоляції під дією температури й часу, включаючи зношення, спричинене термічним розширенням, для трансформаторів великої потужності можуть бути більш значними;

в) температура найбільш нагрітої точки обмоток не може бути визначена під час звичайних випробувань на нагрівання. Навіть якщо під час такого випробування номінальним струмом не визначаються ніякі відхилення від норми, зробити висновок про наслідки при вищих струмах неможливо, ця екстраполяція не береться до уваги під час конструювання трансформаторів;

г) розраховані за результатами випробувань на нагрівання номінальним струмом значення перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки для струмів, що перевищують номінальний, для трансформаторів великої потужності можуть бути менш достовірними.

1.7.2 Обмеження струму і температури

Не слід перевищувати наведені в таблиці 1 граничні значення струму навантаження, температури найбільш нагрітої точки обмоток, температури масла у верхніх шарах і температури металевих частин, що контактують з ізоляційним матеріалом. Крім того, потрібно мати на увазі, що при температурі найбільш нагрітої точки, яка перевищує 140—160 °С, можливе виділення бульбашок газу, що зменшують електричну міцність ізоляції трансформатора (див. 1.4.1.2. Небезпека короткочасних впливів).

1.7.3 Інші частини трансформатора і приєднаного устаткування

Згідно з 1.6.3.

1.7.4 Вимоги до стійкості під час короткого замикання

Згідно з 1.6.4.

1.7.5 Обмеження напруги

Згідно з 1.6.5.

2 РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРИ

2.1 Умовні позначення

2.1.1 Основні умовні позначення

<i>A</i>	— амплітуда річної зміни середньої добової температури охолодного середовища, °С;
<i>B</i>	— амплітуда добової зміни, °С;
<i>ДХ</i>	— найбільш жаркий день року;
<i>H</i>	— коефіцієнт температури найбільш нагрітої точки;
<i>I</i>	— струм навантаження, А;
<i>K</i>	— коефіцієнт навантаження (відношення струму навантаження до номінального струму);
<i>L</i>	— відносне зношення за певний період часу;
<i>R</i>	— відношення втрат навантаження при номінальному струмі до втрат неробочого ходу;
<i>S</i>	— номінальна потужність, МВ·А;
<i>ТХ</i>	— найбільш жарка година доби;
<i>V</i>	— відносна швидкість зношення;
<i>W</i>	— кількість стрижнів остова;
<i>g</i>	— різниця температур обмотки і масла, °С;
<i>j</i>	— місяць року (використовується під час розрахунку зношення температури найбільш нагрітої точки на цілий рік);
<i>t</i>	— тривалість навантаження на прямокутному графіку навантаження, год;
<i>z</i>	— опір короткого замикання, %;
θ	— температура, °С;
τ	— теплова стала часу;
<i>ON</i>	— означає види охолодження <i>ONAN</i> або <i>ONAF</i> ;
<i>OF</i>	— означає види охолодження <i>OFAF</i> або <i>OFWF</i> ;
<i>OD</i>	— означає види охолодження <i>ODAF</i> або <i>ODWE</i> .

2.1.2 Приставки

Δ — означає перевищення температури (відносно температури охолодного середовища).

2.1.3 Показники ступеня

x — показник ступеня сумарних втрат під час розрахунку перевищення температури масла;
y — показник ступеня коефіцієнта навантаження під час розрахунку перевищення температури обмотки;
 ' — стосується температури найбільш нагрітої точки для виду охолодження *OD*.

2.1.4 Індекси (загальні)

E — відповідає еквівалентній температурі охолодного середовища;
M — відповідає температурі охолодного середовища під час розрахунку найбільш нагрітої точки;
W — відповідає обмотці;

- a* — відповідає охолодному повітрю (температурі);
- h* — відповідає найбільш нагрітій точці (температурі);
- m* — відповідає коефіцієнту, який використовується під час розрахунку максимальної температури найбільш нагрітої точки;
- o* — відповідає маслу;
- r* — означає номінальне значення (якщо застосовується, то завжди ставиться останнім);
- t* — відповідає температурі або перевищенню температури в момент часу t ;
- y* — відповідає щорічному значенню.

2.1.5 Спеціальні індекси для температури масла (якщо застосовується один з цих індексів, то завжди ставиться першим)

- i* — масло всередині обмоток, у верхніх шарах;
- lm* — середня температура масла в обмотках;
- b* — масло в нижній частині бака, обмотки чи охолодника;
- o* — масло у верхній частині бака;
- om* — середня температура масла в баці;
- e* — масло у верхній частині теплообмінника;
- em* — середня температура в теплообміннику;
- bt* — температура масла в нижній частині бака в момент часу t ;
- bi* — початкова температура масла в нижній частині бака;
- bu* — максимальна температура масла в нижній частині бака.

2.2 Безпосереднє вимірювання температури найбільш нагрітої точки

Найбільш значним перевантаженням трансформатора є температура найбільш нагрітої точки обмотки: необхідно домагатись того, щоб з найможливішою точністю визначати цю температуру. Поступово стає можливим безпосереднє її вимірювання (оптичними волоконними світлопроводами з давачами або іншими пристроями аналогічного призначення). Такі вимірювання повинні поліпшувати оцінку температури найбільш нагрітої точки порівняно з методиками розрахунку, наведеними в 2.4.

2.3 Розрахункові теплові характеристики

2.3.1 Прийняті спрощення

Слід мати на увазі, що формули, наведені в цьому стандарті, ґрунтуються на деяких спрощеннях. Показана на рисунку 1 схема розподілу температури є спрощенням складнішої дійсної картини розподілу температури. Отже, прийняті такі спрощення:

а) температура масла всередині обмоток зростає лінійно від нижньої частини до верхньої незалежно від виду охолодження;

б) перевищення температури провідника збільшується лінійно по висоті обмотки і паралельно перевищенню температури масла з постійною різницею g між двома прямими лініями (g — різниця між перевищенням середньої температури, виміряної методом опору, і перевищенням середньої температури масла);

в) перевищення температури найбільш нагрітої точки повинно бути вищим, ніж перевищення температури провідника у верхній частині обмотки, як показано на рисунку 1, оскільки необхідно врахувати збільшення додаткових втрат. Для врахування цих нелінійностей різницю температур найбільш нагрітої точки і масла у верхній частині обмотки прийнято позначати H_g . Коефіцієнт H може мати значення від 1,1 до 1,5 залежно від потужності трансформатора, опору короткого замикання та конструкції обмотки. Під час побудови графіків та складання таблиць розділу 3 цього стандарту для розподільних трансформаторів використано значення 1,1, для трансформаторів середньої і великої потужності — 1,3.

2.3.2 Температура масла у верхніх шарах, виміряна під час випробувань, відрізняється від температури масла, що витікає з обмотки. Ця різниця особливо помітна протягом неусталеного режиму внаслідок раптової появи навантаження великої амплітуди. Фактично масло у верхніх шарах є сумішшю різних потоків масла, які циркулюють вздовж і (або) зовні різних обмоток.

Різниця між головними обмотками під час охолодження *ОН* найчастіше незначна. Для будь-якої обмотки за температуру масла на виході з обмотки приймається температура суміші масла у верхній частині бака.

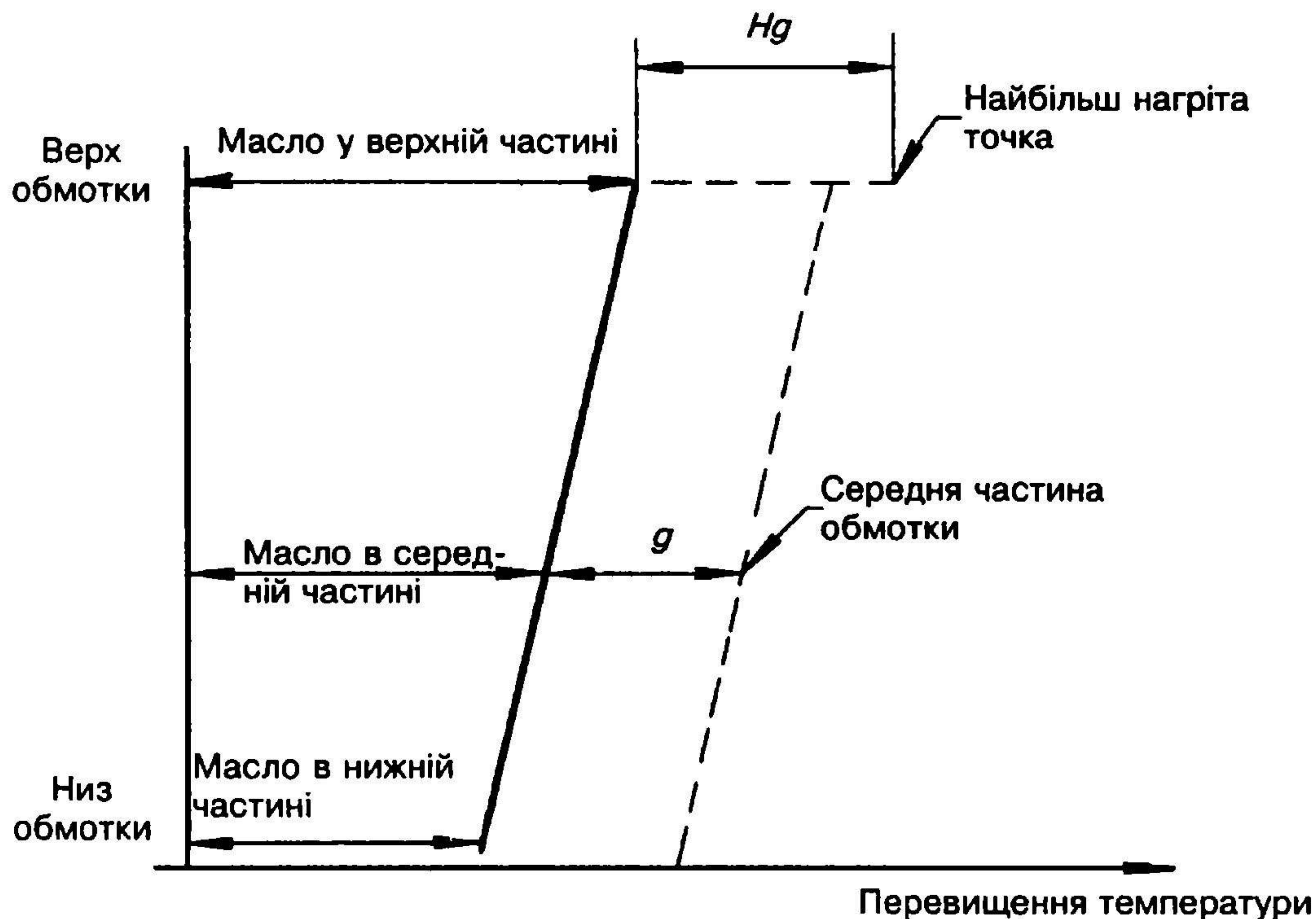


Рисунок 1 — Схема розподілу температури

За температуру масла на виході з обмотки при видах охолодження *OF* та *OD* приймається температура масла в нижній частині обмоток плюс подвоєна різниця середньої температури масла в середній частині обмотки, що розглядається, і температури масла в нижній частині обмотки.

Через відмінності в розподілі потоків масла різні види охолодження слід розглядати окремо. Припускають, що в трансформаторах з охолодженням *ON* і *OF* циркуляція масла в обмотках здійснюється термосифоном, а у трансформаторах з охолодженням *OD* — здебільшого насосом і практично не залежить від градієнта температури масла.

2.3.3 У трансформаторах з видами охолодження *ON* і *OF* середню температуру масла слід визначати найкращим з відомих методів, оскільки від цього безпосередньо залежить розрахунок температури найбільш нагрітої точки. У ГОСТ 3484.2 наведено кілька методів визначення, що використовуються тільки під час розрахунку деяких поправок на перевищення середньої температури обмотки. У цьому стандарті використано в основному альтернативний метод (див. додаток В) визначення середньої температури масла за результатами випробувань.

2.3.4 Оскільки теплова стала часу обмоток, як правило, невелика (від 5 до 10 хв), вона чинить на температуру найбільш нагрітої точки тільки обмежений вплив навіть у разі підвищених короточасних перевантажень. Тривалість найкороткочаснішого перевантаження за таблицями допустимих навантажень цього стандарту становить 30 хв (розділ 3); під час розрахунків значення теплової сталої часу приймають таким, що дорівнює нулю.

2.3.5 Для розрахунку перевищення температури найбільш нагрітої точки в сталому, циклічному або іншому режимі дозволяється використовувати теплові характеристики, отримані з різних джерел:

а) результатів спеціальних випробувань на нагрівання, у тому числі безпосередніх вимірювань температури найбільш нагрітої точки або температури масла на виході з обмоток (за відсутності безпосереднього вимірювання найбільш нагрітої точки коефіцієнт найбільш нагрітої точки H може бути повідомлено тільки виробником);

б) результатів звичайного випробування на нагрівання;

в) значень перевищення температури при номінальному струмі.

У таблиці 2 наведено теплові характеристики, які використовувались під час складання таблиць допустимих навантажень розділу 3 цього стандарту. Слід зазначити, що якщо для трансформаторів великої потужності перевищення середньої температури обмотки при номінальному струмі дорівнює $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ для видів охолодження *ON* та *OF* і $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для виду охолодження *OD*, то залежно від конструкції трансформатора перевищення температури найбільш нагрітої точки при номінальному струмі може становити понад $78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2 — Теплові характеристики, що використовуються під час складання таблиць навантажень розділу 3

Показник		Трансформатори			
		розподільні	середньої і великої потужності		
			ONAN	ON	OF
Показник ступеня масла	x	0,8	0,9	1,0	1,0
Показник ступеня обмотки	y	1,6	1,6	1,6	2,0
Відношення втрат	R	5	6	6	6
Коефіцієнт температури найбільш нагрітої точки	H	1,1	1,3	1,3	1,3
Теплова стала часу масла	τ_o , год	3,0	2,5	1,5	1,5
Температура охолодного середовища	θ_a , °C	20	20	20	20
Перевищення температури найбільш нагрітої точки	$\Delta\theta_{hr}$, °C	78	78	78	78
Перевищення середньої температури обмотки	$\Delta\theta_{wr}$, °C	65	63	63	68
Градiєнт температури найбільш нагрітої точки (масло на виході з обмотки)	H_{gr} , °C	23	26	22	29
Перевищення середньої температури масла	$\Delta\theta_{lmr}$, °C	44	43	46	46
Перевищення температури масла на виході з обмотки ¹⁾	$\Delta\theta_{lr}$, °C	55	52	56	49
Перевищення температури масла в нижній частині обмотки	$\Delta\theta_{br}$, °C	33	34	36	43

¹⁾ Для видів охолодження ON значення $\Delta\theta_{ir}$ приймають таким, що дорівнює $\Delta\theta_{or}$

2.4 Розрахунок температури в усталеному тепловому режимі

2.4.1 Вид охолодження ON

Для виду охолодження ON максимальна температура найбільш нагрітої точки при довільному навантаженні K дорівнює сумі температури охолодного середовища, перевищення температури масла у верхніх шарах і різниці температур найбільш нагрітої точки і масла у верхніх шарах

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{or} \left[\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right]^x + H_{gr} K^y. \quad (1)$$

2.4.2 Вид охолодження OF

Для виду охолодження OF метод розрахунку ґрунтується на температурі масла в нижній і середній частинах обмотки та середньої температури масла, як зазначено в 2.3.2. Отже, максимальна температура найбільш нагрітої точки при довільному навантаженні K дорівнює сумі температур охолодного середовища, перевищення температури масла в нижній частині обмотки, різниці температур масла на виході з обмотки і в нижній частині, а також різниці температур найбільш нагрітої точки і масла на виході з обмотки

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right]^x + 2[\Delta\theta_{imr} - \Delta\theta_{br}] K^y + H_{gr} K^y. \quad (2)$$

2.4.3 Вид охолодження *OD*

Для виду охолодження *OD* метод розрахунку, як правило, такий самий, як і для виду охолодження *OF*, за винятком того, що до значення θ_h додається поправка на заміну омичного опору обмоток від температури

$$\theta'_h = \theta_h + 0,15(\theta_h - \theta_{hr}) \quad (\text{при } K > 1), \quad (3)$$

де θ_h розраховують за формулою (2) без урахування впливу змін омичного опору;

θ_{hr} — температура найбільш нагрітої точки при номінальному навантаженні.

Для отримання точніших результатів слід звернутись за консультацією до виробника.

2.4.4 Поправки до формул розрахунку

Під час розрахунку максимальної температури найбільш нагрітої точки за наведеними вище формулами теоретично можна вводити різні поправки, наприклад, на зміни залежно від температури:

- а) втрат навантаження;
- б) відношення омичних втрат і втрат на вихрові струми в обмотці;
- в) в'язкості масла.

Для видів охолодження *ON* і *OF* зміна в'язкості під час зміни температури компенсується зміною опору обмоток. У цьому стандарті ці два явища не беруться до уваги.

Для виду охолодження *OD* вплив в'язкості масла на перевищення температури незначний. Потрібно враховувати зміну омичного опору, наприклад введенням поправки у формулу (3).

2.5 Розрахунок температури в неусталеному тепловому режимі

Будь-яка зміна режиму навантаження розглядається як ступінчаста функція. Прямокутний графік навантаження, що використовується в таблицях розділу 3 стандарту, складається з одного ступеня, спрямованого вгору, і через деякий час одного ступеня, спрямованого вниз. Для навантаження, яке безперервно змінюється, ступінчаста функція застосовується до менших інтервалів часу, а для розрахунку температури найбільш нагрітої точки потрібна програма машинного розрахунку (див. 2.8).

Перевищення температури масла (наприклад, у нижній частині) в кінці інтервалу часу t визначають за формулою

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bi} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bi})(1 - e^{-t/\tau_0}), \quad (4)$$

де $\Delta\theta_{bi}$ — початкове перевищення температури масла в нижній частині;

$\Delta\theta_{bu}$ — усталене перевищення температури масла в нижній частині при навантаженні, що прикладається протягом цього інтервалу часу;

τ_0 — стала часу масла.

За будь-якої зміни навантаження різниця температур обмотки і масла змінюється і досягає нового значення з характерною сталою часу обмотки. Відповідно до причин, наведених у 2.3.4, ця стала не береться до уваги. Приймається, що значення коефіцієнта навантаження K^y в останньому виразі формули (1) та двох останніх виразах формули (2) миттєво досягає нового значення.

2.6 Термічне зношення ізоляції трансформатора

2.6.1 Закон термічного зношення

Крім усіх інших впливів, якими можна було б нехтувати, ізоляція підлягає термохімічному зношенню. Цей процес є кумулятивним і призводить до недопустимого її стану за деякими критеріями. Згідно з законом Арреніуса, період часу до досягнення цього стану залежно від швидкості хімічної реакції виражається формулою

$$\text{Термін служби} = e^{(\alpha + \beta/T)}, \quad (5)$$

де α і β — сталі;

T — абсолютна температура.

Для обмеження діапазону температури можна користуватися простішим експоненціальним відношенням Монтсінгер

$$\text{Термін служби} = e^{-P\theta},$$

де P — стала;

θ — температура, °C.

(6)

Примітка. У цьому стандарті використовується відношення Монтсінгер, яке за наведеним вище визначенням є спрощенням основного, що використовується в інших керівництвах з навантаження, закону Арреніуса відносно термічного зношення. Для діапазону температур, що розглядається в цьому стандарті, використання відношення Монтсінгер вважається достатнім, по суті, дає оцінку термічного зношення запасом міцності.

Поки що не існує єдиного і простого критерію закінчення терміну служби, який міг би бути використаним для кількісної оцінки корисного терміну служби ізоляції трансформатора; проте можна зробити порівняння, що ґрунтуються на швидкості зношення ізоляції. Це величина, зворотна терміну служби, і визначається відношенням Монтсінгер

$$\text{Швидкість зношення} = \text{стала} \times e^{-P\theta}.$$

Значення сталої в цьому рівнянні залежить від багатьох чинників: початкового складу целюлозних продуктів (суміші вихідних матеріалів, хімічних добавок) і параметрів охолодного середовища (вмісту вологи, вільного кисню в системі).

Проте незалежно від цих змін в інтервалі температури від 80 до 140 °C, яка відповідає реальним умовам, за коефіцієнт зміни температури допускається приймати стає значення P . Під час визначення його значення враховують той факт, що швидкість зношення подвоюється під час кожної зміни температури приблизно на 6 °C; таке значення прийняте в цьому стандарті.

Швидкість зношення визначається температурою найбільш нагрітої точки. Для трансформаторів, які відповідають вимогам ГОСТ 11677, еталонне значення цієї величини при номінальному навантаженні до нормальної температури охолодного середовища приймається таким, що дорівнює 98 °C. У цьому стандарті відносна швидкість зношення при цій температурі приймається такою, що дорівнює одиниці.

У багатьох трансформаторах використовується термічно високоякісна ізоляція. Оскільки в ГОСТ 3484.2 цей вид ізоляції для масляних трансформаторів не розглядається, допустимі межі перевищення температури, зумовлені поліпшенням термічної стійкості ізоляції, встановлюються за погодженістю між виробником і споживачем. Здебільшого трансформатори з такою ізоляцією мають нормальний передбачуваний термін служби при базовій температурі найбільш нагрітої точки 110 °C.

2.6.2 Відносна швидкість термічного зношення ізоляції

Для трансформаторів, що відповідають вимогам ГОСТ 11677, відносна швидкість термічного зношення ізоляції прийнята такою, що дорівнює одиниці для температури найбільш нагрітої точки 98 °C, що відповідає роботі трансформатора при температурі охолодного середовища 20 °C і перевищенню температури найбільш нагрітої точки 78 °C. Відносну швидкість зношення ізоляції визначають за формулою

$$V = \frac{\text{швидкість зношення } \theta_h}{\text{швидкість зношення при } 98\text{ }^{\circ}\text{C}} = 2^{(\theta_h - 98)/6}.$$

(7)

З даних, наведених нижче, випливає, що ця формула містить значну залежність відносної швидкості зношення ізоляції від температури найбільш нагрітої точки.

θ_h	Відносна швидкість зношення ізоляції
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1,0
104	2,0
110	4,0
116	8,0
122	16,0
128	32,0
134	64,0
140	128,0

2.6.3 Розрахунок скорочення терміну служби

Скорочення терміну служби, викликане місячним, добовим або годинним навантаженням при температурі найбільш нагрітої точки 98 °С, виражається «нормальними» місяцем, добою або годиною.

Якщо навантаження і температура охолодного середовища є сталими протягом певного періоду часу, то відносне скорочення терміну служби дорівнює Vt , де t — проміжок часу, що розглядається. Те саме стосується і постійного режиму навантаження при змінній температурі охолодного середовища, якщо при цьому використовується базове значення температури охолодного середовища (див. 2.7).

Як правило, коли змінюються режим навантаження і температура охолодного середовища, відносна швидкість скорочення терміну служби змінюється в часі. Відносне зношення ізоляції (або відносне скорочення терміну служби) протягом певного періоду часу становитиме

$$L = \frac{1}{t} \int_{t_1}^t V dt, \quad \text{або} \quad L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V, \quad (8)$$

де n — порядковий номер інтервалу часу;
 N — загальна кількість однакових інтервалів часу.

2.7 Температура охолодного середовища

2.7.1 Загальні положення

Для трансформаторів зовнішнього встановлення з повітряним охолодженням за температуру охолодного середовища приймається дійсна температура повітря. Для розподільних трансформаторів, призначених для внутрішнього встановлення, поправку на температуру охолодного середовища наведено в 2.7.6. Для трансформаторів з водяним охолодженням за температуру охолодного середовища приймається температура води на вході в теплообмінник, яка в часі змінюється менше, ніж температура повітря.

Під час перевантажень тривалістю понад кілька годин слід враховувати зміну температури охолодного середовища. За бажанням споживача ці зміни можна враховувати одним із таких методів:

а) використовувати для розрахунку термічного зношення ізоляції еквівалентну температуру охолодного середовища; для розрахунку температури найбільш нагрітої точки використовувати еквівалентну температуру охолодного середовища та середнє значення місячних максимумів (2.7.2 та 2.7.5);

б) допускається безпосередньо використовувати криву зміни фактичної температури (2.7.4);

в) допускається одержати приблизне значення змінної температури охолодного середовища за допомогою подвійної синусоїдної функції (2.7.5).

2.7.2 Еквівалентна температура охолодного середовища θ_E

Якщо температура охолодного середовища помітно змінюється під час перевантажень, в тепловому розрахунку потрібно використовувати її еквівалентне значення, оскільки воно більше від середньоарифметичного значення.

Еквівалентна температура охолодного середовища є умовно сталою температурою, яка протягом періоду часу, що розглядається, викликає таке саме зношення ізоляції, як і змінна температура охолодного середовища протягом цього самого періоду часу (добі, місяця або року). Якщо із збільшенням температури на 6 °С швидкість зношення ізоляції подвоюється і вважають, що зміна температури охолодного середовища відбувається за синусоїдною формою, то еквівалентну температуру охолодного середовища визначають за формулою

$$\theta_E = \bar{\theta} + 0,01(\Delta\bar{\theta})^{1,85}, \quad (9)$$

де $\bar{\theta}$ — середня температура;
 $\Delta\bar{\theta}$ — відхилення температури за період, що розглядається (різниця середніх значень максимуму та мінімуму).

Поправочний коефіцієнт на середню температуру може бути також визначеним за кривою, зображеною на рисунку 2, який є ілюстрацією наведеної вище формули.

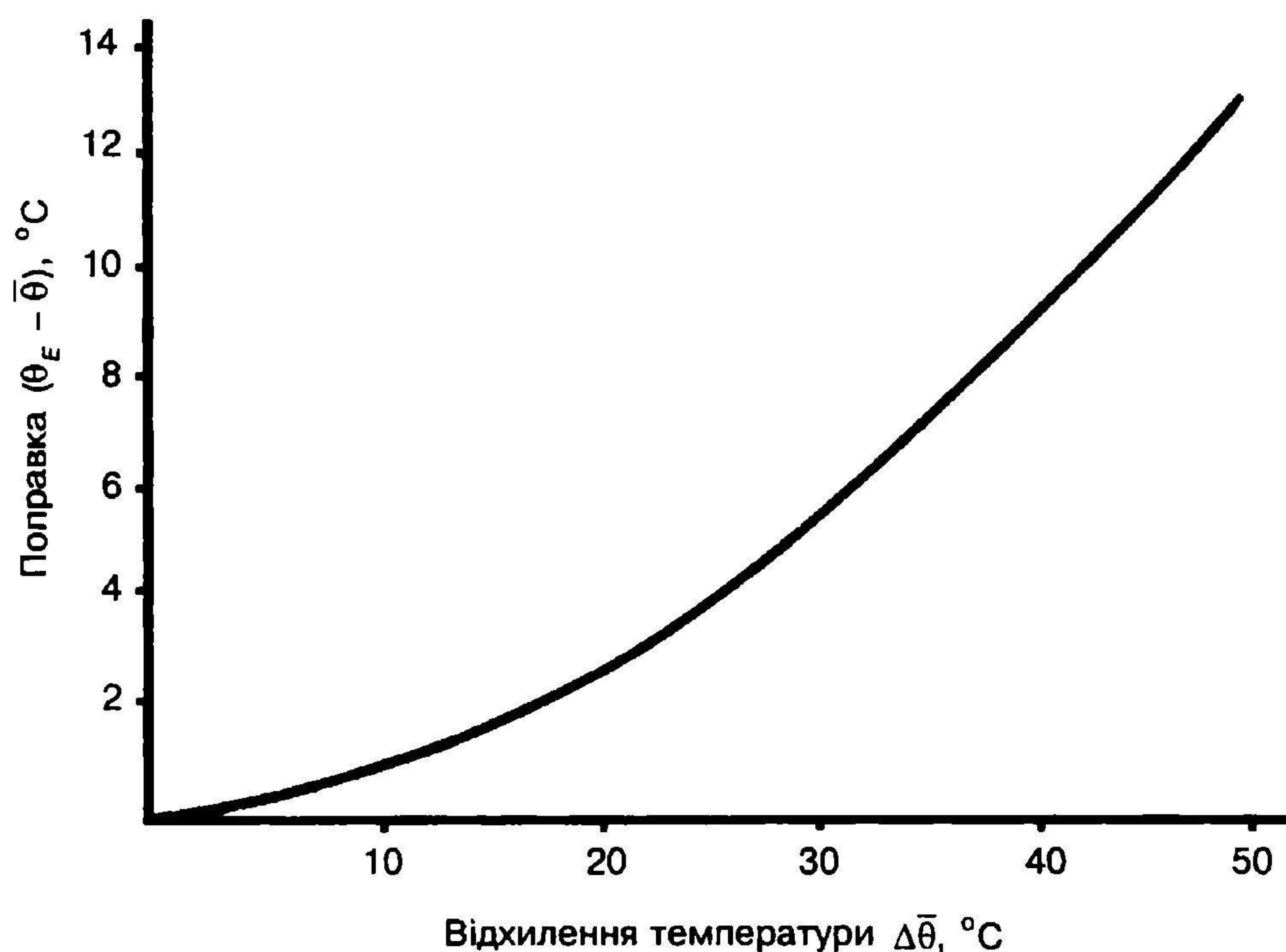


Рисунок 2 — Поправка на середню температуру для одержання еквівалентної температури

2.7.3 Температура охолодного середовища для розрахунку найбільш нагрітої точки, θ_m

Еквівалентна температура охолодного середовища може бути використана для розрахунку термічного зношення ізоляції, але не може бути використана для контролю максимальної температури найбільш нагрітої точки протягом перевантаження. Для такого контролю рекомендується приймати середнє значення місячних максимумів. Використання абсолютного максимуму не вважається доцільним внаслідок малої ймовірності його появи і впливу теплової сталої часу.

2.7.4 Неперервно змінна температура охолодного середовища

Якщо розрахунки зношення ізоляції і температури найбільш нагрітої точки виконуються для навантаження тривалістю в кілька діб, що перевищує номінальне значення, то використання передбачуваної на цей період часу реальної кривої зміни температури може бути прийнятнішим. У такому разі крива зміни температури охолодного середовища повинна бути подана разом окремих значень, що відповідають інтервалу часу, вибраному для визначення зміни навантаження.

2.7.5 Синусоїдна зміна температури охолодного середовища

Для обчислень, що проводяться на багато діб або місяців наперед, зручніше розглядати температуру охолодного середовища, подану двома синусоїдними функціями (перша характеризує річну, друга — добову зміну температури)

$$\theta_a = \theta_{ay} + A \cos \frac{2\pi}{365} (\text{доба} - DX) + (B \text{ або } B_m) \cos \frac{2\pi}{24} (\text{год} - TX), \quad (10)$$

- де θ_{ay} — середньорічна температура охолодного середовища, °C;
 A — амплітуда річної зміни середньодобової температури охолодного середовища, °C;
 B — амплітуда добової зміни для розрахунку швидкості зношення ізоляції, °C;
 B_m — амплітуда добової зміни для розрахунку еквівалентної температури найбільш нагрітої точки, °C;
 DX — найбільш жаркий день року;
 TX — найбільш жарка година доби;
доба — порядковий номер доби від початку року (наприклад, 1 лютого = 32);
год — година доби (наприклад, 13 год 15 хв = 13,15).

Розрахунок цих параметрів виконують з використанням окремої програми, наведеної в додатку D, введенням чотирьох типових значень температур для кожного місяця року.

2.7.6 Поправка на температуру охолодного середовища для трансформаторів внутрішнього встановлення

Трансформатор, призначений для встановлення в приміщенні, зазнає додаткового перегрівання, значення якого становить близько половини значення перевищення температури повітря в цьому приміщенні. Випробування показали, що додаткове перегрівання масла у верхніх шарах змінюється під дією струму навантаження приблизно так само, як змінюється перевищення температури у верхніх шарах.

Для трансформаторів, розміщених у металевому або бетонному приміщенні, можна використувати формулу (1), замінивши $\Delta\theta_{or}$ на $\Delta\theta'_{or}$

$$\Delta\theta'_{or} = \theta_{or} + \Delta(\Delta\theta_{or}),$$

де $\Delta(\Delta\theta_{or})$ — додаткове перегрівання масла у верхніх шарах при номінальному навантаженні.

Це додаткове перегрівання рекомендують визначати під час випробувань, проте якщо результатів таких випробувань немає, допускається як довідкові використовувати значення, наведені в таблиці 3. Приблизне значення додаткового перегрівання масла у верхніх шарах отримують діленням значень, наведених у таблиці 3, на два.

Таблиця 3 — Поправки на температуру охолодного середовища для трансформаторів внутрішнього встановлення

Вид приміщення	Кількість розміщених трансформаторів	Поправка (додається до еквівалентної температури охолодного середовища), °C			
		номінальна потужність трансформатора, кВ·А			
		250	500	750	1000
Підземні камери з природною вентиляцією	1	11	12	13	14
	2	12	13	14	16
	3	14	17	19	22
Підвальні поверхи та споруди з незначною природною вентиляцією	1	7	8	9	10
	2	8	9	10	12
	3	10	13	15	17
Споруди з хорошою природною вентиляцією, підземні камери і підвальні поверхи з примусовою вентиляцією	1	3	4	5	6
	2	4	5	6	7
	3	6	9	10	13
Трансформаторні кіоски (див. примітку 2)	1	10	15	20	—

Примітка 1. Наведені вище значення температурних поправок були розраховані для типових режимів навантаження з використанням характерних значень втрат у трансформаторах. Поправки ґрунтуються на результатах серії випробувань трансформаторів з природним і примусовим охолодженням у підземних камерах і закритих підстанціях, а також за підсумками відбіркових вимірювань, проведених на підстанціях і в трансформаторних кіосках.

Примітка 2. Якщо випробування на нагрівання було проведене на трансформаторі, розміщеному в кіоску, як на спільно складеному устаткуванні, вносити поправку на температуру для таких трансформаторів не потрібно.

2.8 Програма машинного розрахунку

2.8.1 Логічна схема

Розрахунок коефіцієнтів навантаження стосовно даного трансформатора при заданому графіку навантаження з урахуванням зміни температури охолодного середовища, заданого обмеження температури найбільш нагрітої точки та зношення проводиться методом ітерації, під час виконання якого потрібне використання комп'ютера. Логічну схему такого методу ітерації, що охоплює основні суттєві принципи, встановлені цим стандартом, показано на рисунку 3.

Подібний метод ітерації використовується під час вибору проектувальником номінальних значень параметрів для нових трансформаторів, якщо відомі режими навантаження і температура охолодного середовища.

Програма повинна бути складена так, щоб споживач міг ввести початкові теплові характеристики трансформатора, графік навантаження на заданий період, характер зміни температури охолодного середовища на цей період, а також необхідні, на його думку, спеціальні обмеження температури та зношення.

Максимальну температуру найбільш нагрітої точки і відносне зношення розраховують для заданого графіка навантаження. Якщо максимальна температура не перевищена і зношення нижче за прийняте граничне значення, розрахунок повторюють при збільшеному значенні множника F , який застосовується до кожного окремого навантаження $K_1, K_2, \dots, K_n$ через сталі інтервали часу $t_1, t_2, \dots, t_n$. Множник F підвищують ступенями на 1 % для кожної ітерації доти, доки не буде досягнуто однієї з меж. Якщо під час початкового розрахунку відносне зношення більше прийнятого, розрахунок повторюють, використовуючи зменшене до 2 % значення F .

