



*Получена: 11.01.2021 г.*

*Приета: 28.01.2021 г.*

## ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА АСФАЛТОБЕТОНОВИ НАСТИЛКИ АРМИРАНИ С ПОЛИМЕРНИ ГЕОМРЕЖИ

**И. Стайков<sup>1</sup>**

*Ключови думи: полимерни геомрежи, оразмеряване на пътни настилки*

### РЕЗЮМЕ

Полимерните геомрежи са продукт, който намира широко приложение в пътното строителство. Такива се използват за армиране на насипни подпорни стени, прилагат се при укрепване на пътни откоси, а при вграждане в несвързаните пластове на основата на пътната настилка способстват за чувствително увеличение на фактическия Е-модул на пътната конструкция. Доколкото в България все още няма утвърдена методика, по която да се оразмеряват пътните настилки с полимерни геомрежи, статията е фокусирана в международния опит в прилагането на тези продукти и методите за тяхното оразмеряване.

### 1. Въведение

Пътищата са линейни обекти и като такива преминават през различни географски области с разнообразни почвени условия. В редица случаи, пътното трасе попада в зони с неподходящи за фундиране почвени условия. Ето защо се търсят начини за повишаване на носимоспособността на земната основа. В практиката у нас и в чужбина са се наложили няколко основни подхода за повишаване на носимоспособността на земната основа:

- изгребване и замяна на неподходящия почвен материал с такъв с по-добри характеристики;
- използване на различни средства за стабилизация – хидравлични свързващи вещества (цимент, вар), органични св. вещества;

---

<sup>1</sup> Илиян Стайков, докторант инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ilian.staikov@gmail.com

- използване на различни геосинтетични продукти за стабилизиране на земната основа (геотекстил, геомрежи, геомембрани, геокомпозити и др.).

Последният от изброените подходи намира все по-широко приложение в пътното строителство. Богатото разнообразие от продукти способства за широката им употреба, за стабилизиране на земната основа, армиране на пластове на покритието и пътната основа, защита от инфилтрация на почвени частици в пътната основа, укрепване на откоси на пътното тяло в изкоп, и в насип, и много други.

Геосинтетичните продукти, вложени в конструкцията на пътя, могат да изпълняват следните основни функции: да служат за разделяне на пластове с различен материален състав (напр. почва и минерални фракции), филтрация и армиране на пластове от пътната настилка. Армирацията ефект на геомрежите, вложени в пътната конструкция, може да допринесе както за намаляване на дебелината на основния пласт, така и за удължаване на периода на експлоатация на пътната настилка.

## 2. Обзор на методите за оразмеряване

Първите по-сериозни приложения на подобен род продукти датират от средата на 70-те години на миналия век. За първи път термините „геотекстил“ и „геосинтетика“ са публикувани в презентацията на д-р *J. P. Giroud* на Първата международна конференция за геосинтетика, проведена в Париж през 1977 г. [1].

Малко след това започват и първите разработки на методите за оразмеряване на пътни конструкции, армирани с подобен вид продукти. Първоначално обект на научни изследвания са били продуктите от геотекстил. Появата на геомрежи и респективно изучаването на тяхното влияние в армирането на пътната конструкция датира от средата на 80-те години на миналия век [2, 3]. По същество методите за оразмеряване се базират на емпирични зависимости, добити по експериментален път. Към момента няма уточнен единен подход за оразмеряване, поради големия брой показатели и фактори, от които зависи поведението на настилката. Така също показателите, получени по опитен път, в повечето случаи важат за условията, в които е проведен експериментът.

От началото на 80-те години на миналия век са проведени редица научни изследвания и опити, имащи за цел да определят армиращия ефект от използването на геосинтетични продукти. В тази връзка научните изследвания се насочват основно в две направления: армиране на основния или подосновния пласт на пътната конструкция и армиране на земното легло.

Базов модел за разработването на процедура по оразмеряване на армирани пътни настилки е широко разпространеният метод AASHTO. В повечето случаи оразмерителните процедури целят определянето на брой еквивалентни оразмерителни оси (ESAL), необходими за достигане на коловоз с определена дълбочина (обикновено 12,5 или 25 mm) в армирана и неармирана настилка. Изследват се опитно специално изработени конструкции на настилки със и без геосинтетични продукти. Целта е да се получи коефициент, изразяващ отношението между показателите на пластове (LCR) или такъв, показващ отношението на броя еквивалентни оси за армирана и неармирана конструкция (TBR) (*Mirafi*, 1982; *Penner*, 1985; *Webster*, 1993; *Zhao & Foxworthy*, 1999).

