

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ІСНУЮЧОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПРИ ПРИЗНАЧЕННІ ШАРІВ ПОСИЛЕННЯ

Міщенко М.Л.

ДерждорНДІ

У дорожньому господарстві України склалася тенденція, яка полягає в тому, що основним напрямом діяльності протягом наступних декількох десятиліть буде обслуговування, відновлення і посилення дорожнього одягу існуючої мережі доріг.

Для прийняття заходів з відновлення дорожнього одягу в першу чергу необхідно встановити несучу здатність, або так звану міцність дорожнього одягу. Враховуючи, що вартість дорожнього одягу становить від 50 до 80 % вартості реконструкції або капітального ремонту автомобільної дороги, то від того, наскільки точно буде визначена ця характеристика, залежатиме призначення посилення дорожньої конструкції, будуть заощаджені або марно витрачені значні кошти, отримана конструкція, що буде довго експлуатуватися без пошкоджень, або виникнуть передчасні її руйнування.

Технічна похибка визначення міцності дорожньої конструкції відомими методами не перевищує 1-5 %, але при приведенні результатів вимірювань до порівняного виду похибка може досягати значно більших розмірів (табл.1).

В табл. 1 наведені дуже однорідні показники, коефіцієнт варіації не перевищує 20 %, що обумовлено однорідністю ділянки за міцністю і дуже сприятливими умовами випробування. Виміряні пружні прогини склали від 0,36 мм до 0,56 мм, потім при перерахуванні зменшувались до (0,29–0,42) мм, а потім збільшувались до (0,48–0,84) мм. Звичайно, при вимірюванні пружного прогину зустрічається значно більша неоднорідність і коефіцієнти варіації модуля пружності на кілометрових ділянках досягають 40–45 %.

Визначення міцності існуючого дорожнього одягу регламентується двома нормативними документами: ГСТУ 218-02070915-102-2003 “Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи і засоби” і ВБН В.2.3-218-186-2004 “Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу”. Відповідно до цих документів міцність існуючого дорожнього одягу можна оцінювати методами статичного (штамп, прогиномір) і динамічного (ДИНА-3М, УДВО) навантаження навесні, при відтаванні ґрунтів земляного полотна, а також влітку і восени, коли температура покриття коливається в межах від 10 °С до 25 °С. Результати вимірювань повинні бути приведені до порівняного виду.

Основою цього положення є вимога отримання одного і того ж розрахункового модуля пружності на характерній ділянці автомобільної дороги різними приладами, в різні періоди року, при різних температурах.

Випробування, проведені на кільцевому стенді у 2004 році в одних і тих самих точках, не підтвердили цієї вимоги. Різними приладами були отримані різні модулі пружності (табл. 2).

Методи статичного навантаження є трудомісткими і потребують багато часу, тому останнім часом частіше застосовують методи динамічного навантаження.

При приведенні результатів вимірювання пружного прогину до розрахункового порівняного модуля пружності дорожньої конструкції згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004 [1] і ГСТУ 218-02070915-102-2003 [2] повинні бути вирішені такі задачі:

- приведення результатів динамічних вимірювань до статичних;
- приведення результатів до розрахункового періоду;
- приведення результатів до розрахункової температури +10 °С;
- врахування неоднорідності результатів вимірювань.

Таблиця 1 – Визначення модуля пружності дорожнього одягу на автомобільній дорозі Київ-Чоп, км 518 – км 519, за допомогою установки динамічного навантаження ДИНА-3М