Збільшення на множник навантаження і допуски на граничну температуру можуть бути вибрані по-різному, залежно від типу трансформатора та параметрів навантаження. Складачеві програми потрібно враховувати, що при температурі найбільш нагрітої точки в межах від 100 до 140 °С із збільшенням коефіцієнта навантаження на 2 % максимальна температура найбільш нагрітої точки зростає більше ніж на 2 °С, а відносне зношення приблизно на 25 %.

Потрібно приймати такі допуски, щоб уникнути коливань результатів, забезпечуючи при цьому достатню точність. Під час перевірки програми з прикладами, наведеними в таблицях 4 і 5, бажано отримати вищу точність, зменшуючи ці допуски.

Під час розрахунків можуть застосовуватись інші методи, альтернативні методу ітерації, якщо вони дають аналогічні результати.

2.8.2 Приклади розрахунку

Щоб показати діапазон значень вхідних і вихідних даних та дати змогу споживачеві перевірити свою програму, в таблицях 4 і 5 наведено приклади розрахунку. У першому прикладі (таблиця 4) наведено простий розрахунок навантаження за одну добу з постійною температурою охолодного середовища та простим графіком навантаження.

Другий приклад (таблиця 5) є розрахунком навантаження за цілий рік з трьома різними графіками навантаження протягом року і температурою охолодного середовища, поданою подвійною синусоїдною функцією.

Початок

ВВЕДЕННЯ ДАНИХ

Характеристики трансформатора

Вид охолодження: *ONAN*, *ONAF*, *OF* або *OD*

- $\Delta\theta_{or}$ — перевищення температури масла у верхніх шарах при номінальному струмі для видів охолодження *ONAN* і *ONAF*;
 $\Delta\theta_{br}$ — перевищення температури масла в нижніх шарах при номінальному струмі для видів охолодження *OF* і *OD*;
 $\Delta\theta_{imr}$ — перевищення середньої температури масла при номінальному струмі;
 H_{gr} — різниця температур найбільш нагрітої точки масла на виході при номінальному струмі;
 x — показник ступеня під час розрахунку температури масла;
 y — показник ступеня під час розрахунку температури обмотки;
 R — відношення втрат навантаження до втрат неробочого ходу;
 τ_o — теплова стала часу масла, год;
 $\Delta\theta_{hr}$ — номінальна температура найбільш нагрітої точки при швидкості зношення, що дорівнює одиниці (98 °C, 110 °C або інше відповідне базове значення (див. 2.6.1)).

Цикл навантаження

Тривалість циклу, кількість інтервалів у циклі, значення навантаження у відносних одиницях для кожного інтервалу.

Температура охолодного середовища

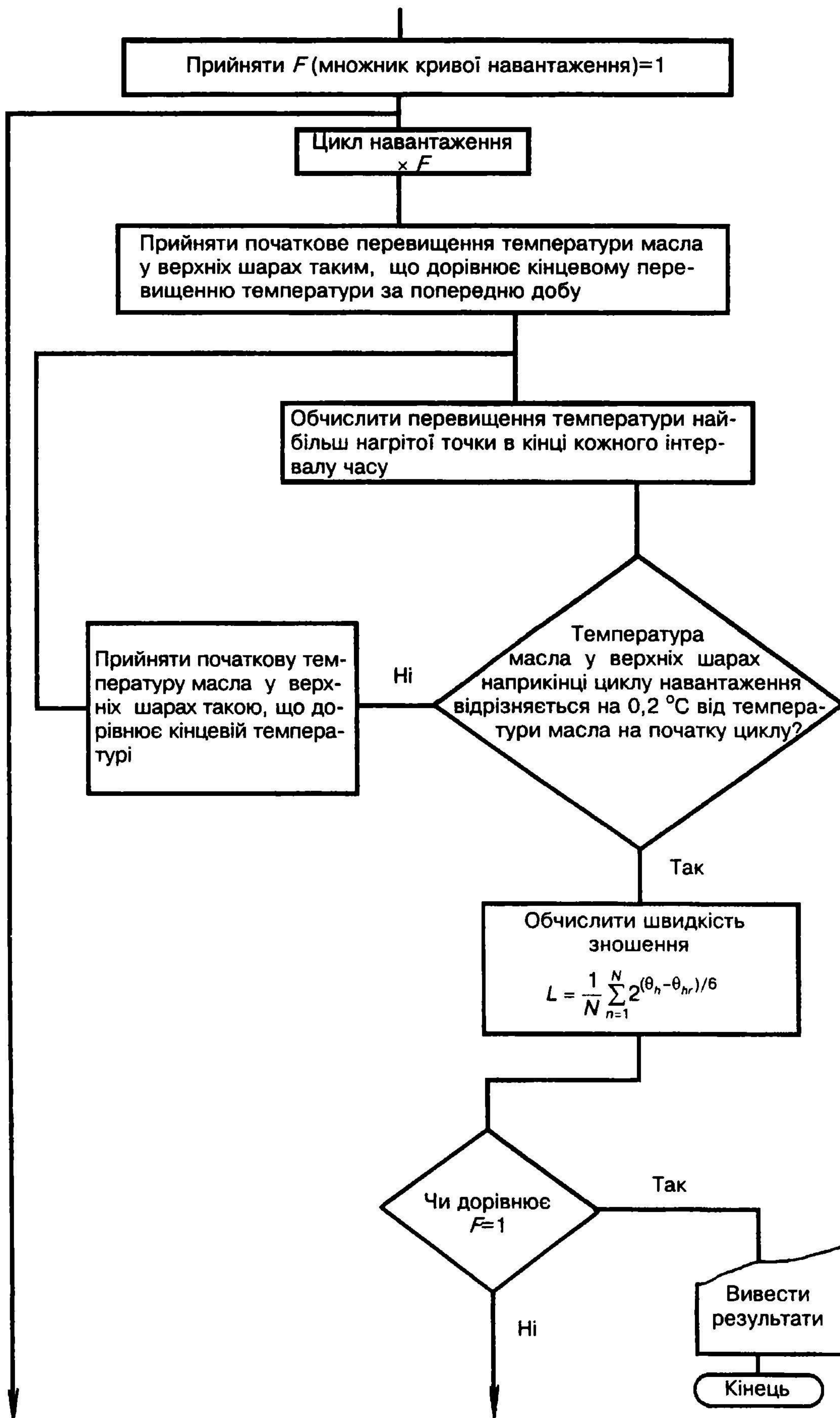
Еквівалентна температура охолодного середовища і добова температура (θ_e , θ_m) або температура охолодного середовища для кожного інтервалу циклу навантаження

або характеристики для розрахунку за методом подвійної синусоїди (θ_{ay} , A , B , B_m , DX , TX)

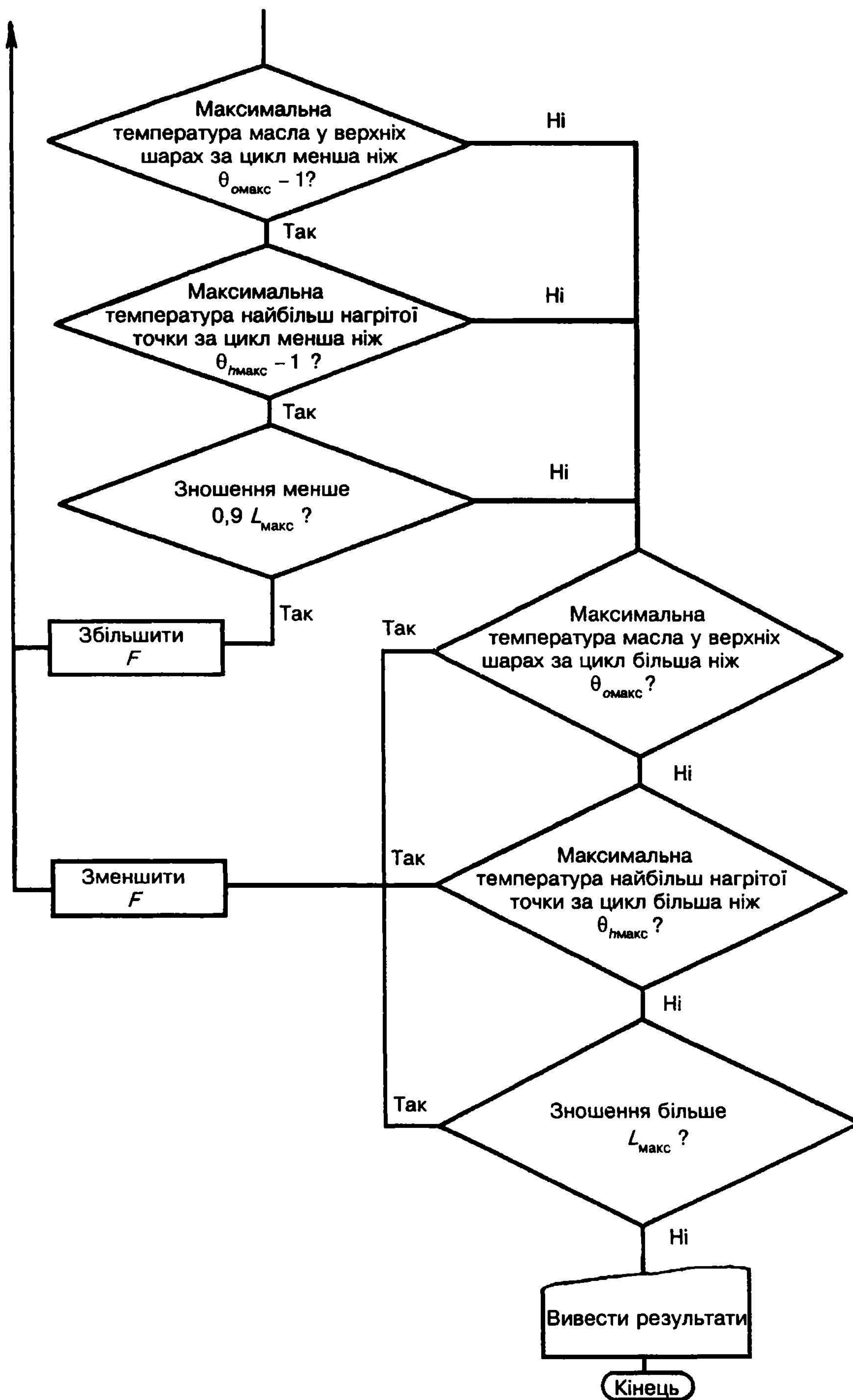
Обмеження

- $\theta_{h\max}$ — максимально допустима температура найбільш нагрітої точки;
 $\theta_{o\max}$ — максимально допустима температура масла у верхніх шарах;
 $L_{\max}$ — максимально допустиме відносне зношення;
 F — уточнити, чи має множник навантаження визначене значення $F = 1$.

Рисунок 3 — Логічна схема програми машинного розрахунку коефіцієнта допустимого навантаження



Продовження рисунка 3



Закінчення рисунка 3

Таблиця 4 — Дані для розрахунку навантаження за одну добу при сталій еквівалентній температурі охолодного середовища

*** Введення (1) *** Номінальні характеристики і дані трансформатора

категорія трансформатора: розподільний;

вид охолодження: *ONAN*

$\Delta\theta_{or}$	— перевищення температури масла у верхніх шарах, °C	55,00
$\Delta\theta_{imr}$	— перевищення середньої температури масла, °C	44,00
H_{gr}	— різниця температур найбільш нагрітої точки і масла у верхніх шарах, °C	23,00
x	— показник ступеня під час розрахунку температури масла	0,80
y	— показник ступеня під час розрахунку температури обмотки	1,60
R	— відношення втрат навантаження до втрат неробочого ходу	5,00
τ_o	— теплова стала часу масла, год	3,00
θ_{hr}	— температура найбільш нагрітої точки нормального зношення, °C	98,00

*** Введення (2) *** Заданий графік навантаження

	Початок	Кінець	Тривалість, год	Навантаження, відн. од.
1	0:00	12:00	12,00	0,70
2	12:00	14:00	2,00	1,340
3	14:00	24:00	10,00	0,700

*** Введення (3) *** Дані температури охолодного середовища

θ_E	— еквівалентна температура охолодного середовища, °C	30,00
$\theta_{амакс}$	— максимальна добова температура, °C	40,00

*** Введення (4) *** Обмеження з температури та навантаження

$\theta_{омакс}$	— гранична температура масла у верхніх шарах, °C	115,00
$\theta_{hмакс}$	— гранична температура найбільш нагрітої точки, °C	140,00
$L_{макс}$	— граничне відносне зношення	1,00
F	— множник кривої навантаження (стала або змінна величина)	СТАЛА

*** Виведення ***

Температура масла у верхніх шарах, макс, °C	Температура найбільш нагрітої точки, макс, °C	Відносне зношення за добу, відн. од.
98,35	135,08	0,935
Температура масла у верхніх шарах, °C	Температура найбільш нагрітої точки, °C	
1	75,34	88,34
2	98,35	135,08
3	76,15	89,15

Таблиця 5 — Дані для розрахунку навантаження за цілий рік при температурі охолодного середовища, визначеній методом двох синусоїд і за трьома різними графіками навантаження

*** Введення (1) *** Номінальні характеристики і дані трансформатора

категорія трансформатора: розподільний;

вид охолодження: *ONAN*

$\Delta\theta_{or}$	—	перевищення температури масла у верхніх шарах, °C	55,00
$\Delta\theta_{imr}$	—	перевищення середньої температури масла, °C	44,00
H_{gr}	—	різниця температур найбільш нагрітої точки і масла у верхніх шарах, °C	23,00
x	—	показник ступеня під час розрахунку температури масла	0,80
y	—	показник ступеня під час розрахунку температури обмотки	1,60
R	—	відношення втрат навантаження до втрат неробочого ходу	5,00
τ_o	—	теплова стала часу масла, год	3,00
θ_{hr}	—	температура найбільш нагрітої точки нормального зношення, °C	98,00

*** Введення (2) *** Заданий графік навантаження

Період 1	1/1	17/4*	ТРИВАЛІСТЬ, (у добах):	
	Початок	Кінець	Тривалість, год	Навантаження, відн. од.
1	0:00	8:00	8,00	0,700
2	8:00	11:00	3,00	1,000
3	11:00	14:00	3,00	0,800
4	14:00	16:00	2,00	1,360
5	16:00	19:30	3,50	0,850
6	19:30	24:00	4,50	0,700
Період 2	18/4	17/10	ТРИВАЛІСТЬ (у добах):	183
	Початок	Кінець	Тривалість, год	Навантаження, відн. од.
1	0:00	10:00	10,00	0,700
2	10:00	13:00	3,00	1,000
3	13:00	15:00	2,00	1,360
4	15:00	20:00	5,00	0,900
5	20:00	24:00	4,00	0,700
Період 3	18/10	31/12	ТРИВАЛІСТЬ, (у добах):	75
	Початок	Кінець	Тривалість, год	Навантаження, відн. од.
1	0:00	8:00	8,00	0,700
2	8:00	11:00	3,00	1,000
3	11:00	14:00	3,00	0,800
4	14:00	16:00	2,00	1,360
5	16:00	19:30	3,50	0,850
6	19:30	24:00	4,50	0,700

17/4* — 17 квітня

Продовження таблиці 5

*** Введення (3) *** Дані температури охолодного середовища

θ_{ay}	— середньорічна температура охолодного середовища, °C	11,47
A	— амплітуда річної зміни, °C	8,05
B	— амплітуда добової зміни під час розрахунку зношення, °C	5,10
B_m	— амплітуда добової зміни під час розрахунку максимальної температури, °C	11,15
DX	— найбільш жаркий день року	199
TX	— найбільш жарка година дня	14:00

*** Введення (4) *** Обмеження температури та навантаження

$\theta_{омакс}$	— гранична температура масла у верхніх шарах, °C	115,00
$\theta_{hмакс}$	— гранична температура найбільш нагрітої точки, °C	140,00
$L_{макс}$	— граничне відносне зношення, відн. од.	1,00
F	— множник кривої навантаження (стала або змінна величина)	СТАЛА

*** Виведення ***

Період	Початок	Кінець	Температура масла у верхніх шарах, макс., °C	Температура найбільш нагрітої точки, макс., °C	Відносне зношення, відн. од.
1	1/1	17/4	84,77	122,39	0,237
2	18/4	17/10	96,20	133,82	1,160
3	18/10	31/12	84,84	122,46	0,266

Відносне зношення за рік $L = 0,706$ відн. од.

Період 1	Температура масла у верхніх шарах, °C	Температура найбільш нагрітої точки, °C
1	46,89	59,89
2	67,28	90,28
3	66,52	82,61
4	84,77	122,39
5	63,29	81,03
6	40,12	53,12

Відносне зношення за період $L (1) = 0,237$ відн. од.

Період 2	Температура масла у верхніх шарах, °C	Температура найбільш нагрітої точки, °C
1	60,72	73,72
2	78,40	101,40
3	96,20	133,82
4	70,78	90,21
5	49,13	62,13

Відносне зношення за період $L (2) = 1,160$ відн. од.

Закінчення таблиці 5

Період 3	Температура масла у верхніх шарах, °C	Температура найбільш нагрітої точки, °C
1	46,96	59,96
2	67,34	90,34
3	66,59	82,68
4	84,84	122,46
5	63,36	81,10
6	40,19	53,19

Відносне зношення за період $L(3) = 0,266$ відн. од.

3 ТАБЛИЦІ ДОПУСТИМИХ НАВАНТАЖЕНЬ

3.1 Обмеження, прийняті в таблицях допустимих навантажень

У цій частині наведено допустимі режими навантаження різних типів трансформаторів. Дані таблиць та рисунків 3.2—3.4 обчислено за формулами, наведеними в 2.4—2.6, і з використанням теплових характеристик трансформатора (таблиця 2).

Не слід очікувати високої точності від кривих, зображених на рисунках і даних таблиць через прийняті необхідні допущення:

- а) добову зміну навантаження подано спрощеним двоступінчастим графіком (рисунок 4);
- б) використовувані під час розрахунків теплові характеристики (наведені в таблиці 2) можуть не відповідати характеристикам трансформатора, що розглядається;
- в) температура охолодного середовища за всю тривалість графіка навантаження (24 год) приймається сталою;
- г) недоцільно враховувати під час розрахунку поправочний коефіцієнт на зміну опору обмоток від температури (2.4.3) в таблицях, у яких значення не залежить від температури охолодного середовища. Замість нього для трансформаторів з охолодженням *OD* цей поправочний коефіцієнт замінено таким

$$\Delta\theta'_h = \Delta\theta_h + 0,15(\Delta\theta_h - \Delta\theta_{hr}). \quad (12)$$

Споживачам настійно рекомендується проводити свої власні розрахунки на основі точніших теплових характеристик і використовувати більш реальний графік навантаження.

3.2 Метод перетворення реальних добових графіків навантаження в еквівалентні їм добові двоступінчасті прямокутні графіки

3.2.1 Про використання керівництва

Для того, щоб користуватися рисунками і таблицями, наведеними в 3.4 і 3.5, потрібно перетворити добовий графік навантаження в спрощений двоступінчастий відповідно до рисунка 4. K_1 і K_2 — ступені навантаження, де K_2 — максимум навантаження. Тривалість максимуму навантаження — t годин. Методи визначення цієї тривалості для прямокутного графіка навантаження залежать від деяких чинників; у 3.2.2, 3.2.3 та 3.2.4 наведено рекомендовані методи для різних видів реальних графіків навантаження.

Якщо еквівалентність двоступінчастого графіка навантаження викликає сумнів, потрібно зробити кілька припущень і прийняти графік з найбільшим запасом.

Приклад спрощеного застосування керівництва з навантаження силових масляних трансформаторів наведено в додатку Е.

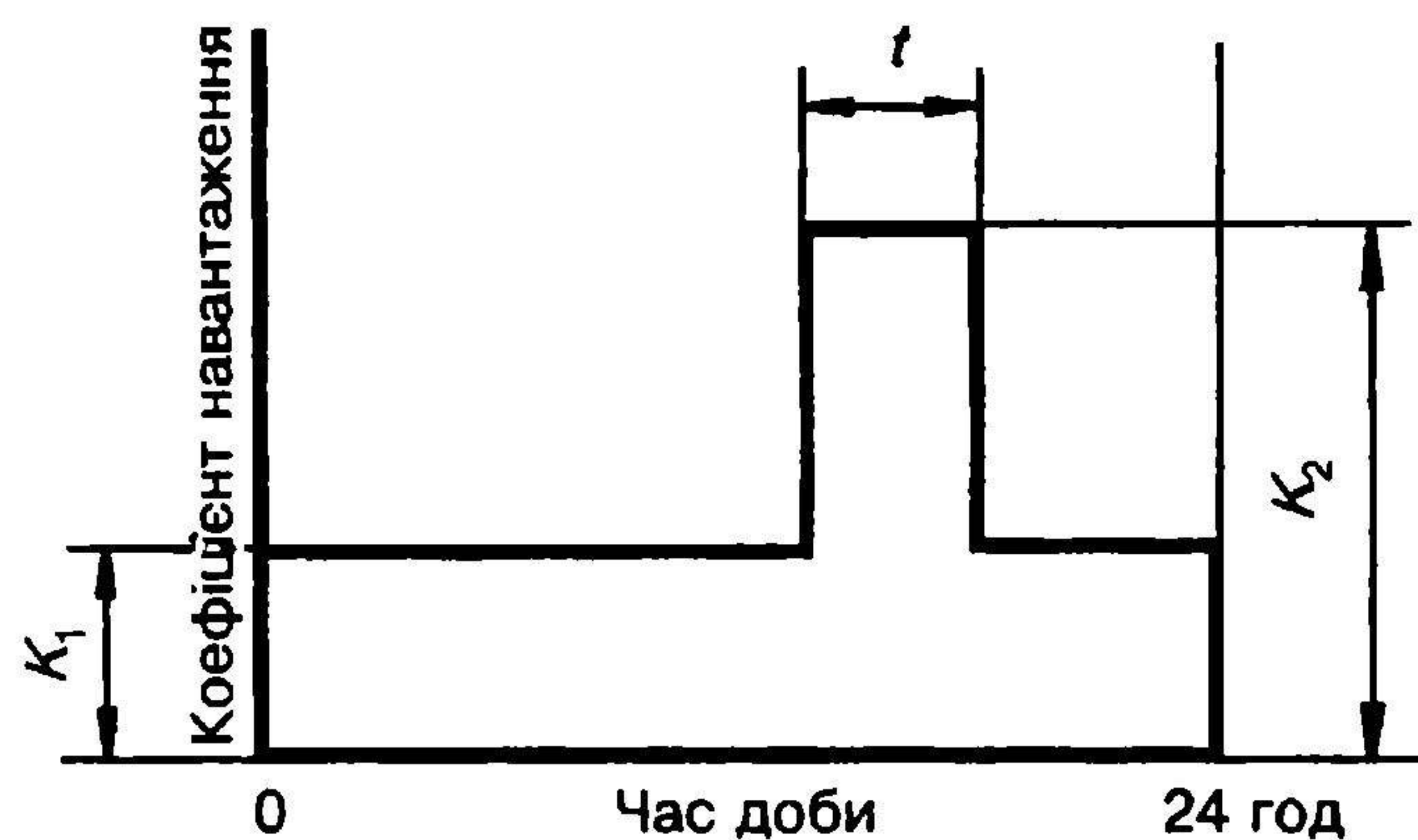


Рисунок 4 — Еквівалентний двоступінчастий графік навантаження

3.2.2 Графік навантаження з одним максимумом

У цьому випадку значення t необхідно визначати, як показано на рисунку 5.

Для ділянки графіка навантаження без максимуму значення K_1 визначають як середнє значення навантаження без максимуму.

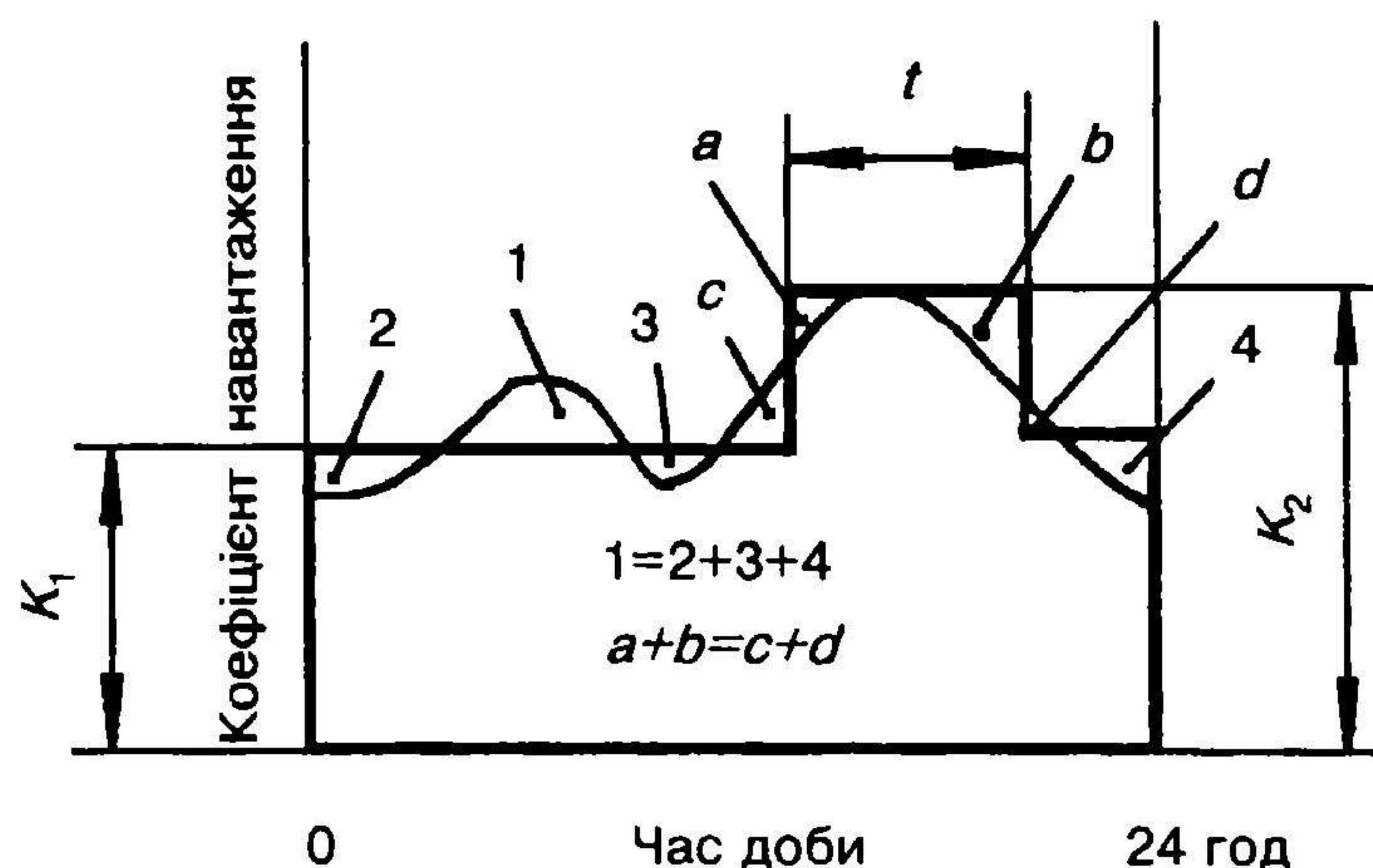


Рисунок 5 — Графік навантаження з одним максимумом

3.2.3 Графік навантаження з двома максимумами однакової амплітуди, але різної тривалості

При двох максимумах приблизно однакової амплітуди, але різної тривалості значення t визначають для максимуму більшої тривалості, а значення K_1 повинно відповідати середньому значенню решти навантаження.

Приклад графіка навантаження подано на рисунку 6.

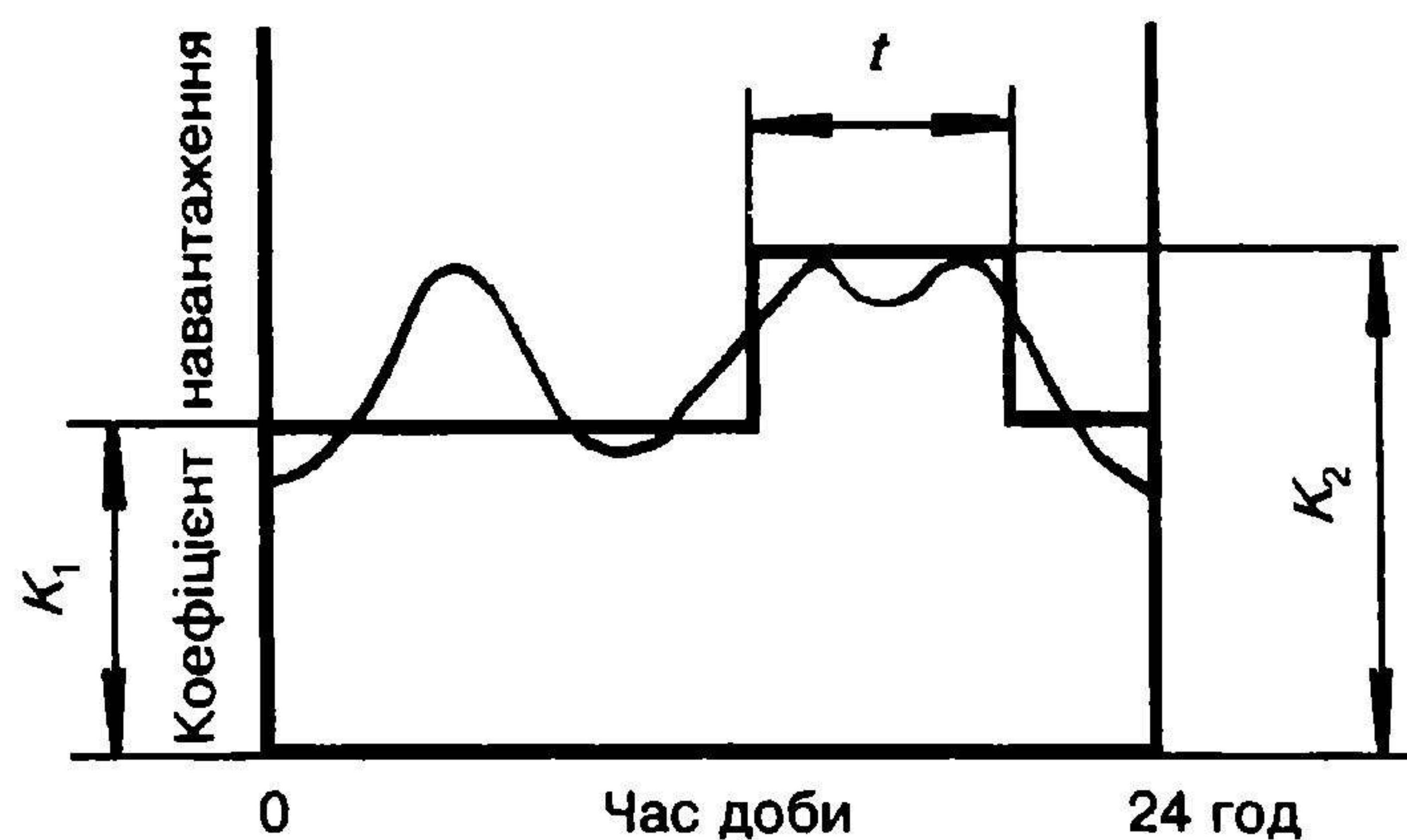


Рисунок 6 — Графік навантаження з двома максимумами однакової амплітуди і різної тривалості

3.2.4 Графік навантаження з послідовними максимумами

Якщо графік навантаження складається з кількох послідовних максимумів, значення t приймають достатньої тривалості, щоб охопити всі максимуми, а значення K_1 повинно відповідати середньому значенню решти навантаження, як показано на рисунку 7.

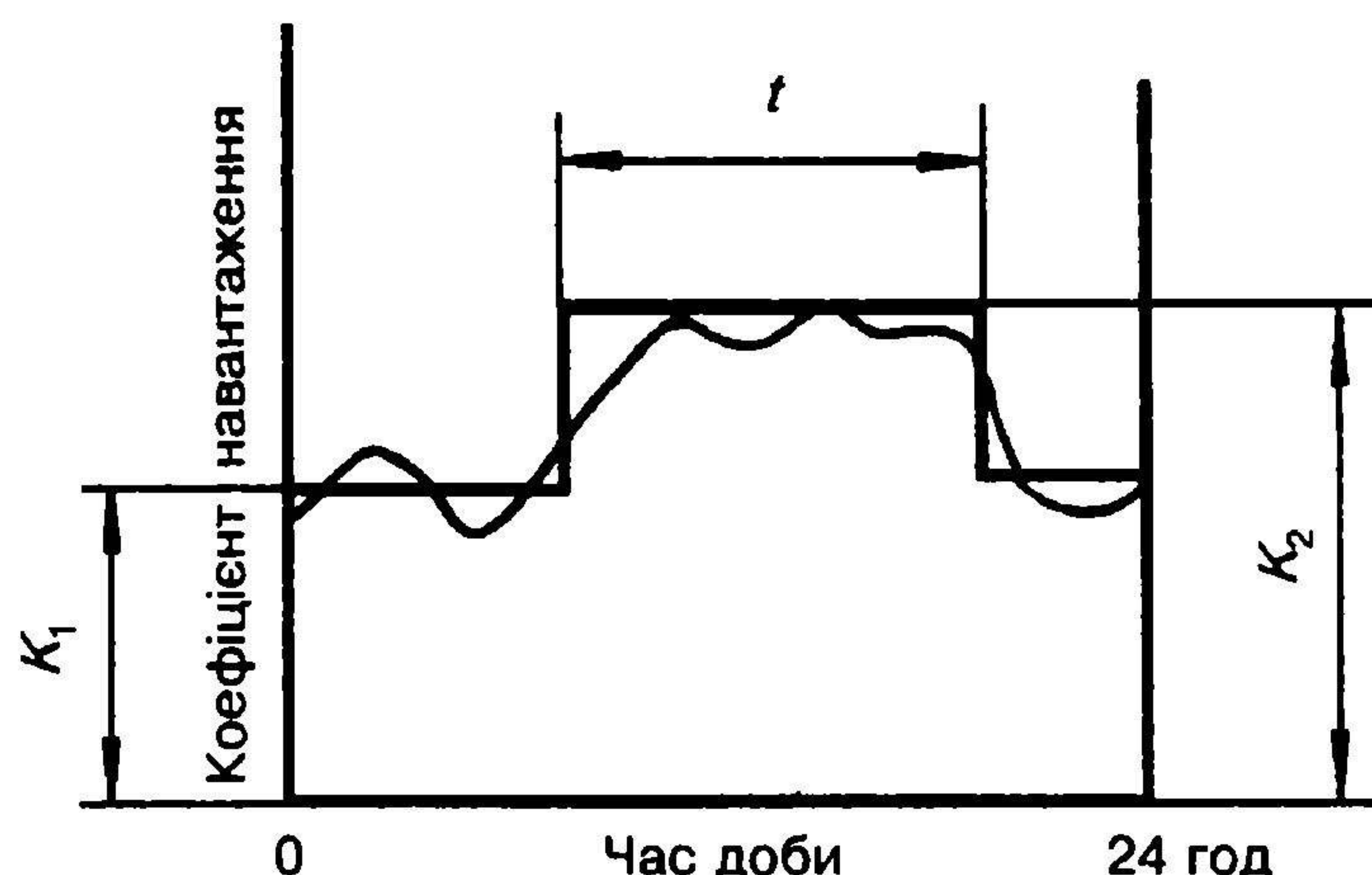


Рисунок 7 — Графік навантаження з послідовними максимумами

3.3 Нормальний тривалий режим навантаження

Якщо струм навантаження протягом деякого часу значно не змінюється, допускається використати постійний еквівалентний струм навантаження. Значення прийнятного коефіцієнта навантаження $K = K_{24}$ для тривалого режиму при різних температурах охолодного середовища наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 — Допустимий коефіцієнт навантаження для тривалого режиму K_{24} при різних температурах охолодного середовища (охолодження *ONAN*, *ON*, *OF* і *OD*)

Температура охолодного середовища, °C	Перевищення температури найбільш нагрітої точки, °C	Трансформатори			
		розподільні		середньої і великої потужності	
		<i>ONAN</i>	<i>ON</i>	<i>OF</i>	<i>OD</i>
-25	123	1,37	1,33	1,31	1,24
-20	118	1,33	1,30	1,28	1,22
-10	108	1,25	1,22	1,21	1,17
0	98	1,17	1,15	1,14	1,11
10	88	1,09	1,08	1,08	1,06
20	78	1,00	1,00	1,00	1,00
30	68	0,91	0,92	0,92	0,94
40	58	0,81	0,82	0,83	0,87

3.4 Нормальні режими систематичних навантажень

На рисунках, розміщених нижче, наведено дані для чотирьох категорій трансформаторів і восьми значень температури охолодного середовища:

- розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN* — рисунок 9;
- трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON* — рисунок 10;
- трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF* — рисунок 11;
- трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD* — рисунок 12.