Други изследвания използват Метода на крайните елементи (МКЕ), с прилагането на програмни продукти, базирани на този метод. При повечето от тях се приема линейно-еластично поведение на материалите на конструктивните пластове. Ефектът от арми-

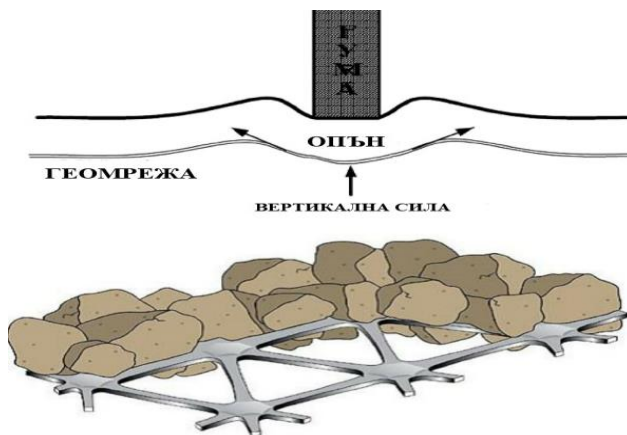
ращите геосинтетични продукти се моделира посредством използване на мембранни крайни елементи, които имат якост в две основни направления, в равнината, но не при- тежават коравина на огъване [4].

Повечето методи за оразмеряване на пътни настилки с геосинтетични продукти в основните пластове са предимно емпирични [5].

Разработването на процедура за оразмеряване на армирана трошенокаменна настилка датира от втората половина на 70-те години на миналия век, когато се провеждат редица експериментални изследвания, целящи изучаването на поведението на слаби земни основи ( $CBR < 3\%$ ), армирани с геотекстилни продукти. Данните от експеримента, проведен от *Steward* (1977), се използват за създаването на емпиричен метод за оразмеряване на армирани трошенокаменни настилки, ползващ решения от метод, на граничното равновесие. По-късно *Tingle* и *Webster* (2003) усъвършенстват метода, като го правят приложим за оразмеряване на армирани настилки с геомрежи. Тяхното изследване показва, че приетият от *Steward* коефициент на носеща способност  $N_c = 2,8$  за неармирани настилки е приемлив и предлагат тази стойност при армирани настилки да бъде  $N_c = 5,8$ . Разработени са серия от графики по ординатната ос, на които се отчита дебелината на трошенокаменния пласт, в зависимост от приетия показател на носимоспособност и конфигурация на оразмерителното натоварване (сдвоени колела или тандем оси) [2].

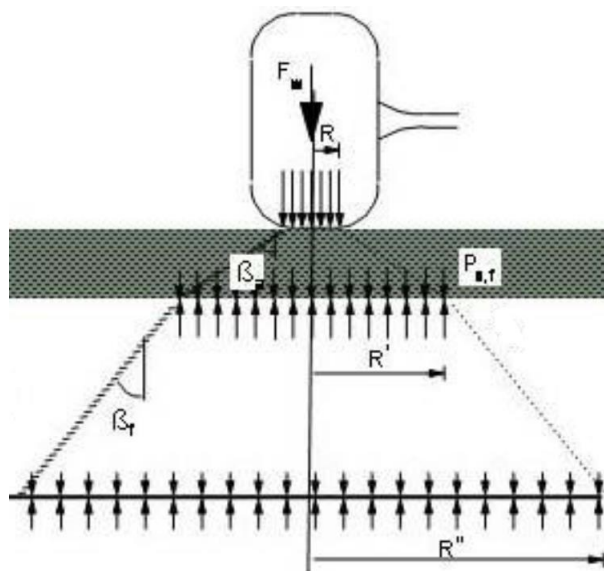
Един от първите основни методи за оразмеряване на пътни настилки с геосинтетични продукти е методът, представен от *Giroud* и *Noiray* през 1981. Принципът на оразмеряване при него се базира на двете основни състояния, в които се намира пътната настилка, по време на нейното изграждане. Първото състояние е при положен основен пласт, преди полагане на асфалтовите пластове, а второто е в завършен етап на строителство, с положено пътно покритие. Оразмеряването на асфалтирана пътна настилка винаги се предхожда от оразмеряване на трошенокаменната основа, армирана с геомрежа, като едва тогава се пристъпва към оразмеряване на пълната конструкция на пътя.

