

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:

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

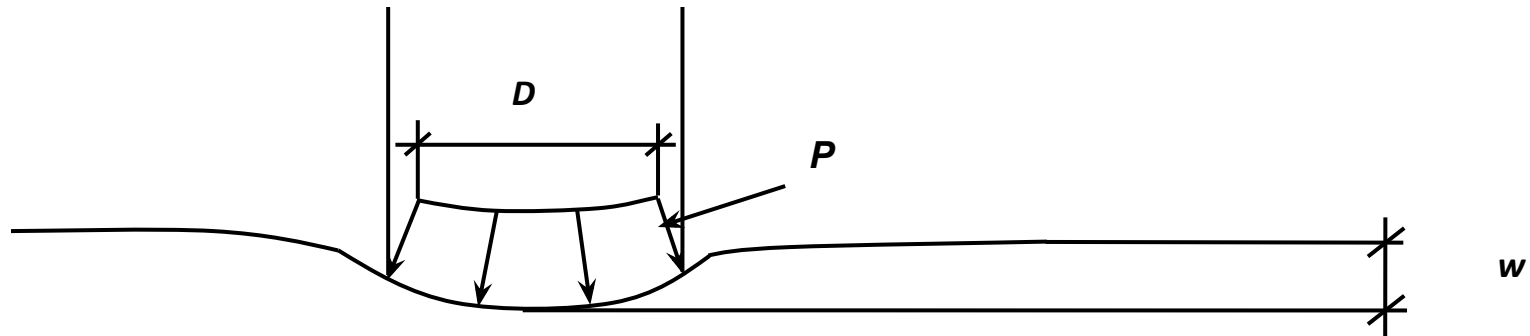


Рис. 3

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
ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ**

**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

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

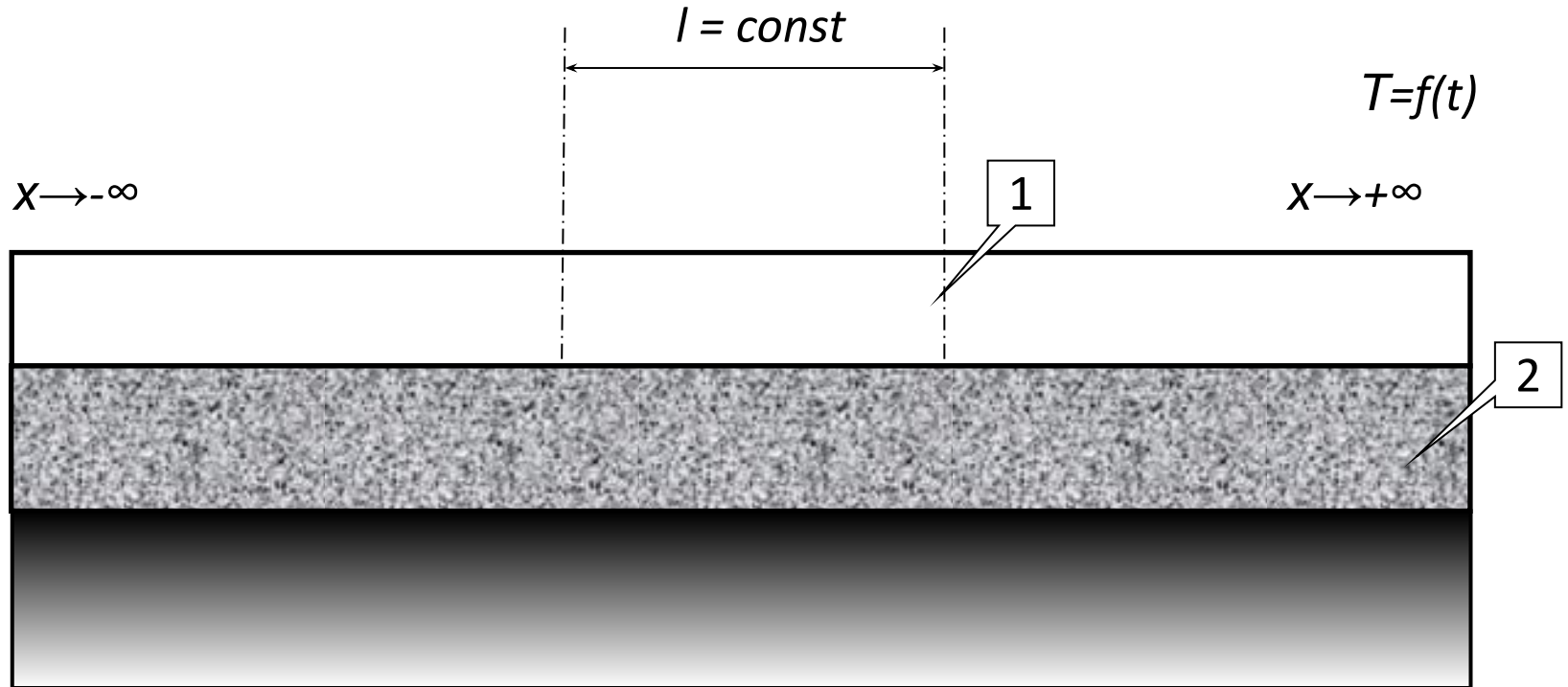
де $u_1 = Z\sqrt{\omega_1/2a}$; $u_2 = Z\sqrt{\omega_2/2a}$; $\omega = 2\pi/t_n$;