№ пп	Місцезнаходження точки вимірювання		Середній пружний прогин, мм	Динамічний пружний прогин, мм (приведений до $t=+10\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Динамічний пружний прогин, мм (приведений до найгіршого стану земляного полотна) в розрах період	Статичний пружний прогин, мм	Статичний модуль пружності, МПа (по ВБН В.2.3-218-186-2004)
	км	+					
1	518	000	0,48	0,36	0,47	0,70	198
2	518	050	0,56	0,42	0,56	0,84	164
3	518	100	0,44	0,33	0,42	0,62	221
4	518	156	0,46	0,35	0,45	0,66	209
5	518	204	0,44	0,33	0,42	0,62	221
6	518	251	0,38	0,29	0,36	0,52	267
7	518	316	0,52	0,39	0,51	0,77	179
8	518	351	0,48	0,36	0,47	0,70	198
9	518	406	0,54	0,41	0,54	0,80	171
10	518	450	0,55	0,41	0,55	0,82	168
11	518	502	0,56	0,42	0,56	0,84	164
12	518	550	0,38	0,29	0,36	0,52	267
13	518	593	0,38	0,29	0,36	0,52	267
14	518	650	0,39	0,29	0,37	0,53	258

1	2	3	4	5	6	7	8
15	518	698	0,39	0,29	0,37	0,53	258
16	518	738	0,38	0,29	0,36	0,52	267
17	518	800	0,38	0,29	0,36	0,52	267
18	518	851	0,37	0,28	0,34	0,50	277
19	518	901	0,37	0,28	0,34	0,50	277
20	518	956	0,36	0,27	0,33	0,48	287
Середнє значення						0,63	
Середнє квадратичне відхилення						0,13	
Коефіцієнт варіації, %						20	
Розрахунковий пружний прогин, мм						0,85	
Розрахунковий модуль пружності на ділянці, МПа						162,00	

Таблиця 2 – Вимірювання модуля пружності на кільцевому стенді різними приладами за методикою ГСТУ 218-020070915-102-2003

№ точок на кільцевому стенді	Модуль пружності, виміряний за допомогою жорсткого штамп, МПа	Модуль пружності, виміряний за допомогою спареного колеса і прогиноміру ($Kq = 0,6$), МПа	Модуль пружності, виміряний за допомогою ДИНА-3М, МПа	Модуль пружності, виміряний за допомогою УДВО-3, МПа	Модуль пружності, виміряний за допомогою УДВ-4, МПа
1	303	555	540	123	198
2	88	168	172	123	179
3	52	47	80	152	141
4	60	67	69	208	208
5	122	270	176	223	191
6	300	264	202	124	183
7	113	336	253	124	213
8	122	284	172	250	199

В науково-технічній літературі відомі методи приведені результатів вимірювання модуля пружності, отриманого у незрахунковий період, до розрахункового періоду, наприклад, за допомогою формул Барбера [3], або за методикою ГСТУ 218-02070915-102-2003, але їх технічне виконання приводить до значних помилок.

Для обґрунтування методики визначення модуля пружності і приведення результатів до порівняного виду у 2007 р. ДерждорНДІ виконано відповідні дослідження на характерній ділянці автомобільної дороги IV категорії Васильків-Підгірці- під'їзд до с. В.Бугаївка.

Були використані три види обладнання – штамп з гідравлічним навантаженням, прогиномір з розрахунковим автомобілем МАЗ-503, установка динамічного навантаження ДИНА 3М.

На характерній ділянці довжиною 1 км були фарбою позначені точки з кроком 50 м, на яких здійснювали випробування пружного прогину.

Пружний прогин вимірювався в різні пори року (літо-осінь), при різній температурі покриття і вологості ґрунтів.

Товщина дорожнього одягу в цих точках визначалась за допомогою установки динамічного зондування, вологість ґрунту земляного полотна визначалась шляхом відбору проб свердлом, що приводилось в дію перфоратором. Температура вимірювалась контактним термометром у покритті на глибині 3–5 см згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186-2004.

По перше, була уточнена формула розрахунку модуля пружності, зокрема коефіцієнту передачі зусилля K_q . В діючій нормативній документації ВБН В.2.3-218-186-2004 та ГСТУ 218-02070915-102-2003 існують суперечності до призначення цього коефіцієнту.

