

ПРОЕКТУВАННЯ ДОРОЖНИХ НАГРІВНИХ ПОКРИТТІВ

Піскунов В.Г., доктор технічних наук
Володько О.В.

Постановка проблеми. Важливою задачею безпечних умов експлуатації автомобільних доріг в зимовий період є боротьба зі снігозаметами, ожеледицею та слизькістю на поверхні їх покриттів. Альтернативою існуючим механічному способу боротьби зі снігозаметами, фрикційному, хімічному та комбінованому способам запобігання ожеледиці та слизькості на поверхні дорожнього покриття є тепловий спосіб, зокрема, використання нагрівних покриттів. Відомі на сьогоднішній день нагрівні конструкції покриттів досить складні, мають низку технічних та економічних недоліків. Методики їх розрахунку практично не висвітлені, норми та класифікації – відсутні. Поряд з цим, набуває перспективи розробка композиційних резистивних матеріалів – фіброелектробетонів, які можуть створити основу для розв'язання вказаної задачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У типових рішеннях нагрівного покриття доріг [1] застосовуються трубні системи подачі теплоносія (рис. 1), протиожеледні системи із застосуванням дискретних нагрівних елементів у вигляді дроту, арматури, броньованих кабелів (рис. 2).

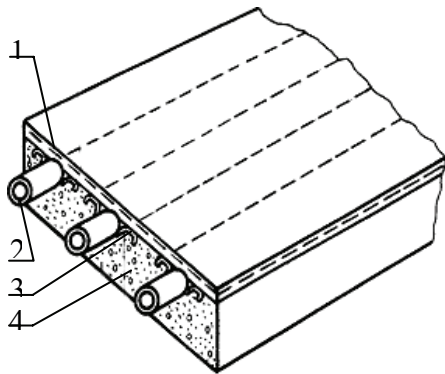


Рисунок 1 – Покриття з трубною системою подачі теплоносія:
1 – біметалевий лист;
2 – труби оцинковані;
3 – закладні елементи;
4 – металізована основа

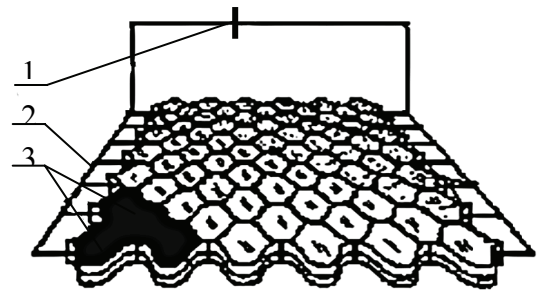


Рисунок 2 – Протиожеледне дорожнє покриття:
1 – джерело живлення;
2 – нагрівні металеві елементи;
3 – непровідна сітчаста структура, заповнена піском або щебенем

Вказані конструкції досить складні за технологією монтажу. Окрім того, в них використовуються металеві елементи, які з часом руйнуються від корозії.

Поряд з тим набуває перспективи використання нагрівних елементів з резистивних композитних матеріалів – фіброелектробетонів [2] на основі неорганічних в'язучих та фібр із хімічних електропровідних волокон (ХЕВ), які володіють достатньою механічною міцністю, тріщиностійкістю, гідроізолюючими властивостями, електропровідністю та теплостійкістю, стійкістю до дії різноманітних реагентів при температурі до 300 °С, протистоять термоокислювальним процесам при нагріванні композиції.

Використання відомих композитів з ХЕВ для виготовлення нагрівальних елементів, що тривалий час працюють у циклічному режимі навантаження при температурі більше 100°C, призводить до зниження механічної міцності, нестабільності електричних характеристик [3]. Існуючі технічні рішення конструкцій з використанням дискретних елементів із таких фіброелектробетонів (рис. 3) складні за технологією будівництва, методика їх розрахунку не висвітлена [4].