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

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**

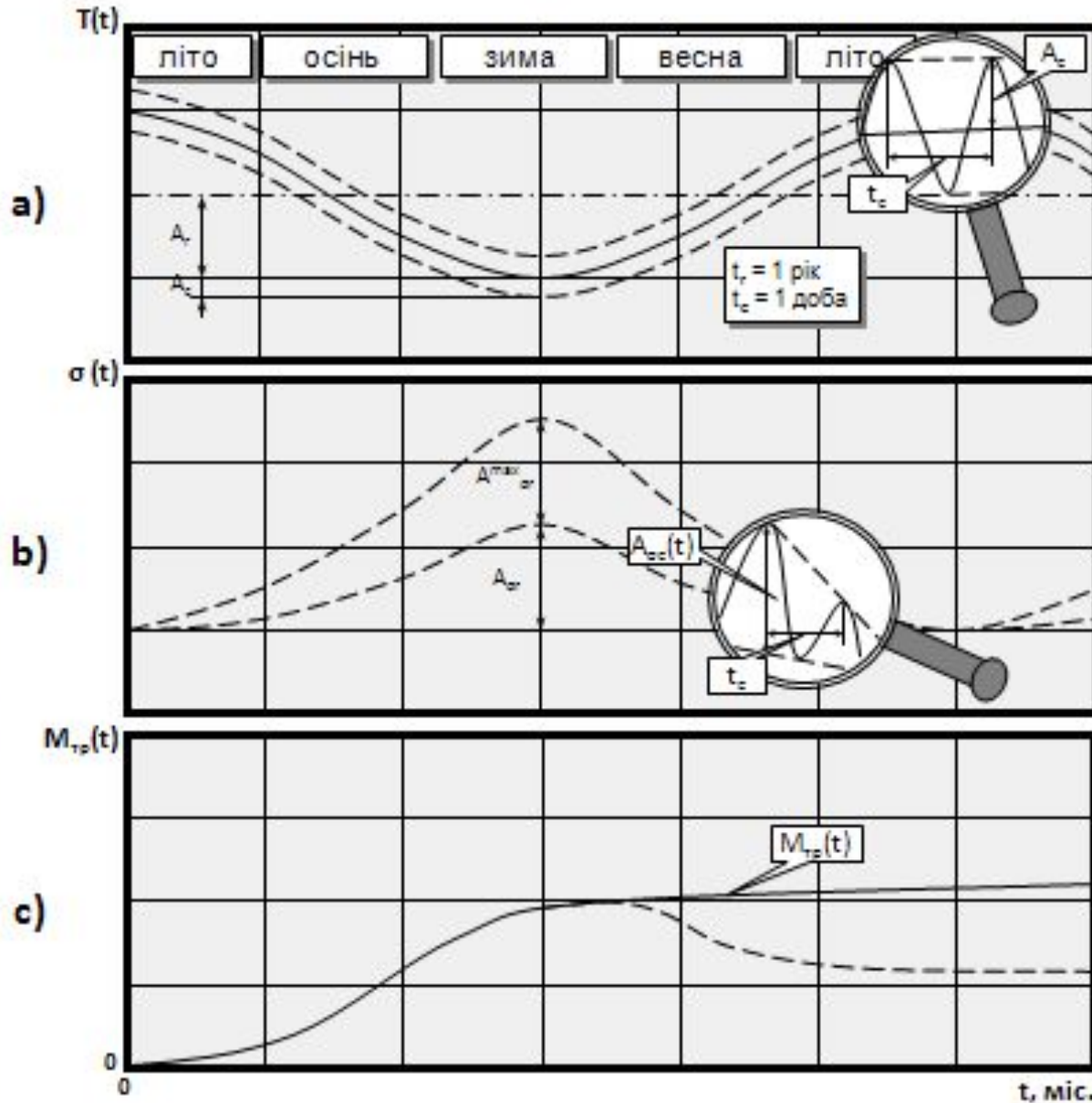
$$\bar{T}(t) = T_{cp} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \omega_p t + \bar{A}_{\ddot{a}}(h) \cdot \cos \omega_{\ddot{a}} t$$

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

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

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

СХЕМА ЗМІНИ МІРИ ПОШКОДЖЕНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ВІД ДІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ



