

# **ЛЕКЦІЯ №6**

**з дисципліни ВС.3 “Механіка дорожніх  
одягів”**

**для спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія»**

**за спеціалізацією “Технології будівельних  
конструкцій, виробів і матеріалів”.**

**Лектор:**

професор, доктор технічних наук

**Мозговий Володимир Васильович**

(завідувач кафедри дорожньо-будівельних  
матеріалів і хімії, д.т.н., професор)

# **Вхідний контроль на лекції №6**

- 1. Вимоги до механіко-математичних моделей дорожнього одягу.**
- 2. З чого складається механічна модель дорожнього одягу? Що таке модель плити? Що таке модель шару? У чому полягає їх відмінність?**
- 3. Однорідний пружній напівпростір. Шаруватий пружній напівпростір. Формула для загального модуля пружності двошарового напівпростору. Напруження в шаруватому напівпросторі.**
- 4. Що таке граничний стан? За якими групами граничних станів розраховують дорожній одяг та яка їх мета? За якими основними нормативами розраховують дорожній одяг?**
- 5. Розрахунок за несучою здатності шарів із зв'язних матеріалів.**
- 6. Розрахунок за несучою здатністю шарів із незв'язних матеріалів.**

# Тема лекції № 6

**Розрахунок за недопустимими  
деформаціями,  
що затрудняють експлуатацію  
конструкції.**

**Розрахунок асфальтобетонного  
покриття на температурну  
тріщиностійкість**

# План лекції №6

- 1. Розрахунок за недопустимими деформаціями, що затрудняють експлуатацію конструкції.**
- 2. Розрахунок асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість.**

# **1 Розрахунок за недопустимими деформаціями, що затрудняють експлуатацію конструкції**

**Варто було б, по-перше, прогнозувати глибину колії і, по-друге, висоту і глибину (амплітуду) подовжніх нерівностей. Глибиною колії називають найбільший просвіт між поперек покладеною рейкою і поверхнею покриття.**

***Так, у Німеччині на швидкісних дорогах I класу, де швидкість руху не обмежена, лімітують  $d < 10$  мм, щоб не допустити аквапланування при застої води під час дощу і втрати керування автомобілем. На дорогах IV класу припускається  $d < 30$  мм. У Англії та Німеччині критичною вважають глибину колії 15-20 мм. Якщо глибина колії досягає гранично допустимого значення, передбачають вирівнювання (холодне фрезерування, тощо) із наступною укладкою шару підсилення.***

***У Росії для капітальних дорожніх одягів передбачений гранично допустимий просвіт під 3-х метровою рейкою  $d = 5,7$  мм.***

**Подовжні хвилеподібні нерівності затруднюють проїзд і перевантажують підвіску автомобіля. При русі вантажних автомобілів незалежно від швидкості частота коливань навантаження, що передається колесом покриттю знаходиться в межах  $f = 0 - 20$  Гц. При цьому незалежно від швидкості руху модальна частота основної гармоніки  $f = 2 - 4$  Гц. Це значить, що період коливань навантаження складає**

$$T \approx \frac{1}{f} = 0,25 - 0,50$$

**сек.**

**Помічено, що ця частота має один порядок із частотою власних коливань автомобілів із вантажем.**

**Мабуть, саме цим обумовлено утворення подовжніх нерівностей. При  $v=72\text{км/год}=20\text{м/с}$ . періоду  $0,25-0,50$  сек. будуть відповідати відстані між впадинами (або між вершинами)  $L=20\text{м/с} \times (0,25...0,50)=5-10\text{м}$ .**

**За кордоном середні зміни подовжнього ухилу вимірюють спеціальними профілографами і нормують. Наприклад, у Бельгії для доріг I класу  $\Delta i_{cp} < 0,03$  для II класу  $\Delta i_{cp} < 0,02$  .**

**У нас нормують показник поштовхоміра, наприклад, для капітальних покриттів, установленого на автомобілі, не повинен перевищувати допустимих значень.**

**Проте поки що методи прогнозування накопичення залишкових переміщень поверхні дорожнього покриття не розроблені. Зараз ведуться інтенсивні дослідження в напрямку прогнозування накопичення поперечних нерівностей - глибини колії в залежності від конструкції дорожнього одягу, виду і складу ґрунту, навантаження, числа проїздів і їхнього розподілу по ширині.**

**Що ж стосується поздовжніх нерівностей, то в напрямку їхнього прогнозування поки що навіть не зроблені перші кроки!**



**Оскільки залишкові переміщення поверхні покриття прогнозувати важко, вважають за доцільне нормувати його зворотні переміщення: так званий пружній прогин  $w$ . При цьому виходять із таких міркувань :**

- чим менший зворотний прогин, тим для даного ґрунту і дорожньо-будівельного матеріалу менший залишковий прогин;**
- зворотний прогин поверхні дорожнього покриття під колесом легко виміряти.**

**Залишковий прогин від одного проїзду виміряти практично неможливо:**

**Припустимо,  $d=20$  мм за 10 років.  $N_{\Sigma} = 10$  років  $\times$  360 діб  $\times$  1000 авт/добу  $\times$  0,2 =  $10^6$ ,  $d_1 = 20/10^6 = 2 \times 10^{-5}$  мм, датчиків із такою точністю немає.**

При проектуванні дорожнього одягу обмежують пружний прогин покриття в момент вводу (здачі) дороги в експлуатацію:

$$\bar{w} \leq w \quad (13)$$

де  $w$  - пружний прогин, зворотний прогин поверхні покриття під дією нормативного (100 кН/одну вісь) навантаження в період ослаблення ґрунту земляного полотна (весна, осінь)–

$w$  – допустиме значення переміщення, що залежить від інтенсивності руху.

Значення  $w$  установлені на основі масового обстеження дорожніх одягів, що знаходилися в задовільному стані тривалий час при різних добових інтенсивностях руху

Оскільки для однорідного пружнього напівпростору прогин при дії навантаження, рівномірно розподіленого в межах кола нежорсткого штампу, відоме точне рішення (Бусінеск) при визначенні прогину:

$$w = p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / E \quad (14)$$

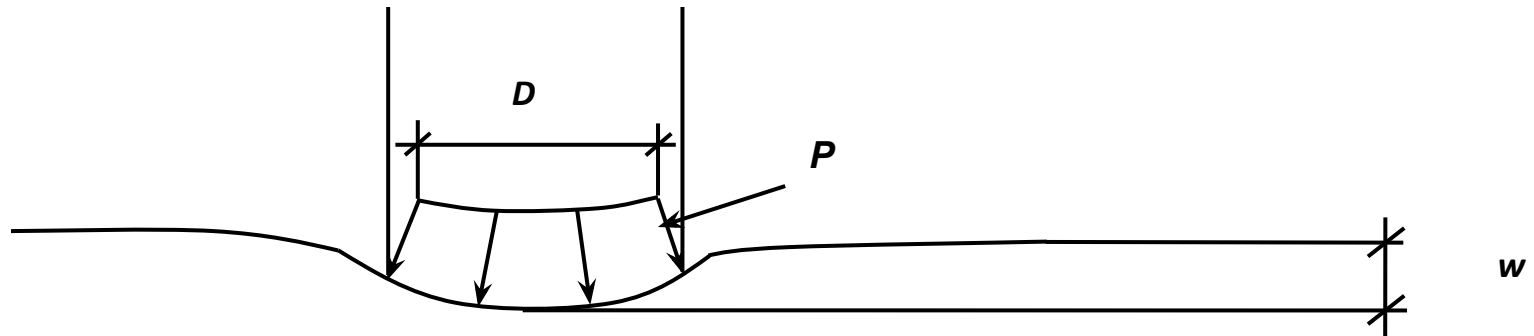


Рис. 3

то на основі цього загальний модуль пружності дорожнього одягу визначають:

$$E_{заг} = p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / w \quad (15)$$

$$E_{номр} = p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / \bar{w} \quad (16)$$