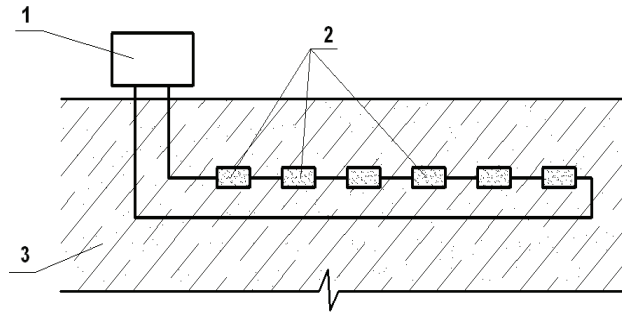


Рисунок 3 – Цементобетонне покриття з дискретними резистивними елементами:

- 1 – джерело живлення;
- 2 – нагрівні резистивні елементи;
- 3 – цементобетонне покриття

Сучасне транспортне будівництво із збільшенням навантажень потребує розробки ефективних конструкцій дорожнього та аеродромного нагрівних покриттів з покращеними, у порівнянні з відомими системами, технологічними та технічними властивостями за рахунок впровадження нових матеріалів. В якості таких перспективних матеріалів доцільне використання резистивних матеріалів – фіброелектробетонів з характеристиками, які б дозволили використання їх в конструкції як монолітний нагрівний шар.

Виклад основного матеріалу. Завдяки використанню запроєктованого фіброелектробетону [3], шар якого створює нагрів, виникає можливість конструювання нагрівного покриття як складової частини загальної багатошарової системи, у якій монолітний нагрівний шар поєднаний з шарами типового дорожнього або аеродромного покриттів [4]. Загальне конструктивне рішення запроєктованих нагрівних покриттів наведено на рис. 4.

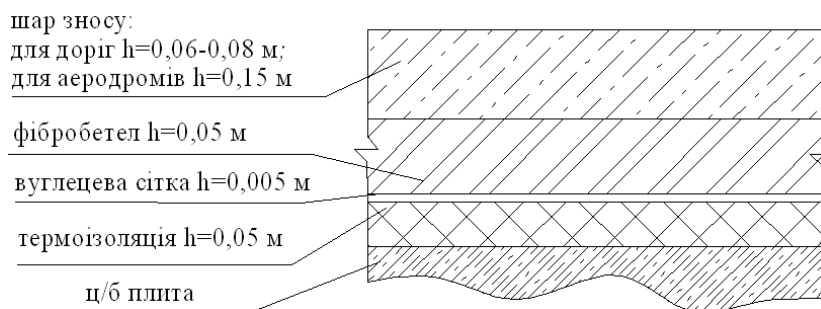
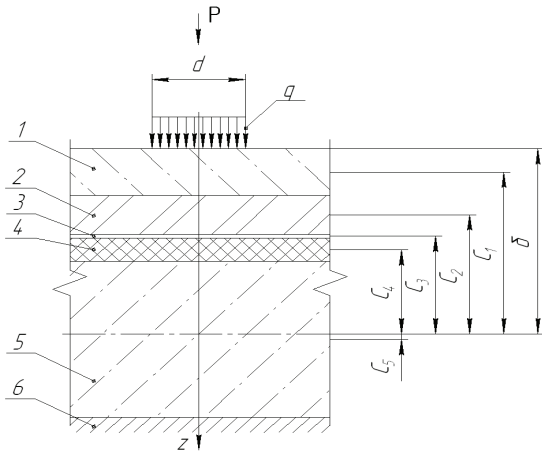


Рисунок 4 – Конструктивне рішення нагрівного покриття

Нагрівний шар «фібробетелу» під дією теплового потоку, що створюється електричним струмом, розігрівається та нагріває поверхневий шар зносу покриття. Електричний струм підводиться на вуглецеву електропровідну сітку, яка підстилає шар фібробетелу. Під сіткою для ізоляції від нагріву основної несучої конструкції покриття розташований шар термоізоляції – гранульоване піноскло "Пеноситал" (ТУ 5914-001-73893595-2005). Регулюючи силу струму тепловий потік, отримують додатну температуру, достатню для досягнення ефекту, що прогнозується – танення снігу та льоду на поверхні покриття. В якості шару зносу для дорожнього покриття пропонується шар щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) товщиною $h = 0,06-0,08$ м.) з маркою бітуму БМП 60/90-52. Для забезпечення стійкості конструкцій до деформацій зсуву і зчеплення шару фіброелектробетону, який має цементобетонну матрицю, з бітумом використовується ґрунтовка поверхні шару «фібробетелу» епоксидною смолою (Sikafloor-161 VP), в яку втоплюється дрібний щебінь фракціями 3-7 мм витратою 700 гр/м^2 та пропитується бітумо-латексною емульсією (Sikastic-825).