Якщо температура охолодного середовища знаходиться в інтервалі між двома значеннями, потрібно вибрати найближче більше значення або проінтерполювати між двома найближчими значеннями.

За графіками навантаження можна визначити допустиме перевантаження K_2 при заданих тривалості t перевантаження і початковому навантаженні K_1 .

Графіки навантаження можна також використати для вибору номінальної потужності трансформатора (з нормальним терміном служби) для заданого прямокутного графіка навантаження, вираженого відношенням K_2/K_1 , з урахуванням допущення, що прикладені напруги залишаються сталими. Для цього достатньо знайти точку перетину кривої, що відповідає тривалості перевантаження K_2 , з прямою постійного нахилу K_2/K_1 . Цю пряму визначають так: на осі ординат відкладають точки $K_2 = 1$, на осі абсцис — $K_1 = 1$, після чого з'єднують їх (див. наведений нижче приклад 2 і відповідний рисунок 8).

Приклад 1. Розподільний трансформатор потужністю 2 МВ·А з охолодженням *ONAN*, початкове навантаження 1 МВ·А. Визначити допустиме навантаження тривалістю 2 год при температурі охолодного середовища 20 °С, приймаючи напругу незмінною

$$\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \quad K_1 = 0,5; \quad t = 2 \text{ год.}$$

На рисунку 9 $K_2 = 1,56$, однак у стандарті наведено граничне значення 1,5.

Отже, допустиме навантаження тривалістю 2 год дорівнює 3 МВ·А (потім знижується до 1 МВ·А).

Приклад 2. Розподільний трансформатор з охолодженням *ONAN* повинен експлуатуватися щодня з навантаженням 1750 кВ·А протягом 8 год і з навантаженням 1000 кВ·А протягом решти 16 год при $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{1750}{1000} = 1,75.$$

За графіком, наведеним на рисунку 9, за прямою $t = 8$ та з відношення $K_2/K_1 = 1,75$ знаходять $K_2 = 1,15$ і $K_1 = 0,66$ (див. рисунок 8). Звідси номінальна потужність трансформатора становить

$$S_r = \frac{1750}{1,15} = \frac{1000}{0,66} = 1520 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

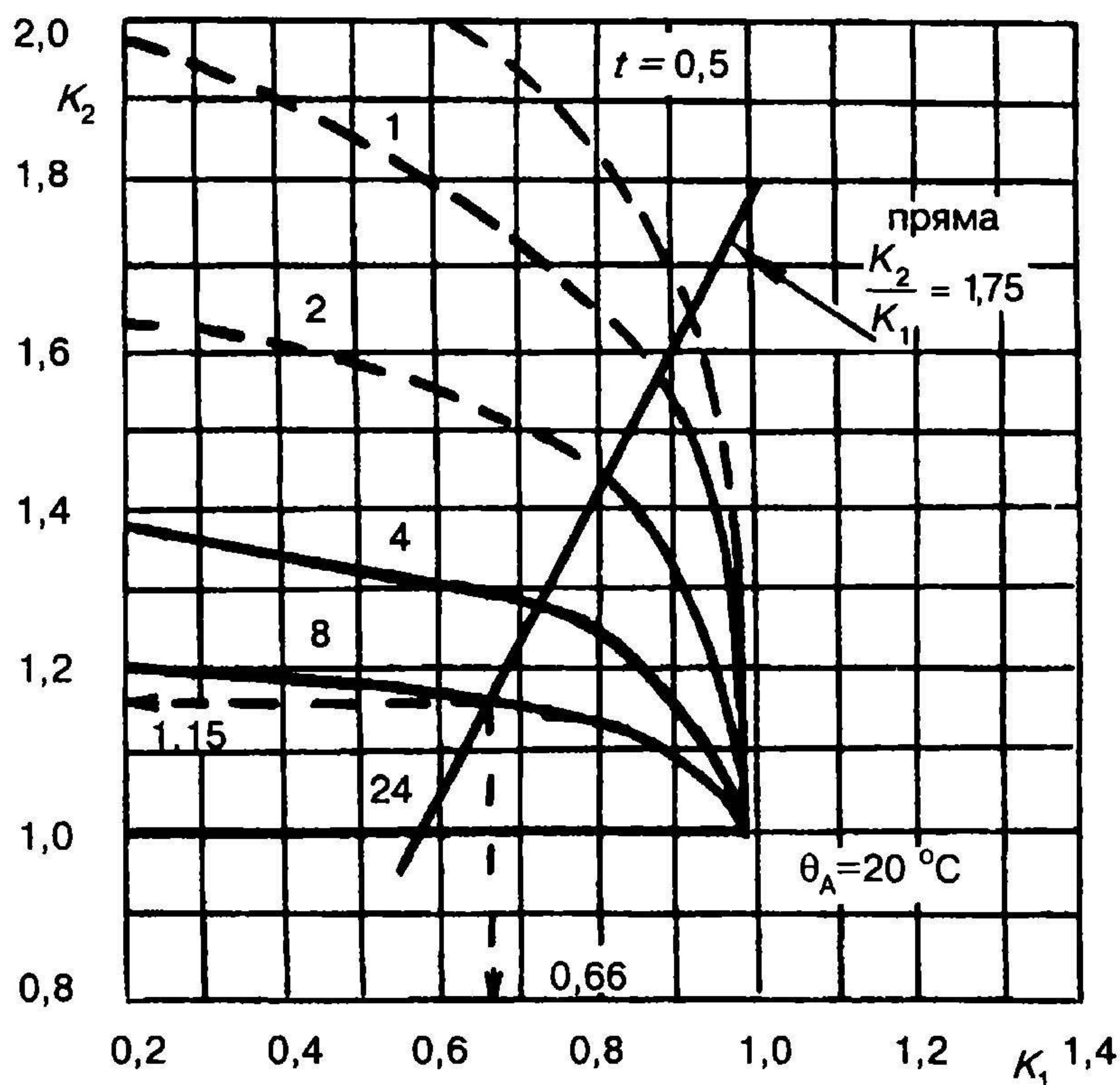


Рисунок 8 — Ілюстрація прикладу 2

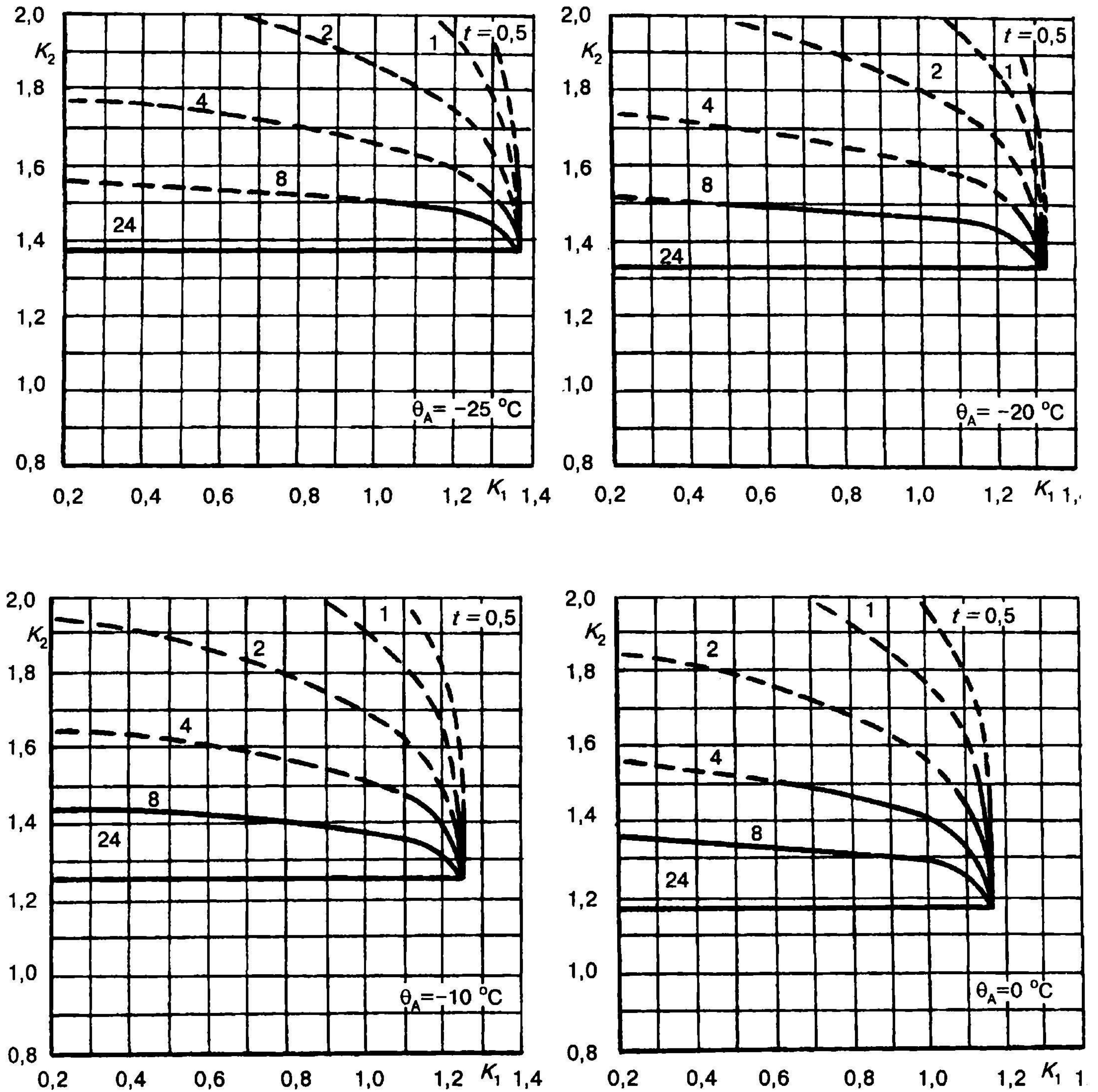
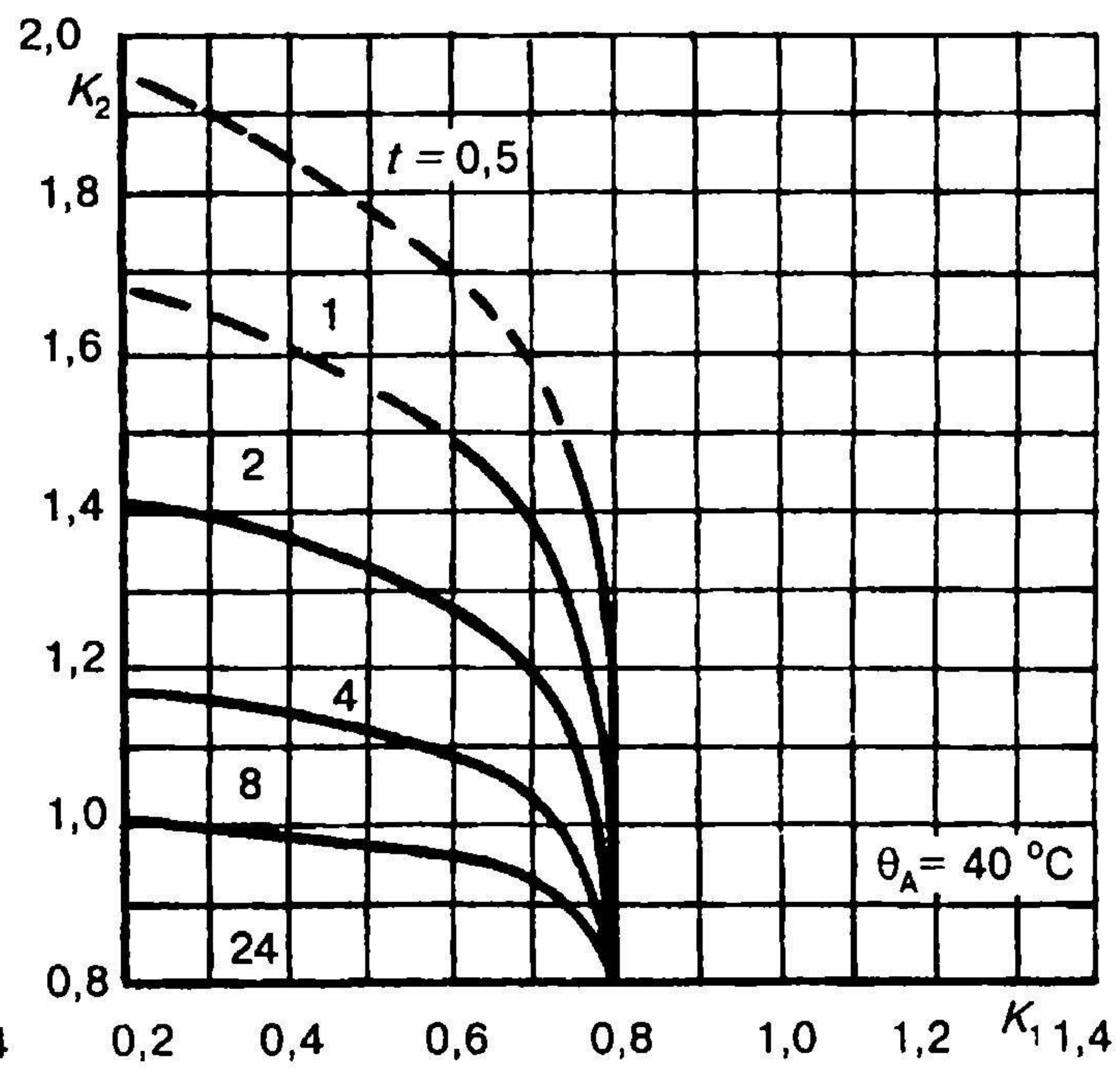
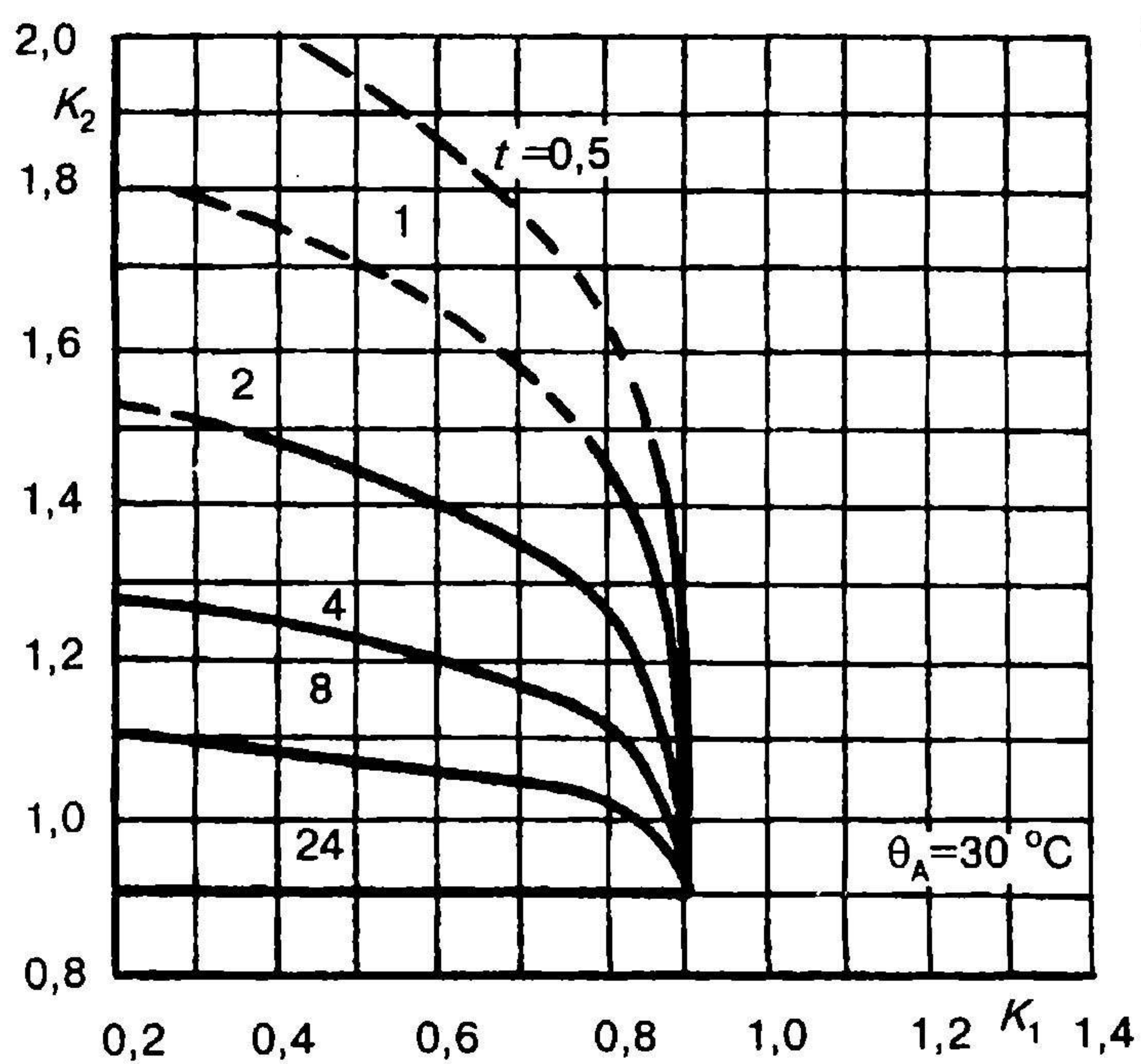
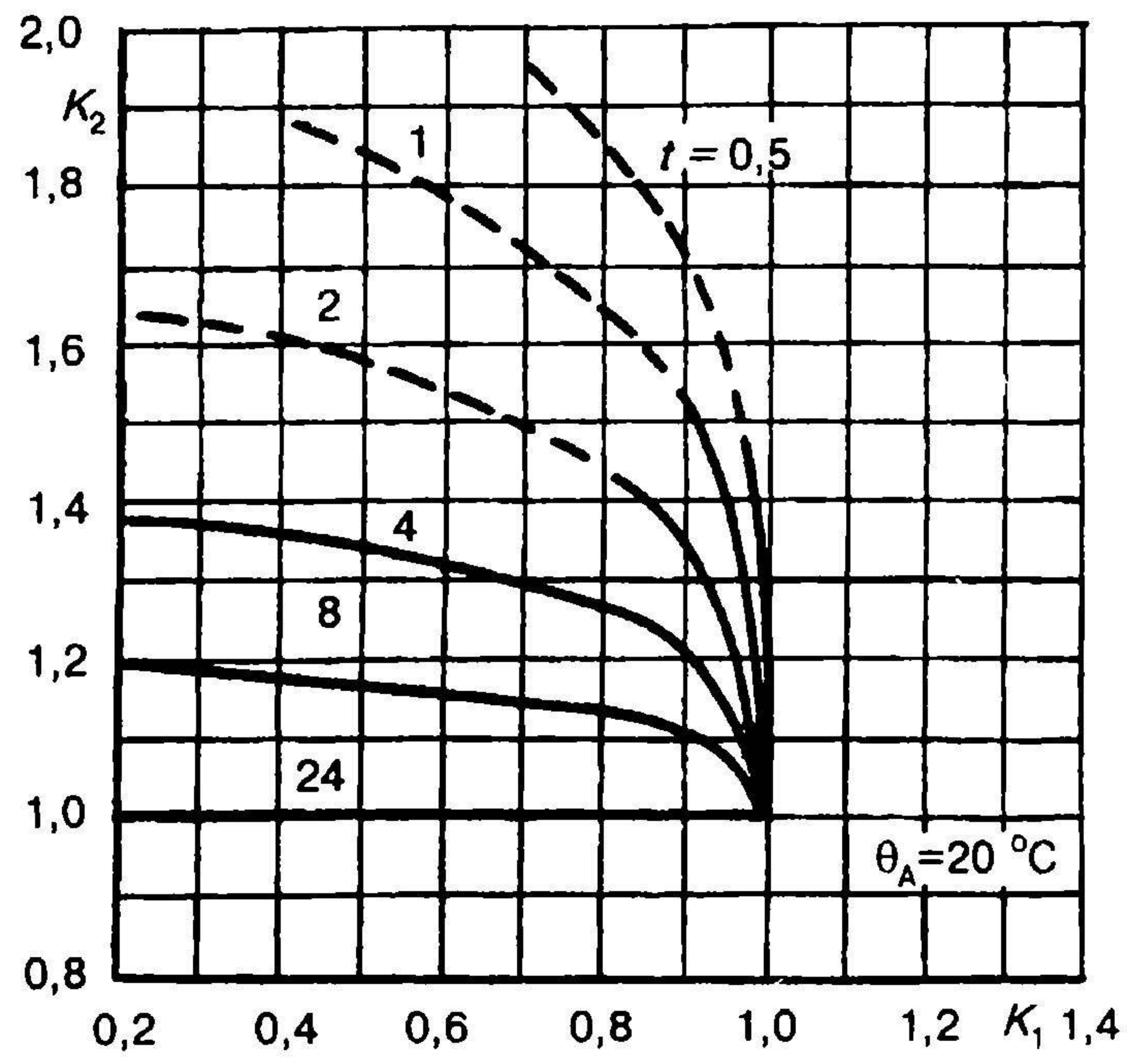
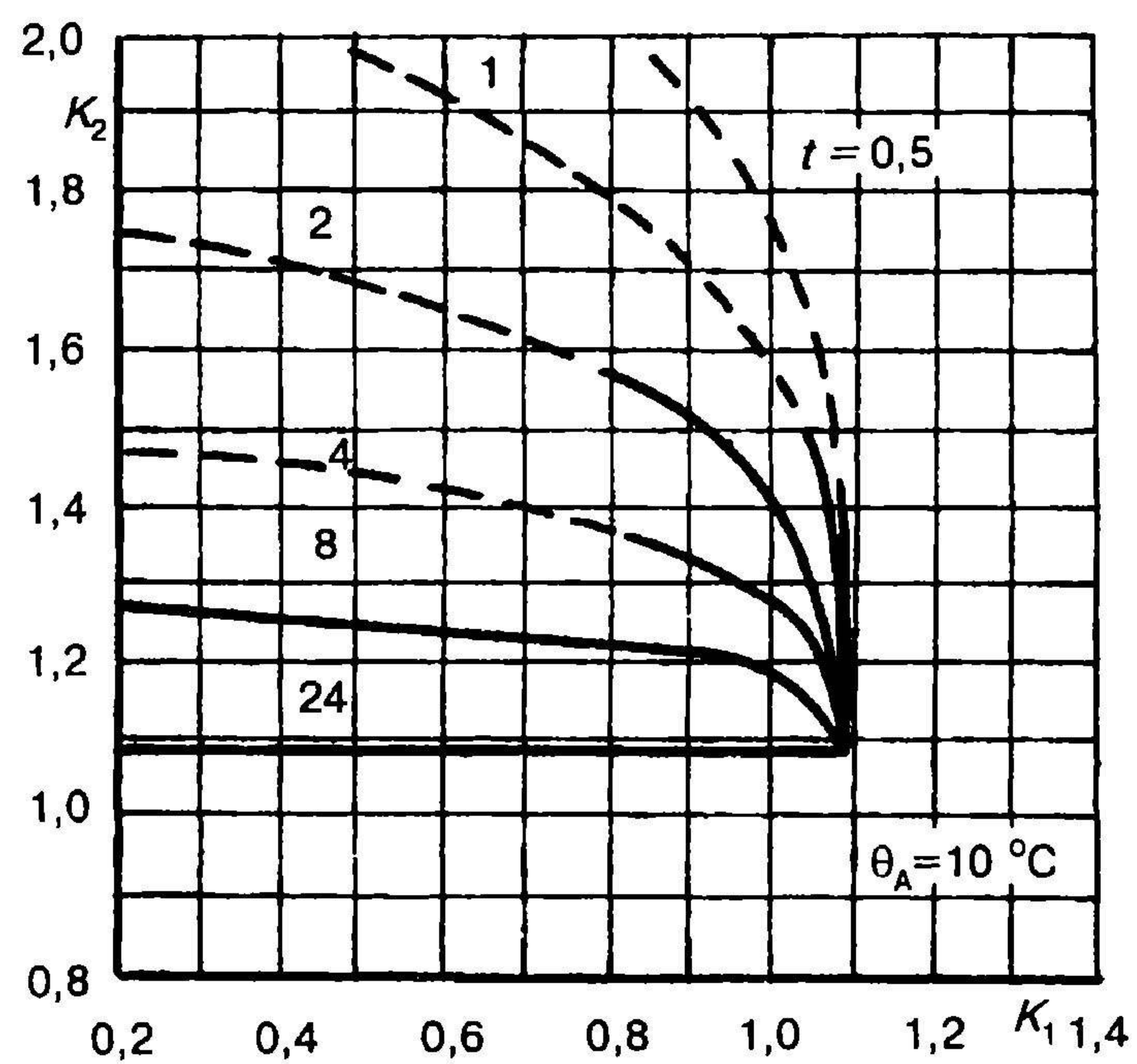


Рисунок 9 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*.
Допустимі режими навантаження з нормальним скороченням
терміну служби