тоді умова (13) (ВБН В.2.3-218-186-2004) має вид:

$$p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / E_{заг} \leq p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / E_{номр}$$

$$E_{заг} \leq E_{номр} \quad (17)$$

**Значення  $w$  або  $E_{заг}$  обчислюють на основі механіко-математичної моделі, а  $E_{потр}$  нормують на основі даних масових обстежень із вимірюванням прогину залежністю:**

$$E_{тр}(N) = a \lg N_p + b \quad (18)$$

**де: для  $Q_p$  100 кН встановлено  $a=70$  МПа,  $b=56$  МПа.**

**2 РОЗРАХУНОК  
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ  
НА ТЕМПЕРАТУРНУ  
ТРИЩИННОСТІЙКІСТЬ**

**Державна служба автомобільних доріг України  
(УКРАВТОДОР)  
Національний транспортний університет  
(НТУ)**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
з розрахунку асфальтобетонного покриття  
на температурну тріщиностійкість**

**МВ 218-02070915-679:2010**

**Київ  
2010**

# Температурний режим асфальтобетонного покриття

$$T(t, Z) = T_{cp} + A_1(Z = 0)e^{-u_1} \cos(\omega_2 t - u_2)$$

**де**  $u_1 = Z\sqrt{\omega_1/2a}$ ;  $u_2 = Z\sqrt{\omega_2/2a}$ ;  $\omega = 2\pi/t_n$ ;

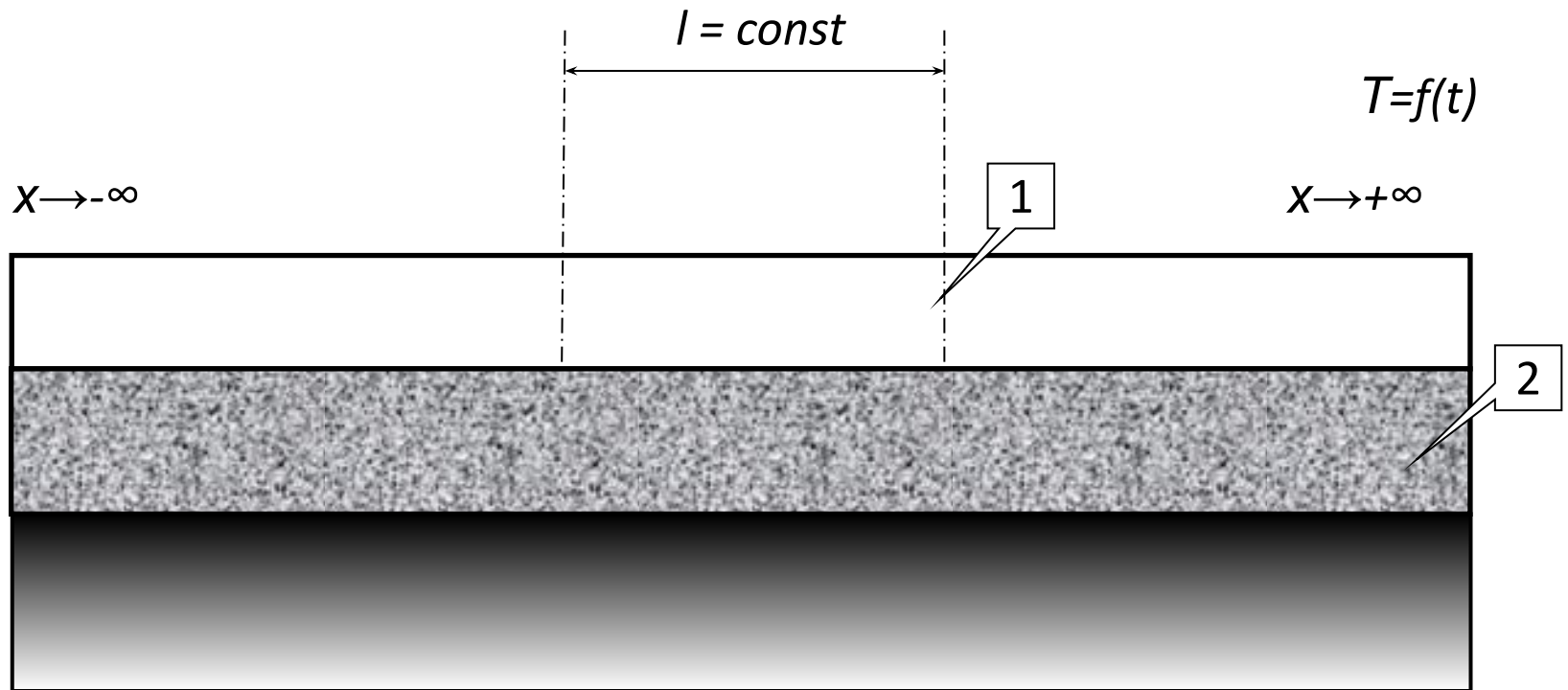
$$A_{ig} = \frac{A_g(Z = 0)(1 - e^{-m_i})}{m_i e^{\sqrt{\pi/t_{\Pi g}}} \sum_{\psi=1}^{i-1} (h\sqrt{a\psi S\psi})}$$

**де**  $m_1 = h_1\sqrt{\pi/(t_{\Pi g} a_1 S_1)}$  **зміни температури в шарі.**

$$T_i(t) = T_{cp} + \sum_{g=1}^2 A_{ig} \cos \frac{2\pi}{t_{\Pi g}} t$$



# Розрахункова схема для визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті



**1 - покриття; 2 – основа**

**Аналітичні залежності для розрахунку температурних напружень в асфальтобетонному покритті при зниженні температури**

$$T(t) = T_0 + Kt$$

$$a_T(T(t), Q) = e^{-p(T_0 - Q + kt)}; \quad a_T(T(\tau), Q) = e^{-p(T_0 - Q + k\tau)}$$

$$\xi(t) = \frac{1}{pK} e^{p(T_0 - Q)} \cdot (e^{pKt} - 1); \quad \xi(\tau) = \frac{1}{pK} e^{p(T_0 - Q)} \cdot (e^{pK\tau} - 1)$$

$$\sigma_T = -\alpha H K t - \alpha K (B - H) \int_0^t \frac{d\tau}{[1 + \psi(t) - \psi(\tau)]^m}$$