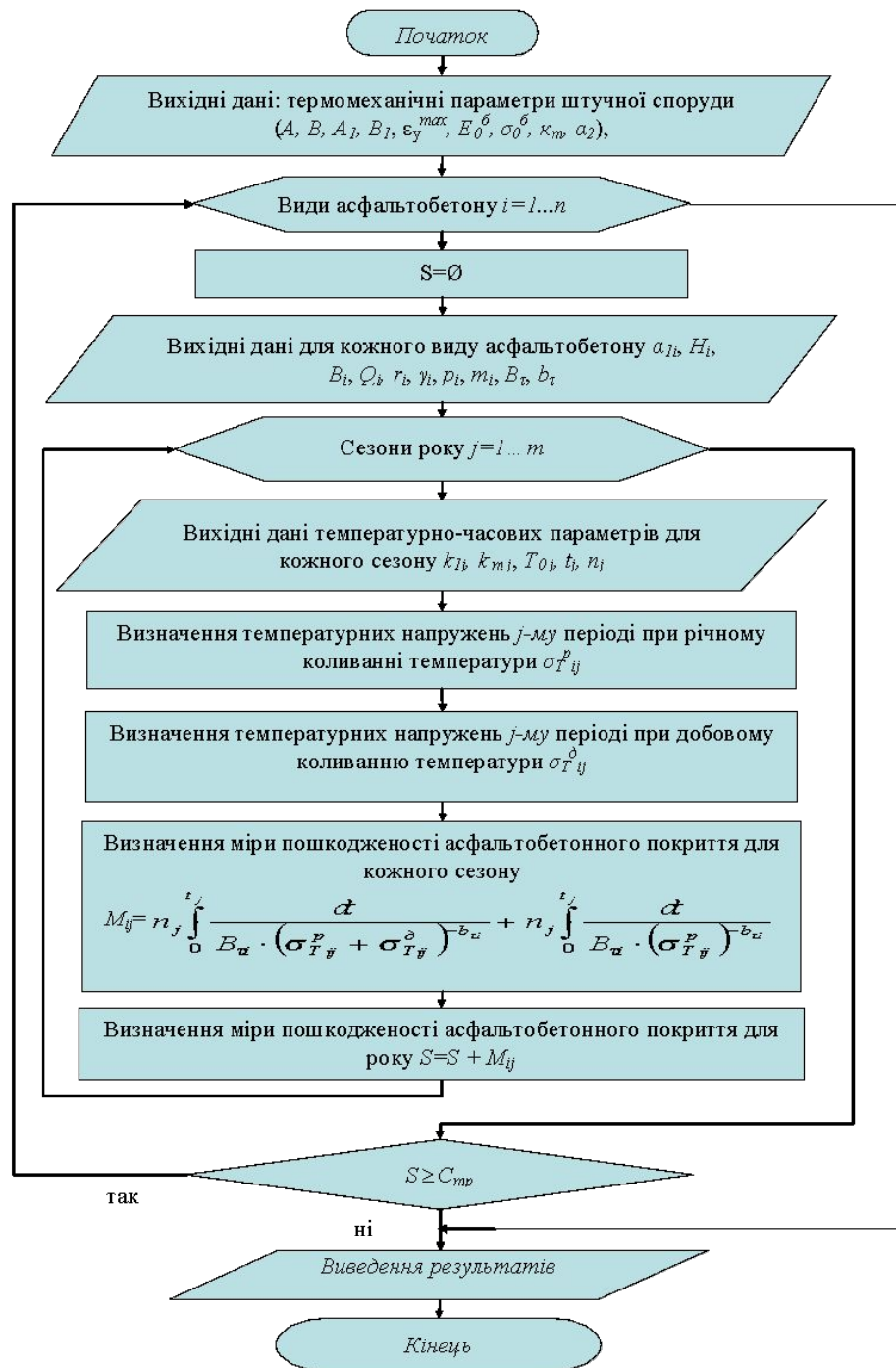
а) зміна амплітуди температури в часі;

б) зміна амплітуди температурних напружень в часі;

в) зміна тривалості лінійного зносу (заходів).

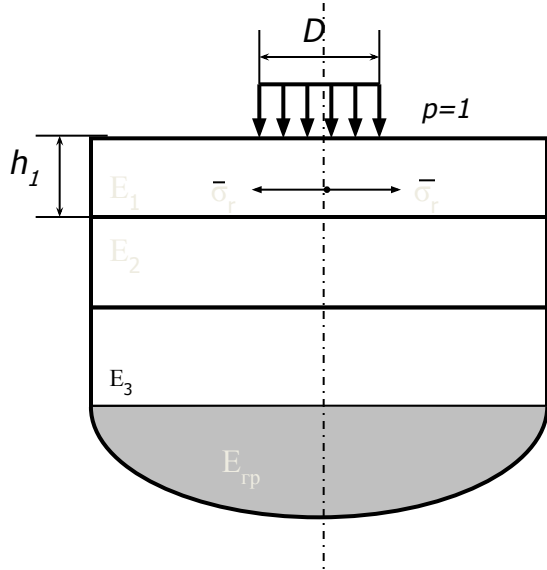
**Приклад розрахунку
асфальтобетонного покриття на
температурну тріщиностійкість**

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ТРИЩИННОСТІЙКІСТЬ

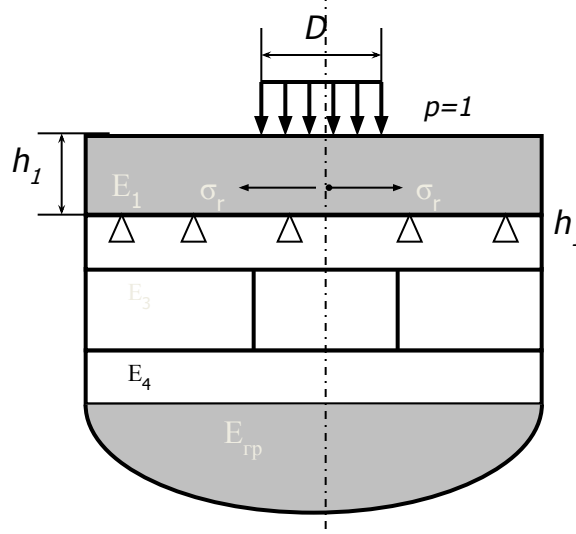


Існуючі положення методів розрахунку асфальтобетонного покриття на тріщиностійкість