Закінчення рисунка 9

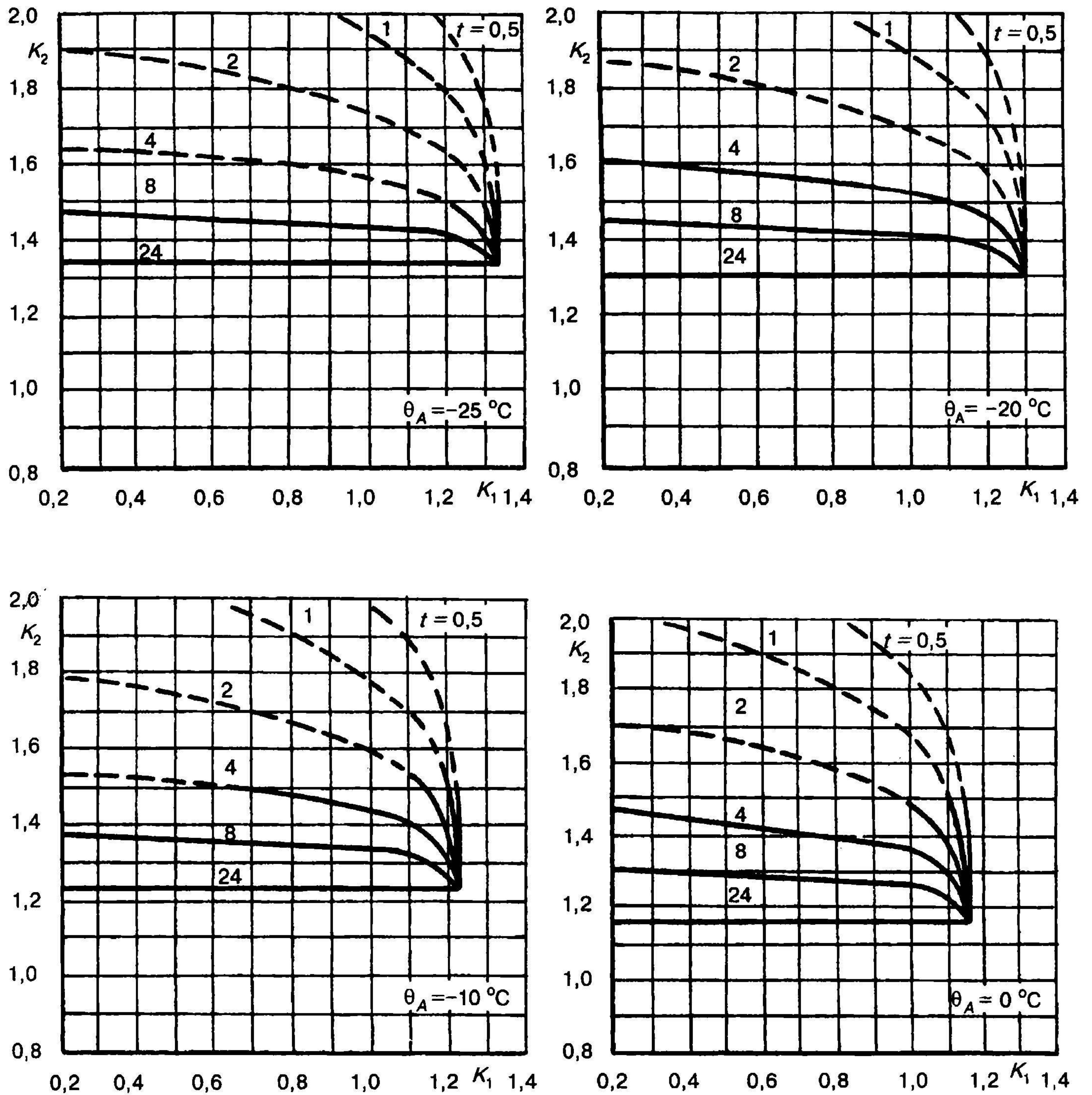
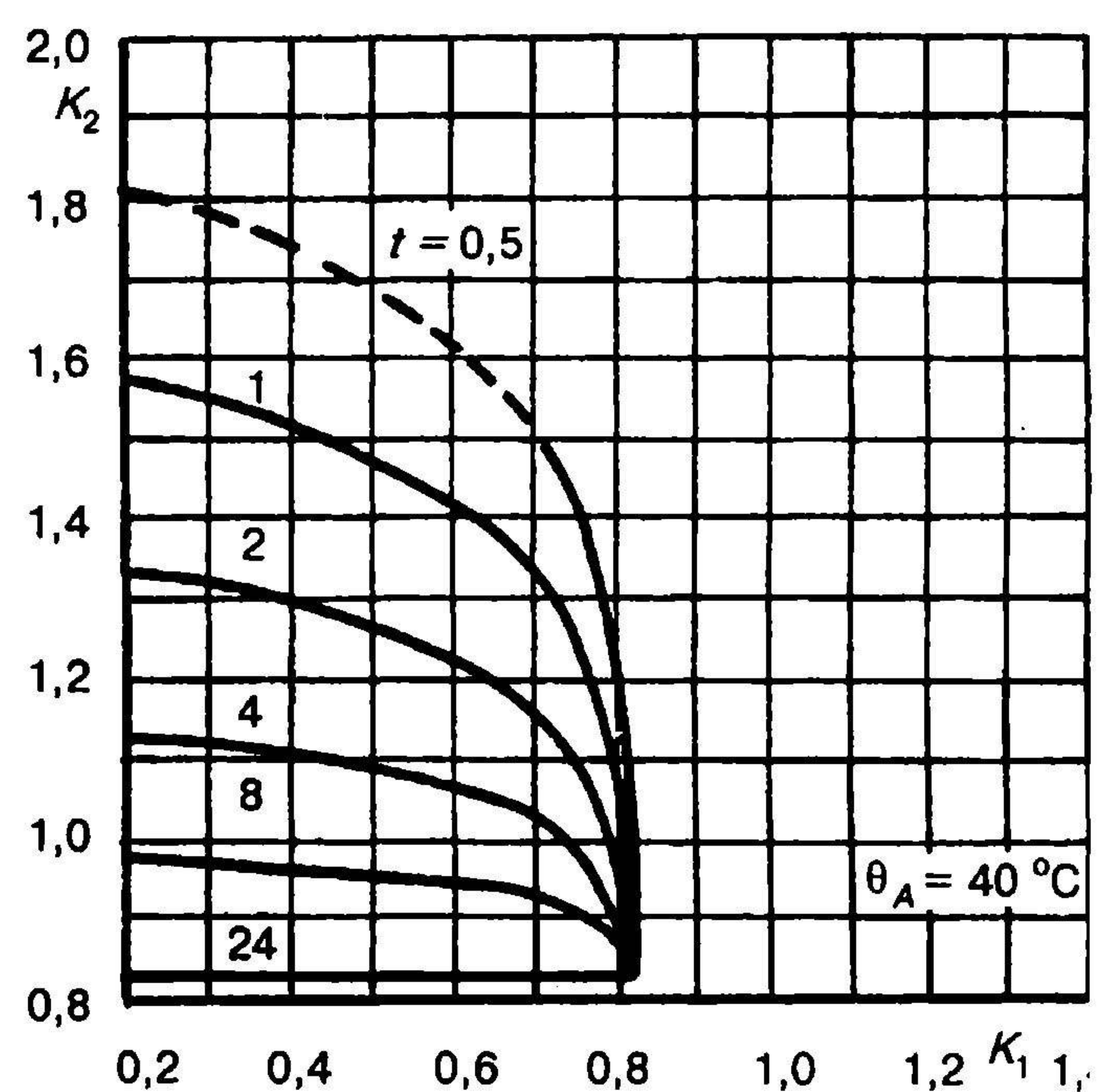
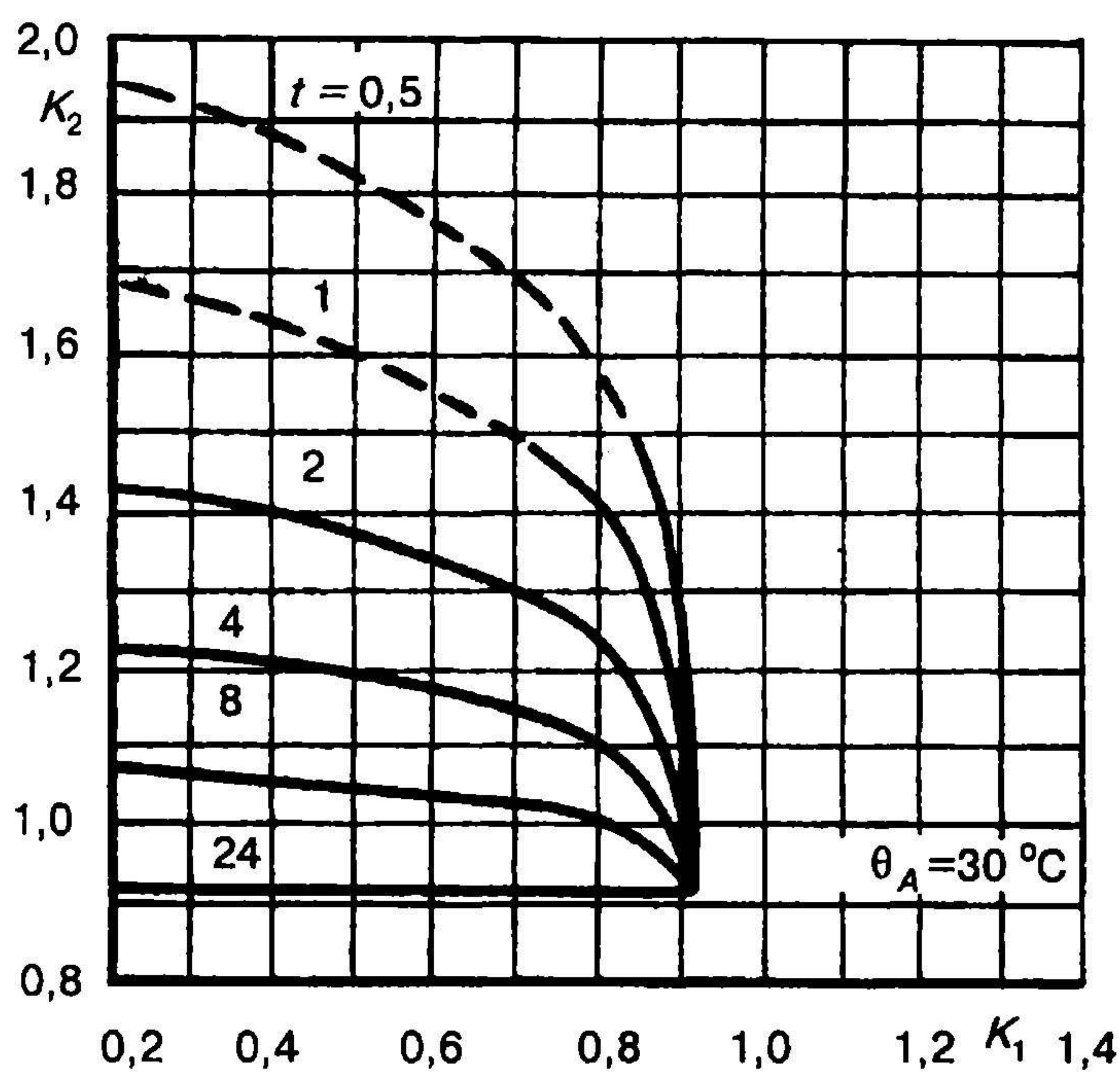
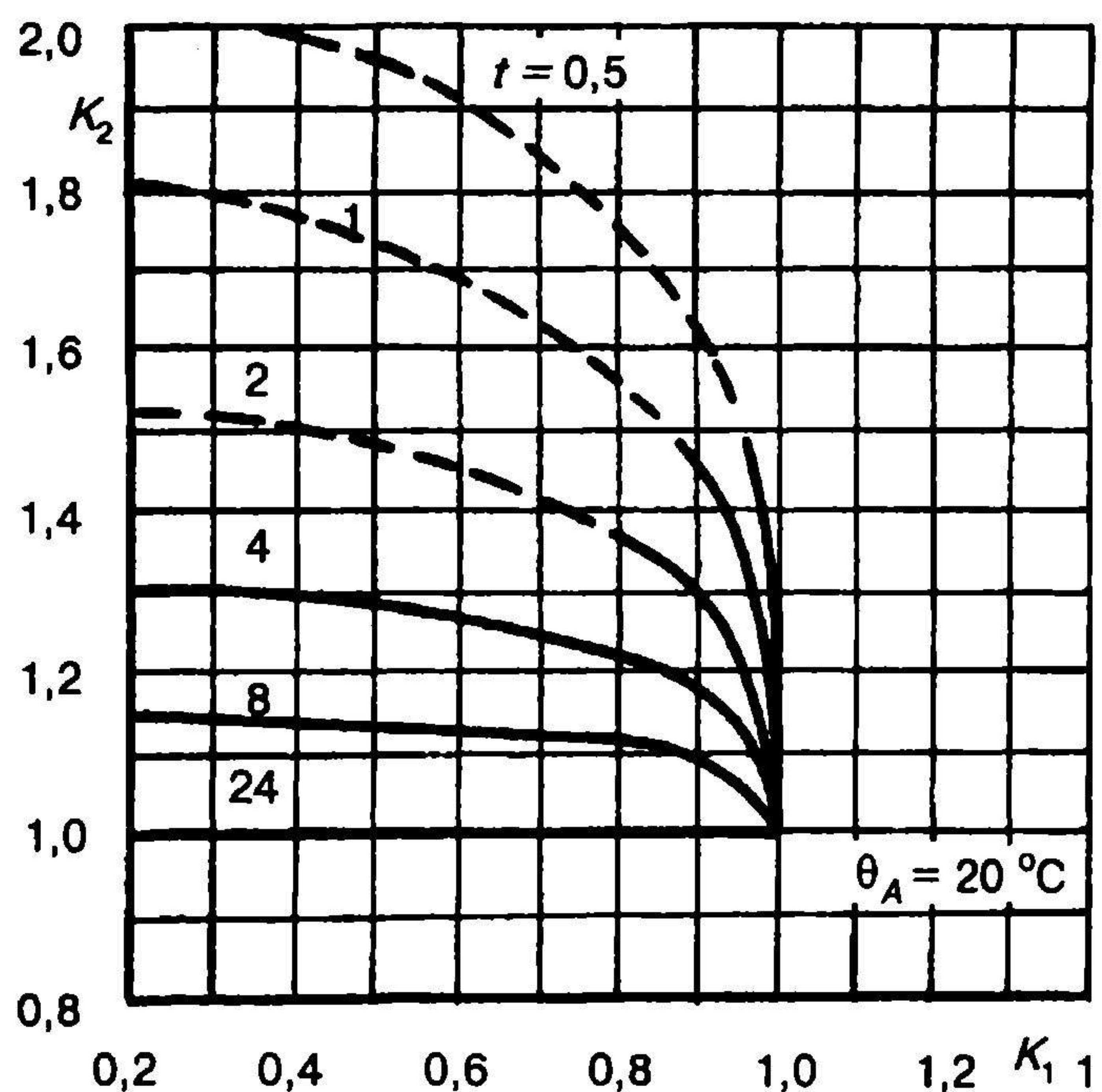
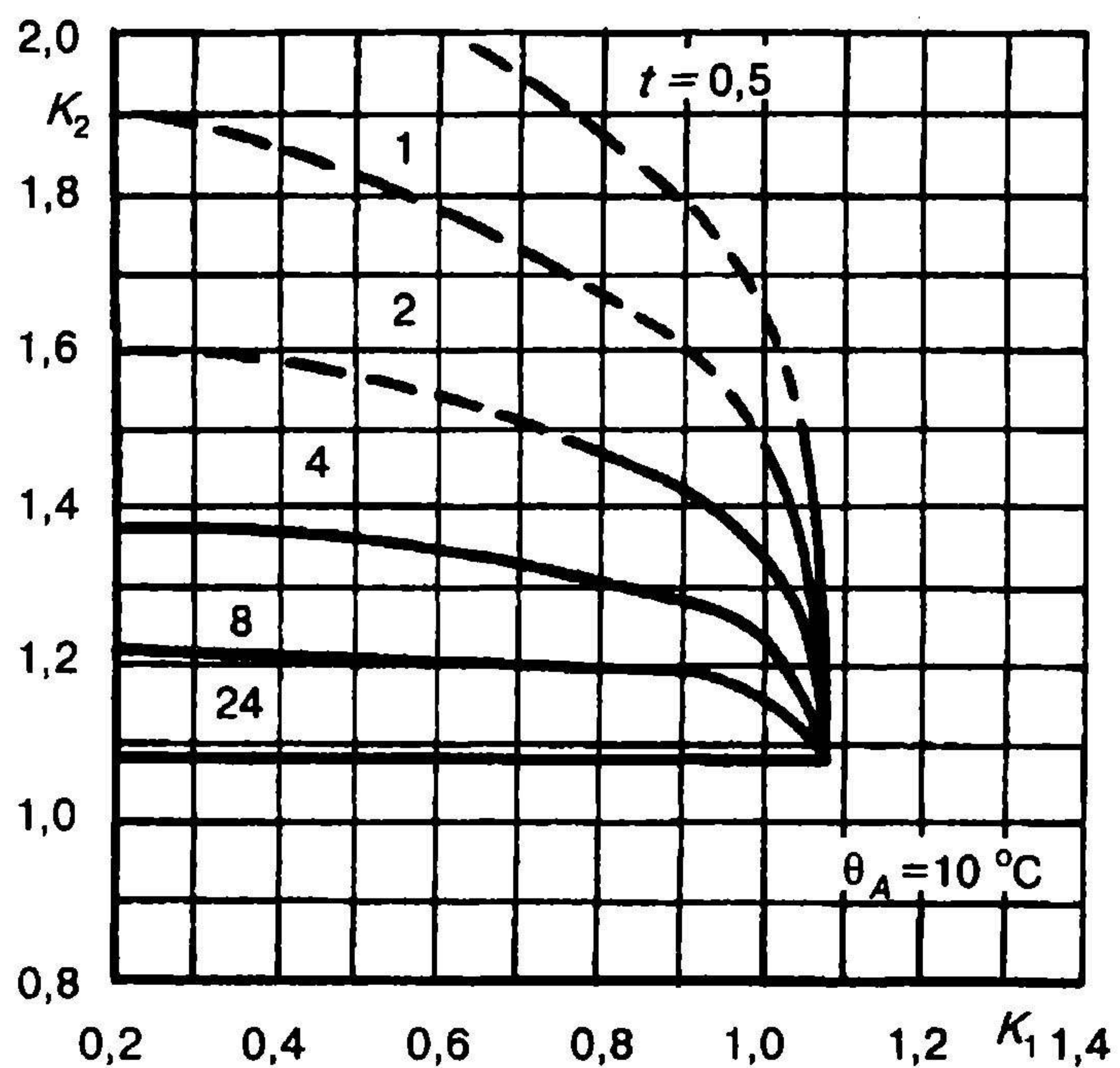


Рисунок 10 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ОН*.
Допустимі режими навантаження з нормальним скороченням терміну
служби



Закінчення рисунка 10

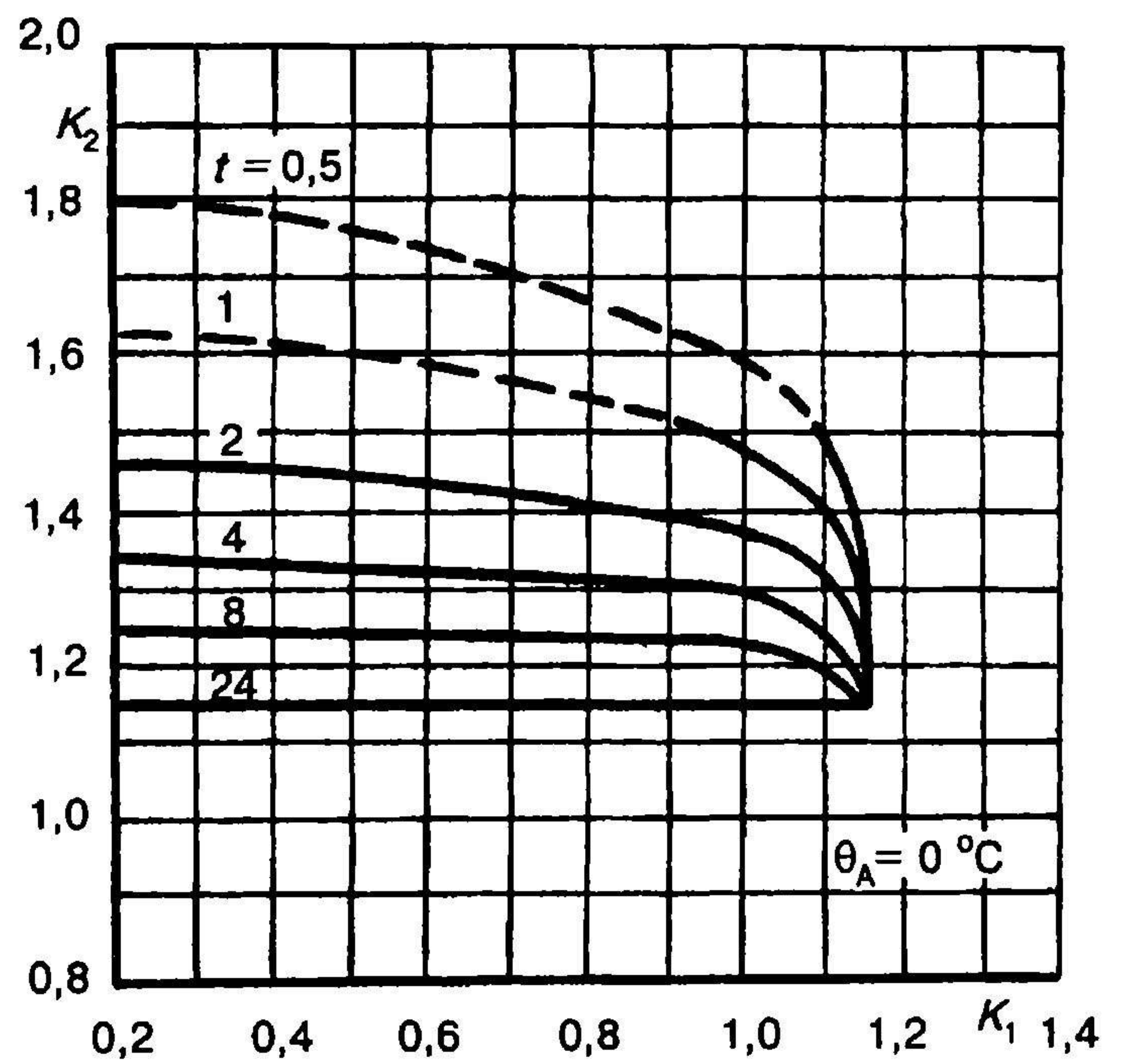
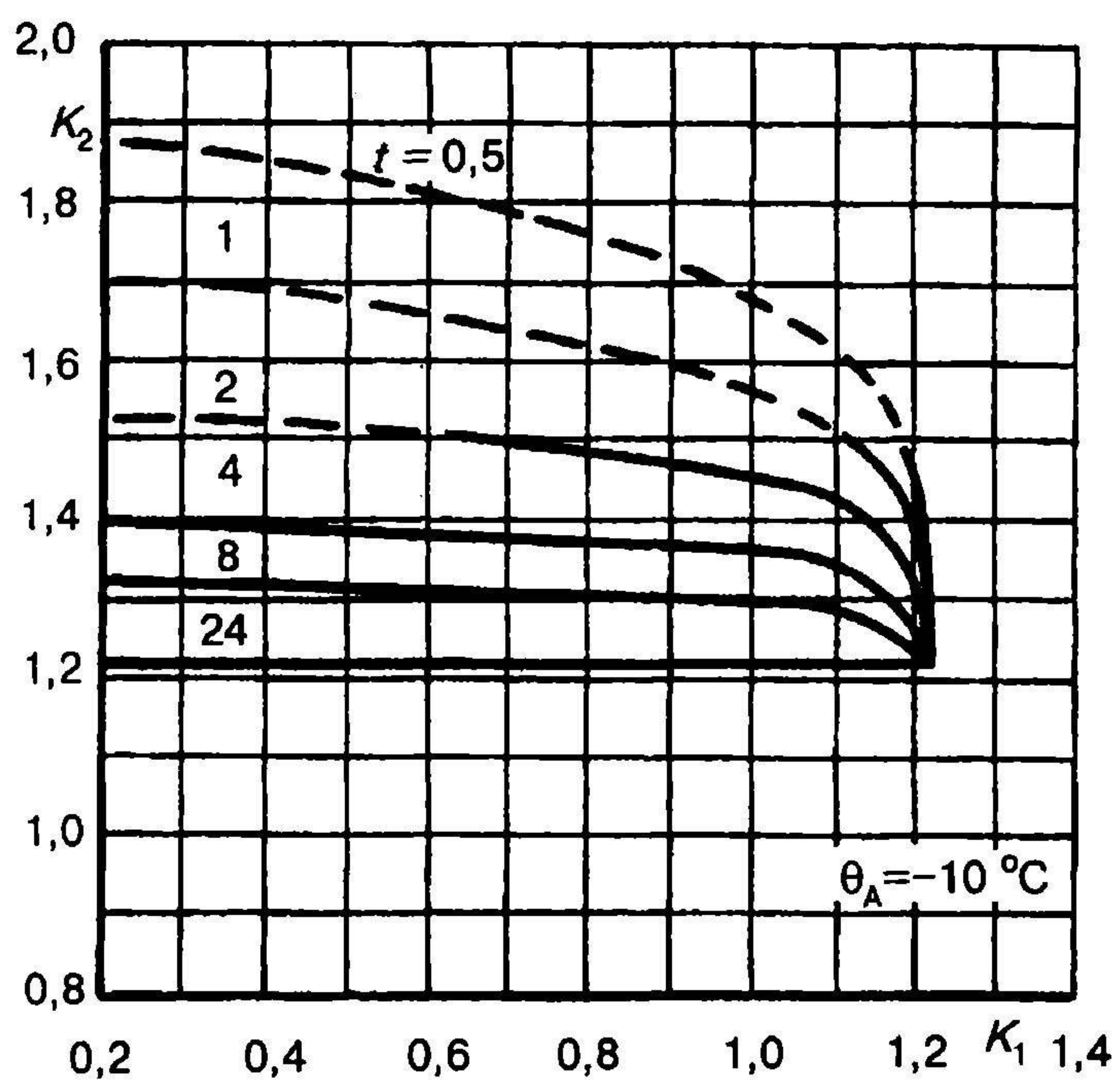
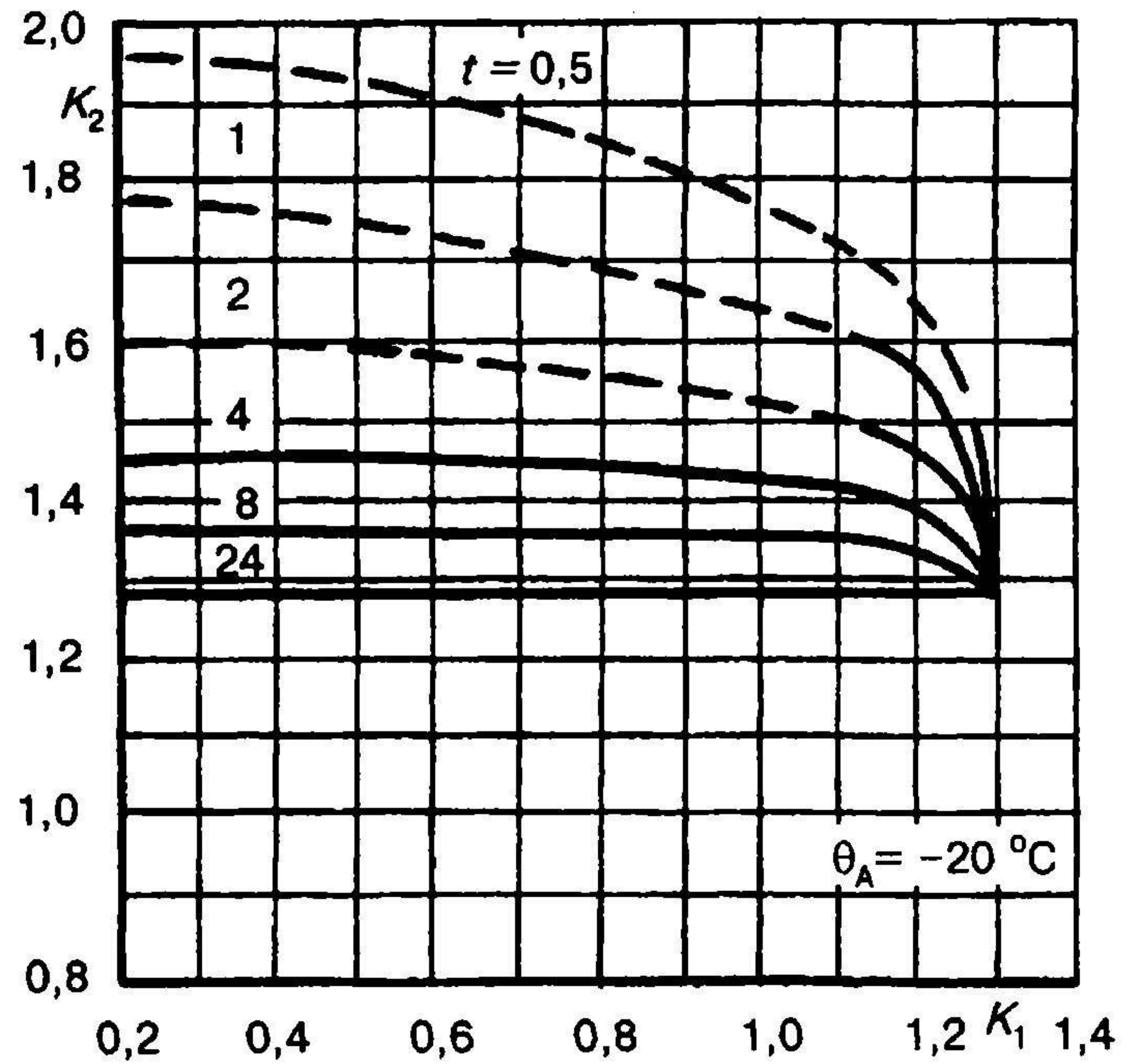
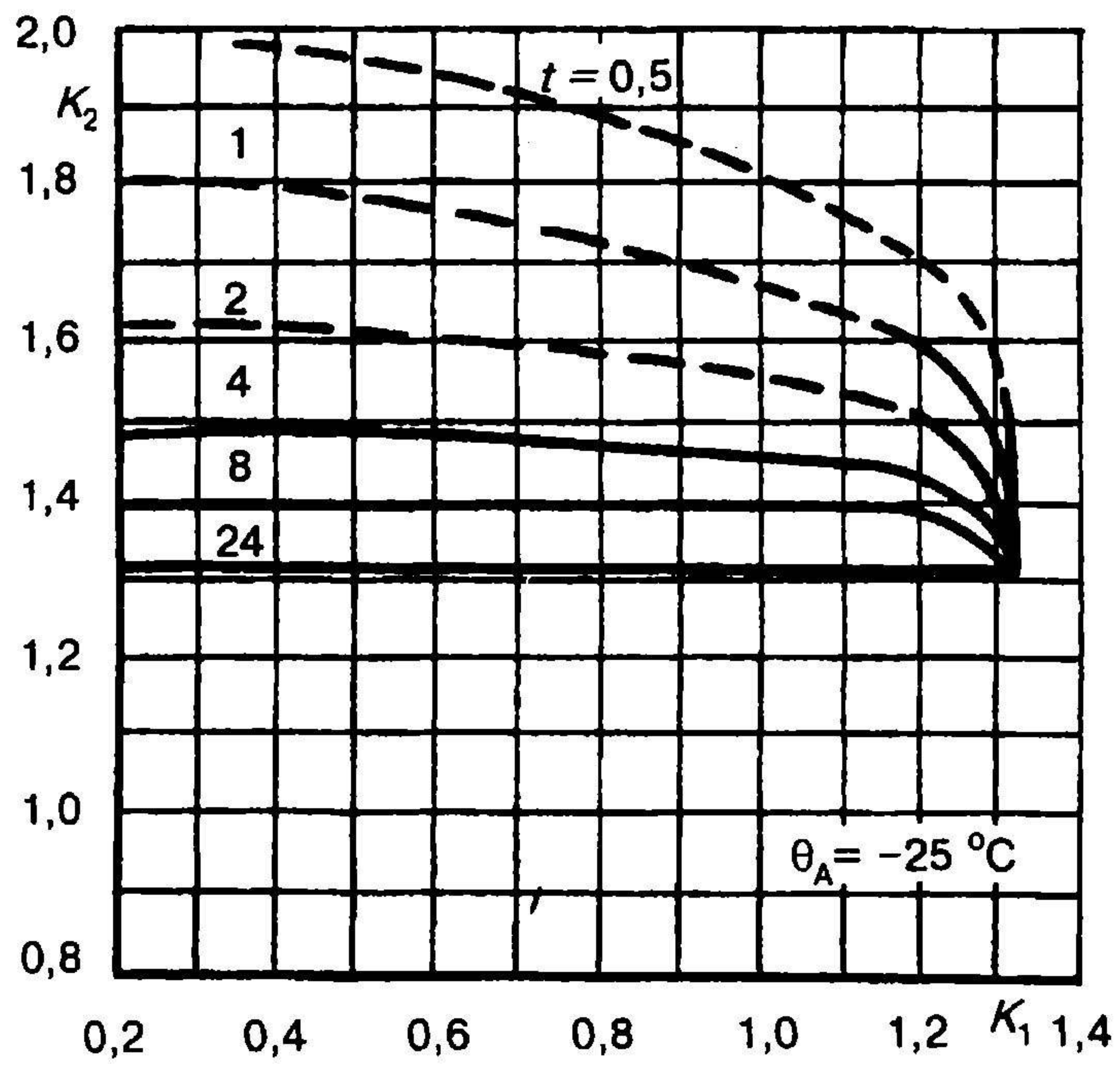
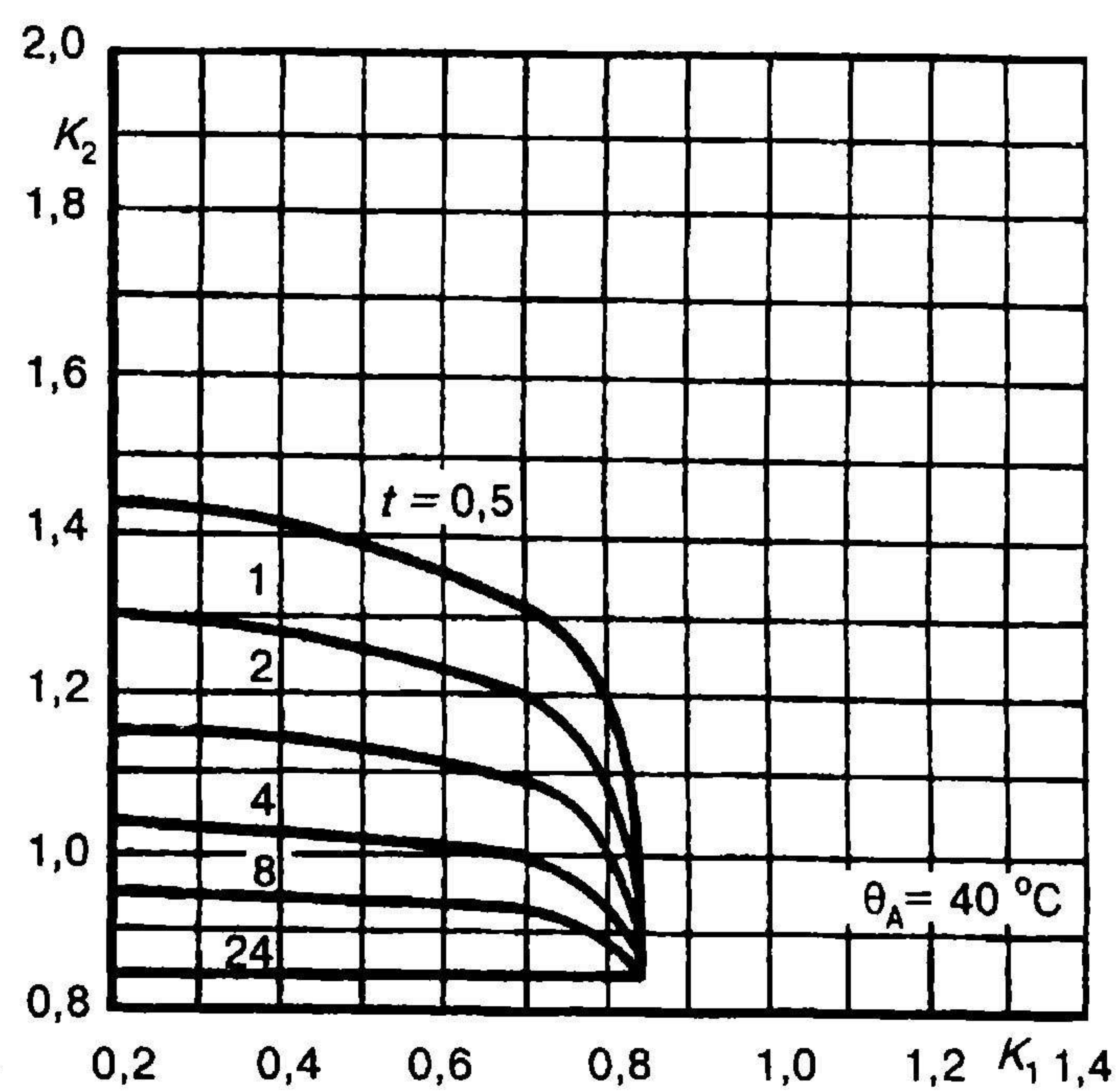
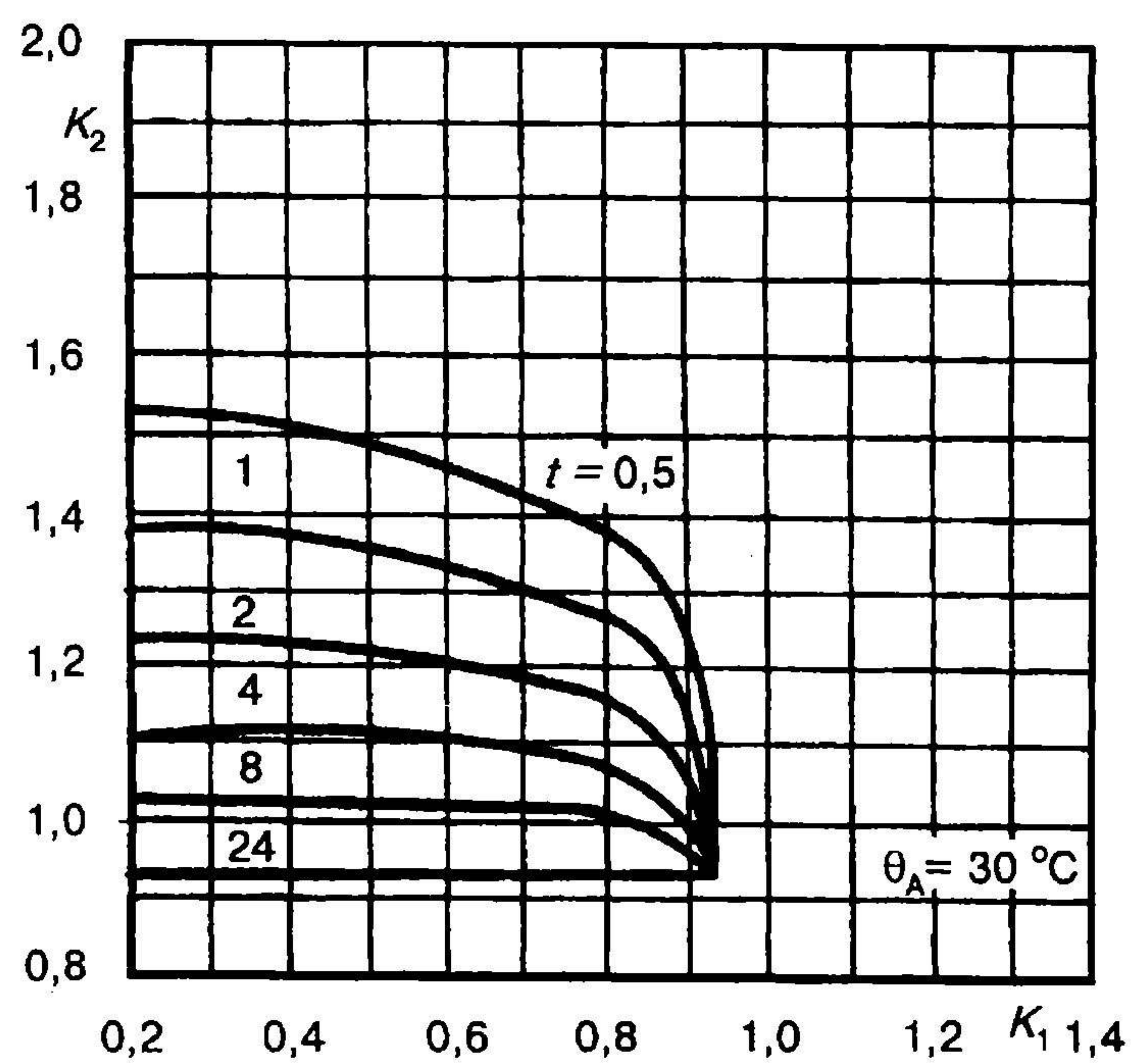
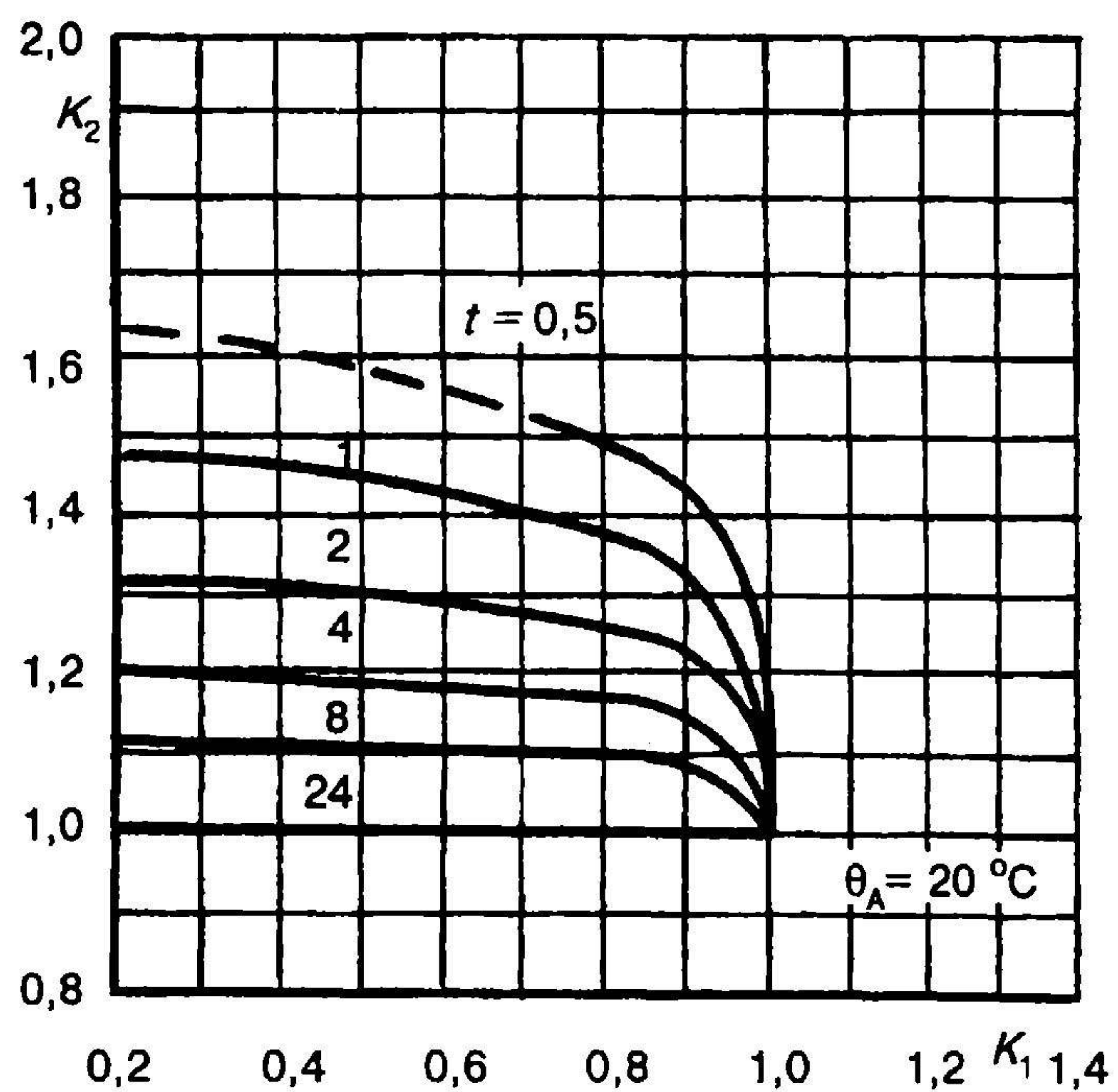
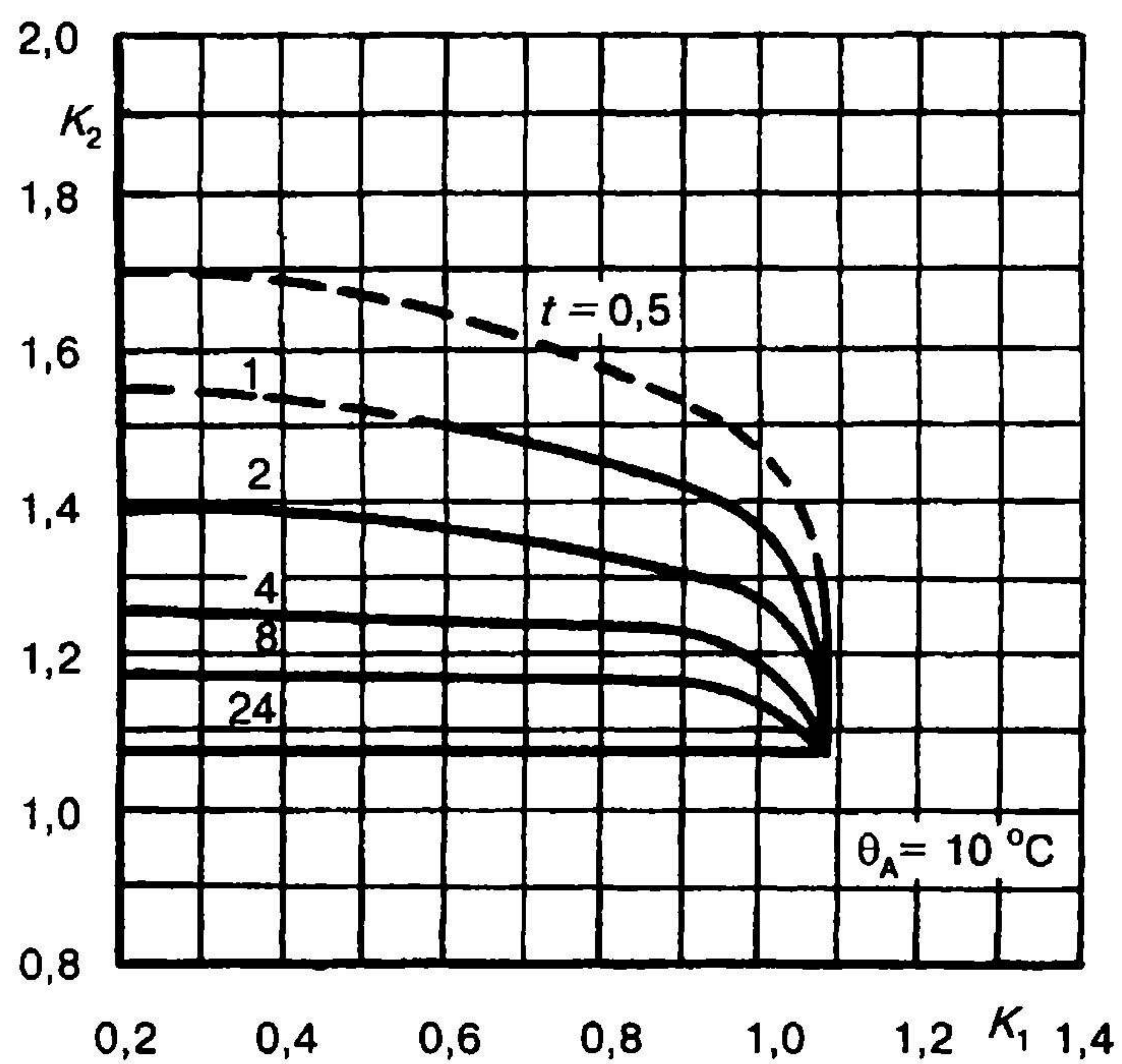