$$\sigma_T(t) = -\alpha E K t = \alpha E \Delta T$$

**Розрахунок асфальтобетонного  
покриття на температурну  
тріщиностійкість**

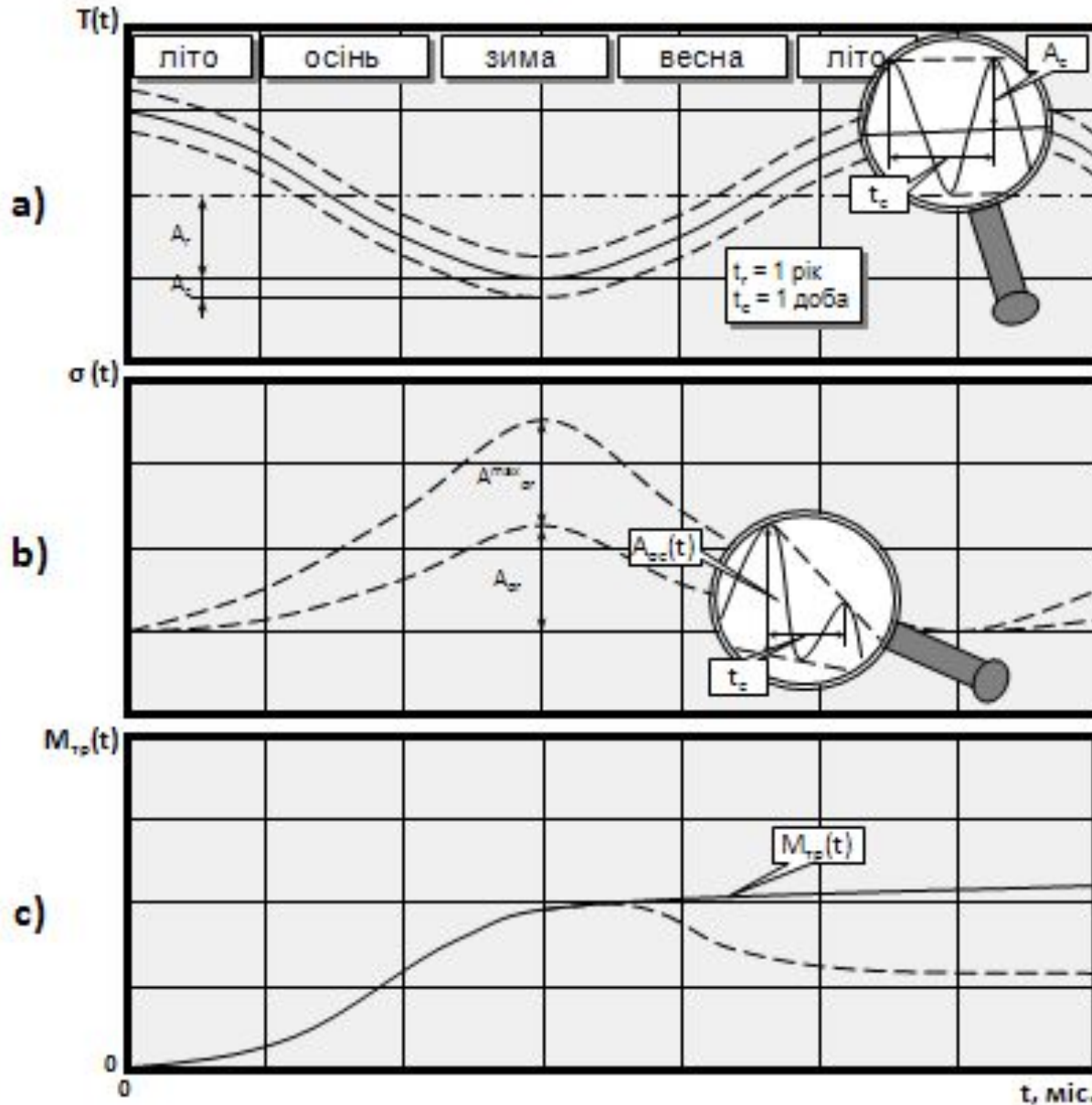
$$\bar{T}(t) = T_{cp} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \omega_p t + \bar{A}_{\ddot{a}}(h) \cdot \cos \omega_{\ddot{a}} t$$

$$\sigma_{\dot{\delta}}(t) = \int_0^t R(t - \tau) d\varepsilon_x(\tau)$$

$$M = M_T + M_{TP} \leq C_{TP},$$

$$M(t) = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} \leq k_{cm} \cdot C_{mp}$$

# СХЕМА ЗМІНИ МІРИ ПОШКОДЖЕНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ВІД ДІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ



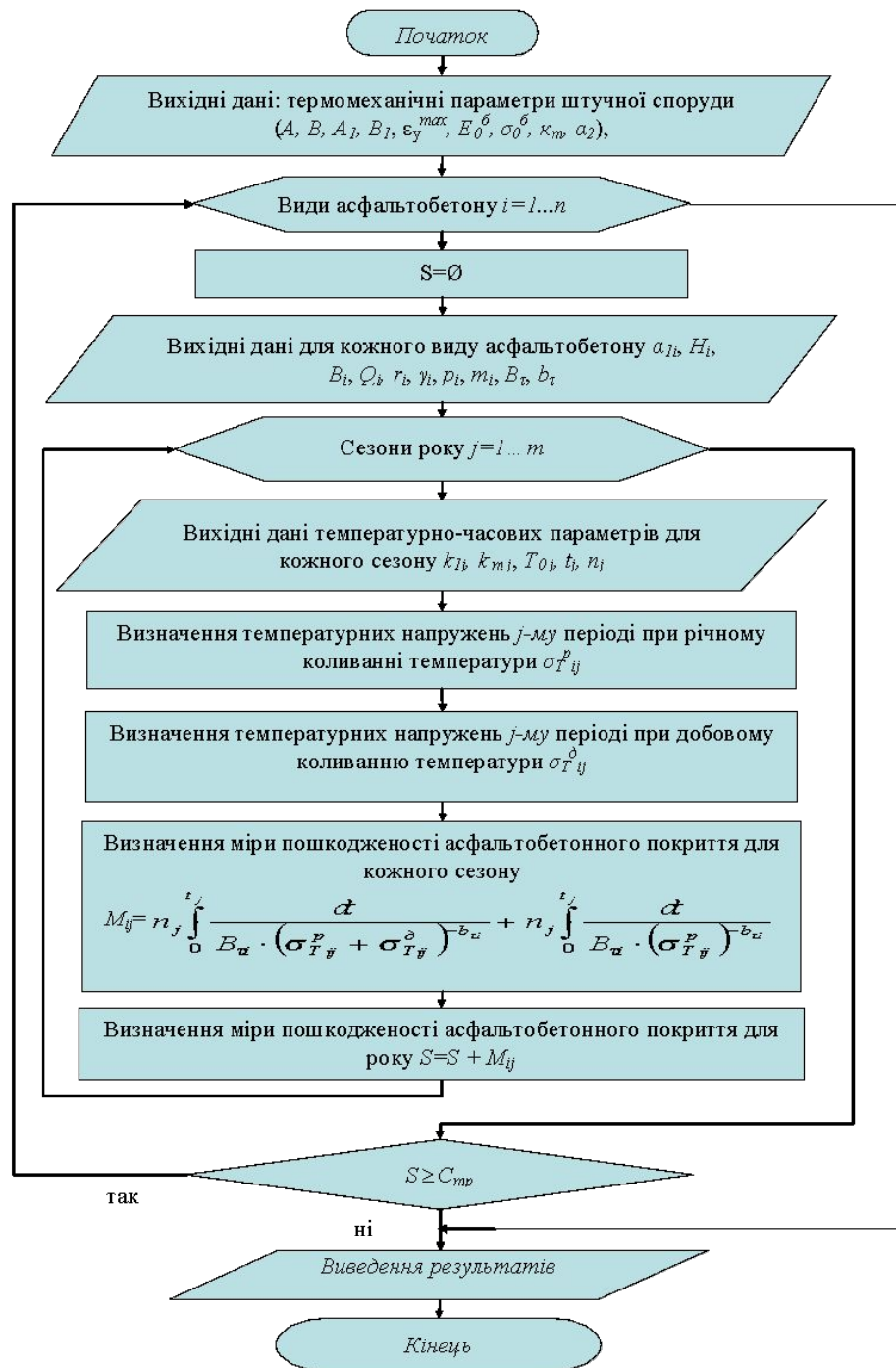
a) зміна температури в часі;

b) зміна температурних напружень в часі;

c) зміна тривалості лінійного розведення (заходів).