Вирішена тепла задача запроєктованих покриттів розв'язанням рівняння теплопровідності [5], яка дозволила визначити залежність температур нагрівної системи від теплового потоку, який подається на електропровідну сітку і встановити можливість забезпечення на поверхні покриття додатної температури від $+2,2 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+11 \text{ }^\circ\text{C}$ при температурі зовнішнього середовища $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Надалі розглянуто напружено-деформований стан конструкції дорожнього нагрівного одягу [6]. Розрахунки виконано виходячи з уявлення щодо дорожнього одягу як плити нескінченних розмірів під круговим штампом, який моделює дію колеса транспортного засобу. Розглянута модельна задача розрахунку багат шарового дорожнього одягу, конструкція якого наведена на рис. 5. При заданих діаметрі штампа ($d=0,30$ м) та інтенсивності навантаження ($q=0,8$ МПа) його рівнодіюча складає $P=0,0633$ МН.



- 1 – щебенево-мастиковий асфальтобетон, $h_1=0,06$ м, $E_1=2000$ МПа, $\nu_1=0,25$;
- 2 – фібробетон, $h_2=0,05$ м, $E_2=2100$ МПа, $\nu_2=0,25$;
- 3 – сітка з вуглецевих волокон, $h_3=0,005$ м, $E_3=2000$ МПа, $\nu_3=0,25$;
- 4 – термоізоляція, $h_4=0,05$ м, $E_4=1140$ МПа, $\nu_4=0,25$;
- 5 – ц/б плита, $h_5=0,24$ м, $E_5=2 \cdot 10^4$ МПа, $\nu_5=0,15$;
- 6 – пружна основа, $E_0=150$ МПа, $\nu_0=0,2$

Рисунок 5 – Конструкція дорожнього одягу з нагрівним покриттям

Аналіз застосування відомих методів дає змогу певного об'єднання методів розрахунку багат шарових та одношарових плит для створення ефективного підходу до визначення напружено-деформованого стану конструкцій запропонованого типу. Надалі виконано об'єднання розглянутого методу з точним методом О.Я. Шехтер для розрахунку одношарових плит, в якому для основи використовується модель пружного однорідного півпростору, тобто проведено модифікацію цього методу для розрахунку багат шарових плит [7].

Для підтвердження достовірності результатів розрахунку розглянутої модельної задачі в таблиці наведено розрахункові дані моментів та напружень, отримані рядом нескорельованих методів (табл.). Значення максимальних напружень на нижній поверхні плити, розраховані за всіма застосованими методами, підтверджують в межах потреб точності практичних розрахунків їх фактичну достовірність.

Таблиця – Результати розрахунків модельної задачі

Дані	Методи розрахунку						
	Модифікований	Вестергарда	Тимошенка	Іванова-Меднікова	Вінокурової	МСР	Метод Марчука
M , МН	0,01273	0,01258	0,0123	0,0108	0,01214	0,0168	0,0117
σ_{\max} , МПа	0,910	0,900	0,876	0,848	0,865	1,207	0,855

Оцінка міцності конструкції виконана узагальнено за критерієм Кулона-Мора за напруженнями, які виникають у підшві багат шарової плити. Для оцінки прийняті найбільші нормальні напруження розтягу з поданих вище результатів та контактні напруження тиску на основу. Перевірена також умова міцності на зсув. Міцність конструкції забезпечена.

На основі розрахункової схеми методу скінченних різниць із застосуванням аналітичної методики Вінокурової розв'язана задача оцінки напруженого стану плити за межами її центру. При розрахункових моментах отримані значення напружень вздовж осі Ox для точок в вузлах сітки $i=1,2,3 \dots 9$. На певній відстані від центру плити з'являються від'ємні моменти та відбувається зміна знаків напружень на поверхнях плити. Враховуючи, що додатні напруження в верхніх шарах

конструкції незначні у порівнянні з розрахунковими опорами матеріалів цих шарів, можна вважати, що міцність конструкції в цілому забезпечена.