Рисунок 11 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*.
Допустимі режими навантаження з нормальним скороченням терміну служби



Закінчення рисунка 11

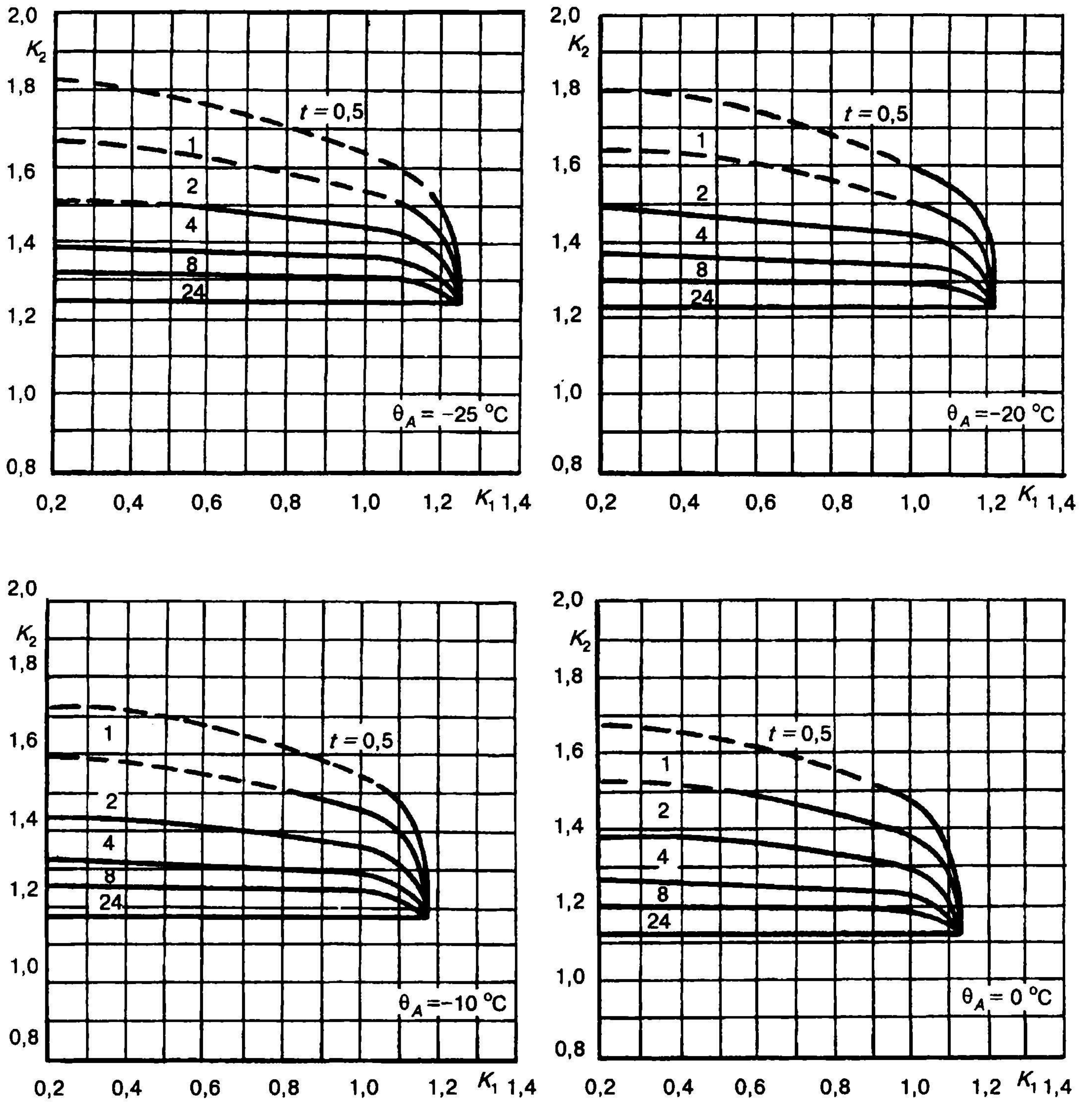
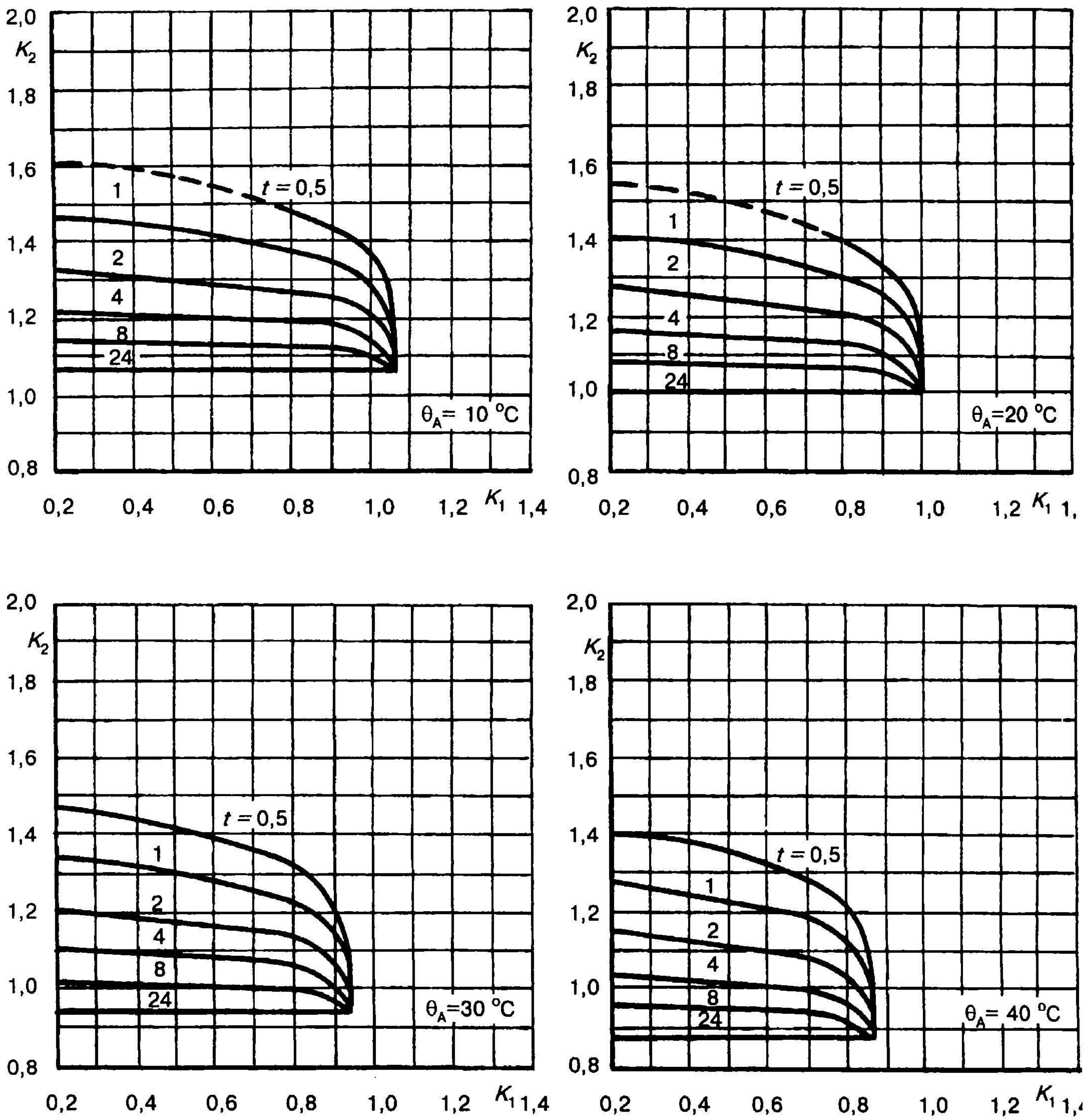


Рисунок 12 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*.
Допустимі режими навантаження з нормальним скороченням терміну служби



Закінчення рисунка 12

3.5 Режими аварійних перевантажень

Наведені нижче таблиці призначено для інформування споживача про перевантаження, які може витримати трансформатор без перевищення граничного значення температури найбільш нагрітої точки обмотки (таблиця 1), а також про скорочення терміну служби, яке спричиняють ці перевантаження, якщо теплові характеристики трансформатора відповідають наведеним у таблиці 2. У 24 таблицях наведено значення для трансформаторів чотирьох категорій і шести значень t (від 0,5 до 24 год):

розподільні трансформатори з охолодженням <i>ONAN</i>	— таблиці 7—12;
трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням <i>ON</i>	— таблиці 13—18;
трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням <i>OF</i>	— таблиці 19—24;
трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням <i>OD</i>	— таблиці 25—30.

За допомогою цих таблиць можна перевірити графіки допустимих режимів навантаження за різних значень K_1 і K_2 для даної температури охолодного середовища і визначити для цього випадку скорочення терміну служби (виражається в «нормальних» добах, тобто в еквівалентних добах роботи при номінальній потужності і температурі охолодного середовища 20 °С).

Температура і добове скорочення терміну служби для цих аварійних режимів обчислювались на основі циклічного режиму. Якщо реальна ситуація вимагає тільки однодобового аварійного режиму, якому передуює і за яким іде доба з нижчим навантаженням, то обчислені значення скорочення терміну служби будуть більшими за дійсні й, отже, міститимуть певний запас за зношенням.

Відносне скорочення терміну служби наводиться в таблицях з точністю до трьох знаків. Така точність може здатися невиправданою, проте це полегшує побудову графіків і проведення інтерполяції за умови, що отримані значення будуть округлені після закінчення розрахунків.

Приклад 1. Визначити скорочення терміну служби за добу і температуру найбільш нагрітої точки трансформатора середньої потужності, який працює в таких умовах:

охолодження *OF*; $K_1 = 0,8$; $K_2 = 1,3$; $t = 8$ год; $\theta_a = 30$ °С.

За даними таблиці 23 $V = 31,8$; $\Delta\theta_h = 121$ °С для температури охолодного середовища 20 °С. Враховуючи, що фактична температура охолодного середовища становить 30 °С, обчислюємо

$$L = 31,8 \cdot 3,2 = 101,8 \text{ «нормальних» діб;}$$

$$\theta_h = 121 + 30 = 151 \text{ °С.}$$

Температура найбільш нагрітої точки перевищує рекомендоване граничне значення 140 °С. Цього режиму навантаження слід уникати.

У додатках G—I наведено: уточнений метод перетворення реального графіка навантаження; додаткові відомості про температуру охолодного середовища, спрощені таблиці аварійних перевантажень і допустимих систематичних навантажень, а також приклад розрахунку температури обмоток і відносного зношення ізоляції без використання ЕОМ.

Таблиця 7 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, *t* = 0,5 год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	–10	–20	–25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 32	0,006 40	0,032 48								
0,8	0,001 36	0,006 44	0,033 52	0,093 57							
0,9	0,001 41	0,006 48	0,034 57	0,095 62	0,292 67						
1,0	0,002 45	0,006 53	0,036 61	0,099 66	0,301 72	1,00 78					
1,1	0,002 50	0,007 58	0,038 66	0,104 71	0,312 77	1,03 83	3,72 89				
1,2	0,002 55	0,008 63	0,042 72	0,112 77	0,330 82	1,08 88	3,84 95	14,9 101			
1,3	0,003 61	0,011 68	0,049 77	0,125 82	0,359 88	1,14 94	4,02 100	15,5 107	64,7 114		
1,4	0,005 67	0,014 74	0,061 83	0,148 88	0,407 93	1,25 99	4,30 106	16,2 113	67,2 120	302 127	
1,5	0,007 73	0,022 80	0,083 89	0,191 94	0,495 100	1,45 106	4,77 112	17,5 119	70,8 126	314 133	1510 141
1,6	0,013 79	0,036 86	0,126 95	0,273 100	0,662 106	1,81 112	5,61 118	19,6 125	76,6 132	332 140	1570 148
1,7	0,025 86	0,066 93	0,213 102	0,437 107	0,992 112	2,52 118	7,21 125	23,5 132	86,9 139	361 146	1670 154
1,8	0,050 92	0,129 100	0,394 108	0,778 114	1,67 119	3,95 125	10,4 131	31,2 138	107 145	415 153	1830 161
1,9	0,104 99	0,263 107	0,782 115	1,50 121	3,11 126	6,98 132	17,2 138	47,0 145	146 152	520 160	2130 168
2,0	0,224 107	0,559 114	1,64 123	3,10 128	6,26 133	13,6 139	31,7 146	80,9 153	229 160	737 167	2730 175

Таблиця 8 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, $t = 1,0$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,006 41	0,032 48								
0,8	0,002 40	0,006 46	0,034 53	0,093 57							
0,9	0,002 45	0,007 51	0,037 58	0,098 63	0,292 67						
1,0	0,002 50	0,008 57	0,040 64	0,106 68	0,310 73	1,00 78					
1,1	0,003 56	0,010 63	0,047 70	0,118 74	0,337 79	1,07 84	3,72 89				
1,2	0,005 62	0,014 69	0,058 76	0,140 80	0,382 85	1,17 90	3,98 96	14,9 101			
1,3	0,008 69	0,022 75	0,080 83	0,180 87	0,461 92	1,34 97	4,39 102	16,0 108	64,7 114		
1,4	0,015 76	0,038 82	0,123 90	0,258 94	0,612 99	1,66 104	5,11 109	17,9 115	69,8 121	302 127	
1,5	0,031 83	0,073 90	0,214 97	0,419 101	0,918 106	2,28 111	6,46 116	21,1 122	78,3 128	327 135	1510 141
1,6	0,065 91	0,150 97	0,413 104	0,771 109	1,57 113	3,58 119	9,22 124	27,3 130	93,9 136	370 142	1640 149
1,7	0,146 99	0,329 105	0,871 112	1,57 117	3,05 121	6,46 126	15,2 132	40,5 138	125 144	450 150	1870 157
1,8	0,340 107	0,760 113	1,96 120	3,46 125	6,52 129	13,2 135	28,8 140	69,9 146	192 152	615 158	2310 165
1,9	0,826 115	1,83 122	4,66 129	8,12 133	15,0 138	29,4 143	61,5 148	139 154	347 160	983 167	3250 173
2,0	2,08 124	4,58 130	11,5 138	20,0 142	36,4 147	70,2 152	143 157	311 163	725 169	1860 175	5410 182

Таблиця 9 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, $t = 2$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002 39	0,006 43	0,032 48								
0,8	0,002 45	0,008 49	0,036 54	0,093 57							
0,9	0,003 51	0,010 56	0,042 61	0,104 64	0,292 67						
1,0	0,005 58	0,014 63	0,053 68	0,123 71	0,330 74	1,00 78					
1,1	0,010 66	0,023 70	0,074 75	0,159 78	0,398 82	1,14 85	3,72 89				
1,2	0,020 74	0,043 78	0,118 83	0,234 86	0,531 90	1,40 93	4,28 97	14,9 101			
1,3	0,045 82	0,090 86	0,221 92	0,399 95	0,814 98	1,93 102	5,35 106	17,4 110	64,7 114		
1,4	0,108 91	0,208 95	0,470 100	0,792 103	1,47 107	3,10 110	7,60 114	22,1 118	76,0 123	302 127	
1,5	0,275 100	0,518 104	1,12 110	1,80 113	3,11 116	5,93 120	12,8 124	32,5 128	98,5 132	357 137	1510 141
1,6	0,745 109	1,38 114	2,88 119	4,51 122	7,48 126	13,3 129	26,0 133	57,4 137	150 142	472 146	1800 151
1,7	2,13 119	3,89 124	7,96 129	12,2 132	19,8 135	33,8 139	61,7 143	123 147	278 151	742 156	2430 161
1,8	6,36 129	11,5 134	23,3 139	35,4 142	56,3 146	93,9 149	165 153	308 157	628 162	1450 166	3950 171
1,9	19,9 140	35,9 145	71,8 150	108 153	170 156	280 160	480 164	866 168	1660 172	3440 177	8070 182
2,0	65,3 151	117 156	232 161	348 164	544 167	884 171	1500 175	2640 179	4880 183	+	+

Таблиця 10 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, $t = 4$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,008 46	0,032 48								
0,8	0,005 51	0,012 53	0,040 56	0,093 57							
0,9	0,010 59	0,020 61	0,056 64	0,117 66	0,292 67						
1,0	0,023 68	0,039 70	0,091 73	0,170 74	0,377 76	1,00 78					
1,1	0,056 77	0,091 79	0,178 82	0,294 84	0,566 86	1,32 87	3,72 89				
1,2	0,154 87	0,236 89	0,417 92	0,621 94	1,04 95	2,06 97	5,00 99	14,9 101			
1,3	0,455 98	0,677 100	1,12 103	1,56 104	2,36 106	4,02 108	8,13 110	20,5 112	64,7 114		
1,4	1,45 109	2,11 111	3,36 114	4,50 115	6,38 117	9,76 119	18,8 121	34,7 123	90,6 125	302 127	
1,5	4,94 120	7,09 122	11,0 125	14,4 127	19,7 128	28,2 130	43,7 132	76,1 134	160 137	431 139	1510 141
1,6	17,9 132	25,5 134	38,8 137	50,1 139	66,8 140	92,7 142	135 144	211 146	371 149	790 151	2200 153
1,7	69,0 144	97,3 147	146 149	187 151	246 153	334 155	470 157	694 159	1100 161	1950 163	4190 166
1,8	282 157	394 160	587 162	745 164	971 166	1300 167	1790 169	2560 172	3830 174	6110 176	+ 179
1,9	1220 171	1690 173	2500 176	3150 177	4080 179	5410 181	7370 183	+	+	+	+
2,0	5540 184	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 11 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, *t* = 8 год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,007 47	0,012 48	0,032 48								
0,8	0,016 56	0,023 56	0,049 57	0,093 57							
0,9	0,40 65	0,054 66	0,092 66	0,148 67	0,292 67						
1,0	0,114 75	0,144 76	0,212 77	0,295 77	0,485 78	1,00 78					
1,1	0,356 86	0,436 87	0,584 87	0,735 88	1,03 89	1,73 89	3,72 89				
1,2	1,22 98	1,46 98	1,85 99	2,20 99	2,78 100	3,92 100	6,68 101	14,9 101			
1,3	4,53 110	5,33 110	6,57 111	7,55 111	9,01 112	11,4 112	16,2 113	27,9 114	64,7 114		
1,4	18,1 122	21,1 123	25,5 124	28,8 124	33,3 125	39,9 125	50,7 126	71,9 126	126 127	302 127	
1,5	78,1 136	90,0 136	107 137	120 137	136 138	158 138	190 139	242 140	345 140	609 141	1510 141
1,6	360 150	412 150	486 151	538 151	604 152	690 152	807 153	974 153	1240 154	1770 155	3160 155
1,7	1770 164	2020 165	2360 165	2600 166	2890 166	3270 167	3760 167	4410 168	5350 168	6840 169	9770 170
1,8	9320 179	+ 180	+ 180	+ 181	+ 181	+ 182	+ 182	+ 183	+ 183	+ 184	+ +

Таблиця 12 — Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*, $t = 24$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1
	0,25—1,5

0,7	0,032 48
0,8	0,093 57
0,9	0,292 67
1,0	1,00 78
1,1	3,72 89
1,2	14,9 101
1,3	64,7 114
1,4	302 127
1,5	1510 141
1,6	8080 156
1,7	+ 171

Таблиця 13 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ОН*, *t* = 0,5 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних»
добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂,
та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене
в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 30	0,004 37	0,024 46								
0,8	0,001 35	0,004 42	0,025 50	0,074 55							
0,9	0,001 40	0,004 47	0,026 55	0,077 61	0,258 66						
1,0	0,001 45	0,005 52	0,027 61	0,080 66	0,267 72	1,00 78					
1,1	0,001 51	0,005 58	0,029 67	0,085 72	0,279 78	1,04 84	4,30 91				
1,2	0,002 57	0,007 64	0,034 73	0,094 78	0,300 84	1,09 90	4,47 97	20,5 104			
1,3	0,003 64	0,009 71	0,042 79	0,111 84	0,338 90	1,18 96	4,73 103	21,4 111	108 119		
1,4	0,005 71	0,015 78	0,059 86	0,144 91	0,409 97	1,35 103	5,18 110	22,8 118	113 125	631 134	
1,5	0,010 78	0,027 85	0,095 93	0,213 98	0,554 104	1,69 110	6,03 117	25,2 125	121 133	661 141	4040 150
1,6	0,022 85	0,054 92	0,174 101	0,365 106	0,868 112	2,39 118	7,76 125	29,9 132	135 140	710 148	4250 157
1,7	0,048 93	0,118 100	0,356 109	0,712 114	1,58 119	3,98 126	11,6 133	39,8 140	164 148	802 156	4590 165
1,8	0,113 101	0,271 108	0,794 117	1,54 122	3,28 128	7,69 134	20,4 141	62,3 148	226 156	994 164	5250 173
1,9	0,275 110	0,652 117	1,88 125	3,60 130	7,45 136	16,8 142	41,7 149	116 157	373 164	1430 173	6650 182
2,0	0,695 118	1,64 125	4,69 134	8,88 139	18,1 145	40,0 151	95,8 158	251 165	736 173	2480 182	+ +

Таблиця 14 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*, $t = 1$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 33	0,004 39	0,024 46								
0,8	0,001 39	0,004 44	0,025 51	0,074 55							
0,9	0,001 45	0,005 50	0,027 57	0,079 62	0,258 66						
1,0	0,002 51	0,006 57	0,031 64	0,087 68	0,276 73	1,00 78					
1,1	0,003 58	0,009 64	0,038 71	0,100 75	0,306 80	1,08 85	4,30 91				
1,2	0,005 66	0,014 71	0,053 78	0,128 83	0,363 87	1,21 93	4,66 98	20,5 104			
1,3	0,011 74	0,026 79	0,084 86	0,185 91	0,477 95	1,46 100	5,29 106	22,4 112	108 119		
1,4	0,024 82	0,055 88	0,158 95	0,317 99	0,733 104	2,00 109	6,56 114	25,7 120	119 127	631 134	
1,5	0,059 91	0,128 97	0,342 104	0,641 108	1,35 112	3,25 118	9,36 123	32,7 129	138 136	695 143	4040 150
1,6	0,153 100	0,324 106	0,827 113	1,48 117	2,92 122	6,40 127	16,2 132	48,7 138	180 145	821 152	4480 159
1,7	0,418 110	0,875 115	2,17 122	3,81 127	7,20 131	14,8 136	34,0 142	89,4 148	281 155	1100 161	5360 169
1,8	1,21 120	2,50 125	6,11 132	10,6 137	19,5 141	38,9 146	84,0 152	201 158	549 165	1800 171	7400 179
1,9	3,65 130	7,52 136	18,2 143	31,2 147	57,0 152	111 157	233 162	527 168	1310 175	3730 182	+
2,0	11,6 141	23,8 147	57,1 154	97,3 158	176 162	341 168	701 173	1540 179	+	+	+

Таблиця 15 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*, *t* = 2 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних»
добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂,
та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	–10	–20	–25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене
в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 37	0,004 41	0,024 46								
0,8	0,002 44	0,005 48	0,027 53	0,074 55							
0,9	0,003 52	0,008 56	0,032 60	0,084 63	0,258 66						
1,0	0,005 60	0,013 64	0,044 69	0,104 71	0,297 75	1,00 78					
1,1	0,012 69	0,025 73	0,070 77	0,148 80	0,377 83	1,17 87	4,30 91				
1,2	0,030 78	0,057 82	0,136 87	0,254 90	0,563 93	1,53 96	5,09 100	20,5 104			
1,3	0,083 88	0,148 92	0,321 97	0,542 100	1,04 103	2,40 106	6,86 110	24,6 114	108 119		
1,4	0,248 99	0,432 103	0,879 108	1,39 110	2,42 114	4,79 117	11,4 121	34,2 125	132 129	631 134	
1,5	0,803 110	1,37 114	2,70 119	4,12 122	6,74 125	12,1 128	24,6 132	60,2 136	189 140	778 145	4040 150
1,6	2,80 122	4,73 126	9,07 131	13,6 133	21,5 137	36,4 140	67,1 144	140 148	352 152	1150 157	5060 162
1,7	10,4 134	17,5 138	33,0 143	48,8 146	75,9 149	125 152	218 156	414 160	885 164	2280 169	7760 174
1,8	41,6 147	69,2 151	129 156	190 158	291 162	470 165	800 169	1450 173	2820 177	6190 182	+
1,9	177 160	293 164	542 169	790 172	1200 175	1920 178	3210 182	+	+	+	+
2,0	803 174	1320 178	2430 183	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 16 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*, $t = 4$ год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002 42	0,006 44	0,024 46								
0,8	0,004 50	0,009 52	0,030 54	0,074 55							
0,9	0,010 60	0,018 61	0,045 64	0,097 65	0,258 66						
1,0	0,027 70	0,042 72	0,085 74	0,154 75	0,347 76	1,00 78					
1,1	0,082 81	0,118 83	0,205 85	0,316 86	0,585 87	1,39 89	4,30 91				
1,2	0,277 93	0,386 94	0,608 96	0,844 98	1,32 99	2,48 101	6,15 102	20,5 104			
1,3	1,04 105	1,41 107	2,11 109	2,76 110	3,88 112	6,12 113	11,7 115	30,2 117	108 119		
1,4	4,26 118	5,70 120	8,27 122	10,5 123	14,0 125	19,9 126	31,7 128	61,6 130	164 132	631 134	
1,5	19,1 132	25,3 134	36,0 136	44,9 137	58,2 139	78,7 140	113 142	182 144	358 146	987 148	4040 150
1,6	93,7 147	123 148	172 151	213 152	271 153	356 155	490 156	715 158	1160 160	2300 162	6530 164
1,7	499 162	649 164	901 166	1100 167	1390 168	1800 170	2410 172	3360 174	4980 175	8140 178	+ 180
1,8	2880 178	3730 180	5130 182	6240 183	7790 184	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +

Таблиця 17 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*, *t* = 8 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,005 45	0,009 45	0,024 46								
0,8	0,014 54	0,019 55	0,038 55	0,074 55							
0,9	0,040 65	0,051 65	0,080 66	0,126 66	0,258 66						
1,0	0,135 76	0,160 77	0,216 77	0,287 77	0,463 78	1,00 78					
1,1	0,506 89	0,584 89	0,726 89	0,871 90	1,16 90	1,90 90	4,30 91				
1,2	2,12 102	2,40 102	2,86 103	3,26 103	3,91 103	5,22 103	8,64 104	20,5 104			
1,3	9,84 116	11,0 116	12,8 117	14,2 117	16,3 117	19,6 117	26,1 118	43,6 118	108 119		
1,4	50,5 131	56,1 131	64,3 131	70,4 132	78,5 132	90,1 132	108 133	145 133	244 133	631 134	
1,5	286 146	315 147	358 147	388 147	427 148	478 148	551 149	665 148	886 149	1500 149	4040 150
1,6	1780 163	1950 163	2200 164	2370 164	2580 164	2850 164	3220 165	3720 165	4500 165	5990 166	+ 166
1,7	+ 180	+ 180	+ 181	+ 181	+ 181	+ 182	+ 182	+ 182	+ 183	+ 183	+ 184

Таблиця 18 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*, $t = 24$ год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1
	0,25—1,5

0,7	0,024 46
0,8	0,074 55
0,9	0,258 66
1,0	1,00 78
1,1	4,30 91
1,2	20,5 104
1,3	108 119
1,4	631 134
1,5	4040 150
1,6	+ 167

Таблиця 19 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, *t* = 0,5 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁ /										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,003 39	0,020 44								
0,8	0,001 42	0,003 46	0,020 51	0,065 54							
0,9	0,001 49	0,004 53	0,022 59	0,067 62	0,239 66						
1,0	0,002 57	0,005 61	0,024 67	0,072 70	0,249 74	1,00 78					
1,1	0,004 66	0,008 70	0,032 75	0,084 79	0,270 83	1,05 87	4,70 91				
1,2	0,009 75	0,018 79	0,051 85	0,114 88	0,323 92	1,15 96	4,93 101	24,8 106			
1,3	0,025 85	0,045 89	0,107 95	0,202 98	0,471 102	1,42 106	5,49 111	26,2 116	147 121		
1,4	0,075 96	0,131 100	0,280 105	0,470 108	0,915 112	2,21 116	7,02 121	29,5 126	156 132	975 138	
1,5	0,241 107	0,415 111	0,846 116	1,35 119	2,35 123	4,73 127	11,8 132	39,2 137	178 143	1040 149	7230 155
1,6	0,823 118	1,41 122	2,82 127	4,38 131	7,30 135	13,3 139	27,7 143	70,8 148	246 154	1200 160	7730 166
1,7	2,99 130	5,08 134	10,1 139	15,5 143	25,4 146	44,6 151	85,0 155	183 160	482 166	1740 172	9120 178
1,8	11,5 142	19,5 147	38,4 152	58,8 155	95,5 159	165 163	305 168	609 173	1360 178	3700 184	+ +
1,9	46,9 155	79,1 160	155 165	237 168	383 172	657 176	1200 181	+	+	+	+
2,0	203 169	341 173	666 178	1010 182	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 20 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, $t = 1$ год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 37	0,003 40	0,020 44								
0,8	0,001 45	0,004 48	0,021 52	0,065 54							
0,9	0,002 54	0,005 57	0,024 61	0,070 63	0,239 66						
1,0	0,005 63	0,009 66	0,032 70	0,081 72	0,260 75	1,00 78					
1,1	0,012 73	0,021 76	0,053 80	0,113 82	0,312 85	1,10 88	4,70 91				
1,2	0,036 84	0,058 87	0,119 91	0,209 93	0,462 96	1,35 99	5,21 102	24,8 106			
1,3	0,120 95	0,186 98	0,342 102	0,528 105	0,945 107	2,14 110	6,62 114	27,8 117	147 121		
1,4	0,431 108	0,659 110	1,16 114	1,68 117	2,66 119	4,85 122	11,2 126	36,4 129	166 133	975 138	
1,5	1,68 120	2,55 123	4,37 127	6,18 129	9,30 132	15,2 135	28,3 138	66,7 142	225 146	1110 150	7230 155
1,6	7,09 134	10,7 137	18,1 140	25,3 143	37,2 146	58,0 149	97,6 152	186 155	446 159	1570 164	8340 168
1,7	32,3 148	48,3 151	81,0 154	112 157	164 160	250 163	406 166	706 170	1380 173	3370 178	+ 182
1,8	159 162	236 165	393 169	543 171	784 174	1190 177	1890 181	3180 184	+	+	+
1,9	842 178	1250 181	2060 184	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 21 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, *t* = 2 год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	–10	–20	–25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 41	0,004 42	0,020 44								
0,8	0,002 45	0,005 51	0,023 53	0,065 54							
0,9	0,006 60	0,010 61	0,030 63	0,076 64	0,239 66						
1,0	0,017 70	0,025 72	0,053 74	0,107 75	0,286 76	1,00 78					
1,1	0,056 82	0,077 84	0,130 86	0,207 87	0,426 88	1,22 90	4,70 91				
1,2	0,211 95	0,280 96	0,421 98	0,577 99	0,922 101	1,93 102	5,85 104	24,8 106			
1,3	0,877 108	1,14 109	1,64 111	2,10 113	2,91 114	4,66 116	9,90 117	31,6 119	147 121		
1,4	4,03 122	5,20 124	7,27 126	9,07 127	11,8 128	16,6 130	26,7 131	57,2 133	191 135	975 138	
1,5	20,5 137	26,1 139	36,0 141	44,3 142	56,4 143	75,1 145	107 146	173 148	372 150	1300 153	7230 155
1,6	114 153	145 154	198 156	241 158	303 159	394 161	536 162	774 164	1260 166	2730 168	9870 171
1,7	703 169	886 171	1200 173	1450 174	1800 176	2320 177	3090 179	4280 181	6290 183	+	+