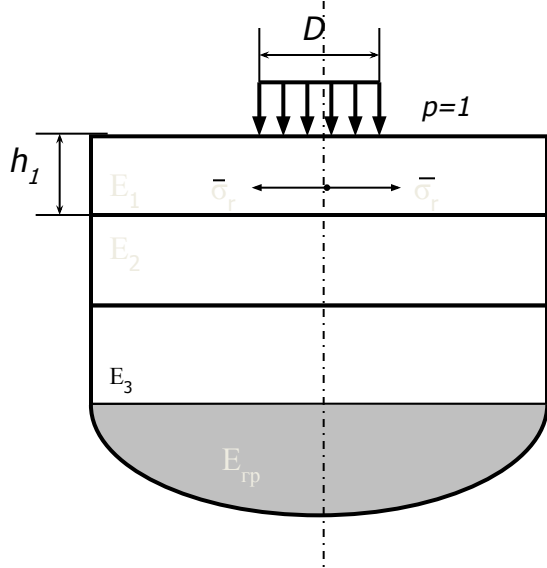
**Приклад розрахунку  
асфальтобетонного покриття на  
температурну тріщиностійкість**

# АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТО- МОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ТРИЩИННОСТІЙКІСТЬ

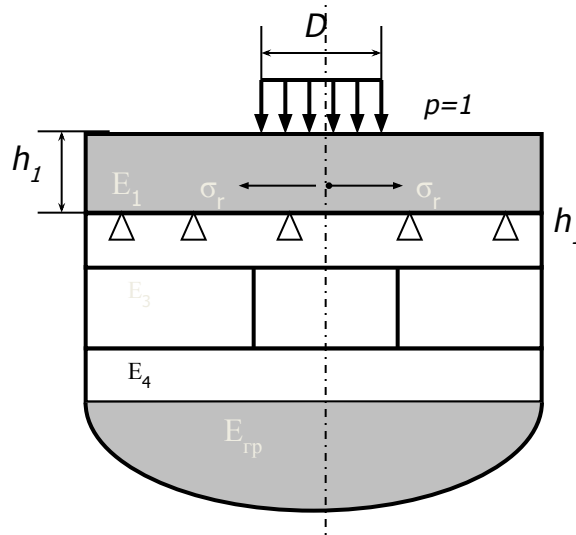


# Існуючі положення методів розрахунку асфальтобетонного покриття на тріщиностійкість

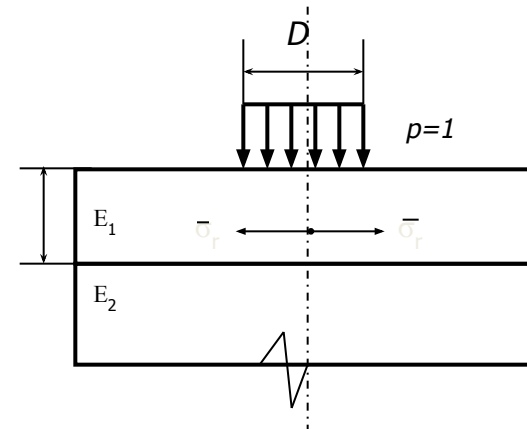
1. На нежорсткій основі



2. На жорсткій основі



3. На мостах та шляхопроводах

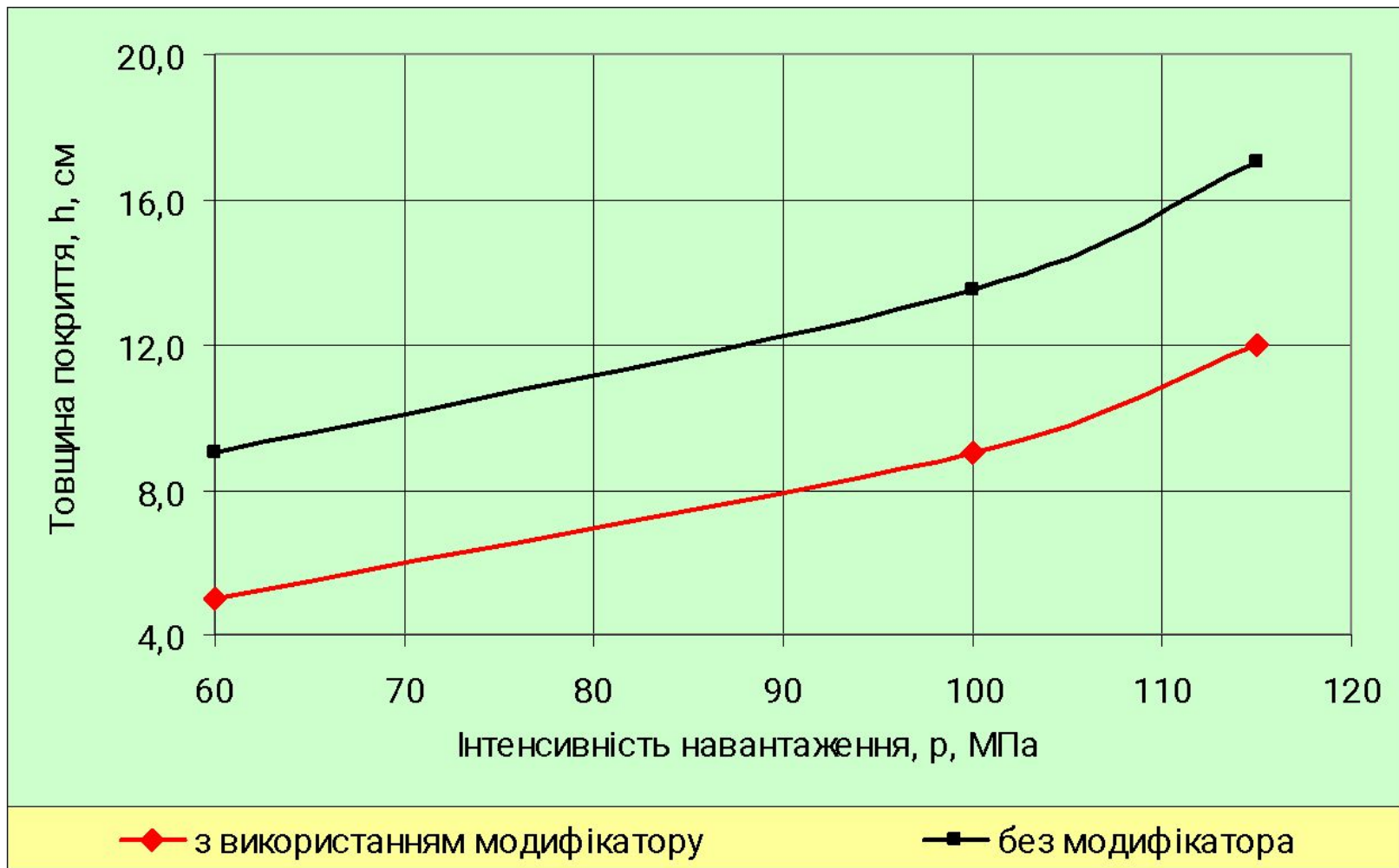


## Умова граничного стану

$$K_{мц} \leq R_i / \sigma_r; \quad \sigma_r = \sigma_{rп} K_\delta$$

$$R_i = R_{32} (1 - \nu_r) K_{вм} K_m$$

# Залежність товщини асфальтобетонного покриття від навантаження на вісь

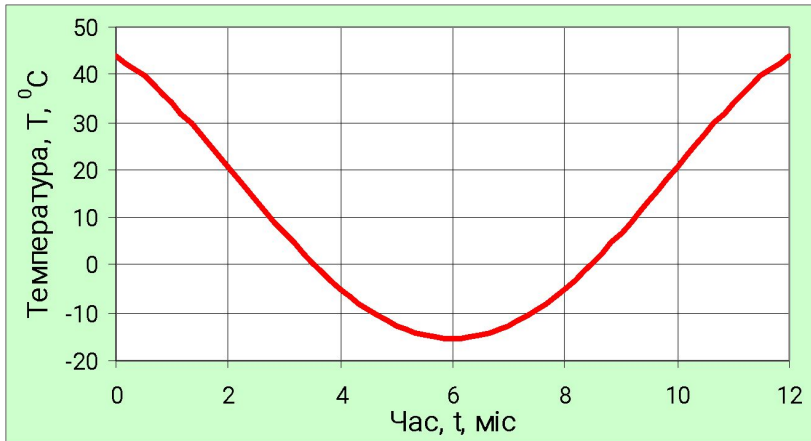




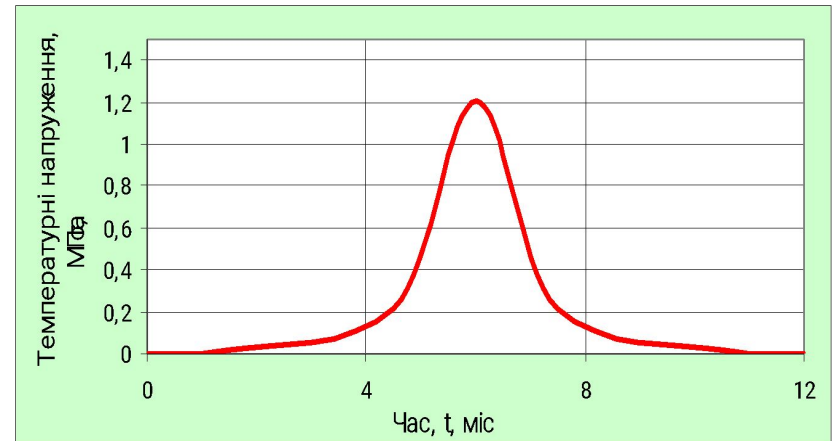
# Результати визначення довговічності асфальтобетону

$b_{\tau}$	$B_{\tau}$	$m$	$R_{32H.L}^{\prime}$ МПа	$K_p$	$K_{kn}$	$K_m$	$\check{R}$ , МПа	$K_y$	$K_m$	$t$	$u_R$	$R_{p^{\prime}}$ МПа	$\Sigma N$