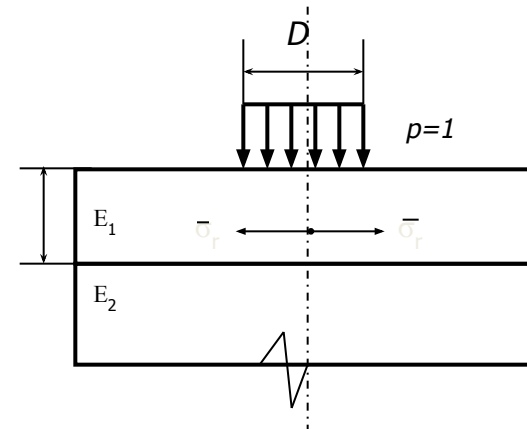
1. На нежорсткій основі



2. На жорсткій основі



3. На мостах та шляхопроводах

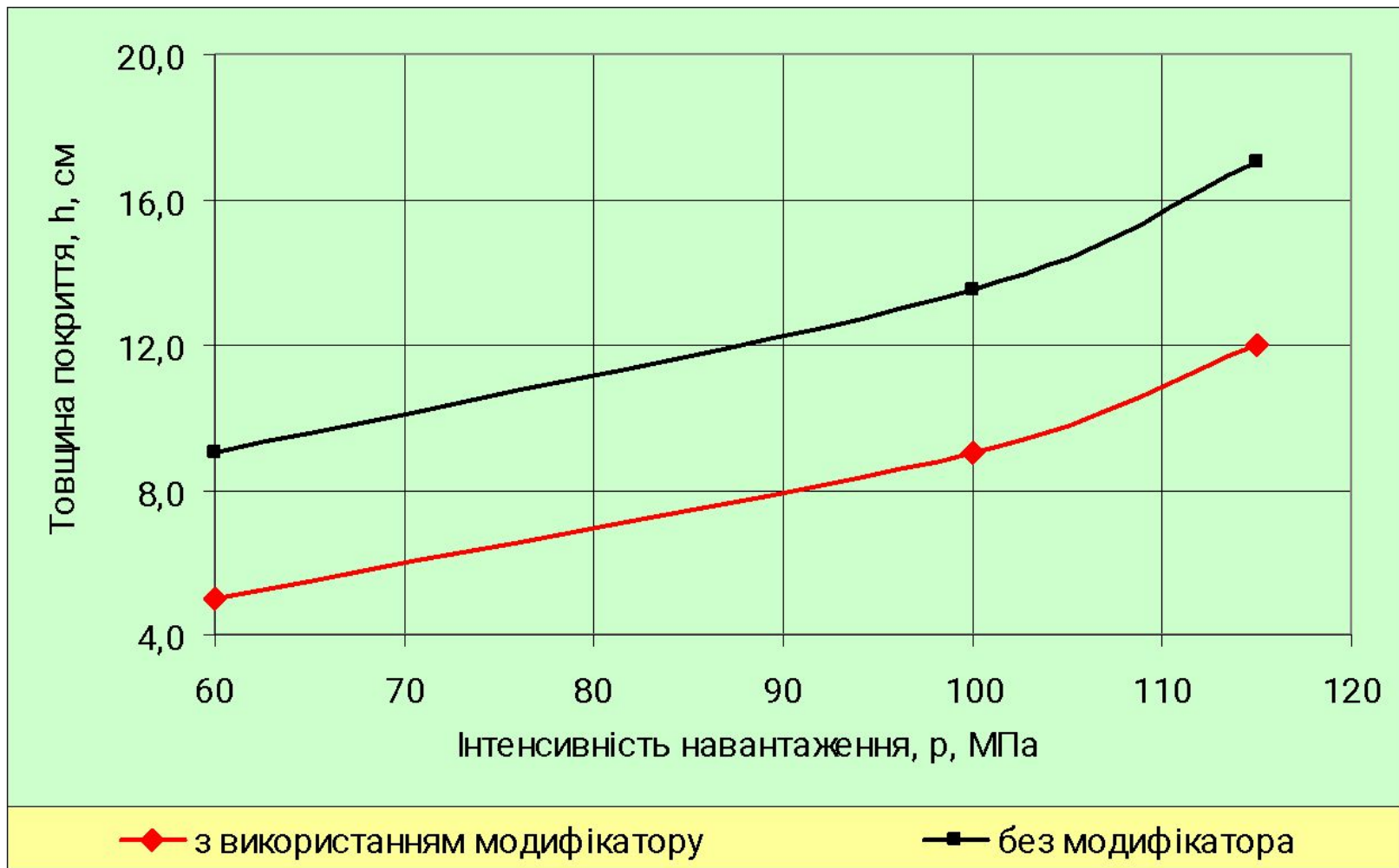


Умова граничного стану

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

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

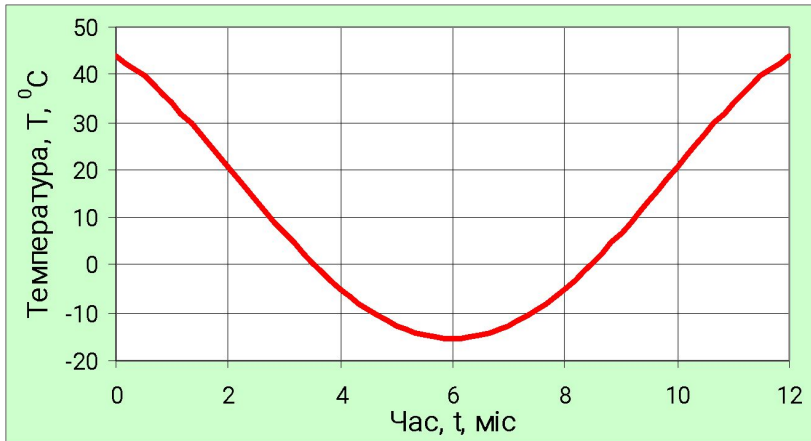
Залежність товщини асфальтобетонного покриття від навантаження на вісь



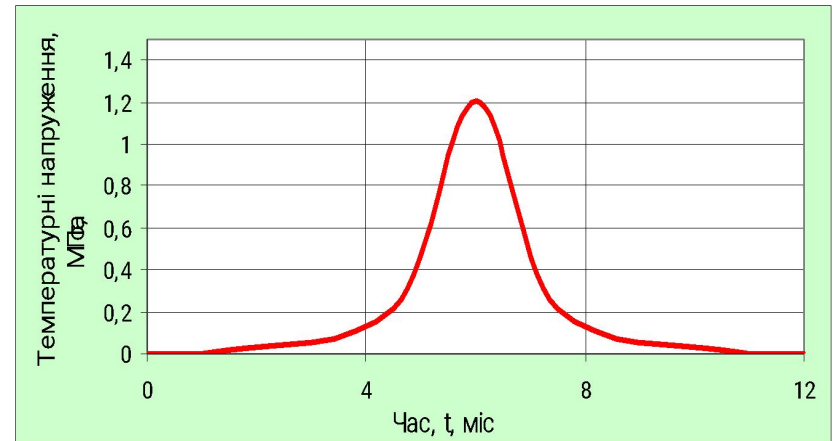
Результати визначення довговічності асфальтобетону

b_τ	B_τ	m	$R_{згн.л'}^*$ МПа	K_p	$K_{кп}$	K_m	\check{R} , МПа	K_y	K_m	t	u_R	$R_{p'}$ МПа	ΣN