Таблиця 22 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, *t* = 4 год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,005 43	0,20 44								
0,8	0,006 53	0,010 53	0,026 54	0,065 54							
0,9	0,019 64	0,025 64	0,046 65	0,089 65	0,239 66						
1,0	0,069 76	0,082 76	0,117 77	0,172 77	0,344 78	1,00 78					
1,1	0,278 89	0,320 89	0,403 90	0,499 90	0,734 91	1,50 91	4,70 91				
1,2	1,26 103	1,43 103	1,71 104	1,96 104	2,42 104	3,54 105	7,37 105	24,8 106			
1,3	6,40 118	7,18 118	8,40 119	9,37 119	10,8 119	13,3 120	19,3 120	40,7 121	147 121		
1,4	36,4 134	40,5 134	46,7 134	51,4 135	57,8 135	67,0 136	82,6 136	119 136	252 137	975 138	
1,5	231 150	256 151	292 151	319 151	353 152	400 152	467 153	576 153	823 154	1760 154	7230 155
1,6	1640 168	1800 168	2040 169	2210 169	2430 169	2720 170	3100 170	3640 171	4500 171	6400 172	+ 173

Таблиця 23 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, *t* = 8 год. Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	–10	–20	–25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,006 44	0,008 44	0,020 44								
0,8	0,017 54	0,020 54	0,034 54	0,065 54							
0,9	0,057 66	0,063 66	0,082 66	0,118 66	0,239 66						
1,0	0,223 78	0,238 78	0,273 78	0,324 78	0,469 78	1,00 78					
1,1	0,989 91	1,04 91	1,14 91	1,24 91	1,45 91	2,11 91	4,70 91				
1,2	4,95 106	5,17 106	5,53 106	5,82 106	6,31 106	7,37 106	10,7 106	24,8 106			
1,3	27,8 121	28,9 121	30,6 121	31,8 121	33,5 121	36,3 121	42,1 121	60,7 121	147 121		
1,4	175 137	181 137	190 137	197 137	205 137	217 137	235 137	271 137	388 138	975 138	
1,5	1240 155	1280 155	1330 155	1370 155	1420 155	1490 155	1570 155	1700 155	1950 155	2780 155	7230 155
1,6	9790 173	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 24 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*, *t* = 24 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1
	0,25—1,5

0,7	0,020
	44
0,8	0,065
	54
0,9	0,239
	66
1,0	1,00
	78
1,1	4,70
	91
1,2	24,8
	106
1,3	147
	121
1,4	975
	138
1,5	7230
	155
1,6	+
	173

Таблиця 25 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, *t* = 0,5 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000	0,001	0,008								
	23	29	36								
0,8	0,000	0,001	0,008	0,032							
	31	36	44	48							
0,9	0,000	0,001	0,009	0,034	0,163						
	40	45	53	57	62						
1,0	0,001	0,002	0,010	0,037	0,172	1,00					
	50	55	63	67	72	78					
1,1	0,002	0,004	0,016	0,048	0,196	1,06	7,42				
	61	66	73	78	83	89	95				
1,2	0,005	0,012	0,037	0,087	0,275	1,25	7,97	66,7			
	73	78	86	90	95	101	107	114			
1,3	0,021	0,045	0,123	0,244	0,589	1,94	9,73	72,3	726		
	86	91	99	103	108	114	120	127	135		
1,4	0,096	0,201	0,524	0,970	2,02	5,03	17,1	92,3	794	9550	
	100	105	113	117	122	128	135	142	149	157	
1,5	0,497	1,03	2,63	4,77	9,43	20,8	53,7	186	1070	+	+
	115	121	128	132	138	143	150	157	164	172	181
1,6	2,90	5,97	15,1	27,1	52,8	112	263	711	2520	+	+
	131	137	144	149	154	160	166	173	180	+	+
1,7	19,1	39,2	98,5	176	339	712	1630	+	+	+	+
	148	154	161	166	171	177	183	+	+	+	+
1,8	143	291	727	1290	+	+	+	+	+	+	+
	167	172	180	184	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 26 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, $t = 1$ год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000 27	0,001 31	0,008 36								
0,8	0,000 36	0,001 40	0,008 45	0,032 48							
0,9	0,001 46	0,002 50	0,010 55	0,035 59	0,163 62						
1,0	0,002 58	0,004 62	0,015 67	0,045 70	0,183 74	1,00 78					
1,1	0,007 70	0,013 74	0,035 80	0,078 83	0,246 87	1,14 91	7,42 95				
1,2	0,030 84	0,054 88	0,123 94	0,221 97	0,500 101	1,65 105	8,65 109	66,7 114			
1,3	0,152 100	0,269 104	0,571 109	0,939 112	1,74 116	3,98 120	13,6 125	79,4 130	726 135		
1,4	0,893 116	1,56 120	3,23 125	5,14 129	8,85 132	17,0 136	39,4 141	137 146	884 151	9550 157	
1,5	6,08 134	10,5 138	21,4 143	33,6 146	56,4 150	102 154	204 159	483 164	1700 169	+	+
1,6	48,0 153	82,3 157	165 162	257 165	426 169	754 173	1440 178	3000 183	+	+	+
1,7	438 173	745 177	1480 182	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 27 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, *t* = 2 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних»
добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂,
та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	−10	−20	−25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000 31	0,001 33	0,008 36								
0,8	0,001 42	0,002 44	0,009 47	0,032 48							
0,9	0,002 54	0,004 56	0,014 59	0,040 60	0,163 62						
1,0	0,010 68	0,015 70	0,032 72	0,067 74	0,209 76	1,00 78					
1,1	0,048 83	0,070 85	0,122 87	0,192 89	0,398 91	1,33 93	7,42 95				
1,2	0,278 99	0,395 101	0,639 104	0,894 105	1,41 107	2,93 109	10,4 112	66,7 114			
1,3	1,93 117	2,70 119	4,22 122	5,66 123	8,09 125	12,9 127	26,6 130	97,7 132	726 135		
1,4	15,9 136	22,0 138	33,7 141	44,3 143	61,1 144	89,6 147	145 149	297 152	1120 154	9550 157	
1,5	156 157	213 159	321 162	418 163	566 165	805 167	1210 170	1990 172	4070 175	+	+
1,6	1800 179	2450 181	3650 184	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 28 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, $t = 4$ год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,002 35	0,008 36								
0,8	0,003 47	0,004 47	0,011 48	0,032 48							
0,9	0,011 60	0,014 61	0,024 61	0,049 62	0,163 62						
1,0	0,054 75	0,065 76	0,091 76	0,130 77	0,271 77	1,00 78					
1,1	0,334 92	0,392 93	0,500 93	0,610 94	0,863 94	1,80 95	7,42 95				
1,2	2,50 110	2,90 111	3,56 112	4,12 112	5,03 113	7,01 113	14,6 114	66,7 114			
1,3	22,7 130	26,0 131	31,2 131	35,4 132	41,3 132	50,6 133	69,9 134	145 134	726 135		
1,4	248 152	281 152	334 153	374 153	429 154	505 155	622 155	853 156	1740 157	9550 157	
1,5	3270 175	3690 175	4330 176	4810 177	5440 177	6300 178	7490 178	9300 179	+	+	+
									180	180	181

Таблиця 29 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, *t* = 8 год.
Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями *K*₁ і *K*₂, та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:
додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.
Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002 36	0,003 36	0,008 36								
0,8	0,008 48	0,009 48	0,015 48	0,032 48							
0,9	0,036 62	0,039 62	0,049 62	0,071 62	0,163 62						
1,0	0,204 78	0,218 78	0,247 78	0,285 78	0,407 78	1,00 78					
1,1	1,42 95	1,50 95	1,64 95	1,76 95	2,02 95	2,85 95	7,42 95				
1,2	12,0 114	12,6 114	13,5 114	14,3 114	15,3 114	17,4 114	24,3 114	66,7 114			
1,3	123 135	129 135	137 135	143 135	151 135	162 135	183 135	252 135	726 135		
1,4	1540 157	1590 157	1680 157	1740 157	1820 157	1930 157	2080 157	2340 157	3170 157	9550 157	
1,5	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181	+ 181

Таблиця 30 — Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*, $t = 24$ год.

Допустимі навантаження і відповідне добове скорочення терміну служби (в «нормальних» добах)

Для визначення графіка допустимого навантаження, що характеризується значеннями K_1 і K_2 , та розрахунку відповідного скорочення терміну служби необхідно:

Температура охолодного середовища, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Добове скорочення терміну служби: помножити значення, наведене в таблиці, на зазначений тут коефіцієнт	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура найбільш нагрітої точки:

додати температуру охолодного середовища до перевищення температури, наведеного в таблиці.

Якщо отримане значення температури найбільш нагрітої точки перевищує граничне значення, наведене в таблиці 1, такий режим навантаження недопустимий.

K_2	K_1
	0,25—1,5
0,7	0,008
	36
0,8	0,032
	48
0,9	0,163
	62
1,0	1,00
	78
1,1	7,42
	95
1,2	66,7
	114
1,3	726
	135
1,4	9550
	157
1,5	+
	181

ДОДАТОК А
(обов'язковий)**ЕКВІВАЛЕНТНИЙ НОМІНАЛЬНИЙ РЕЖИМ
АВТОТРАНСФОРМАТОРІВ**

Для трифазних автотрансформаторів граничні значення повного опору короткого замикання і номінальної потужності належать до еквівалентної потужності $S_t = 100$ МВ·А, двообмоткового трансформатора і максимальної номінальної потужності $S_r = 200$ МВ·А з відповідним повним опором короткого замикання z_r , що зменшується лінійно між 0 і 100 МВ·А від 25 % до 15 %.

Для автотрансформаторів, крім трифазних, граничні значення типової і номінальної потужності дорівнюють відповідно 33,3 МВ·А і 66,6 МВ·А на стрижень з обмоткою.

Трифазні автотрансформатори

Автотрансформатори з обмеженням
номінальної потужності на стрижень

$$S_t = S_r \frac{U_1}{U_1 - U_2} \leq 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad \text{A.1}$$

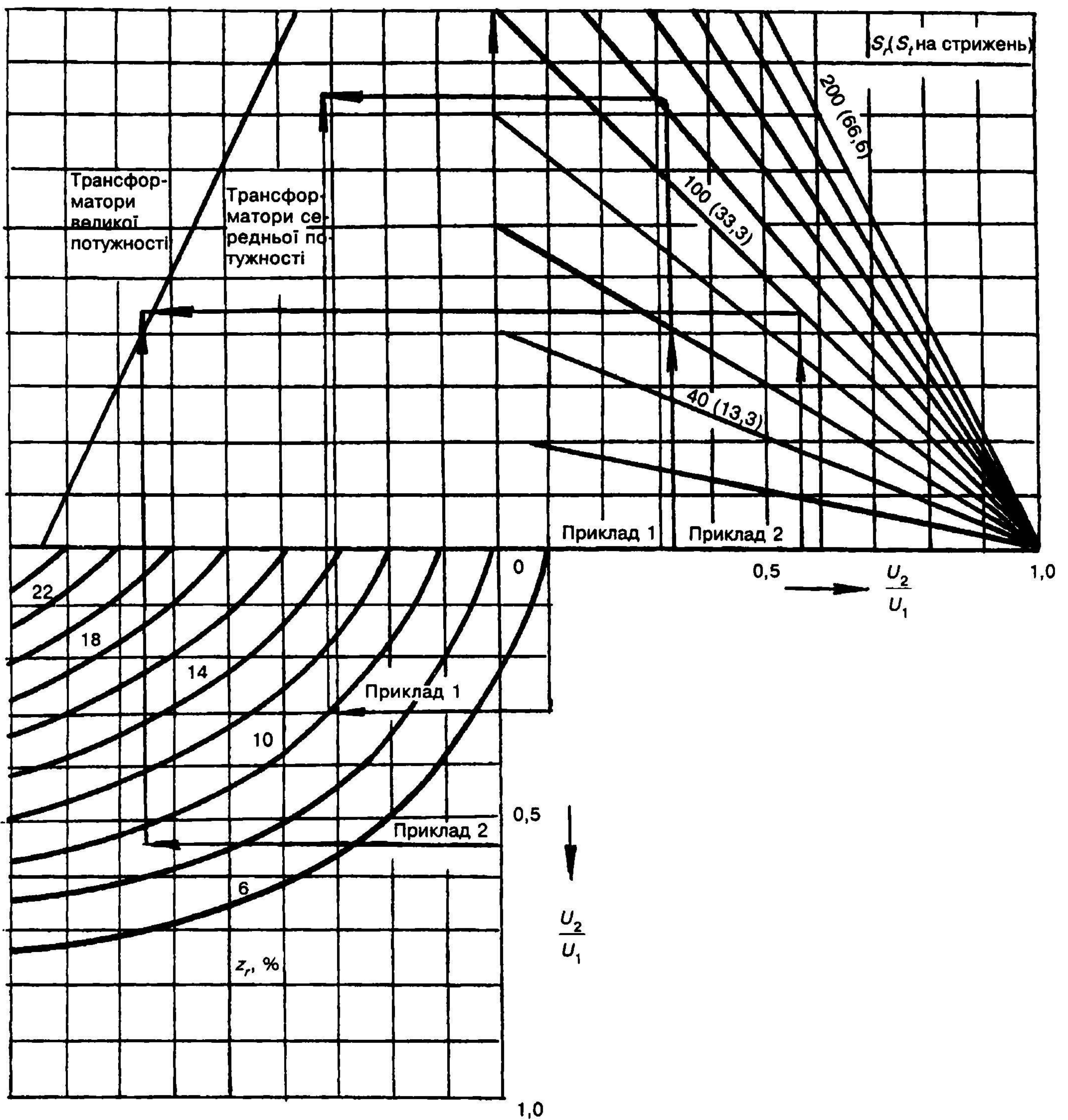
$$S_t = \frac{S_r}{W} \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_1} \leq 33,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad \text{A.3}$$

$$z_t = z_r \frac{U_1}{U_1 - U_2} \leq 25 - \frac{S_t}{10}; \quad \text{A.2}$$

$$z_t = z_r \frac{U_1}{U_1 - U_2} \leq 25 - \frac{3S_t}{10W}, \quad \text{A.4}$$

де U_1 — вища напруга (основне відгалуження);
 U_2 — нижча напруга (основне відгалуження);
 S_r — номінальна потужність, МВ·А;
 S_t — еквівалентна потужність, яка стосується двообмоткового трансформатора (перетворена потужність), МВ·А;
 z_r — повний опір короткого замикання, що відповідає S_r %;
 z_t — повний опір короткого замикання, що відповідає S_t %;
 W — кількість стрижнів з обмоткою.

Номограму до цих формул з прикладами наведено на рисунку А.1.



Приклади для трифазних автотрансформаторів:

Приклад 1. $S_r = 120 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_1 = 525 \text{ кВ}$; $U_2 = 161 \text{ кВ}$; $z_r = 10 \%$; $S_t = 83,2 \text{ МВ} \cdot \text{А} (<100)$; $z_t = 14,42 \%$ ($<16,68$).

Приклад 2. $S_r = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_1 = 400 \text{ кВ}$; $U_2 = 220 \text{ кВ}$; $z_r = 9,5 \%$; $S_t = 45,0 \text{ МВ} \cdot \text{А} (<100)$; $z_t = 21,11 \%$ ($>20,50$).

Рисунок А.1 — Автотрансформатори. Обмеження номінальної потужності S_r та опору короткого замикання z_r

ДОДАТОК В
(рекомендований)**АЛЬТЕРНАТИВНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ
ПЕРЕВИЩЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕМПЕРАТУРИ
МАСЛА ОБМОТОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАННЯ
ПІД ЧАС ВИПРОБУВАННЯ НА НАГРІВАННЯ**

В.1 Для видів охолодження *ONAN* і *OFAN* можна отримати задовільні криві охолодження. Для охолодження повітрям і водою з примусовою циркуляцією в ГОСТ 3484.2 наведено таку вимогу: «з вимиканням трансформатора від джерела припиняють роботу вентиляторів і водяних насосів, масляні насоси не відмикають». Це може викликати перехідні теплові процеси, які спотворюють характеристики очікуваної кривої охолодження; наявність двох показових експоненціальних величин ускладнює екстраполявання до «нуля» і «нескінченності» для отримання R_2 і R' (див. ГОСТ 3484.2, рисунок 8).

Для того, щоб звести до мінімуму ці спотворення кривої охолодження, необхідно протягом усієї тривалості охолодження підтримувати умови охолодження такими, як і ті, що переважають під час випробувань на нагрівання. Для врахування охолодження трансформатора після відімкнення результати випробувань повинні бути відкориговані так.

Використовуючи сталу часу (масла) трансформатора, визначену згідно з додатком В.2, перевищення середньої температури обмотки в кожній точці вимірювань опору визначають за формулами

$$\Delta\theta_{Rt} = \text{Exp} \frac{t}{\tau_o} \left[\frac{R_t}{R_c} (235 + \theta_{RC}) - (235 + \theta_a) \right] \quad \text{для міді}; \quad (\text{В.1})$$

$$\Delta\theta_{Rt} = \text{Exp} \frac{t}{\tau_o} \left[\frac{R_t}{R_c} (225 + \theta_{RC}) - (225 + \theta_a) \right] \quad \text{для алюмінію}, \quad (\text{В.2})$$

- де R_t — опір обмотки, виміряний у момент t після відімкнення;
 R_c — опір обмотки (охолодженої), виміряний при температурі θ_{RC} °С;
 θ_{RC} — температура обмотки під час вимірювання R_c , °С;
 θ_a — температура охолодного середовища під час відімкнення, °С;
 t — час після відімкнення, хв;
 τ_o — стала часу (масла) трансформатора, отримана в основному за формулами (В.4), (В.5), (В.6) або за формулою (В.8);
 τ_w — стала часу обмотки.

Перевищення середньої температури обмотки і перевищення середньої температури масла обмотки в момент відімкнення визначають за $\Delta\theta_{Rt}$ і t графічно, як показано на рисунку 8 ГОСТ 3484.2. (відповідно еквівалентні точки R_2 і R') або за формулою

$$\Delta\theta_{Rt} = A + B \text{Exp}(-t/\tau_w) \quad (\text{В.3})$$

з регресивного аналізу (відповідно для $t=0$ і $t=\infty$). Цей процес зображено на рисунку В.1.

В.2 Для всіх видів охолодження сталу часу масла трансформатора визначають, підтримуючи охолодження незмінним протягом t хв (де $t \geq 30$ хв) і реєструючи перевищення температури масла ($\Delta\theta_o$, $\Delta\theta_b$ або θ_b) в момент відімкнення ($t=0$), а також у момент часу t після відімкнення.

Потім обчислюють сталу часу масла за формулами

$$\tau = \frac{t}{\ln \Delta\theta_{\theta_o} - \ln \Delta\theta_{\theta_t}} \quad \text{хв}; \quad (\text{В.4})$$

$$\text{або} \quad \tau_o = \frac{t}{\ln \Delta\theta_{b_o} - \ln \Delta\theta_{b_t}} \quad \text{хв}; \quad (\text{В.5})$$

$$\text{або} \quad \tau_o = \frac{t}{\ln \Delta\theta_{\infty} - \ln \Delta\theta_{o_t}} \quad \text{хв}. \quad (\text{В.6})$$

Якщо підтримувати охолодження протягом щонайменше 30 хв після відімкнення неможливо, то сталу часу (масла) трансформатора допускається визначати за кривою перевищення температури масла за умови, що на період нагрівання підтримується постійне значення втрат і умови охолодження залишаються незмінними. Цей графік, показаний на рисунку В.2, будують так: проводять криву перевищення температури масла у верхніх шарах $\Delta\theta_o$ залежно від часу t під час навантаження. З кривої записують фактичні значення $\Delta\theta_o$ і t для точок, що становлять приблизно 0,6 і 0,95 відн. од. від останньої виміряної точки для отримання відповідно t_1 , $\Delta\theta_{o1}$ і t_3 , $\Delta\theta_{o3}$. Третю точку t_2 , $\Delta\theta_{o2}$ визначають за кривою, де $(t_2 - t_1) = (t_3 - t_2)$.

Кінцеве перевищення температури масла у верхніх шарах обчислюють за формулою

$$\Delta\theta_{ou} = \frac{\Delta\theta_{o1} \times \Delta\theta_{o3} - \Delta\theta_{o2}^2}{\Delta\theta_{o1} + \Delta\theta_{o3} - 2\Delta\theta_{o2}}, \quad (\text{В.7})$$

а сталу часу (у хвилинах) — за формулою

$$\tau_o = (t_3 - t_1) / \ln \frac{\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o1}}{\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o3}}. \quad (\text{В.8})$$

В.3 Приклад визначення середньої температури обмотки і середньої температури масла наведено на рисунках В.1 і В.2.

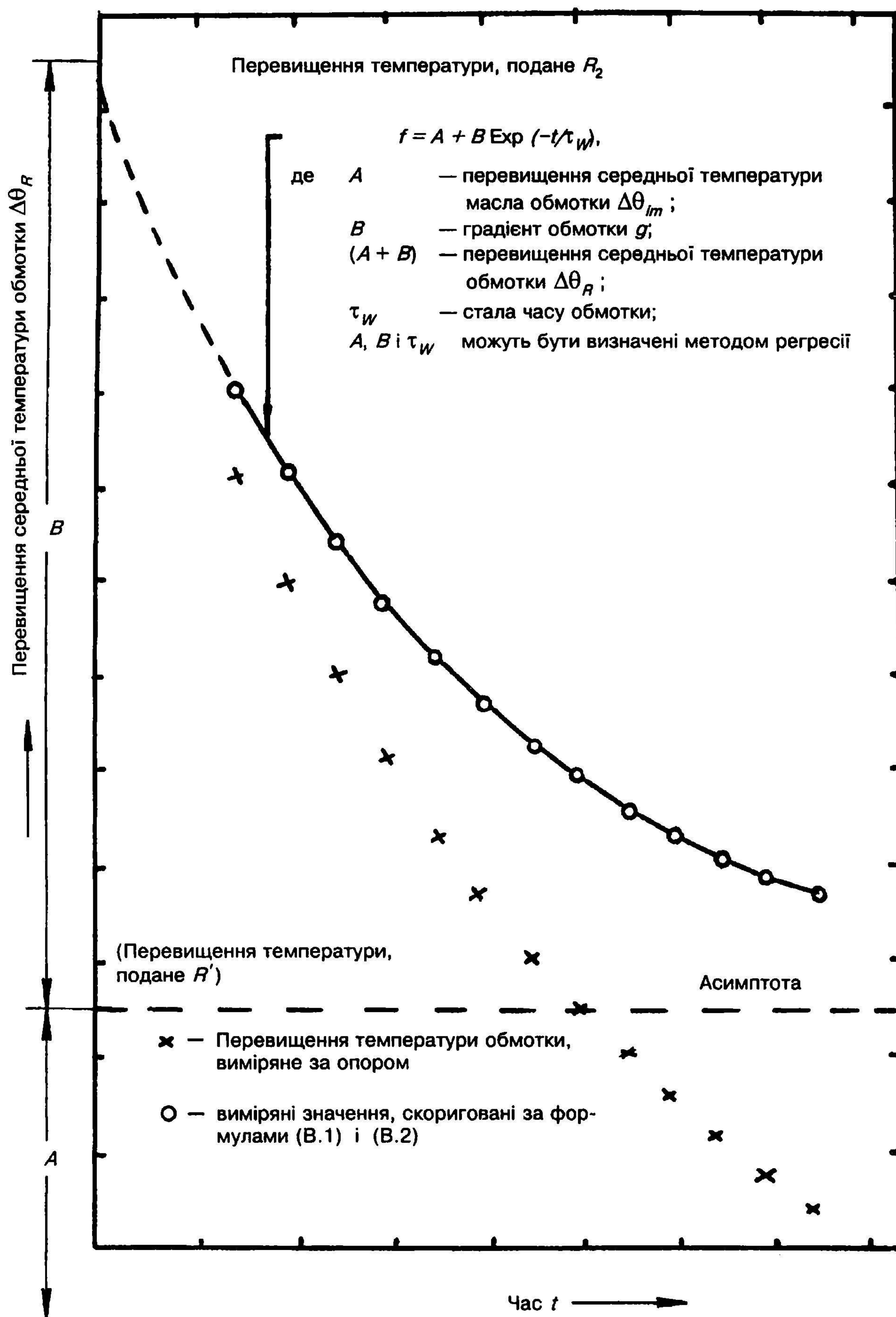


Рисунок В.1 — Визначення перевищення середньої температури обмотки, градієнта і сталої часу обмотки за кривою опору під час охолодження

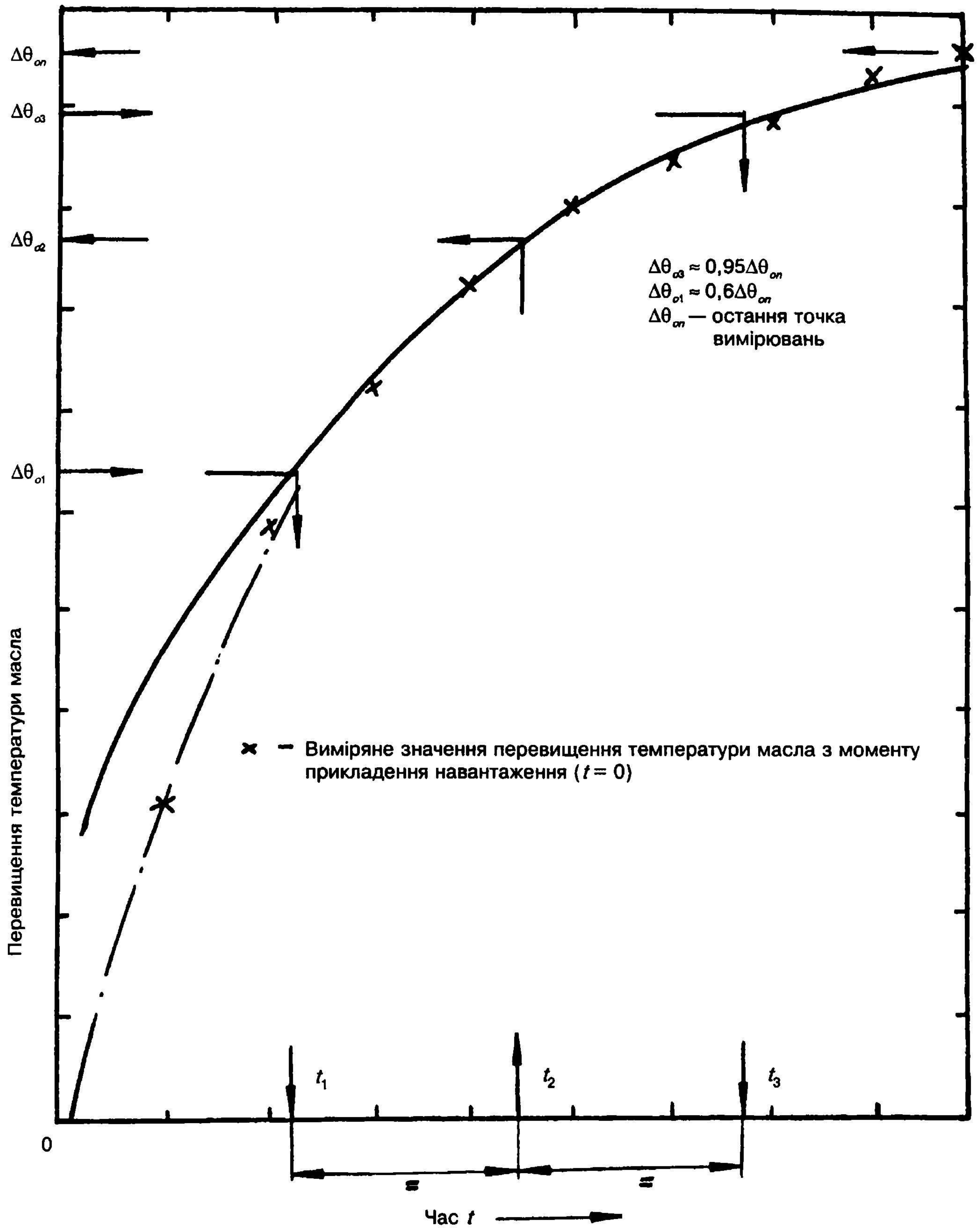


Рисунок В.2 — Визначення дійсної сталої часу масла τ_o за кривою перевищення температури

ДОДАТОК С
(обов'язковий)

**ВІДОМОСТІ, ЯКІ НАДАЮТЬСЯ В ЗАПИТАХ
І ЗАМОВЛЕННЯХ**

У ГОСТ 11677 перелічені відомості, які повинні надаватися в усіх випадках, і додаткові відомості, що можуть знадобитися:

— особливі умови охолодження, наприклад, якщо температура охолодного середовища виходить за межі, передбачені нормальними умовами експлуатації, або обмеження циркуляції охолодного повітря;

— дані про передбачені режими навантаження (навантаження вище номінального).

Режим навантаження трансформаторів може бути обмеженим (крім уводів, відводів, пристроїв перемикання відгалужень обмоток та іншого приєднаного устаткування) граничною температурою обмоток, а також граничною температурою елементів поза обмоткою, що мають малу теплову сталу часу.

Якщо струми навантаження вищі за номінальний, для уникнення перегрівання може виникнути необхідність передбачити під час конструювання трансформатора спеціальні заходи, наприклад, збільшення розмірів провідників на кінцях обмоток або електромагнітних екранів. Крім того, визначення розмірів електромагнітних екранів для запобігання їх насиченню може вимагати додаткового вивчення.

Для забезпечення надійної роботи у разі перевантаження трансформатори великої потужності вимагають більш індивідуального підходу, ніж трансформатори малої потужності. Тому споживач повинен зазначити характеристики можливих перевантажень:

— робочі характеристики, наприклад, максимальний або еквівалентний струм навантаження і його тривалість, циклічний режим роботи, графік навантаження, а за необхідності — спрощений (початкове і максимальне значення струму навантаження, його тривалість);

— еквівалентну температуру або середню температуру охолодного середовища та діапазон її змін, що відповідає умовам роботи;

— допустиму відносну швидкість скорочення терміну служби, що відповідає різним режимам навантаження.

ДОДАТОК D
(рекомендований)

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
СИНУСОЇДНОЇ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ
ОХОЛОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Температура охолодного середовища змінюється, як правило, протягом року і, більш того, протягом доби. Якщо уважно розглянути накопичені протягом багатьох років метеорологічні дані, очевидно, що температура охолодного середовища змінюється за практично синусоїдною кривою. Тому, обчислення річного скорочення терміну служби трансформатора значення температури охолодного середовища можуть бути подані подвійною синусоїдною функцією з параметрами, наведеними на рисунку D.1. Максимальне значення B слід вибирати із значень B кожного місяця року (як правило, максимальне значення B вибирають з найбільш жаркого місця) і приймати його в подальшому як постійне значення. Грунтуючись на цьому припущенні, для розрахунку скорочення терміну служби річну температуру охолодного середовища можна подати подвійною синусоїдною функцією.

Якщо можливо передбачити відповідні значення θ_{ay} , A , B , B_m , DX і TX для місцевості, де повинен бути встановлений обраний трансформатор, можна використати ці значення. Якщо є можливість використати метеорологічні дані, накопичені протягом багатьох років, слід використати їх для визначення значень, θ_{ay} , A , B , B_m і DX за допомогою програми, поданої на рисунку D.2. Крім того, якщо визначене значення TX , температура охолодного середовища в цій місцевості з урахуванням усіх календарних днів протягом року може бути подана подвійною синусоїдною функцією. Дані для розрахунку параметрів за синусоїдних змін наведено в таблиці D.1.

Можна скористатися спрощеним методом розрахунку значень A і B , якщо вважати, що зношення ізоляції зростає експоненціально із збільшенням температури і відповідно тільки температура найбільш жаркого місяця є характерною.