Асфальтобетон, тип Б на бітумі БНД 60/90													
3,0	2376	0,33	14,7	1	0,102	1	1,5	1	1	1,71	0,1	1,25	15934
Полімерасфальтобетон, тип Б на бітумі БНД 60/90, модифікатор Елвалой													
3,4	2758	0,29	13,2	1	0,133	1	1,75	1	1	1,71	0,1	1,45	38313
Полімерасфальтобетон армований синтетичною поліестерною сіткою													
3,5	7225	0,28	16,0	0,92	0,145	1	2,14	1	1	1,71	0,1	1,77	92730

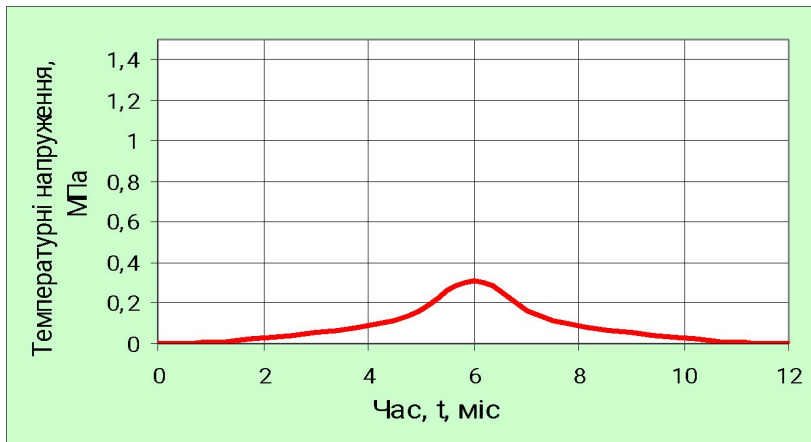
# Числовий аналіз дослідження тріщиностійкості



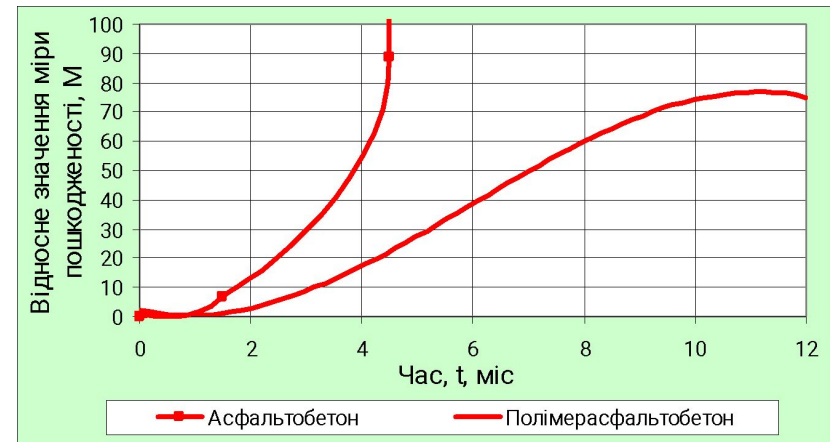
Середньодобові коливання температури на протязі року в асфальтобетонному покритті



Зміна температурних напружень в асфальтобетоні



Зміна температурних напружень в полімерасфальтобетоні



Міра пошкодженості в асфальтобетонному покритті на ПМП в м. Києва

# Вихідні дані

$T_{\text{пмін}} := -30$     $T_{\text{пмах}} := 50$  -Температура асфальтобетону