У формулі М9 ВБН В.2.3-218-186-2004 $K_q = \frac{\pi}{4}$ для штампу і $K_q = 1,0$ для колеса, а в формулі М10 $K_q = 0,625$ для колеса. Теж саме відноситься до формули (7) ГСТУ 218-02070915-102-2003, де $K_q = 1,0$ для колеса, а у Додатку К при розрахунку $K_q = 0,6$. Такі суперечності спостерігалися і у попередніх нормативних документах по визначенні модуля пружності, зокрема, у ВСН-46-72 $K_q = 1,0$ для штамп і колеса. У ВСН 46-83 вказується, що для колеса $K_q \approx 0,6$, а для штамп $K_q = \frac{\pi}{4}$.

Проведені експериментальні дослідження (табл. 3) підтвердили відповідність формули М10 ВБН В.2.3-218-186-2004 і формул ВСН 46-83, що було ураховано при подальших розрахунках. Середнє значення відношення пружного прогину, виміряного прогиноміром під спареним колесом розрахункового автомобіля до пружного прогину, виміряного штампом, складає 0,78, що відповідає відношенню $\frac{0,625}{\pi/4} = 0,796$. По ВСН 46-83 це відношення складає 0,764.

Таблиця 3 – Залежність пружного прогину на контрольних точках при різних видах навантаження – динамічного (ДИНА 3М) і статичного – штамп, прогиномір

№ пп	Пружний прогин, мм, виміряний за допомогою			lk/lu	ld/lk
	Установки ДИНА-3М, l _д	МАЗ-500, прогиномір, l _к	Штамп l _ш		
1	0,63	0,75	0,90	0,83	0,84
2	0,59	0,63	0,97	0,65	0,94
3	0,72	0,78	1,08	0,72	0,92
4	1,00	0,80	1,11	0,72	1,25
5	0,68	0,68	0,94	0,72	1,00

№ пп	Пружний прогин, мм, виміряний за допомогою			lk/lu	ld/lc
	Установки ДИНА-3М, l _д	МАЗ-500, прогиномір, l _к	Штамп l _ш		
6	0,90	0,99	0,98	1,01	0,91
7	0,86	0,87	1,03	0,84	0,99
8	0,76	0,85	1,05	0,80	0,89
9	0,58	0,61	0,80	0,76	0,95
10	0,90	1,11	1,29	0,86	0,81
11	0,65	0,72	1,05	0,69	0,90
12	0,66	0,80	0,98	0,82	0,83
13	0,64	0,68	0,98	0,69	0,94
14	0,84	0,88	1,03	0,85	0,95
15	0,91	1,04	1,26	0,83	0,88
16	1,00	0,95	1,09	0,87	1,05
17	0,83	0,86	1,04	0,83	0,97
18	0,71	0,68	0,98	0,69	1,04
19	0,95	1,02	1,26	0,81	0,93
20	1,01	1,02	1,12	0,91	1,00
Середнє значення				0,78	0,999

На значення виміряного модуля пружності дорожньої конструкції характерної ділянки впливає ціла низка факторів: температура покриття, вологість ґрунтів земляного полотна, термін дії і швидкість навантаження, розподіл пружного прогину по точках вимірювання, тому при приведенні результатів вимірювання до порівняного виду використовувався принцип поділу конструкції на окремі елементи, для яких вплив цих факторів мінімальний. Температура практично не впливає на пружно – деформативні характеристики шарів, що не містять органічні в'язучі, вологість переважно впливає тільки на ґрунти земляного полотна, до динамічних навантажень дуже чутливі шари з зернистих матеріалів.

В ДерждорНДІ розроблена методика приведення результатів вимірювання модуля пружності (пружного прогину) до розрахункового періоду.

Методика перерахунку зводиться до того, що за відомими фактичним модулем пружності дорожньої конструкції $E_{\text{заг.ф}}$, фактичним модулем пружності земляного полотна $E_{\text{гр.ф}}$, товщиною дорожнього одягу $h_{\text{д.о}}$, визначається модуль пружності дорожнього одягу $E_{\text{д.о}}$. Значення загального модуля пружності дорожньої конструкції у розрахунковий період $E_{\text{заг.р}}$ визначали, як загальний модуль пружності двошарової конструкції, верхній шар якої має модуль пружності дорожнього одягу $E_{\text{д.о}}$, а нижній шар – значення модуля пружності ґрунту у розрахунковий період $E_{\text{гр.р}}$.