У цьому випадку роблять так:

обчислюють середньодобову температуру найбільш жаркого місяця

$$\theta_{ad(h)} = \frac{1}{2}(\theta_{adm(h)} + \theta_{adn(h)}); \quad (D.1)$$

обчислюють середньорічну температуру

$$\theta_{ay} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{12} (\theta_{adm(j)} + \theta_{adn(j)}); \quad (D.2)$$

обчислюють A , B і B_m за формулами

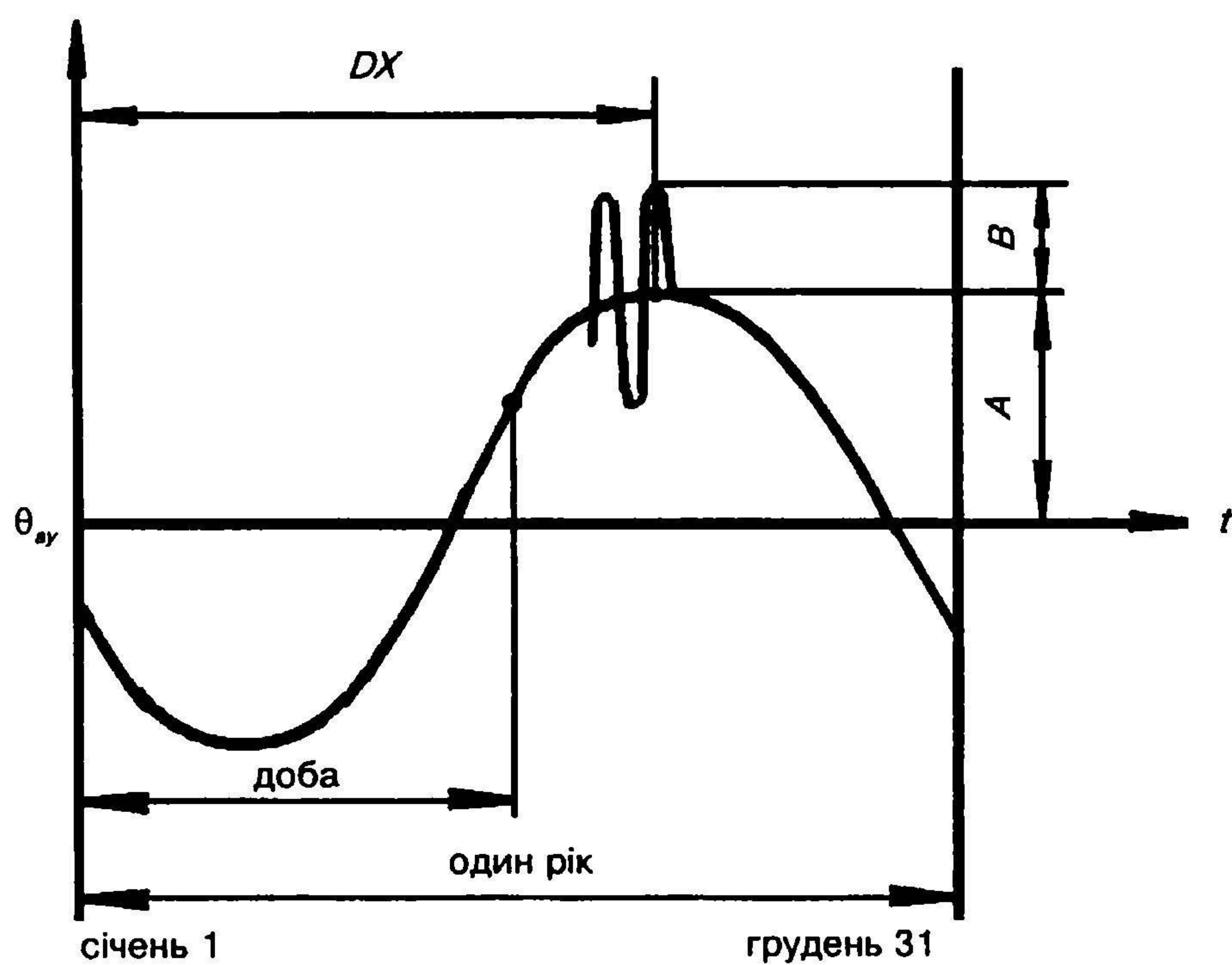
$$A = \theta_{ad(h)} - \theta_{ay}; \quad (D.3)$$

$$B = \theta_{adm(h)} - \theta_{ad(h)}; \quad (D.4)$$

$$B_m = \theta_{ahm(h)} - \theta_{ad(h)}; \quad (D.5)$$

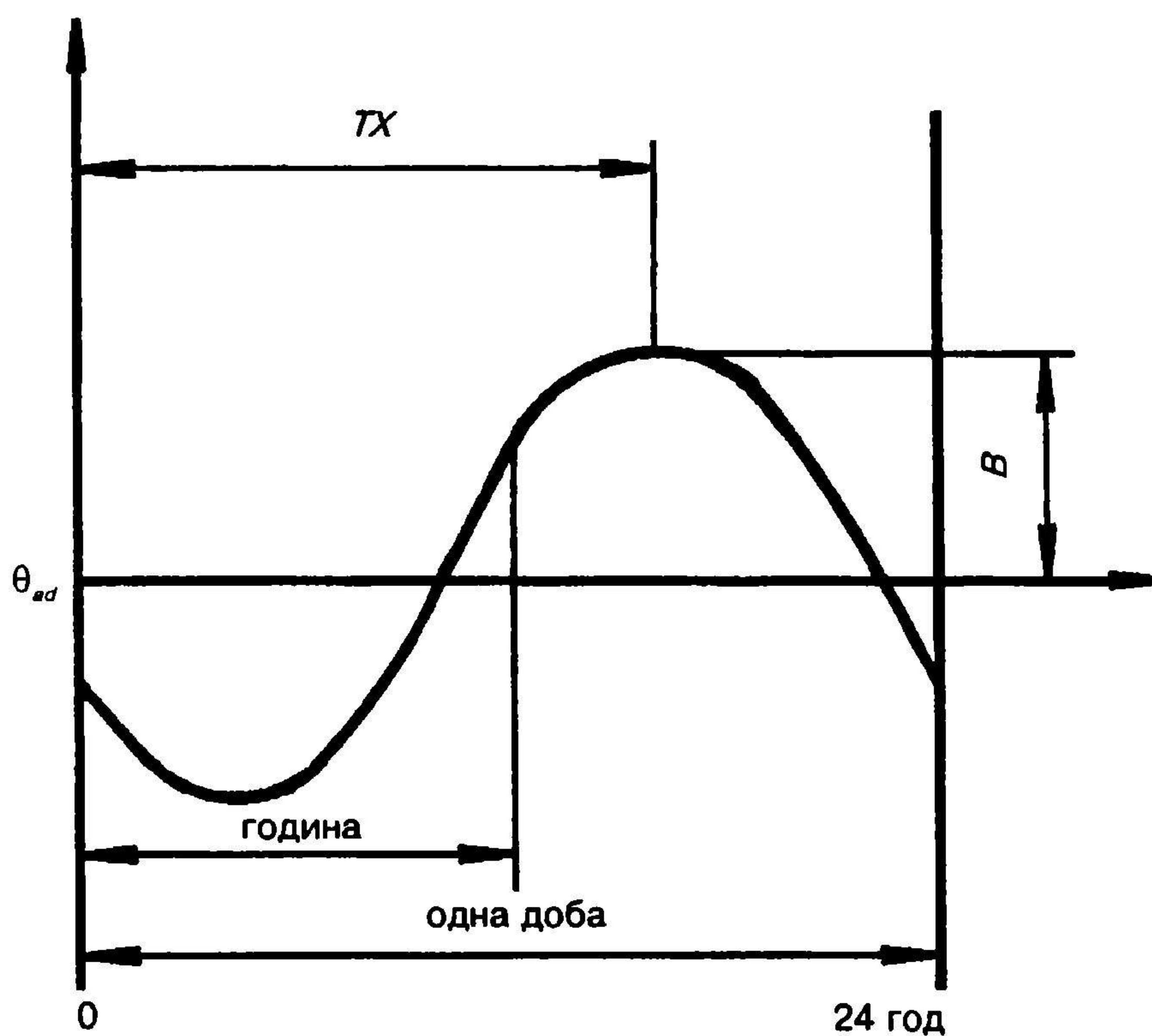
де θ_{ad} — середньодобова температура охолодного середовища, °C. Розшифровку решти умовних позначень наведено в 2.7.5.

Приклад спрощеного розрахунку наведено в таблиці D.2



a

a — визначення параметрів за рік



b

b — визначення параметрів за добу

Рисунок D.1 — Визначення параметрів за синусоїдної зміни температури охолодного середовища

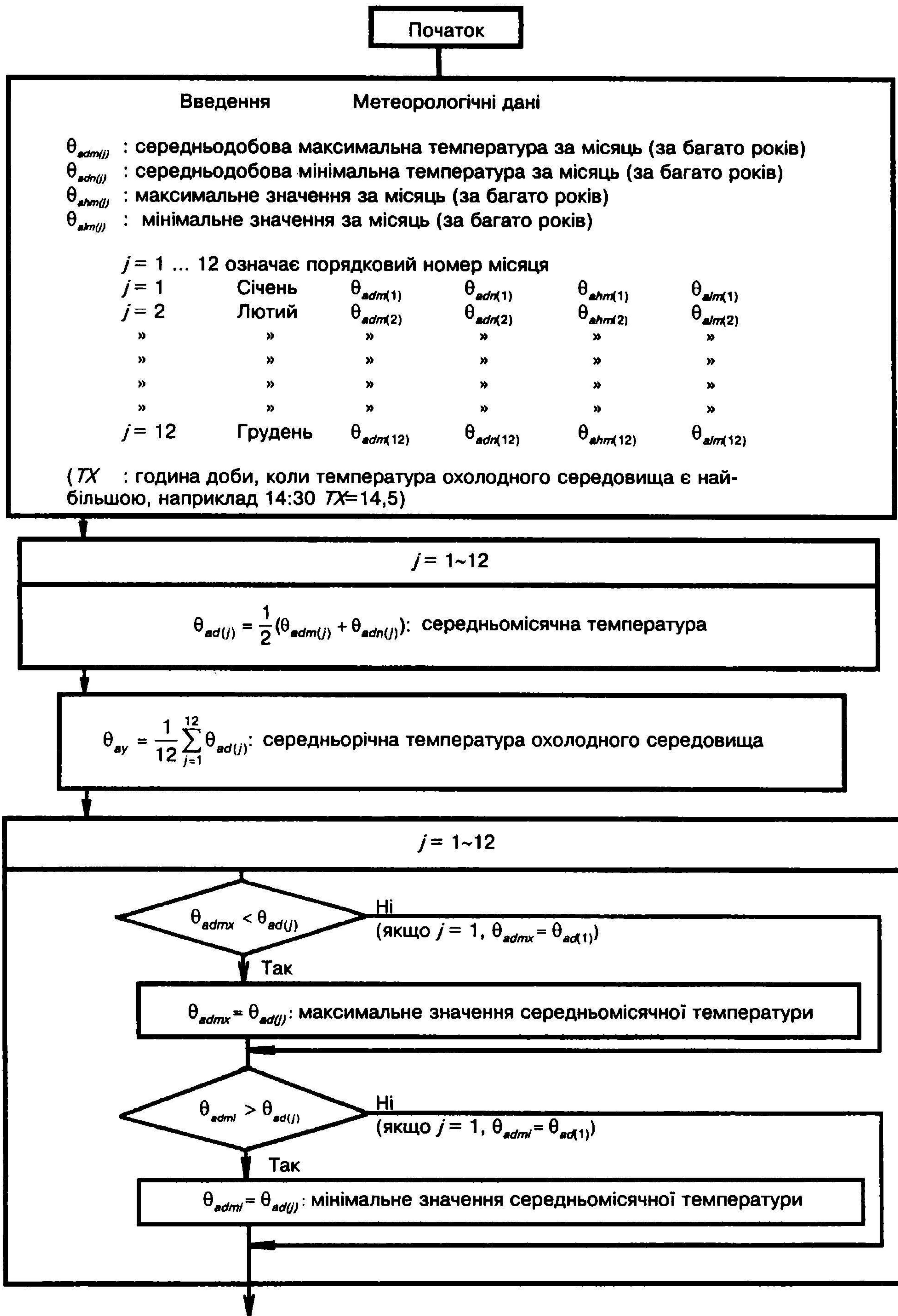
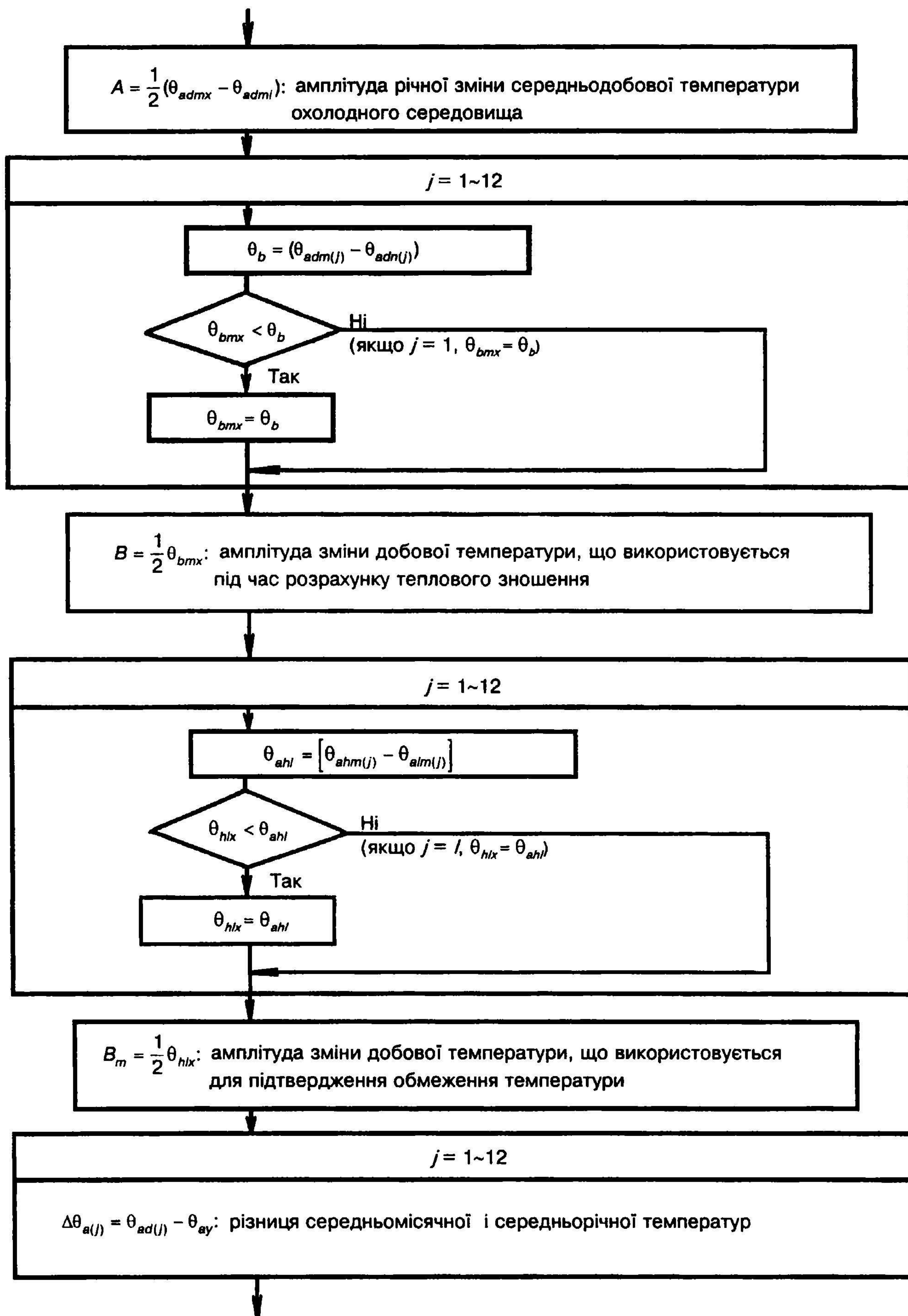
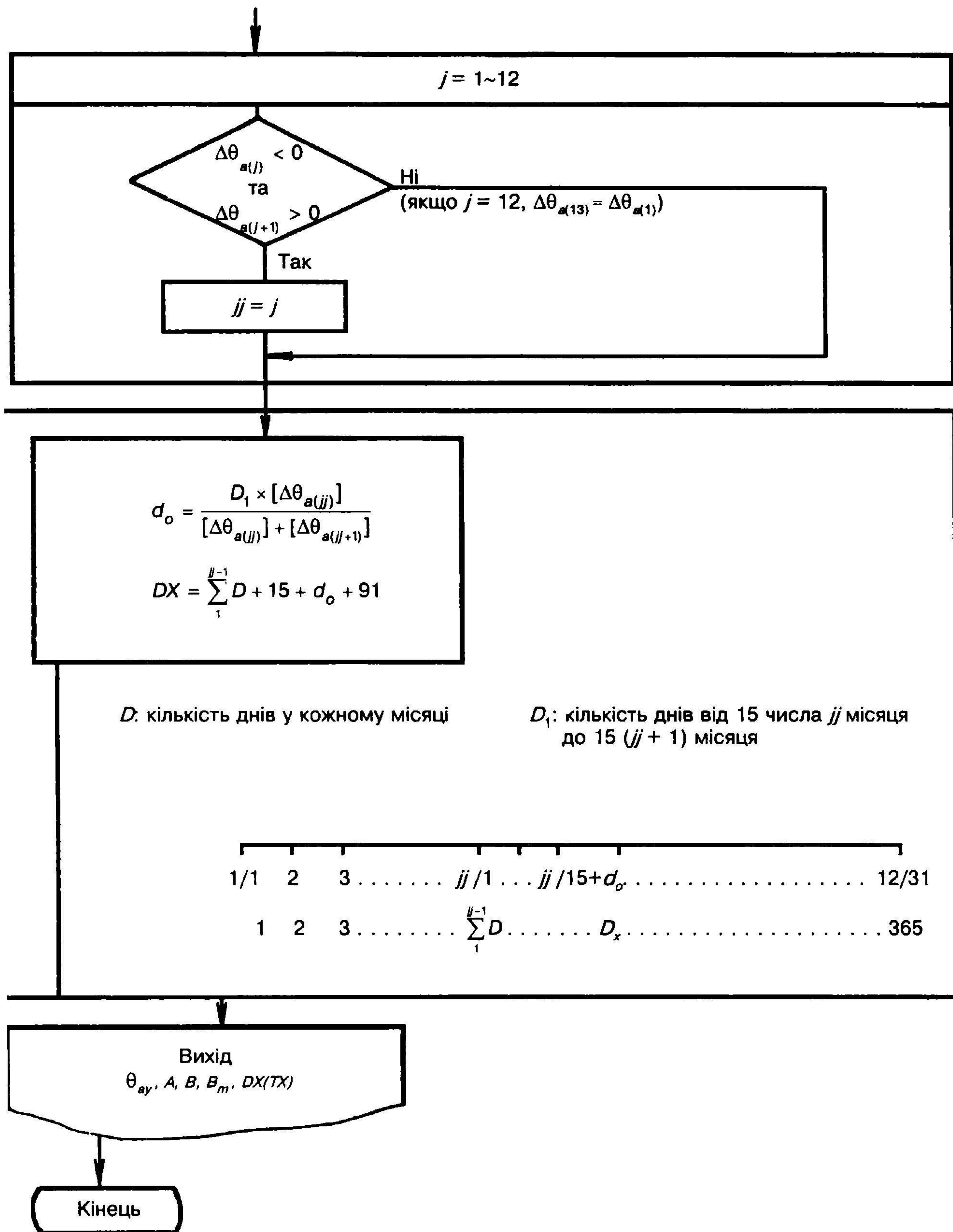


Рисунок D.2 — Блок-схема програми машинного розрахунку параметрів за синусоїдної зміни температури охолодного середовища



Продовження рисунка D.2



Таблиця D.1 — Дані для розрахунку параметрів за синусоїдної зміни температури

*** Вхідні дані			*** Метеорологічні дані	
Місяць	θ_{adm}	θ_{adn}	θ_{ahm}	θ_{alm}
1	6,0	0,90	13,30	-5,80
2	7,40	1,30	15,10	-5,20
3	12,20	3,60	20,50	-1,40
4	15,80	6,30	24,30	1,40
5	19,70	9,50	27,40	4,50
6	22,90	12,70	31,10	8,20
7	24,60	14,50	33,20	10,60
8	24,00	14,30	31,10	9,60
9	21,10	11,90	28,60	7,10
10	15,60	7,90	23,90	1,40
11	10,00	4,50	16,50	-1,70
12	6,60	2,00	13,30	-3,80

T_X (година доби з найвищою температурою охолодного середовища) = 14:00

*** Вихідні дані ***

θ_{ay}	— середньорічна температура охолодного середовища, °C	11,47
A	— річна зміна температури охолодного середовища, °C	8,05
B	— добова зміна температури охолодного середовища для розрахунку скорочення терміну служби	5,10
B_m	— добова зміна температури охолодного середовища для обмеження температури	11,45
D_X	— день, коли [середньодобова температура] = [$\theta_{ay} + A$]	199,00

Таблиця D.2 — Приклад спрощеного розрахунку параметрів синусоїдної зміни температури

Метеорологічні дані: такі самі, як у таблиці D.1

Найбільш жаркий місяць року: місяць 7

$$\theta_{ad(h)} = \frac{1}{2}(24,60 + 14,50) = 19,55 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_{ay} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{12} (\theta_{adm(j)} + \theta_{adn(j)}) = 11,47 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$A = 19,55 - 11,47 = 8,08 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$B = 24,60 - 19,55 = 5,05 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$B = 33,20 - 19,55 = 13,65 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

ДОДАТОК Е
(довідковий)**ПРИКЛАД СПРОЩЕНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
КЕРІВНИЦТВА З НАВАНТАЖЕННЯ
СИЛОВИХ МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

Використовуючи інформацію, наведену в цьому стандарті, споживач може розрахувати навантажувальну здатність певного трансформатора або групи трансформаторів, що мають однакові характеристики. За результатами таких розрахунків можна скласти спрощену інструкцію з навантаження для операторів мережі за умови, що споживач погодиться на певну кількість експлуатаційних критеріїв.

Припустимо, наприклад, що споживач має певну кількість силових трансформаторів з охолодженням *ONAN*, теплові характеристики яких подібні наведеним у таблиці 2, і дав згоду прийняти температуру найбільш нагрітої точки для умов перевантаження в аварійному режимі такою, що дорівнює 120 °С, а для короточасних перевантажень — 140 °С.

Якщо не брати до уваги термічне зношення, то інструкції для операторів мережі можуть бути подані у формі двох простих графіків з примітками, як показано на рисунку Е.1. Перша крива на рисунку Е.1, *а* — крива допустимого навантаження в режимі тривалих аварійних перевантажень (у відсотках від номінальної потужності) залежно від температури охолодного середовища. Друга крива показує допустиму температуру верхнього шару масла для відповідних умов перевантаження.

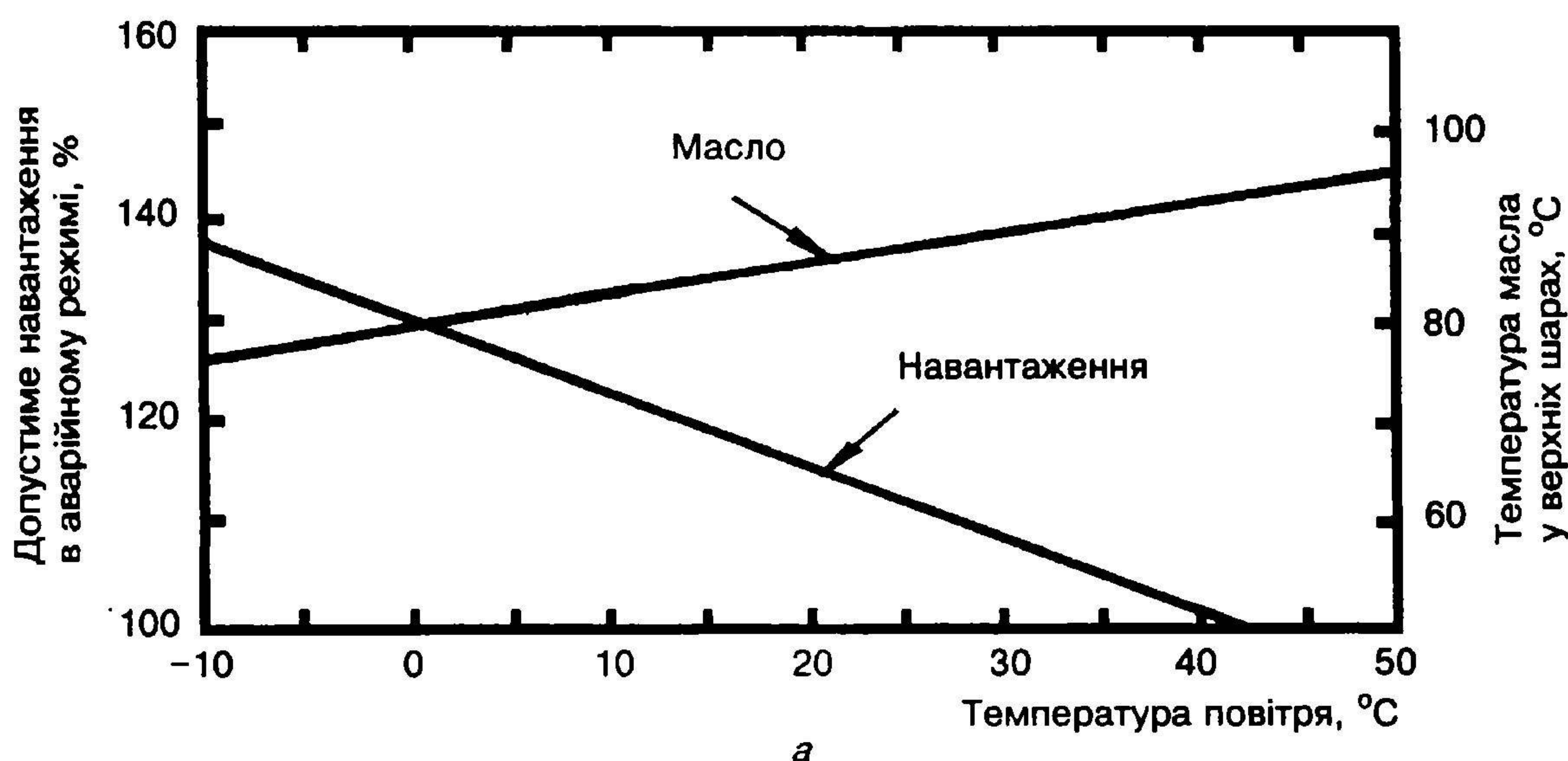
На рисунку Е.1, *б* наведено криві допустимого додаткового перевантаження за період максимуму залежно від його тривалості. Ця додаткова потужність наведена у відсотках від допустимого перевантаження в тривалому режимі згідно з рисунком Е.1, *а*. Можна провести декілька кривих для врахування реального навантаження на початку максимуму відносно допустимого перевантаження, наведеного на рисунку Е.1, *а*. Криві навантаження, наведені на рисунку Е.1, *б*, менш чутливі до температури охолодного середовища: тут розрахунок виконано для температури охолодного середовища 20 °С.

Під час замовлення нових трансформаторів можна попросити виробника подати відповідні графіки допустимих перевантажень. Можна також запросити дані про навантажувальну здатність для крайніх положень пристрою перемикавання відгалужень обмоток трансформатора.

Навантажувальна здатність трансформаторів

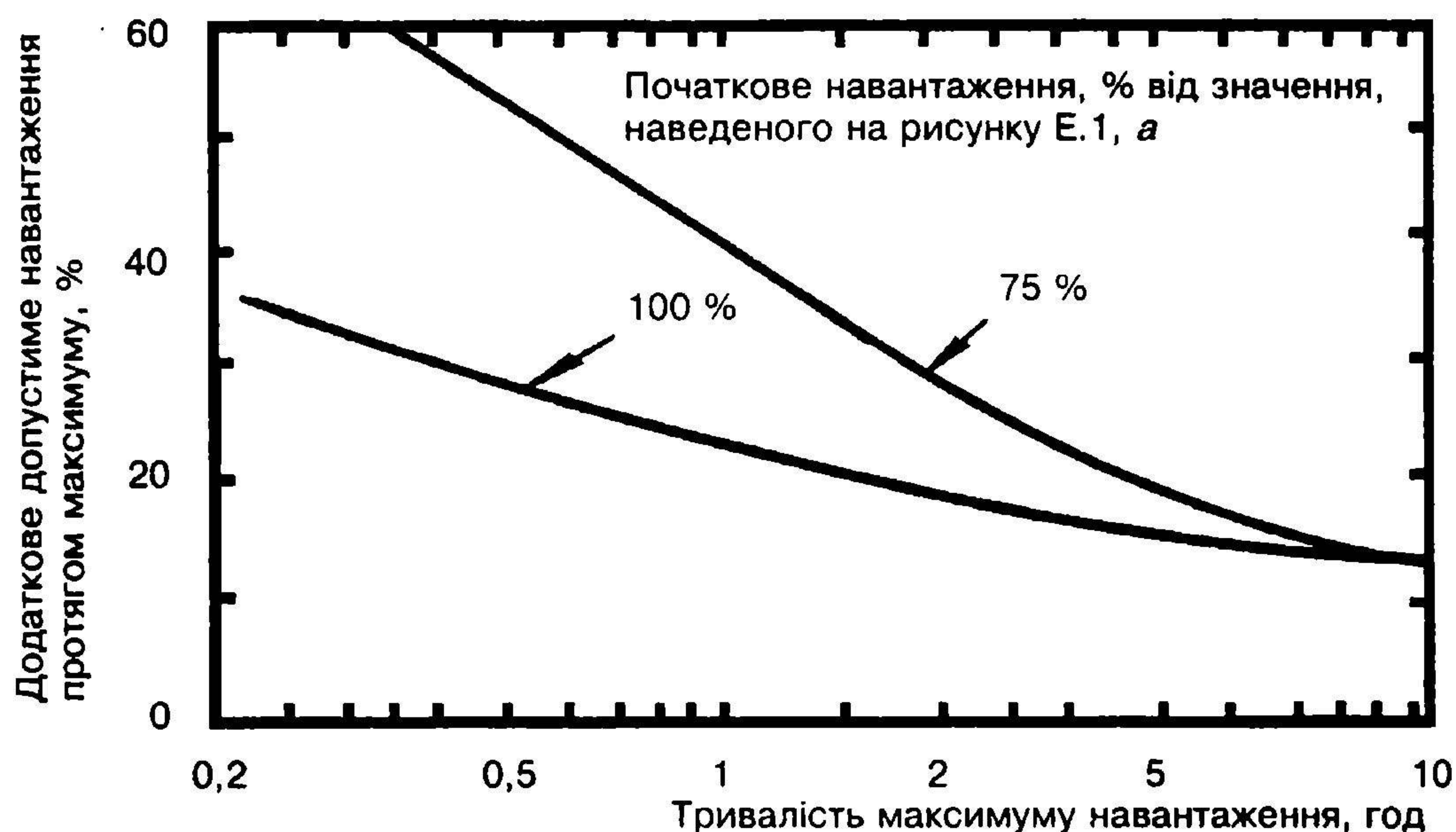
№ 123456 і № 123457 в аварійному режимі

[*ONAN*, 25 МВ·А, (110±9) × 1,67 %/21 кВ, 114—131—154/687 А]



а — допустимі аварійні перевантаження на основному відгалуженні в усталеному режимі, виражені у відсотках від номінального струму, і допустима температура масла у верхніх шарах при цьому навантаженні

Рисунок Е.1 — Приклад спрощених інструкцій під час навантажень, що перевищують номінальні значення



b

b — додаткове допустиме короточасне перевантаження, виражене у відсотках від перевантаження в усталеному режимі

Закінчення рисунка Е.1

Примітка 1. Навантаження не повинно перевищувати 1,5 номінального струму незалежно від визначеного за рисунками Е.1, а; Е.1, *b*.

Примітка 2. Робота пристрою перемикання відгалужень повинна блокуватися при навантаженнях, що перевищують 200 А. Навіть під час блокування пристрою перемикання відгалужень не допускається навантаження струмом понад 250 А.

Примітка 3. Рисунок Е.1, а ґрунтується на температурі найбільш нагрітої точки обмотки, що дорівнює 120 °С, рисунок Е.1, *b* — на температурі 140 °С.

Примітка 4. Криві на рисунку Е.1, *b* розраховані для температури охолодного повітря 20 °С, проте вони досить точні для температури від мінус 10 до 50 °С.

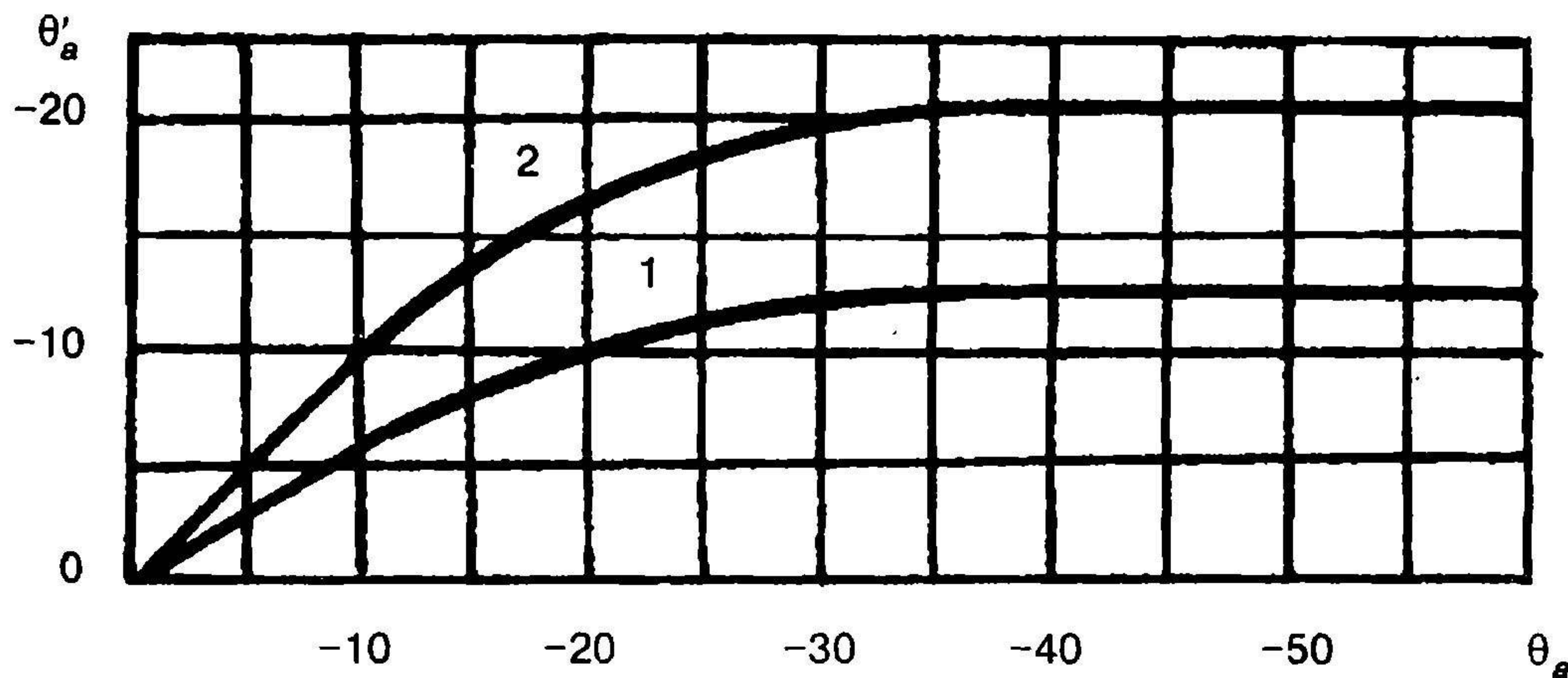
Примітка 5. Навантажувальна здатність на відгалуженні 1 (126,5 кВ) становить 102 % від навантажувальної здатності на відгалуженні 10 (110 кВ). На відгалуженні 19 (93,5 кВ) ця навантажувальна здатність становить 98 %.

Примітка 6. Графіки побудовано за результатами випробувань на нагрівання трансформатора № 123456.

ДОДАТОК G
(обов'язковий)

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ
ОХОЛОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

G.1 За від'ємних значень середньої температури охолодного середовища за інтервал потрібно приймати скориговане значення θ'_a згідно з рисунком G.1.



1 — для трансформаторів з охолодженням *ONAN, ONAF*;
2 — для трансформаторів з охолодженням *OF, OD*

Рисунок G.1 — Графік коригування середніх значень від'ємних температур охолодного повітря

G.2 Середнє значення θ_a слід визначати вимірюваннями або приймати дані місцевої метеослужби.

G.3 Допускається приймати значення річної і сезонних еквівалентних температур охолодного повітря за даними населених пунктів, наведеними у таблиці G.1.