$t := 0..24$

$T_e := 1$

$\omega_p := 2 \cdot \pi \div 8780$     $\omega_d := 2 \cdot \pi \div 24$

$\phi := 40$  - Географічна широта даної місцевості в градусах

$a := 1$

$t_{\text{пд}} := 24$

$h_{\text{п}} := 10$  - товщина асфальтобетонного покриття, см

$z := 4$  - глибина, см

Параметри функції релаксації

$\underline{H} := 30$  МПа

$B := 180000$  МПа

$r := 0.00000035$

$\underline{m} := 0.3$

$p := 0.315$

$Q := 10$  - Приведена температура

$T_0 := 0$

$\underline{K} := -3$

$\alpha := 0.000035$  - коефіцієнт температурного розширення асфальтобетону

$A_{\text{ро}} := (T_{\text{пмах}} - T_{\text{пмін}}) \div 2$

$A_{\text{ро}} = 40$

$A_{\text{го}} := -0.47 \cdot \phi + 32.43$

$A_{\text{го}} = 13.63$

# Результати розрахунку

$$A_d := [A_{g0} \div [h_n \cdot \sqrt{\pi \div (t_{пд} \cdot a)}]] \cdot [1 - e^{-h_n \cdot \sqrt{\pi \div (t_{пд} \cdot a)}}]$$

$$A_p := [A_{p0} \div (h_n \cdot \sqrt{\pi \div t_{пд} \cdot a})] \cdot (1 - e^{-h_n \cdot \sqrt{\pi \div t_{пд} \cdot a}})$$

$$K_d := A_d \div \delta \quad T_c := 0.56 \cdot \phi + 41.91 \quad K_p := A_p \div 2190$$

$$T_{p0}(t) := T_c + A_p \cdot \cos(\omega_p) \cdot t + A_p$$

$$T_{d0}(t) := T_c + A_d \cdot \cos(\omega_d) \cdot t + A_d$$

Річні

$T_c = 64.31$

$$\psi_p(t) := \frac{1 \cdot e^{p \cdot (T_0 - Q + K_p \cdot t)}}{p \cdot K_p \cdot r}$$

$$\psi_p(\tau) := \frac{1 \cdot e^{p \cdot (T_0 - Q + K_p \cdot \tau)}}{p \cdot K_p \cdot r}$$

$$f(\tau) := (1 + \psi_p(t) - \psi_p(\tau))^m$$

$$t_p := 0.5 \cdot 365 \cdot 24$$

$$I_p(t) := \left[ \int_0^{t_p} \frac{1}{(1 + \psi_p(t) - \psi_p(\tau))^m} d\tau \right]$$

# Результати розрахунку

Добові

$$\psi_D(t) := \frac{1 - e^{p \cdot (T_0 - Q + K_D \cdot t)}}{p \cdot K_D \cdot r}$$

$$\psi_D(\tau) := \frac{1 - e^{p \cdot (T_0 - Q + K_D \cdot \tau)}}{p \cdot K_D \cdot r}$$

$$f(\tau) := (1 + \psi_D(t) - \psi_D(\tau))^m$$

тц := 12

$$I_D(t) := \left[ \int_0^{tц} \frac{1}{(1 + \psi_D(t) - \psi_D(\tau))^m} d\tau \right]$$

T<sub>мін</sub>.. T<sub>мак</sub>

Параметри функції довговічності

$$\varepsilon := 0.00000000702999 \quad \delta := 0.0000007000016 \quad g := 0.00000692 \quad T := T_{\text{мін}}.. T_{\text{мак}}$$

$$f := 0.000020189$$

$$B_T(T) := \varepsilon T^6 - \delta T^5 + f T^4 - g T^3 - 0.0019 T^2 - 0.2064 T + 7.3485$$

$$h := 0.000000004449 \quad j := 0.00000004 \quad k := 0.00001 \quad l := 0.00003$$

# Результати розрахунку

$$\nu_T(T) := h \cdot T^6 - j \cdot T^5 + k \cdot T^4 - l \cdot T^3 - 0.00T^2 - 0.051 \cdot T + 5.2285$$

Визначаємо температурні напруження від добових коливань

$$\sigma_{тр}(t, K_p) := -\alpha \cdot H_{K_p} \cdot t - \alpha \cdot K_p \cdot (B - H) \cdot I_p(t)$$

$$\sigma_{д}(t, K_d) := -\alpha \cdot H_{K_d} \cdot t - \alpha \cdot K_d \cdot (B - H) \cdot I_d(t)$$

$$\sigma_{д}(t, K_d) =$$

	0
0	-0.47+0.647i
1	-0.58+0.583i
2	-0.622+0.521i
3	...

$$\sigma_{тр}(t, K_p) =$$

	0
0	-0.173+0.238i
1	-0.174+0.238i
2	-0.175+0.238i
3	...

$$\sigma_{трр}(t, T, K_p, A_p) := \sigma_{тр}(t, K_p) \cdot \phi \cdot A_p$$

$$\sigma_{д}(t, K_d) \cdot \phi \cdot A_d$$

$$\sigma_{д}(t) := \sigma_{д}(t, K_d) \cdot \phi \cdot A_d$$

$$\sigma_{трр}(t, T, K_p, A_p)$$

$$\sigma_{д}(t) =$$

	0
0	-68.969+94.927i
1	-85.037+85.456i
2	-91.265+76.387i
3	...

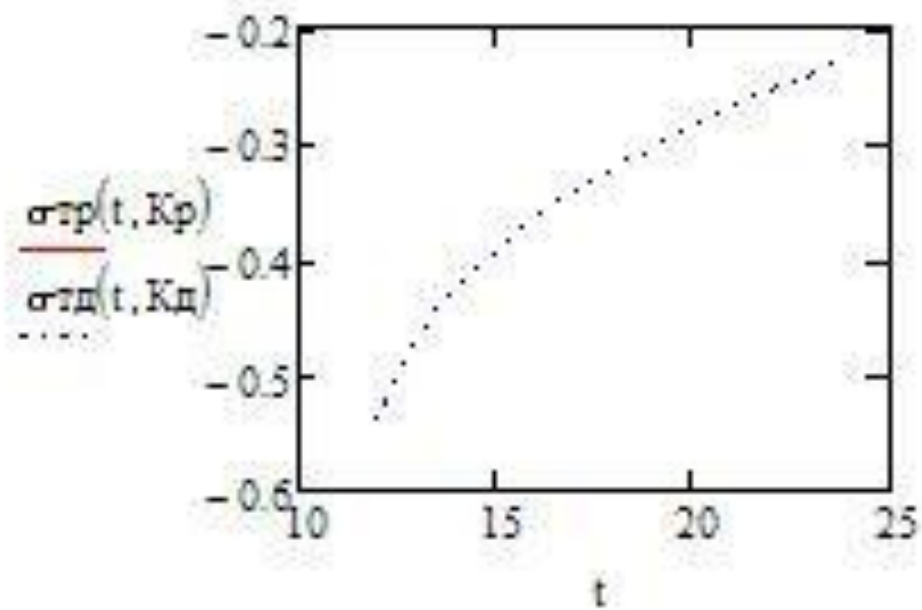
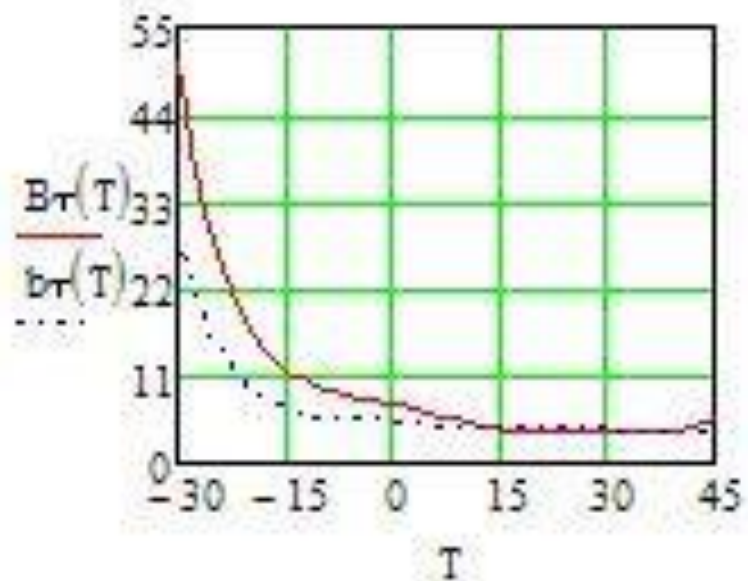
$$I_p(t) =$$

	0
0	5.591-7.696i
1	5.631-7.692i
2	5.655-7.689i
3	...