Фактичний модуль пружності ґрунту земляного полотна $E_{\text{гр.ф}}$ і модуль пружності ґрунту у розрахунковий період $E_{\text{гр.р}}$ визначались за таблицею Д7 Додатку Д ВБН В.2.3-218-186 .

Результати перерахунку модуля пружності наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Приведення результатів визначення модуля пружності до розрахункового періоду на автомобільній дорозі IV категорії Васильків-Підгірці-під їзд до с. В.Бугайка.

№ п	Вимірний пружності прогин, мм	Вимірний пружності температура 100С за ВБН В.2.3-218-186, мм	Вологість ґрунту, відсоток в точці вмірювання пружного прогину за методом всесрєдновання, W, %	Загальний фактичний модуль пружності Еі заг.ф, МПа	Відносна вологість ґрунту W/W _L доли одниту	Фактичний модуль пружності ґрунту у Еі зр.ф., МПа	Розрахунковий модуль пружності ґрунту, Е і зр.р., МПа	Модуль пружності дорозного одягу Е д.о., МПа	Загальний розрахунковий модуль пружності Е і заг.р, МПа
1	0,65	0,47	10,1	293	0,51	108	75	400	260
2	0,52	0,36	7,7	383	0,39	108	75	900	315
3	0,64	0,43	14,4	321	0,72	75	75	-	321
4	0,90	0,64	11,7	215	0,59	104	75	452	171
5	0,56	0,41	9,3	336	0,47	108	75	832	233
6	0,81	0,60	13,3	230	0,67	92	75	525	231
7	0,80	0,59	12,8	234	0,64	102	75	453	194
8	0,60	0,43	11,9	321	0,60	104	75	495	282
9	0,55	0,37	12,5	373	0,63	102	120	-	373
10	0,73	0,50	12,1	276	0,61	100	75	434	247
11	0,56	0,38	10,7	363	0,54	108	75	675	290
12	0,55	0,37	13,9	373	0,70	79	75	877	359
13	0,58	0,39	13,1	354	0,66	96	75	738	302
14	0,71	0,48	11,3	287	0,57	106	75	558	262
15	0,73	0,50	12,7	276	0,64	102	75	453	249
16	0,95	0,71	14,6	194	0,73	73	75	-	194
17	0,70	0,48	12,4	287	0,62	102	75	408	273
18	0,65	0,45	10,6	306	0,53	108	120	-	306
19	0,88	0,61	11,2	226	0,56	108	75	385	193
20	0,93	0,67	12,2	206	0,61	103	75	317	181
Середнє значення				293					
Середнє квадратичне відхилення				60					
Розрахунковий модуль пружності, МПа				203					

Обробку результатів здійснювали за методикою ГСТУ 218-020070915-102-2003, Додаток К, як до вимірюваного модуля пружності.

$$E_{\phi} = \frac{100 \cdot n}{R + t_{\beta} \sqrt{nM - R^2}} = \frac{100 \cdot 20}{8,02 + 1,72 \sqrt{20 \cdot 3,38 - 8,02^2}} = 178 \text{ МПа} .$$

Таблиця 5 – Залежність пружного прогину від температури покриття, вимірюного за допомогою установки ДІНА-3М на а/д Васильків-Підгірці – під їзд до н.с.В.Бугайівка