За результатами розрахунків нагрівного дорожнього та аеродромного покриттів розроблено програмний продукт для визначення їх термонапруженого стану [8]. За його допомогою виконано дослідження запроєктованої аеродромної конструкції на Вінклеровій основі з різними коефіцієнтами постелі [9].

Висновок. Отримані наукові результати, підтверджені трьома патентами та свідоцтвом, служать основою для впровадження результатів досліджень в діяльність проектних, будівельних та експлуатаційних організацій дорожньо-транспортної галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Володько О.В.* Нагрівні покриття для безпечного зимового утримання автомобільних доріг / *О.В. Володько* : Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 21. – С. 261-265.

2. *Піскунов В.Г., Володько О.В., Порхунув А.И.* Композитные материалы для строительства подогреваемых покрытий дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов // *Механика композитных материалов*. – Рига, 2008. – Т. 44. – № 3. – С. 317- 326.

Piskunov V.G., Volodko O.V., Porkhunov A.I. Composite materials for building of heated highway and airport runway coating // *Mechanics of composite materials*. – Riga, 2008. – Vol. 44. – No. 3. – P. 215-220.

3. Патент на корисну модель № 39376, Н01С7/00. Резистивний композитний матеріал / Піскунов В.Г., Володько О.В., Порхунув О.І.; заявник та власник Національний транспортний університет. – № u200804332; заявл. 07.04.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4.

4. Патент на корисну модель № 50381, МПК E01H5/00, E01C11/24, E01C5/00, B64F1/00. Нагрівне автодорожнє та аеродромне покриття / Піскунов В.Г., Володько О.В., Демчук О.М., Порхунув О.І.; заявник та власник Національний транспортний університет. – № u200911553; заявл. 13.11.2009; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11.

5. *Піскунов В.Г., Володько О.В., Яхін С.В.* Термонапружений стан нагрівного покриття автомобільних шляхів / Матер. Міжнар. інтернет-конф. «Состояние современной строительной науки -2010» – Сб. науч. трудов, 06-09.06.2010. – Полтава. – С. 123-128.

6. *Володько О.В.* Конструювання та розрахунок багат шарового нагрівного дорожнього одягу / *О.В. Володько* // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво (Національний транспортний університет)*. – К.: – 2008. – № 74. – С. 99-104.

7. *Володько О.В.* Модифікація методу О.Я. Шехтер для розрахунку багат шарового нагрівного дорожнього одягу / *Піскунов В.Г., Володько О.В., Дідиченко І.М.* // *Автошляховик України*. – 2008. – № 2. – С. 47-48.

8. Математична модель та програма розрахунку жорсткого дорожнього одягу з нагрівними поверхневими шарами / *В.Г. Піскунов, О.В.Володько, О.М. Демчук, І.М. Дідиченко* // Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення; заявник та власник Національний транспортний університет. Серія ВР№ 01067. – зареєст. 08.05.2009, видано 23.06.2009 р.

9. *Piskunov V.G., Volodko O.V., Demchuk O.M.* Design and calculation of aerodrome coating with heated surface layers /. // *Proceedings of NAU*. – 2009. – № 4. – P. 46-50.

РЕФЕРАТ

Піскунов В.Г., Володько О.В. Проектування дорожніх нагрівних покриттів. / *Вадим Георгійович Піскунов, Ольга Василівна Володько* // Вісник НТУ. – К.: НТУ – 2012. – Вип.26.

Робота присвячена розробці конструкцій та методики розрахунку дорожнього та аеродромного нагрівних покриттів для танення снігу і запобігання ожеледиці та слизькості на їх поверхні із застосуванням резистивного композитного матеріалу – фіброелектробетону.

Проведений аналіз відомих нагрівних конструкцій та визначені шляхи їх удосконалення за рахунок застосування в конструкції шару монолітного фіброелектробетону. Розроблені ефективні склади резистивних композитів для використання в конструкції нагрівних покриттів. Встановлені на основі експериментальних досліджень їх механічні, електричні та теплові характеристики. Запроєктовані конструкції нагрівних покриттів. Тепловим розрахунком отриманий необхідний термоэффект розігріву їх поверхні.