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

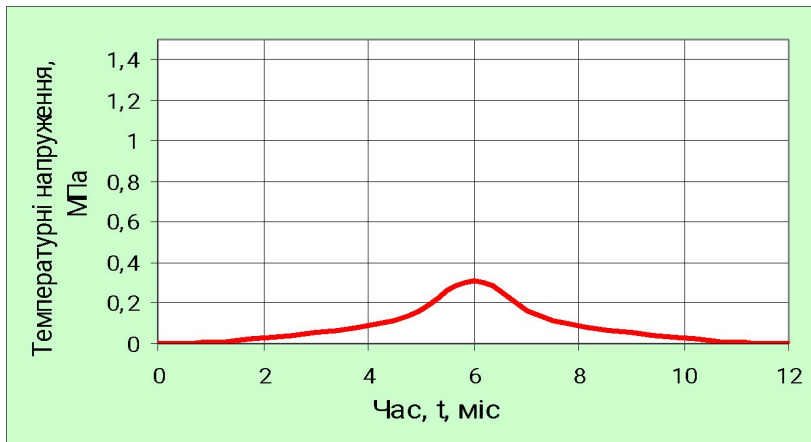
Числовий аналіз дослідження тріщиностійкості



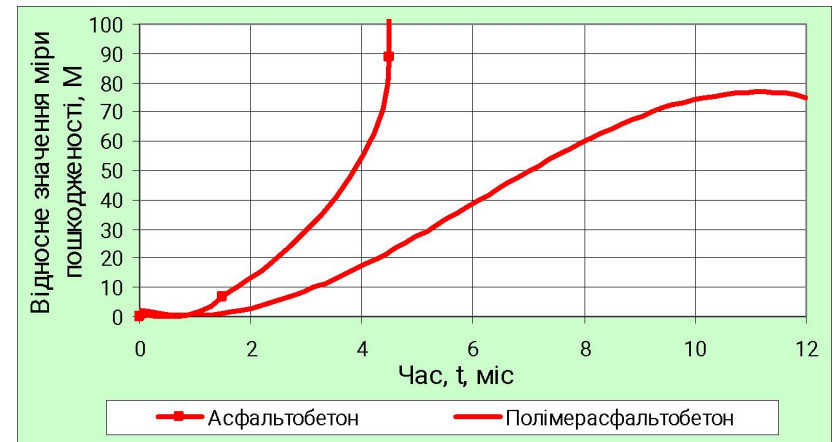
Середньодобові коливання температури на протязі року в асфальтобетонному покритті



Зміна температурних напружень в асфальтобетоні



Зміна температурних напружень в полімерасфальтобетоні



Міра пошкодженості в асфальтобетонному покритті на ПМП в м. Києва

Вихідні дані

$T_{\text{пмін}} := -30$ $T_{\text{пмак}} := 50$ -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