Таблиця G.1

Населений пункт	Еквівалентна температура, °C		
	річна	зимова *	літня **
Абакан	8,7	– 19,3	17,6
Алдан	4,8	– 20,1	14,6
Алмати	14,3	– 5,9	22,2
Андижан	18,6	– 0,3	26,3
Актюбінськ	12,1	– 14,1	20,9
Архангельськ	5,8	– 11,4	14,0
Астрахань	15,7	– 5,3	24,1
Ачинськ	7,5	– 16,7	16,3
Ашгабад	21,6	– 3,0	29,8
Баку	17,8	4,9	24,8
Барнаул	9,4	– 16,4	18,2
Батумі	16,1	7,5	21,6
Березники	7,5	– 14,3	16,0
Белгород	11,5	– 6,7	19,3
Белорецьк	6,9	– 15,1	15,2
Бійськ	8,6	– 16,9	17,4
Біробіджан	10,0	– 19,0	18,9

Продовження таблиці G.1

Населений пункт	Еквівалентна температура, °С		
	річна	зимова *	літня **
Бішкек	15,0	– 3,8	22,8
Благовещенськ	10,4	– 19,6	19,7
Благовещенське	9,2	– 16,8	17,9
Братськ	7,1	– 20,1	16,3
Брест	11,0	– 3,4	17,9
Брянськ	9,7	– 7,3	17,4
Бухара	18,7	1,3	26,3
Верхоянськ	2,9	– 20,1	13,2
Вільнюс	9,9	– 4,4	17,0
Вінниця	10,7	– 4,9	17,8
Вітебськ	9,4	– 6,7	16,9
Владивосток	10,0	– 11,7	17,4
Владикавказ	11,8	– 3,7	18,9
Владимир	8,8	– 10,2	16,8
Волгоград	14,5	– 7,9	23,0
Вологда	7,4	– 10,8	15,5
Воркута	0,5	– 19,4	9,4
Воронеж	11,0	– 8,4	19,0
Вятка	7,9	– 13,1	16,4
Гомель	10,4	– 5,8	17,7
Гродно	10,1	– 4,1	17,1
Грозний	15,0	– 2,3	22,8
Гур'єв	15,5	– 8,3	24,3
Джамбул	14,2	– 4,6	22,1
Дніпропетровськ	13,6	– 4,4	21,3
Донецьк	12,6	– 5,6	20,4
Дудинка	0,2	– 15,5	9,9
Душанбе	18,2	3,0	25,7
Еліста	14,7	– 5,4	22,9
Євпаторія	14,8	0,8	22,1
Єкатеринбург	7,8	– 14,9	17,6
Єреван	16,4	– 1,9	23,9
Житомир	10,8	– 4,6	18,0
Запоріжжя	13,8	– 4,0	21,6
Зея	7,4	– 20,1	16,7
Зиряновськ	8,4	– 20,1	17,6
Іваново	8,1	– 10,8	16,1
Івано-Франківськ	10,9	– 3,7	17,7
Ігарка	2,1	– 20,1	12,0
Іжевськ	10,1	– 13,4	17,4
Іркутськ	7,1	– 19,1	16,0
Йошкар-Ола	8,6	– 12,5	16,9
Казань	9,4	– 12,5	17,8
Калінін	8,1	– 9,1	15,9
Калінінград	9,8	– 2,4	16,5
Калуга	8,8	– 8,9	16,5
Кандалакша	4,5	– 10,6	12,5
Караганда	10,1	– 14,3	18,9
Кемерово	7,8	– 17,7	16,7
Керч	15,1	0,4	22,6
Кзил-Орда	16,3	– 7,7	24,7
Київ	11,2	– 4,8	18,9

Продовження таблиці G.1

Населений пункт	Еквівалентна температура, °C		
	річна	зимова *	літня **
Кишинів	13,4	– 2,2	20,6
Кіровабад	17,1	2,5	24,4
Кіровоград	12,0	– 4,6	19,4
Кіровськ	2,9	– 11,3	10,9
Кокчетав	9,6	– 15,1	18,3
Комсомольськ-на-Амурі	9,3	– 20,1	18,3
Кострома	8,2	– 10,7	14,3
Краснодар	14,9	– 0,7	22,3
Красноярськ	8,0	– 15,9	16,7
Кременчук	12,3	– 4,5	20,5
Кривий Ріг	13,3	– 4,1	20,9
Курган	8,8	– 16,9	17,4
Курган-Тюбе	19,9	3,7	27,3
Курськ	10,6	– 7,7	18,4
Кутаїсі	16,8	6,2	22,8
Липецьк	10,9	– 8,9	19,0
Луганськ	13,3	– 5,9	21,2
Луцьк	10,9	– 3,6	17,8
Львів	9,9	– 3,9	16,5
Магадан	2,5	– 19,4	11,1
Магнітогорськ	8,6	– 15,5	17,1
Маріуполь	13,6	– 4,1	21,5
Махачкала	16,0	0,8	23,7
Миколаїв	14,2	– 2,5	21,8
Мирний	4,6	– 20,1	16,8
Мінськ	9,5	– 5,9	16,8
Мінусінськ	8,8	– 19,3	17,7
Могильов	9,7	– 6,5	15,1
Мончегорськ	3,8	– 11,8	11,8
Москва	10,1	– 8,2	18,0
Мурманськ	3,4	– 9,5	10,7
Нальчик	13,3	– 3,5	20,9
Нарин	8,8	– 14,6	16,2
Нар'ян-Мар	2,0	– 15,7	10,3
Нахічевань	18,1	– 1,5	25,8
Невинномиськ	13,7	– 3,4	21,2
Нижній Новгород	8,9	– 10,9	17,1
Нижній Тагіл	6,5	– 14,7	14,8
Ніколаєвськ-на-Амурі	6,3	– 20,0	15,1
Новгород	8,3	– 7,6	16,0
Новокузнецьк	8,3	– 16,3	17,0
Новоросійськ	15,8	3,5	22,7
Новосибірськ	8,3	– 17,7	17,2
Норильськ	0,7	– 20,1	10,5
Одеса	13,8	– 1,8	21,3
Оймякон	2,2	– 20,1	12,4
Омськ	8,4	– 17,8	17,1
Орел	9,9	– 8,4	17,8
Оренбург	12,0	– 13,4	20,7
Ош	15,9	– 1,6	23,5
Павлодар	10,9	– 16,7	19,8

Продовження таблиці G.1

Населений пункт	Еквівалентна температура, °C		
	річна	зимова *	літня **
Пенза	10,4	– 11,0	18,6
Перм	8,2	– 14,3	16,7
Петрозаводськ	7,1	– 8,8	15,1
Петропавловськ	8,8	– 17,3	17,5
Петропавловськ-Камчатський	5,2	– 7,6	11,9
Полтава	12,0	– 5,9	19,7
Пржевальськ	9,2	– 5,9	16,0
Псков	8,8	– 6,5	16,3
П'ятигорськ	13,1	– 3,0	20,7
Рига	8,9	– 4,8	15,8
Рівне	10,7	– 4,1	17,7
Ростов-на-Дону	14,0	– 4,6	21,9
Рубцовськ	10,1	– 16,5	19,0
Рязань	9,6	– 9,9	17,7
Самара	11,1	– 12,5	19,6
Самарканд	17,0	1,5	24,4
Санкт-Петербург	8,6	– 6,8	16,4
Саранськ	10,0	– 10,9	18,3
Саратов	12,5	– 10,6	21,0
Семипалатинськ	12,0	– 15,0	20,9
Сиктивкар	6,5	– 14,1	15,0
Сімферополь	13,7	0,0	20,8
Смоленськ	9,0	– 7,6	16,5
Советська Гавань	6,5	– 15,4	14,0
Сочі	15,7	5,9	21,9
Ставрополь	13,5	– 2,5	20,9
Сумгаїт	17,0	4,2	23,9
Суми	10,9	– 6,9	18,5
Сургут	5,6	– 19,9	14,9
Сухумі	16,1	6,5	21,9
Таганрог	14,4	– 4,1	22,4
Тайшет	7,3	– 18,5	16,4
Талди-Курган	13,5	– 15,1	21,7
Таллінн	8,2	– 4,2	15,3
Тамбов	10,9	– 9,5	19,0
Ташкент	17,9	– 0,9	25,7
Тбілісі	16,4	2,2	23,5
Темир-Тау	13,3	– 13,4	22,3
Тернопіль	10,6	– 4,2	17,6
Тобольськ	7,8	– 17,0	16,6
Тольятті	11,4	– 11,4	19,8
Томськ	7,5	– 17,8	16,4
Туапсе	16,0	5,2	22,4
Тула	9,4	– 8,9	17,3
Ужгород	12,9	– 1,1	19,6
Улан-Уде	8,3	– 20,1	17,6
Ульяновськ	10,0	– 12,4	18,4
Уральськ	12,5	– 12,8	21,3
Уссурійськ	10,7	– 17,1	19,0
Усть-Каменогорськ	11,2	– 15,0	19,9
Уфа	9,9	– 13,1	18,3

Закінчення таблиці G.1

Населений пункт	Еквівалентна температура, °C		
	річна	зимова *	літня **
Фергана	18,0	– 0,6	25,6
Хабаровськ	10,8	– 18,6	19,7
Ханти-Мансійськ	6,7	– 18,5	15,8
Харків	12,1	– 6,3	19,8
Херсон	14,2	– 2,1	21,8
Хмельницький	10,7	– 4,4	17,8
Цілиноград	9,9	– 16,3	18,8
Чебоксари	9,1	– 11,9	17,4
Челябінськ	9,2	– 14,3	17,8
Череповець	7,7	– 10,2	15,8
Черкаси	11,7	– 4,9	19,2
Чернівці	11,6	– 3,6	18,6
Чернігів	11,1	– 5,7	18,5
Чимкент	17,0	– 1,2	25,1
Чита	7,5	– 20,1	16,8
Южно-Сахалінськ	7,5	– 11,6	15,0
Якутськ	6,4	– 20,1	16,6
Ярославль	7,9	– 10,6	15,8

* Грудень, січень, лютий

** Червень, липень, серпень

ДОДАТОК F
(рекомендований)**УТОЧНЕНИЙ МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ
РЕАЛЬНОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ**

F.1 Вихідний, або реальний, графік навантаження трансформатора, що підлягає перетворенню, може бути поданий у вигляді неперервної реєстрації струму навантаження або періодичними, але з достатньою частотою фіксованими в часі вимірюваннями значень струму навантаження за добовий інтервал часу. При цьому добовий інтервал передбачає тривалість графіка 24 год незалежно від початку відліку, який необхідно вибирати за характером добової зміни навантаження так, щоб навантаження на початку і в кінці 24-годинного інтервалу було б по можливості однаковим, що задовольняє умові повторюваності такого добового графіка.

F.2 Перетворення вихідного графіка навантаження трансформатора в добовий, еквівалентний за втратами, двоступінчастий прямокутний графік з представленням навантаження в частках номінального струму обмотки потрібно виконувати згідно з рисунком F.1 у такій послідовності.

F.2.1 На вихідному графіку навантаження трансформатора провести лінію номінального струму I_n , вона ж — лінія відносного номінального навантаження $K = 1$.

F.2.2 У точках A і B перетину номінальної лінії з кривою вихідного графіка навантаження виділити на ньому ділянку перевантаження тривалістю h' .

F.2.3 Частину графіка, що залишилася з меншим навантаженням, розбити на m інтервалів Δt_i , виходячи з можливості проведення в кожному інтервалі лінії середнього навантаження, тобто так, щоб площі ділянок над і під середньою лінією були приблизно однаковими, а потім визначити значення струму середніх ліній S_1, S_2, S_m .

F.2.4 Розрахувати початкове навантаження K_1 еквівалентного графіка

$$K_1 = \frac{1}{S_n} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}. \quad (F.1)$$

F.2.5 Ділянку перевантаження h' на вихідному графіку навантаження розбити на p інтервалів Δh_i , виходячи з можливості проведення лінії середнього навантаження в кожному інтервалі, а потім визначити значення $S'_1, S'_2, \dots, S'_p$.

F.2.6 Розрахувати попереднє перевищення перевантаження еквівалентного графіка навантаження

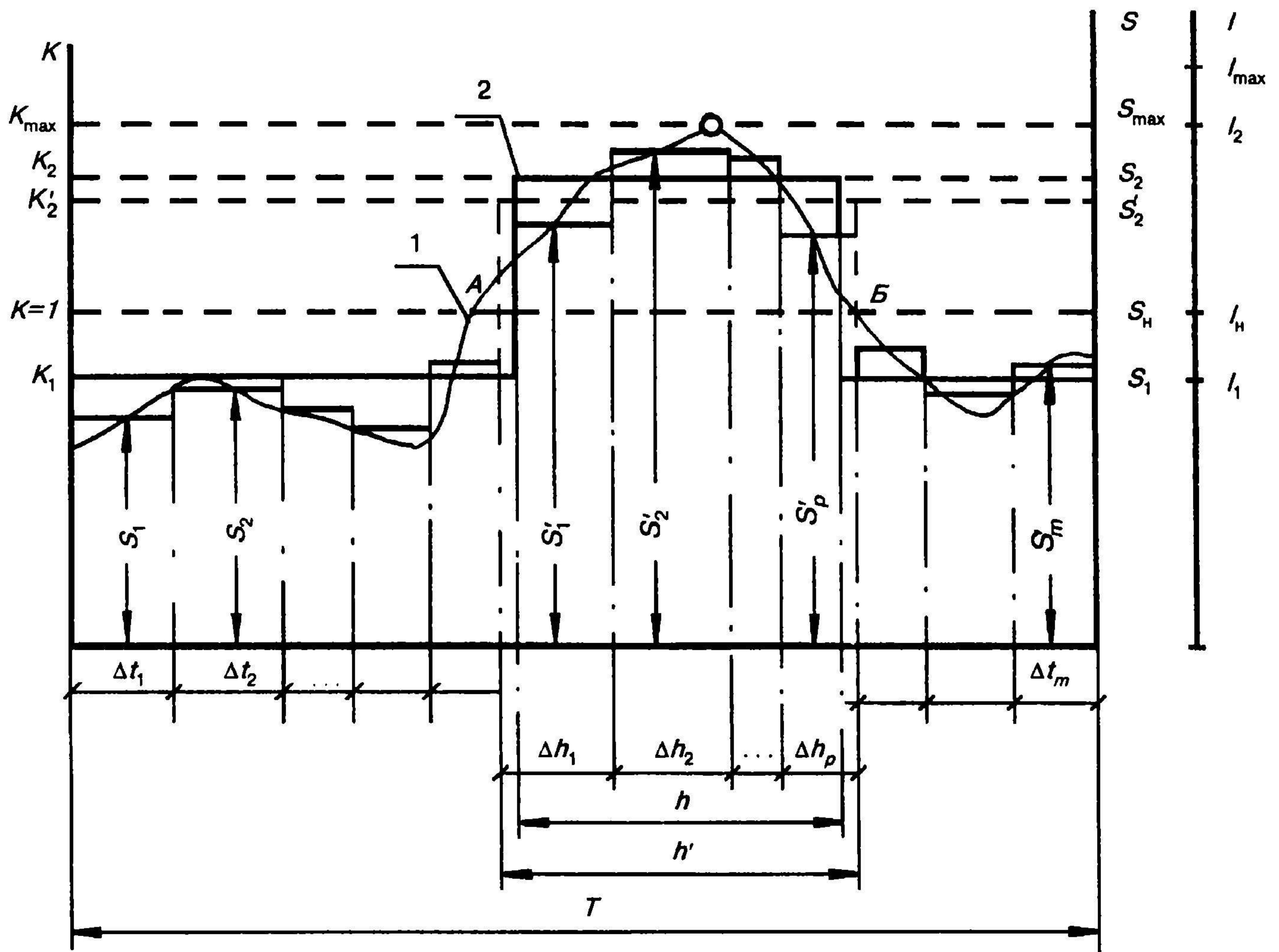
$$K'_2 = \frac{1}{S_n} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}. \quad (F.2)$$

F.2.7 Порівняти значення K'_2 з $K_{\max}$ вихідного навантаження: якщо $K'_2 \geq 0,9 K_{\max}$, потрібно прийняти $K_2 = K'_2$; якщо $K'_2 \leq 0,9 K_{\max}$, потрібно прийняти $K_2 = 0,9 K_{\max}$, а тривалість h перевантаження еквівалентного графіка навантаження обчислити за формулою

$$h = \frac{(K'_2)^2 h'}{(0,9 K_{\max})^2}. \quad (F.3)$$

F.3 Якщо вихідний добовий графік навантаження трансформатора містить два близьких за значенням максимуми різної тривалості, значення h і K_2 визначають за максимумом більшої тривалості, а значення K_1 — як середнє квадратичне значення решти навантаження.

F.4 Якщо вихідний добовий графік навантаження трансформатора містить кілька послідовних близьких максимумів, значення K_2 і h визначають, охоплюючи усі максимуми, а значення K_1 — як середнє квадратичне значення решти навантаження.



1 — вихідний графік навантаження;
2 — еквівалентний прямокутний графік навантаження

Рисунок F.1 — Перетворення вихідного графіка навантаження трансформатора в еквівалентний двоступінчастий прямокутний

ДОДАТОК Н
(довідковий)**СПРОЩЕНІ ТАБЛИЦІ
ДОПУСТИМИХ АВАРІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ****Таблиця Н.1** — Допустимі аварійні перевантаження без урахування попереднього навантаження

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження											
	– 25 °C				– 20 °C				– 10 °C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,9	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5	1,4
1,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,9	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4
2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,3
4,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
8,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
24,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3

Продовження таблиці Н.1

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження											
	0 °C				10 °C				20 °C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	1,7	1,5	1,4	1,3	1,7	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2
1,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2
2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2
4,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
8,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
24,0	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2

Закінчення таблиці Н.1

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження											
	30 °C				40 °C							
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD				
0,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2				
1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1				
2,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1				
4,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1				
8,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1				
24,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1				

Таблиця Н.2 — Допустимі аварійні перевантаження без урахування попереднього навантаження, що не перевищує 0,8 номінального струму

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження											
	– 25 °C				– 20 °C				– 10 °C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	1,8	1,6	2,0	2,0	1,7	1,6
1,0	2,0	2,0	1,7	1,6	2,0	2,0	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,5
2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,4	1,9	1,8	1,5	1,4
4,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,3
8,0	1,7	1,6	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
24,0	1,7	1,5	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3

Продовження таблиці Н.2

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження											
	0 °C				10 °C				20 °C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	2,0	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,5	2,0	1,8	1,5	1,4
1,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,9	1,7	1,5	1,4	1,8	1,6	1,4	1,3
2,0	1,9	1,7	1,5	1,3	1,8	1,5	1,4	1,3	1,7	1,5	1,3	1,2
4,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,4	1,3	1,2	1,5	1,3	1,3	1,2
8,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2
24,0	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2

Закінчення таблиці Н.2

Тривалість переванта- ження про- тягом доби, год	Перевантаження в частках номінального струму, залежно від температури охолодного середовища під час перевантаження							
	30 °C				40 °C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	1,9	1,7	1,4	1,3	1,8	1,6	1,3	1,3
1,0	1,8	1,5	1,3	1,3	1,7	1,4	1,3	1,2
2,0	1,6	1,4	1,2	1,2	1,5	1,3	1,2	1,1
4,0	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,1	1,1
8,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
24,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1

ДОДАТОК L
(довідковий)**ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРИ
НАЙБІЛЬШ НАГРІТОЇ ТОЧКИ ОБМОТКИ
ТА ВІДНОСНОГО ЗНОШЕННЯ ВИТКОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ
(БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЕОМ)**

L.1 Розрахунки θ_h і V проводять для добового двоступінчастого прямокутного графіка навантаження трансформатора ТМН—6300/10 за вихідними значеннями його параметрів.

L.1.1 Розрахунок максимального значення θ_h виконують за формулами розділу 2

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{bt} + H_{gr} K^y = 16,0 + 56,34 + 40,31 = 112,65 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \text{L.1}$$

де
$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bl} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bl})(1 - e^{-t/\tau}); \quad \text{L.2}$$

$$\Delta\theta_{bu} = \Delta\theta_{or} \left(\frac{1 + RK_2^2}{1 + R} \right)^x; \quad \text{L.3}$$

$$\Delta\theta_{bl} = \Delta\theta_{or} \left(\frac{1 + RK_1^2}{1 + R} \right)^x; \quad \text{L.4}$$

$$\Delta\theta_{bt} = 55 \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,57^2}{1 + 5} \right)^{0,8} + \left[\left(\frac{1 + 5 \cdot 1,42^2}{1 + 5} \right)^{0,8} - \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,57^2}{1 + 5} \right)^{0,8} \right] (1 - e^{-2/3,0}) = 56,4;$$

$$\Delta\theta_{hk2} = H_{gr} \cdot K^y = 23 \cdot 1,42^{1,6} = 40,31 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad \text{L.5}$$

L.1.2 Аналогічно розраховують і решту характерних точок, за якими будують графік $\theta_h(t)$, наведений на рисунку L.1. Графік містить три ділянки: *a* — ділянка незмінної температури тривалістю $24 - t - 4\tau_0 = 24 - 2 - 4 \cdot 3,0 = 10$ год; *б* — ділянка підвищення температури тривалістю $t = 2$ год; *в* — ділянка зниження температури тривалістю $4\tau_0 = 4 \cdot 3,0 = 12$ год.

L.1.3 Відносне зношення виткової ізоляції V за добу безперервного навантаження є сумою відносних зношень V_i за кожний інтервал Δt_i , на які розділено графік $\theta_h(t)$.

Ділянку незмінної температури приймають за один інтервал Δt_1 . Ділянка підвищення температури розділяється на два інтервали Δt_2 і Δt_3 тривалістю по 1 год кожний. При цьому виконується умова $(\Delta t_2 = \Delta t_3) < 0,3\tau_0$.

Ділянка зниження температури розділяється на п'ять інтервалів, з яких перших два (Δt_4 і Δt_5) мають тривалість по 1 год кожний, наступні два інтервали (Δt_6 і Δt_7) — тривалість по 3 год кожний і останній інтервал Δt_8 — решту 6 год.

У кожному інтервалі Δt_i проводять горизонтальну лінію середньої температури θ_{hi} , яка перетинає інтервал так, щоб верхня і нижня площі, які обмежуються лінією середньої температури і вертикальними інтервалами, були приблизно однаковими.

За знайденими таким чином значеннями θ_{hi} розраховують значення V_i :

$$V_1 = \frac{\Delta t_1}{24} 2^{(\theta_{h1} - 98)/6} = \frac{8}{24} 2^{(51,49 - 98)/6} = 0,00155;$$

$$V_2 = \frac{\Delta t_2}{24} 2^{(\theta_{h2} - 98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(92,7 - 98)/6} = 0,0226;$$

$$V_3 = \frac{\Delta t_3}{24} 2^{(\theta_{h3} - 98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(107,0 - 98)/6} = 0,118;$$

$$V_4 = \frac{\Delta t_4}{24} 2^{(\theta_{h4}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(78,0-98)/6} = 0,00413;$$

$$V_5 = \frac{\Delta t_5}{24} 2^{(\theta_{h5}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(71,5-98)/6} = 0,00195;$$

$$V_6 = \frac{\Delta t_6}{24} 2^{(\theta_{h6}-98)/6} = \frac{3}{24} 2^{(63,4-98)/6} = 0,00230;$$

$$V_7 = \frac{\Delta t_7}{24} 2^{(\theta_{h7}-98)/6} = \frac{3}{24} 2^{(56,5-98)/6} = 0,00104;$$

$$V_8 = \frac{\Delta t_8}{24} 2^{(\theta_{h8}-98)/6} = \frac{6}{24} 2^{(53,0-98)/6} = 0,00138.$$

Відносне зношення виткової ізоляції за добу безперервного навантаження становитиме

$$V = \sum_{i=1}^8 V_i = (0,00155 + 0,0226 + 0,118 + 0,00413 + 0,00195 + 0,00230 + 0,00104 + 0,00138) = 0,153$$

«нормальних» діб зношення.

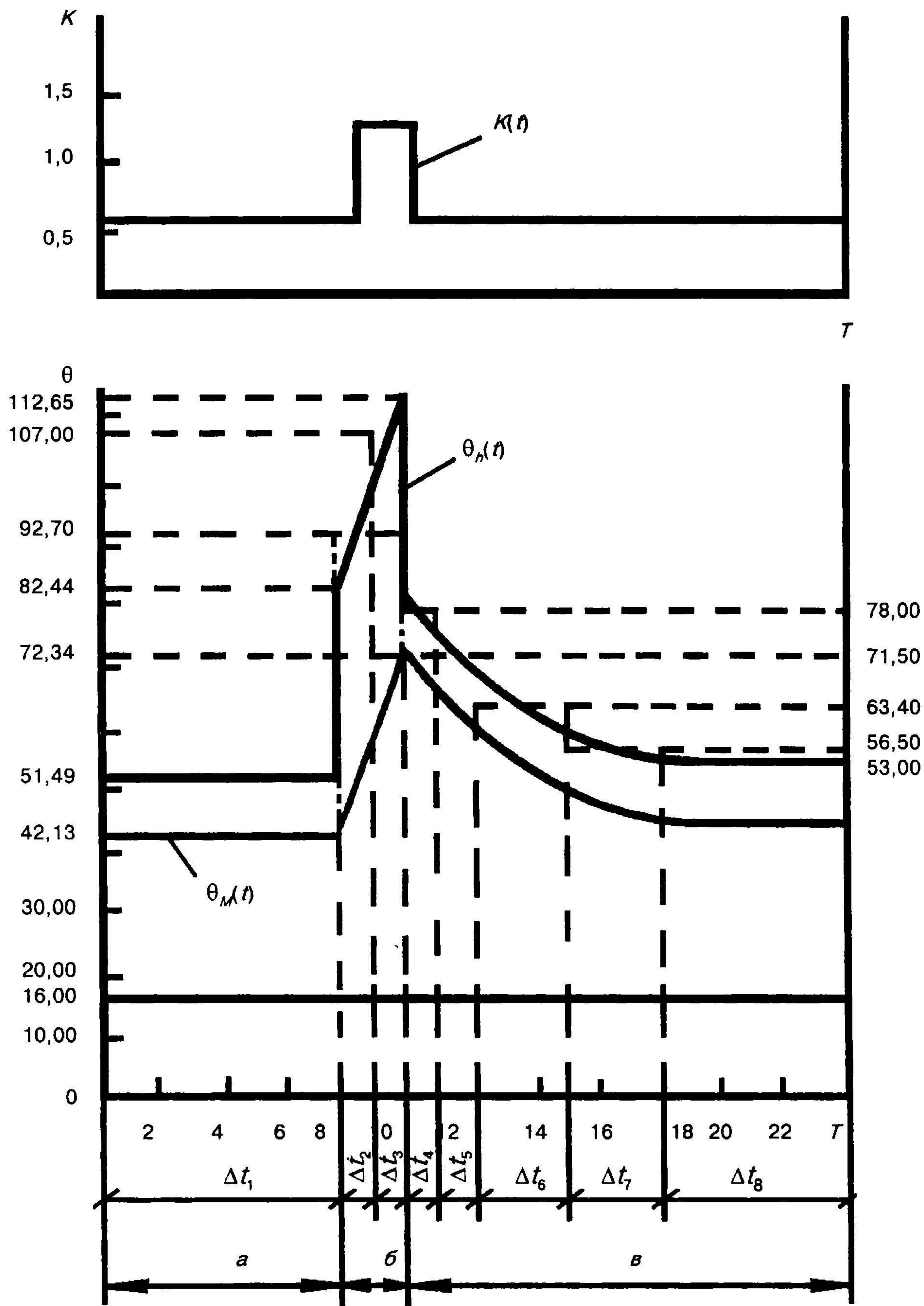


Рисунок L.1 — Графік навантаження і відповідні йому графіки зміни температури

ДОДАТОК І
(рекомендований)**ТАБЛИЦІ ДОПУСТИМИХ
СИСТЕМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
З НОРМАЛЬНИМ СКОРОЧЕННЯМ
ТЕРМІНУ СЛУЖБИ**

І.1 У таблицях І.1—І.32 наведено значення K_2 і t для добового двоступінчастого графіка навантаження (рисунок 4) за різних значень K_1 і температури охолодного середовища, обчислені за вихідними даними таблиці 2 розділу 2.

І.2 Розподільні трансформатори з охолодженням *ONAN*Таблиця І.1, $\theta_a = -25\text{ }^\circ\text{C}$

t , год	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
8,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48	1,44
24,0	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37

Таблиця І.2, $\theta_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$

t , год	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,43
8,0	1,50	1,50	1,50	1,49	1,48	1,47	1,45	1,43	1,37
24,0	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33

Таблиця І.3, $\theta_a = -10\text{ }^\circ\text{C}$

t , год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,47	1,39
8,0	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,38	1,36	1,32
24,0	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Таблиця І.4, $\theta_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$

t , год	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46
4,0	1,50	1,50	1,49	1,47	1,44	1,40	1,33
8,0	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,29	1,25
24,0	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17

ДСТУ 3463—96 (ГОСТ 14209—97) (ІЕС 354—91)

Таблиця 1.5, $\theta_a = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,40
4,0	1,46	1,43	1,40	1,37	1,33	1,27
8,0	1,27	1,26	1,24	1,23	1,21	1,18
24,0	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09

Таблиця 1.6, $\theta_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
2,0	1,50	1,50	1,49	1,43	1,34	1,00
4,0	1,37	1,34	1,29	1,25	1,19	1,00
8,0	1,18	1,17	1,15	1,13	1,10	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблиця 1.7, $\theta_a = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,12
1,0	1,50	1,50	1,50	1,45	1,03
2,0	1,50	1,45	1,35	1,26	0,97
4,0	1,27	1,23	1,17	1,11	0,94
8,0	1,09	1,07	1,04	1,01	0,92
24,0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91

Таблиця 1.8, $\theta_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
0,5	1,50	1,50	1,50	1,01
1,0	1,50	1,50	1,35	0,92
2,0	1,39	1,31	1,17	0,86
4,0	1,16	1,11	1,02	0,83
8,0	0,99	0,96	0,91	0,82
24,0	0,81	0,81	0,81	0,81

1.2 Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *ON*

Таблиця 1.9, $\theta_a = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,42
8,0	1,50	1,49	1,48	1,47	1,47	1,46	1,44	1,42	1,37
24,0	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33

Таблиця І.10, $\theta_a = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_i год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46
8,0	1,46	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,38
24,0	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30

Таблиця І.11, $\theta_a = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_i год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,39
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,46	1,42	1,31
8,0	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,32	1,27
24,0	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23

Таблиця І.12, $\theta_a = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_i год	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,39
4,0	1,50	1,48	1,45	1,42	1,40	1,36	1,29
8,0	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,22
24,0	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16

Таблиця І.13, $\theta_a = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_i год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,36
4,0	1,42	1,39	1,36	1,34	1,30	1,24
8,0	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,16
24,0	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

Таблиця І.14, $\theta_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_i год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48	1,00
2,0	1,50	1,50	1,45	1,40	1,31	1,00
4,0	1,34	1,31	1,27	1,23	1,18	1,00
8,0	1,17	1,16	1,14	1,12	1,09	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблиця І.15, $\theta_a = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25
1,0	1,50	1,50	1,50	1,42	1,13
2,0	1,47	1,41	1,33	1,25	1,03
4,0	1,24	1,21	1,16	1,11	0,97
8,0	1,08	1,07	1,04	1,02	0,94
24,0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Таблиця І.16, $\theta_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
0,5	1,50	1,50	1,50	1,25
1,0	1,50	1,50	1,35	1,10
2,0	1,36	1,29	1,18	0,99
4,0	1,15	1,11	1,03	0,91
8,0	0,99	0,97	0,93	0,86
24,0	0,82	0,82	0,82	0,82

І.3 Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OF*
Таблиця І.17, $\theta_a = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,42
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,38
4,0	1,49	1,48	1,47	1,47	1,46	1,46	1,45	1,43	1,35
8,0	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,37	1,33
24,0	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31

Таблиця І.18, $\theta_a = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,45
4,0	1,46	1,45	1,44	1,44	1,43	1,42	1,41	1,39
8,0	1,37	1,37	1,37	1,36	1,36	1,36	1,35	1,34
24,0	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28

Таблиця І.19, $\theta_a = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,41
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,35
2,0	1,50	1,50	1,49	1,48	1,46	1,44	1,41	1,30
4,0	1,39	1,39	1,38	1,37	1,37	1,35	1,34	1,26
8,0	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,29	1,28	1,24
24,0	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21

Таблиця І.20, $\theta_a = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,45
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,37
2,0	1,46	1,44	1,42	1,41	1,39	1,36	1,29
4,0	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,24
8,0	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22	1,19
24,0	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Таблиця І.21, $\theta_a = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,44
1,0	1,50	1,50	1,48	1,45	1,41	1,34
2,0	1,38	1,37	1,34	1,33	1,30	1,26
4,0	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,19
8,0	1,17	1,17	1,17	1,16	1,15	1,14
24,0	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

Таблиця І.22, $\theta_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,47	1,40	1,01
1,0	1,46	1,43	1,39	1,35	1,30	1,00
2,0	1,31	1,29	1,26	1,24	1,20	1,00
4,0	1,19	1,18	1,16	1,15	1,13	1,00
8,0	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблиця І.23, $\theta_a = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,50	1,47	1,41	1,34	1,15
1,0	1,38	1,34	1,29	1,24	1,08
2,0	1,23	1,21	1,17	1,14	1,02
4,0	1,11	1,10	1,08	1,06	0,98
8,0	1,02	1,02	1,01	1,00	0,95
24,0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Таблиця І.24, $\theta_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

t , год	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
0,5	1,42	1,37	1,28	1,13
1,0	1,28	1,24	1,17	1,05
2,0	1,14	1,12	1,07	0,97
4,0	1,03	1,01	0,98	0,92
8,0	0,94	0,94	0,92	0,88
24,0	0,83	0,83	0,83	0,83

І.4 Трансформатори середньої і великої потужності з охолодженням *OD*

Таблиця І.25, $\theta_a = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,43
2,0	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,43	1,41	1,36
4,0	1,39	1,38	1,37	1,37	1,36	1,36	1,35	1,32
8,0	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	1,28
24,0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24

Таблиця І.26, $\theta_a = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,41
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,35
2,0	1,48	1,47	1,45	1,44	1,42	1,41	1,38	1,30
4,0	1,36	1,36	1,35	1,35	1,34	1,33	1,32	1,27
8,0	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27	1,24
24,0	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22

Таблиця І.27, $\theta_a = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,47	1,44	1,38
2,0	1,43	1,42	1,40	1,38	1,37	1,35	1,31
4,0	1,32	1,31	1,30	1,30	1,29	1,28	1,26
8,0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22
24,0	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17

Таблиця І.28, $\theta_a = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,45	1,30
1,0	1,50	1,50	1,46	1,44	1,41	1,37	1,24
2,0	1,38	1,36	1,34	1,33	1,31	1,29	1,19
4,0	1,26	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,16
8,0	1,19	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,14
24,0	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Таблиця І.29, $\theta_a = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,47	1,43	1,36
1,0	1,47	1,44	1,40	1,37	1,34	1,28
2,0	1,32	1,31	1,29	1,27	1,25	1,21
4,0	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,15
8,0	1,14	1,14	1,13	1,13	1,12	1,11
24,0	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06

Таблиця І.30, $\theta_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,49	1,44	1,40	1,34	1,00
1,0	1,41	1,38	1,33	1,30	1,26	1,00
2,0	1,27	1,25	1,22	1,20	1,17	1,00
4,0	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,00
8,0	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблиця І.31, $\theta_a = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,46	1,43	1,36	1,31	1,19
1,0	1,34	1,31	1,26	1,22	1,12
2,0	1,21	1,19	1,16	1,13	1,05
4,0	1,10	1,09	1,07	1,06	1,00
8,0	1,02	1,02	1,01	1,00	0,96
24,0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

Таблиця І.32, $\theta_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

t, год	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
0,5	1,40	1,35	1,28	1,19
1,0	1,27	1,24	1,18	1,10
2,0	1,14	1,12	1,08	1,02
4,0	1,03	1,02	1,00	0,95
8,0	0,95	0,95	0,93	0,90
24,0	0,85	0,85	0,85	0,85

Ключові слова: масляний трансформатор, температура охолодного середовища, аварійне перевантаження, систематичне навантаження, температура обмотки, зношення ізоляції, режим навантаження

ІНФОРМАЦІЙНІ ДАНІ

НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ, НА ЯКІ Є ПОСИЛАННЯ

Позначення НД, на який є посилання	Номер пункту, підпункту, переліку, додатка
ГОСТ 3484.2—88	1.2, 2.3.3, 2.6.1, додаток В
ГОСТ 11677—85	1.1, 1.6.4, 1.6.5, 2.6.1, 2.6.2, додаток С

Редактор **Н. Науменко**
Технічний редактор **О. Касіч**
Коректор **Г. Ніколаєва**
Комп'ютерна верстка **І. Сохач**

Підписано до друку 23.12.98. Формат 60 x 84 1/8.
Ум. друк. арк. 23,25. Зам. **3034** Ціна договірна.

Відділ оперативного друку УкрНДІСІ
252006, Київ-6, вул. Горького, 174