Розвинені методи механічного розрахунку багат шарових плит на пружній основі за рахунок об'єднання методу розрахунку багат шарових плит з модифікованими методами розрахунку

одношарових жорстких плит. Виконані дослідження напруженого стану та міцності варіантів запроєктованих дорожнього та аеродромного покриттів. Розроблений програмний продукт для визначення термонапруженого стану нагрівних покриттів. Висвітлені практичні аспекти застосування результатів дослідження.

Ключові слова: Конструювання нагрівного покриття, хімічні електропровідні волокна, фібробетел, термонапружений стан, міцність.

ABSTRACT

VG Piskunov, AV Volodko Designing road surfaces heat process. / Vadim G. Piskunov, Olga Volodko // Visnyk NTU. – K.: NTU. – 2012. – Vol. 26.

The work is dedicated to the design and development methods of calculation of the heating of road and airfield coatings for melting snow and ice prevention and slipperyness its work surface in the winter operation. The review of known designs the heating surfaces. The analysis developed effective warehouses electrically resistive composites for use in construction. Determined based on experimental studies of mechanical, electrical and thermal characteristics. Designed construction of the heating cover with a layer of monolithic fibroelektrobetonu. Thermal calculation required termoefekt returned. A method of mechanical calculation of multilayer plates on elastic foundation and written research strength and stress state variations constructed road and airport paving. Developed software to determine the thermal stress of the heating coatings. Deals with practical aspects of application of research results.

Keywords: Design the heating coating, electro-chemical fiber fibrobetel, hard wear, thermal stress state, strength.

РЕФЕРАТ

Пискунов В.Г., Володько О.В. Проектирование дорожных нагревательных покрытий. / Вадим Георгиевич Пискунов, Ольга Васильевна Володько // Вестник НТУ. - К.: НТУ - 2012. - Вип.26.

Работа посвящена разработке конструкций и методики расчета дорожных и аэродромных нагреваемых покрытий для борьбы с снегозаносами и предупреждения гололеда, скользкости на их поверхности с использованием резистивного композитного материала – фиброэлектробетона.

Альтернативой существующим способам борьбы (механическому, фрикционному, химическому) с гололедом на дорожных и аэродромных покрытиях является тепловой способ, а именно, использование нагреваемых покрытий. Проведен анализ нагреваемых дорожных и аэродромных конструкций. Обоснованы пути их совершенствования за счет использования в конструкциях перспективных композитных материалов – электропроводных бетонов в качестве монолитного нагреваемого слоя. Проанализированы известные электропроводные композитные материалы.

Разработаны два композита с фибрами из химических электропроводных волокон (ХЭВ) для использования в нагреваемых конструкциях. Экспериментально установлены их механические, электрические и тепловые характеристики. Наиболее перспективным является фиброэлектробетон с комплексным армированием матрицы ХЭВ, электрокорундом и стекловолокном. Спроектированные резистивные материалы подтверждены двумя патентами на полезную модель.

С использованием монолитного слоя фиброэлектробетона разработана конструкция нагреваемого покрытия, которая накрывает жесткую цементобетонную плиту. Конструкция состоит из нагреваемого слоя – фиброэлектробетона, который подстиляет слой износа и находится над углеродной сеткой, к которой подается электропитание. Для изоляции от нагревания основной несущей конструкции предусмотрен слой термоизоляции – пеностекляный гравий "Пеноситал".

Решены тепловые и прочностные задачи конструкции. Тепловым расчетом установлено получение на поверхности покрытия необходимого термоэффекта – положительной температуры от +2,2°C до +11°C при температуре наружного воздуха -20°C. Определена степень зависимости температур нагреваемой системы от теплового потока.

Выполнено усовершенствование инженерных методов механического расчета многослойных дорожных и аэродромных покрытий. Проведено объединение метода расчета многослойных плит В.Г. Пискунова с методом О.Я. Шехтер для расчета однослойных жестких плит, который модифицирован для расчета многослойных. Модифицированы и другие методы расчета однослойных плит для оценки несущей способности многослойных. Исследовано напряженное состояние дорожной конструкции под штампом колеса расчетного автомобиля и за его пределами. Достоверность результатов расчетов подтверждена рядом некорелируемых методов.