$A_{p0} := (T_{\text{пмак}} - T_{\text{пмін}}) \div 2$

$A_{p0} = 40$

$A_{g0} := -0.47 \cdot \phi + 32.43$

$A_{g0} = 13.63$

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_{мін}.. T_{мак}

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

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

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

$$\sigma_{Td}(t, Kd) =$$

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

$$\sigma_{Tp}(t, Kp) =$$

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

$$\sigma_{Tpp}(t, T, Kp, Ap) := \sigma_{Tp}(t, Kp) \cdot \phi \cdot Ap$$

$$\sigma_{Td}(t, Kd) \cdot \phi \cdot Ad$$

$$\sigma_d(t) := \sigma_{Td}(t, Kd) \cdot \phi \cdot Ad$$

$$\sigma_{Tpp}(t, T, Kp, Ap)$$

$$\sigma_d(t) =$$

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

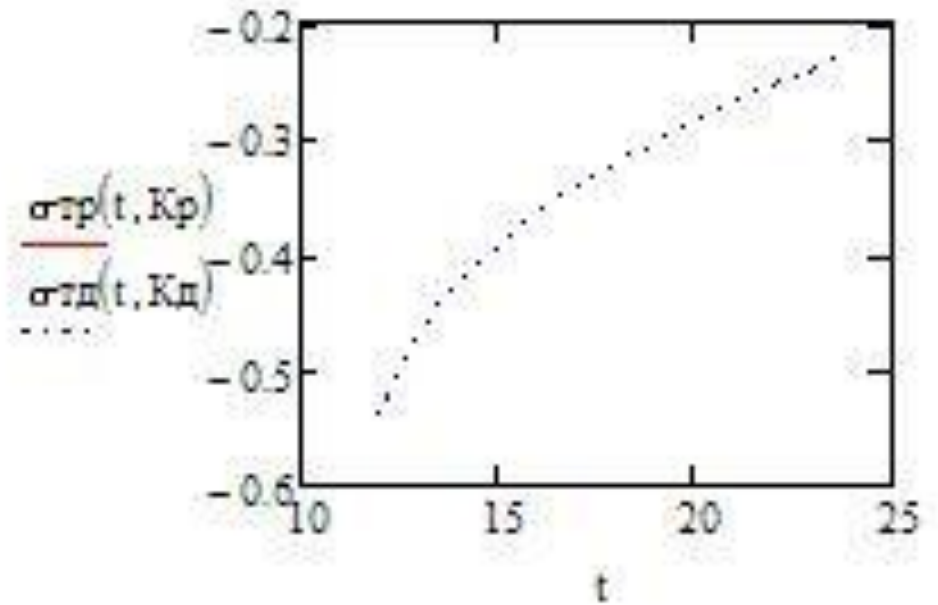
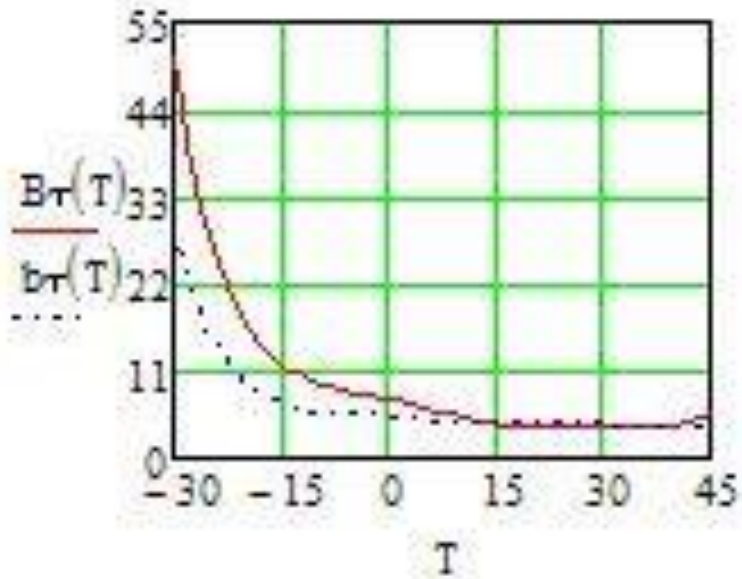
$$I_p(t) =$$