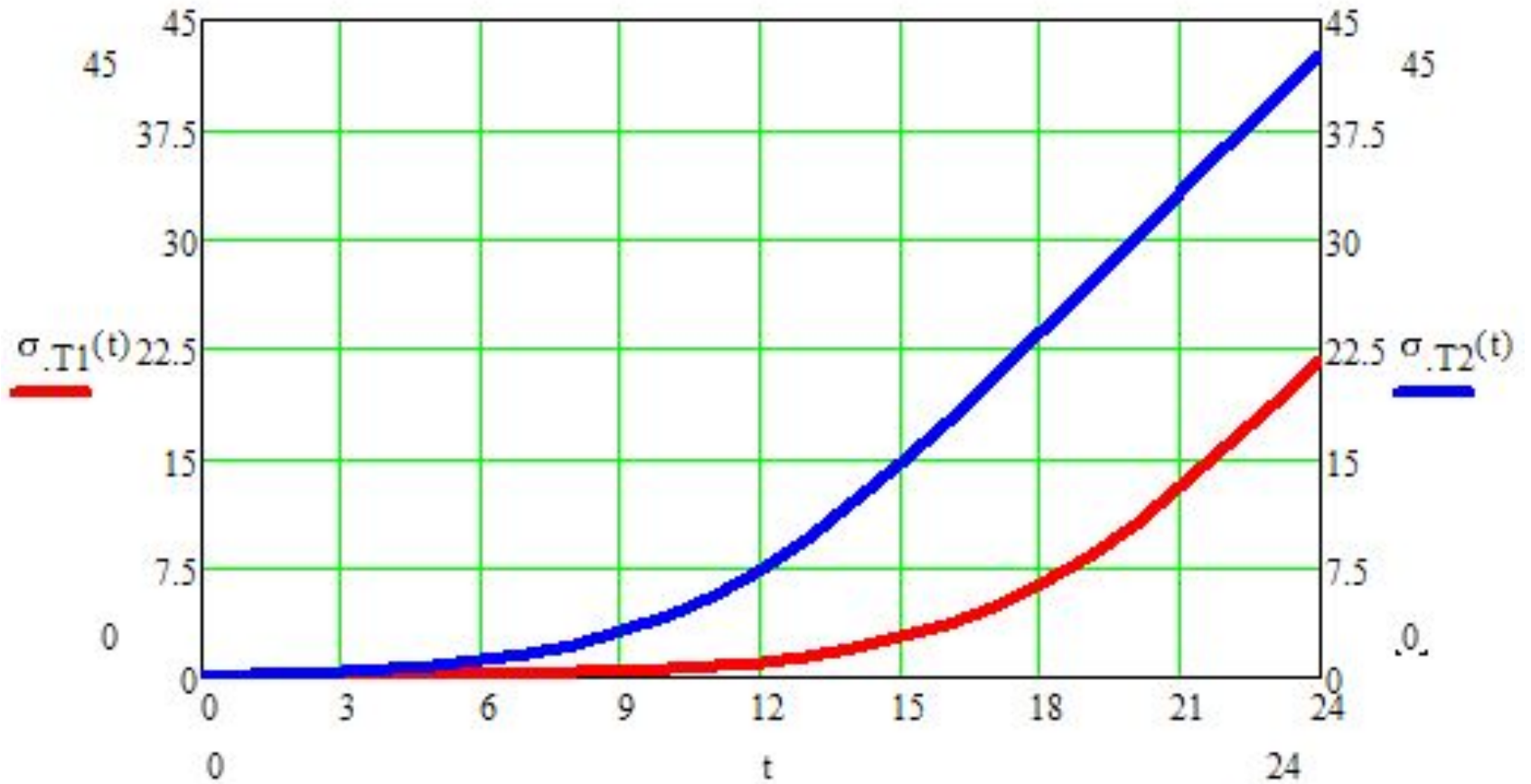
$$I_d(t) =$$

	0
0	0.122-0.168i
1	0.15-0.151i
2	0.161-0.135i
3	...