№ п/п	Температура покриття					Пружній прогин, з 6 вимірів, мм, приведений до $t = 10^{\circ}\text{C}$ згідно з ВБН В.2.3-218-186	Конструкція дорожнього одягу				
	$t = 40^{\circ}\text{C}$		$t = 36^{\circ}\text{C}$		$t = 26^{\circ}\text{C}$			$t = 10^{\circ}\text{C}$			
	Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм	Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм	Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм	Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм	Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм			Пружній прогин, середнє з 6 вимірів, мм			
1	0,63	0,65	0,65	0,65	0,65	0,50	а/б – 7 см, Ш-11 см, П-50 см				
2	0,59	0,57	0,57	0,52	0,52	0,39	а/б – 8 см, Ш-14 см, П-15 см.				
3	0,72	0,69	0,69	0,64	0,64	0,56	а/б – 11 см, Ш-11 см, П- 26 см				
4	1,00	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	а/б – 8 см, Ш- 8 см, П- 9 см				
5	0,68	0,60	0,60	0,56	0,56	0,43	а/б – 6 см, Ш-22 см, П- 6см				
6	0,90	0,84	0,84	0,81	0,81	0,69	а/б – 6 см, Ш-12 см, П- 11см				
7	0,86	0,77	0,77	0,80	0,80	0,66	а/б – 6 см, Ш-14 см, П- 10 см				
8	0,76	0,63	0,63	0,60	0,60	0,41	а/б – 7 см, Ш-20 см, П- 33 см				
9	0,58	0,54	0,54	0,55	0,55	0,40	а/б – 10 см, Ш-15 см, П->75 см				
10	0,90	0,81	0,81	0,73	0,73	0,67	а/б – 10 см, Ш-21 см, П- 21 см				
11	0,65	0,59	0,59	0,56	0,56	0,41	а/б – 10 см, Ш-13 см, П-22 см				
12	0,66	0,59	0,59	0,55	0,55	0,39	а/б – 10 см, Ш-13 см, П-25 см				
13	0,64	0,60	0,60	0,58	0,58	0,43	а/б – 11 см, Ш-12 см, П-22 см				
14	0,84	0,72	0,72	0,71	0,71	0,47	а/б – 11 см, Ш-10 см, П-20 см				
15	0,91	0,78	0,78	0,73	0,73	0,54	а/б – 9 см, Ш-18 см, П-20 см				
16	1,00	0,91	0,91	0,95	0,95	0,83	а/б – 5 см, Ш-17 см, П-15 см				
17	0,83	0,75	0,75	0,70	0,70	0,51	а/б – 10 см, Ш-12 см, П-51 см				
18	0,71	0,62	0,62	0,65	0,65	0,51	а/б – 9 см, Ш-12 см, П->70см				
19	0,95	0,83	0,83	0,88	0,88	0,68	а/б – 9 см, Ш-21 см, П-5 см				
20	1,01	0,91	0,91	0,93	0,93	0,94	а/б – 7 см, Ш-18 см, П-10 см				
Серед.знач.пружного прогину							0,79	0,72	0,70	0,57	0,49
Середн. квадратичн. відхилення							0,15	0,12	0,14	0,17	0,11
Розрахунк. пружній прогин, мм							1,04	0,93	0,94	0,86	0,68
Розрахунк. модуль пружності, МПа							132	148	147	160	203

Вимірювання загального модуля пружності дорожньої конструкції і фактичної вологості ґрунту були виконані 23 серпня 2007 р. Для перевірки сходимості результатів аналогічні вимірювання були виконані на цій же ділянці, в тих самих точках 10 жовтня 2007 р., і було отримано загальний розрахунковий модуль пружності 181 МПа, тобто відносна похибка не перевищувала 1,7 %.

Залежності пружного прогину від температури (табл. 5) не підтвердили залежність, наведену на рис. Н1 ВБН В.2.3-218-186, але ці дані неоднозначні і потребують подальших досліджень.

Висновки

1. У ДерждорНДІ розроблена методика приведення результатів вимірювання модуля пружності до розрахункового періоду, з достатньою схожимістю результатів.
2. В результаті цих досліджень уточнена формула розрахунку модуля пружності, зокрема значення коефіцієнту передачі навантажень, K_q .
3. Залежності пружного прогину від температури не підтверджують значень, приведених на рис.1 ВБН В.2.3-218-186 і в цьому напрямку потрібні подальші дослідження.

Література

1. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
2. ГСТУ 218-02070915-102-2003 Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи і засоби.
3. М.С. Коганзон, А.А. Аблакумов, Обоснование возможности оценки прочности нежестких дорожных одежд в нерасчетный период. Сб. Обоснование параметров дорожных конструкций в сложных природных условиях, г. Омск, 1984, с. 32-38.