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

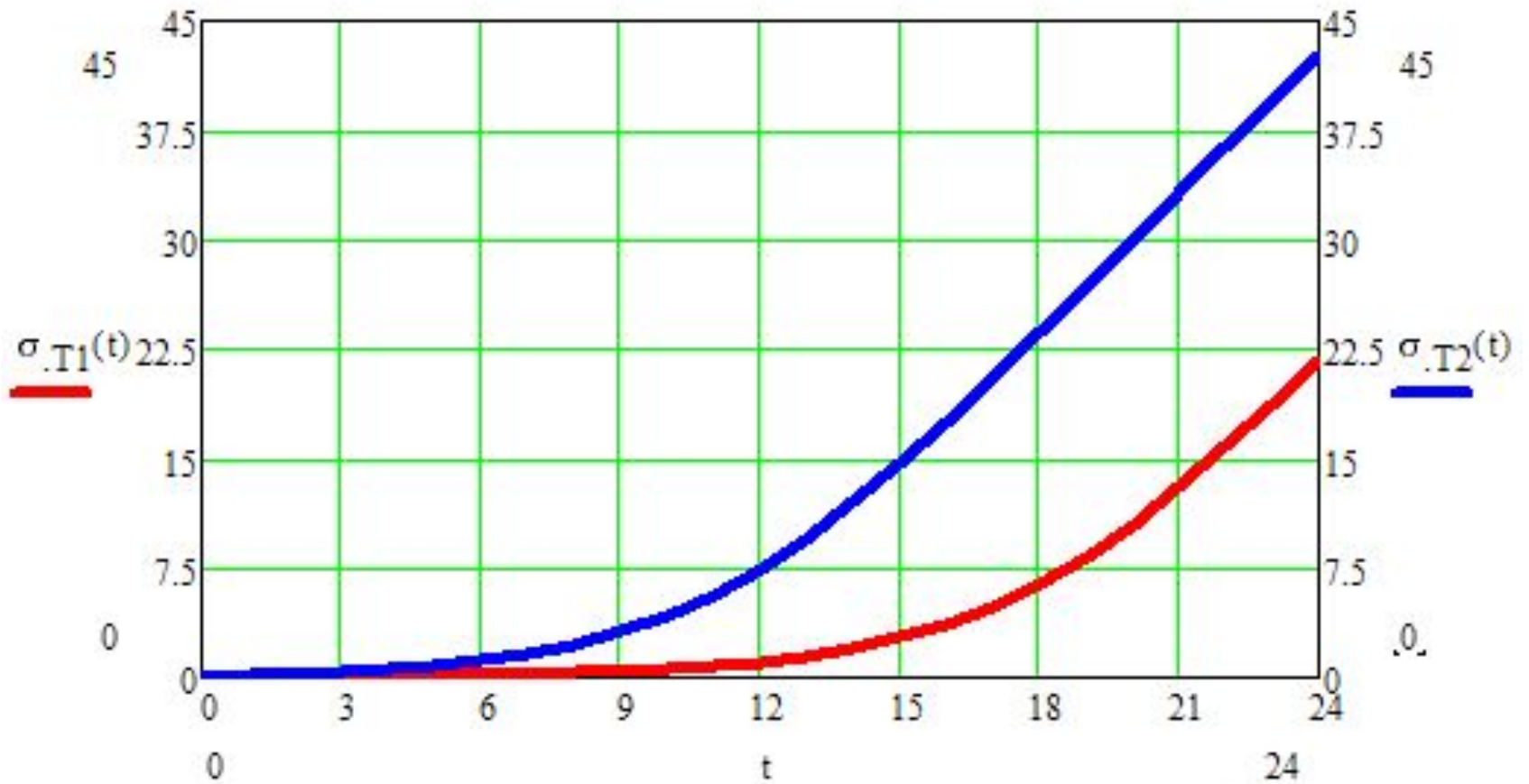
$$I_d(t) =$$

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

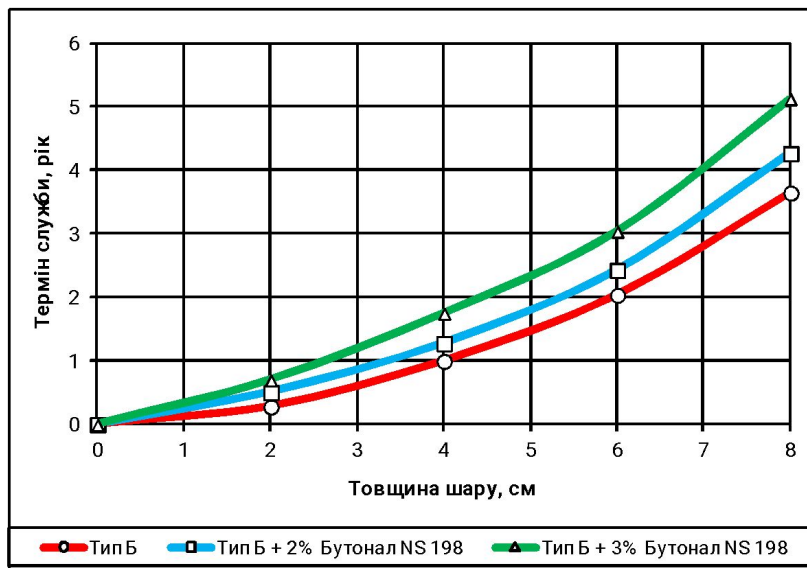
Результати розрахунку



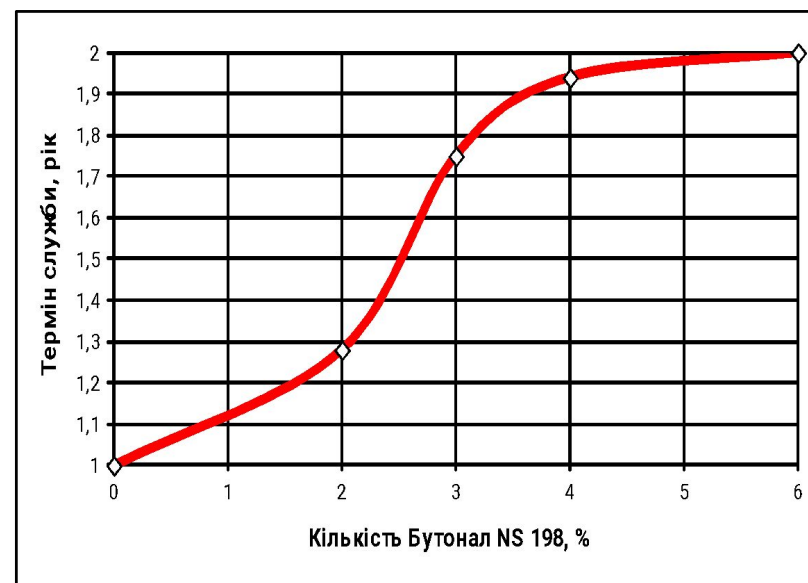
Результати розрахунку



Залежність терміну служби асфальтобетонного покриття від товщини



Залежність терміну служби асфальтобетонного покриття від кількості Бутоналу NS 198