Методика расчета нагреваемого дорожного покрытия обобщена для расчета нагреваемого аэродромного покрытия. Разработана конструкция, в которой спроектированная система нагреваемых слоев расположена над трехслойной цементобетонной плитой, разработанной в НАУ. Исследовано напряженное состояние и прочность конструкции. Разработана математическая модель и программа расчета теплового и напряженно-деформированного состояния покрытий с поверхностными нагреваемыми слоями, которая послужила основой для практического внедрения работы в организации системы Укравтодор, аэродромного и агропромышленного комплексов.

Ключевые слова: Конструирование нагреваемого покрытия, химические электропроводные волокна, фибробетэл, термонапряженное состояние, прочность.

УДК 539.3

РОЗРАХУНОК ШАРУВАТИХ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ МОСТІВ АРМОВАНОГО КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Піскунов В.Г., доктор технічних наук
Цибульський В.М.

Постановка проблеми. Важливими елементами автодорожніх мостів є прогонова будова та плита проїзної частини, яка в теперішній час виготовлюється в основному з залізобетону або сталі. Створення плит проїзної частини прогонових будов, альтернативних залізобетонним та металевим, пов'язана із застосуванням арматури з композитних матеріалів (склопластиків, базальтопластиків), потребує розробки методів їх розрахунку. Переваги таких конструкцій полягає у зменшенні вагових показників, проектної вартості та збільшенні ресурсу експлуатації та надійності, що в цілому забезпечує покращення ефективності роботи мережі автомобільних доріг України. Тому актуальним є удосконалення методик розрахунку вказаних шаруватих систем.

Викладення основного матеріалу. Принципові положення методики розрахунку дорожнього одягу для вказаних типів прогонових будов зводяться до наступних:

1. Визначення зусиль для відповідної типової прогонової будови. Внутрішні зусилля (згинаючі моменти) визначаються згідно прийнятих нормативних положень [3] та методики розрахунку конструкцій прогонових будов від комбінації постійних та тимчасових навантажень, детально викладеній у [4,5]. Для розрахунку дорожнього одягу, відшарованого від плити прогонової будови, а також, при необхідності, безпосередньо плити, відокремленої від одягу, виконується розподіл розрахункового згинаючого моменту на момент, що безпосередньо сприймає дорожній одяг та момент, що сприймається конструкцією плити пропорційно до їх відповідних жорсткостей. Особливістю визначення зусиль (згинаючих моментів) є прикладання навантажень (А-15 або НК-100) безпосередньо до поверхні дорожнього одягу, оскільки він розглядається як загальна з плитою конструктивна частина, що підлягає розрахунку – оцінці міцності її шарів. Відповідний розподіл навантаження за товщиною дорожнього одягу враховується пошарово при визначенні додаткових напружень від поперечного обтиснення – врахування впливу поперечних нормальних напружень для уточнення напруженого стану дорожнього одягу

2. Формування вихідних даних щодо конструкції балок або плит прогонової будови та дорожнього одягу, як шаруватої системи. Балка або плита прогонової будови розглядається в загальному пакеті з шарами дорожнього одягу як єдина шарувата конструкція. Шарувату структуру конструкції схематично наведено на рис.1-а,б. Кожен шар $i = 1, 2, \dots, n$ визначається товщиною h_i (м) та шириною b_i (м), модулем пружності E_i (МПа) та коефіцієнтом Пуассона ν_i , розрахунковими опорами на розтяг R_p (МПа) та стиск R_{ct_i} (МПа). Характеристики бетону та арматури приймаються згідно [3]. Арматура замінюється еквівалентним до її загальної площі шаром з відповідною до цієї площі товщиною. Ширина шарів b_i у перерізі приймається як розрахункова ширина полоси плити для визначення згинаючого розрахункового моменту (звичайно $b_i = b = 1$ м). Для плитних прогонових будов з пустотних блоків ширина плити дорівнює ширині блоку ($b_i = b = 1$ м), а на рівні пустот – товщині стінки зведеного до форми двотавра зведеного перерізу плитного блока. У вихідні