Предложеният от *Giroud* и *Noiray* подход използва т.нар. „мембранен метод“, като и тук се използват решения по метода на граничното равновесие в почвен масив. Когато при натоварване от подвижния товар се генерират малки по стойност коловози, в геомрежата се генерират опънни усилия. Страничните зони на геомрежата, които не попадат в зоната на пирамидалното разпределение на външното натоварване, могат да се представят като закотвени в странично разположените зони на трошенокаменния пласт. Опънатата геомрежа действа като мембрана, създавайки сила, насочена противоположно на приложения товар и съпротивляваща се на по-нататъшно увеличение на дълбочината на коловоза. *Giroud* и *Noiray* установяват че нормалните напрежения от подвижния товар, разпределени от трошенокаменния пласт на основата в долната част на този пласт, са по-големи от напреженията, генерирани през геотекстила по повърхността на земната основа. Това именно те формулират като „Мембранен ефект“. Разработеният от тях метод разглежда слаби земни основи ( $CBR \approx 1\%$ ) и основни пластове с  $CBR > 80\%$ . Определянето на дебелината на неармирана пътна основа става посредством сравнение на напрежението от външен товар, генерирано в долния край на основата и носещата способност на почвата в земната основа. Влиянието на вложения геотекстил се дефинира с определянето на удължението му вследствие на натоварването. Разработена е аналитична зависимост, при която посредством итеративни изчисления се определя дебелината на армираната пътна основа. Въз основа на тази зависимост са разработени графични зависимости, с помощта на които при известно натоварване и носимоспособност на з.о. се определя и необходимата дебелина на армираната основа [6].



Фиг. 1. Настилка без покритие с армиран основен пласт

През 2004 г. *Giroud* и *Han* усъвършенстват описания по-горе метод, като го правят приложим за оразмеряване на основи, армирани с геомрежи. Отчитат се разпределението на напреженията, якостта на трошенокаменния материал, ефектът на заклиняване на минералния материал в клетките на геомрежата, както и нейната якост. Основните предпоставки на метода са свързани с отношението на деформационните модули на основата и земното легло (това отношение се ограничава до 5) и дълбочината на коловоза (емпиричната зависимост за дебелината на армирания пласт е определена при дълбочина на коловоза от 75 mm). За неармирана основа авторите на метода приемат коефициент на носеща способност  $N_c = 3,14$ , докато за армиран пласт приемат стойност  $N_c = 5,71$ . Определянето на необходимата дебелина на основния пласт отново става посредством аналитична зависимост, при която посредством итерации се определя търсената дебелина [2].



Фиг. 2. Настилка с покритие – разпределение на натоварването [10]

За армирани пътни конструкции с покритие се използва комбиниран подход. От една страна се използва посоченият по-горе мембранен метод, предложен от *Giroud* и *Noiray*, и метод с определяне на носимоспособността на настилката. Точката от автомобилното колело през покритието се разпределя в основния пласт. Колкото този пласт е по-корав, толкова ъгълът на разпределение на натоварване ще бъде по-голям и респективно ще се намалят напреженията, предавани в земната основа. Носимоспособността на з.о. се определя чрез показателя CBR. Тази стойност именно се сравнява със стойността на разпределеното натоварване на повърхността на земната основа. Ако носимоспособността на почвата е по-голяма от натоварването, предадено на повърхността на з.о., определенният коефициент на сигурност има стойности, по-големи от 1,0.

Оценката на армиращия ефект, който се постига с влагането на армираща геомрежа в основния пласт, най-общо може да се представи като отношение на броя на приложените натоварвания в края на експлоатацията при определено ниво на повреда съответно за армирана и неармирана пътна настилка.

### 3. Механо-емпирични методи

Широко прилаганият метод на AASHTO е базиран на емпирични зависимости, получени от пътният тест, проведен между 1958 и 1960 г. в Отава, Илинойс. Първата публикация на метода се появява през 1962 г. През годините са били публикувани издания на ръководството за оразмеряване на пътни конструкции (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1974, 1986 и 1993 г.), в които са били внасяни корекции и допълнения. Въпреки тях обаче, основните предпоставки на метода остават едни и същи.

Още през 1990 г. в САЩ се създават изследователски програми, целящи издаването на ново ръководство за оразмеряване. Целта е да се създаде метод, основаващ се на механико-емпирични принципи и числени модели, ползващи бази данни от дългогодишни наблюдения за състоянието и поведението на пътните настилки [7].

Към настоящия момент механико-емпиричният метод представлява най-новата научна концепция създадена в САЩ за оразмеряване на пътни настилки. Ето защо редица изследвания [8, 9] се фокусират в изследване на поведението на армирани с геомрежи пътни настилки, посредством използване на методите и принципите на механико-емпиричния подход.