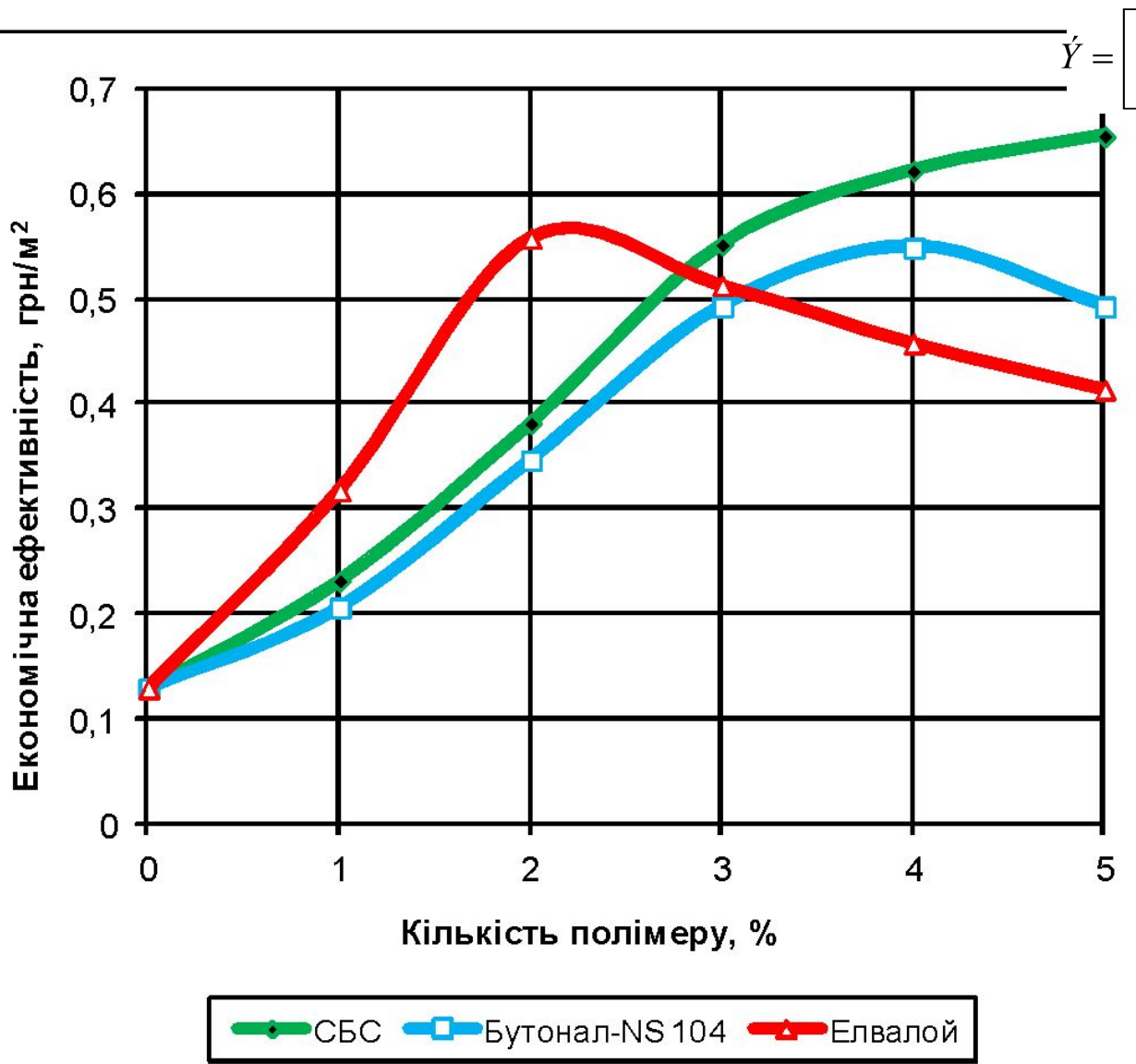


		Тип Б		
		літо	осінь	зима
Сезон		літо	осінь	зима
Температура °С		20	0	-10
Терморезологічні показники	Коефіцієнт температурного розширення, 1/град.°С	0,000023	0,000031	0,000032
	Е, МПа	32110	32200	32250
	Н, МПа	37	56	58
	г, год	2,78E-09	3,20E-09	3,70E-09
	m	0,283	0,35	0,43
	p, 1/град. С	0,429	0,443	0,443
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
	p, 1/град. С	0,32	0,37	0,37
	В, МПа	173	739	1751
Параметри довговічності	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
	p, 1/град. °С	0,292	0,32	0,32
	В, МПа	185	675	1844
Параметри довговічності	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.