# Результати розрахунку

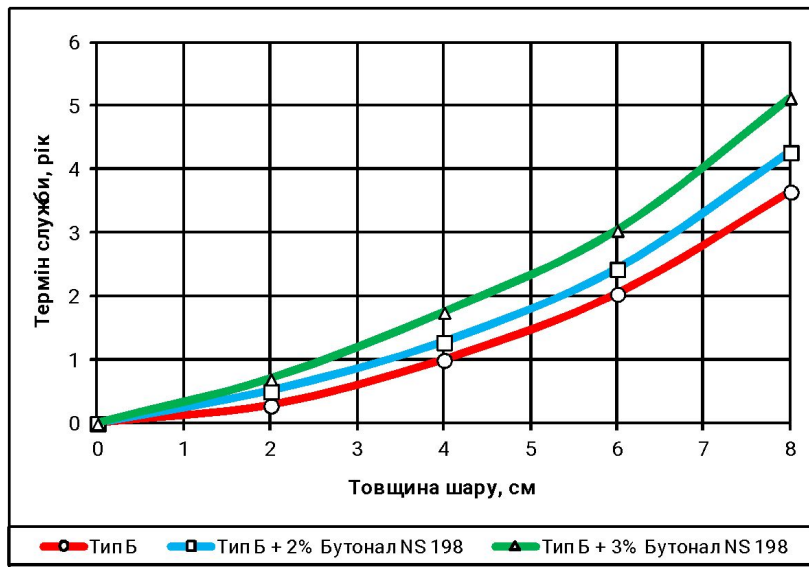


# Результати розрахунку

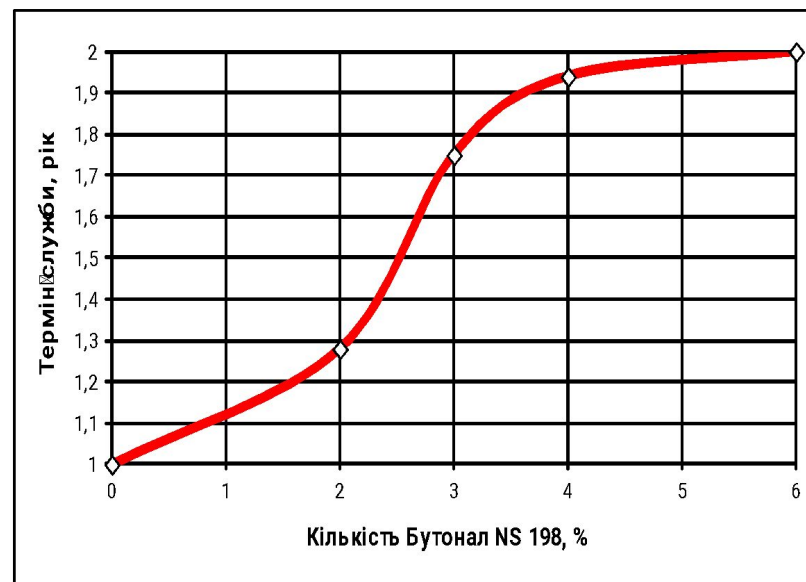




## Залежність терміну служби асфальтобетонного покриття від товщини



## Залежність терміну служби асфальтобетонного покриття від кількості Бутоналу NS 198

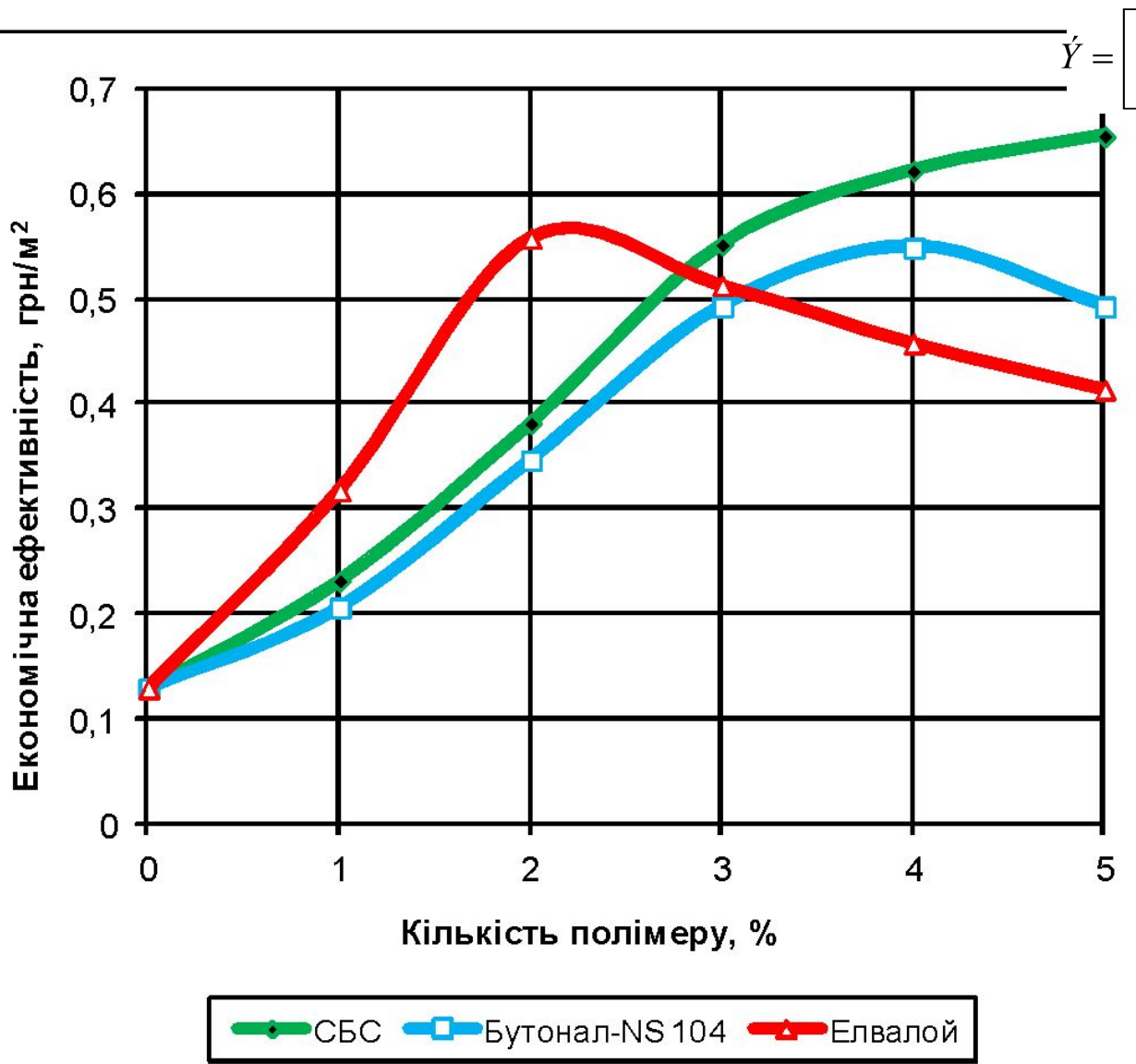


		Тип Б		
		літо	осінь	зима
Сезон		літо	осінь	зима
Температура °С		20	0	-10
Терморезологічні показники	Коефіцієнт температурного розширення, 1/град.°С	0,000023	0,000031	0,000032
	Е, МПа	32110	32200	32250
	Н, МПа	37	56	58
	г, год	2,78E-09	3,20E-09	3,70E-09
	m	0,283	0,35	0,43
р, 1/град. С		0,429	0,443	0,443
Параметри довговічності	В	160,9	753	1687
	b	2,47	5,25	6,22

		Тип Б (Бутонал NS 198-2%)		
		літо	осінь	зима
Сезон		літо	осінь	зима
Температура °С		20	0	-10
Терморезологічні показники	Коефіцієнт температурного розширення, 1/град.С	0,000025	0,000032	0,000035
	Е, МПа	32359	32400	32350
	Н, МПа	56	57	57
	г, год	2,06E-09	2,90E-09	3,00E-09
	m	0,273	0,432	0,443
	р, 1/град. С	0,32	0,37	0,37
Параметри довговічності	В, МПа	173	739	1751
	b	2,65	5,34	6,27

		Тип Б (Бутонал NS 198-3%)		
		літо	осінь	зима
Сезон		літо	осінь	зима
Температура °С		20	0	-10
Терморезологічні показники	Коефіцієнт температурного розширення, 1/град. °С	0,000028	0,000033	0,000036
	Е, МПа	32359	32750	32750
	Н, МПа	59	60	61
	г, год	3,00E-09	3,30E-09	4,20E-09
	m	0,333	0,444	0,444
	р, 1/град. °С	0,292	0,32	0,32
Параметри довговічності	В, МПа	185	675	1844
	b	2,97	5,66	6,83

# Залежність економічної ефективності асфальтобетону на бітумі, модифікованому полімером, (з різною кількістю полімеру)



$$\dot{Y} = \left[ (C_1 + C_{m1}) \frac{D_1 + \dot{A}_i}{D_2 + \dot{A}_i} + \dot{Y}_y - (C_2 + C_{m2}) \right] \cdot \dot{A}_2$$

где  $Z_1, Z_2$  - приведенные затраты на заводское изготовление материалов с учетом стоимости транспортировки по базовой и новой технике;  
 $Z_{c1}, Z_{c2}$  - приведенные затраты на возведение конструкций на объекте по базовой и новой технике;  
 $(P_1 + E_n) / (P_2 + E_n)$  - коэффициент, учитывающий срок службы новой строительной конструкции по сравнению с базовым вариантом (определяется по табл. ИН 218 УССР 003-84);  
 $\dot{Э}$  - экономия в сфере эксплуатации новых строительных конструкций за весь период их службы по сравнению с базовыми конструкциями;  
 $\dot{A}_2$  - годовой объем строительно-монтажных работ.