Моделът, предложен за оразмеряване на асфалтобетонни настилки, армирани с геомрежи в несвързаните основни пластове, включва в себе си два основни компонента. Единият е свързан с модела на повредите, а другият с моделите на поведението на пътните настилки. Моделът на поведението на пътната настилка се състои от 2D крайни елементи, изискващи моделиране на материалните характеристики на отделните конструктивни слоеве – асфалтобетонни пластове и несвързаните пластове от основата и подосновата. Емпиричните модели на повредите включват модел на постоянни деформации за асфалтобетонните пластове и армираните и неармираните трошенокаменни пластове. Посредством един от емпиричните модели се анализира и нарастването на срязващите напрежения с прилагането на натоварването от трафика. По-долу, с цел сравнение, са дадени моделите, които се използват при конвенционалния механико-емпиричен подход и допълнителните модели, отразяващи наличието на армиращ елемент в основния пласт.

	Механични модели		Емпирични модели	
	ААSНТО-материални модели	Допълнителни материални модели	ААSНТО модел на повреди	Други модели
Асфалтобетоннови пластове	Динамичен модул		Постоянни деформации, умора	
Несвързани минерални материали	Изотропен и нелинейно еластичен		Постоянни деформации при неармирани пластове	Постоянни деформации при армирани пластове
Заклинване на зърната на минералния материал		Срязване по Coulomb		Нарастване на срязващите напрежения
Армиращ елемент		Изотропен и линейно еластичен		
Земна основа	Изотропен и нелинейно еластичен		Постоянни деформации	

Направените изследвания с различни геосинтетични продукти [8] показват, че зоната, в която се генерира армиращият ефект от геомрежата по дълбочина на основния пласт от несвързани материали, е около 150 mm над нивото на геомрежата.

Допълнителните модели, цитирани по-горе в таблицата, имат за цел да трансформират изведените зависимости за моделите по механико-емпиричния метод за неармирани пътни настилки, като ги направят приложими за оразмеряването на настилки, армирани с геомрежи. За да се изведат подобни корелации с цел корекция на основните зависимости по ААSНТО механико-емпиричния метод, се изграждат тестови участъци с различни по дебелина конструктивни пластове, армирани и неармирани с геомрежи [9]. Установено е, че ефектът от използването на подобен род продукти е по-голям при земна основа с относително ниски стойности на деформационния модул. Основна сравнителна характеристика, даваща оценка за степента на армиращия ефект, е TBR (Traffic Benefit Ratio), който показва степента на увеличение на приложените натоварвания, преди да се достигне до разрушение на покритието (за такова се приема коловоз с дълбочина 12,5 mm).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kelsey, C.* A Brief History of Geotextiles: A 40-Year Update, Land and Water, April 2014, p. 13.
2. *Barry, R.* Geogrids in roadway and pavement systems. 2010, p. 72.
3. *Berg, R. R., Christopher, B. R., Perkins, S.* Geosynthetic Reinforcement of the Agragate Base/Subbase Courses of Pavement Structures GMA White Paper II June 27, 2000, p. 176.
4. *Dassault Systemes.* Abaqus 6.14 User`s Guide, 2014.
5. *Mounes, S. M., Karim, R. M., Mahrez, A., Khodaii, A.* An overview on the use of geosynthetics in pavement structures. Scientific Research and Essays, 2011, pp. 2251-2258.

6. *Bearden, J., Labuz, J.* Fabric for reinforcement and separation in unpaved roads. University of Minnesota, 1997.

7. *American Association of State Highway and Transportation Officials.* Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, July 2008.

8. *Perkins, S. W., Christopher, B. R., Cuelho, E. L., Eiksund, G. R., Schwartz, C. S. and Svano, G.* A mechanistic-empirical model for base-reinforced flexible pavements. // *International Journal of Pavement Engineering*, April 2009, p. 101-114.

9. *Henry, K. S., Clapp, J., Davids, W., Humphrey, D., Barna, L.* Structural Improvement of Flexible Pavements Using Geosynthetics for Base Course Reinforcement. US Army Corps of Engineers, October 2009, p. 192.

10. *Meyer, N., Elias, J. M.* Design methods for roads reinforced with multifunctional geogrid composites for subbase stabilization. TU Munich, March, 1999.

## **ASPHALT PAVEMENT DESIGN REINFORCED WITH POLYMERIC GEOGRIDS**

**I. Staikov<sup>1</sup>**

*Keywords: polymeric geogrid, pavement design*

### **ABSTRACT**

Polymeric geogrids are a product that is widely used in road construction. They are used to reinforce bulk retaining walls, applied in the reinforcement of road slopes, and when embedded in unbound layers on the road surface, they contribute to a substantial increase in the actual E-module of the road construction. Since there is no established methodology in Bulgaria for the dimensioning of road surfaces with polymeric geogrids, the paper focuses on the international experience in the application of these products and the methods for their sizing.

---

<sup>1</sup> Ilian Staikov, Eng. PhD Student, Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ilian.staikov@gmail.com