

## ЕЛЕКТРОХИМИЧНО СТАБИЛИЗИРАНЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТЕН НАСИП ИЗГРАДЕН ОТ ПРАХОВА ГЛИНА

Петър Донеv

[petardonev@abv.bg](mailto:petardonev@abv.bg)

ВТУ „Т. Каблешков“ гр. София, 1574, София, ул. „Гео Милев“ 158  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** електрохимично заздравяване с прав и променлив ток, разтвор на HCL, минерални добавки, негасена вар, варовик ( $\text{CaCO}_3$ )

**Резюме:** Има железопътни насипи у нас, изградени от прахови глини, които при навлажняване много се деформират и рязко намаляват носимоспособността си. Стабилизацията с хидравлични свързващи вещества не всеки път е ефективна поради цикличността на явленията и ниската проникваемост на средата. В публикацията са отразени лабораторните резултати от електрохимичното заздравяване на образци от пробни смеси на глина, природен варовик, фаялит и 18%-ов разтвор на солна киселина с прав и променлив ток.

### 1. Увод

Глините при естествена влажност имат достатъчна носимоспособност и не са причина за деформации на железния път. Има места, обаче по нашата жп мрежа, където насипите съдържат прахова глина, характерна с ниската си плътност и якост, както и със склонността си да набъбва и се свива според водното съдържание. При продължителни валежи и снеготопене земното легло и насипът върху него омекват и набъбват, което съчетано с динамичните натоварвания от влаковите композиции довежда до деформации и дори до разрушаване. В други случаи, поради недостатъчно уплътняване на насипите, непосредствено след пускане на участъка в експлоатация започва консолидация и слягане на глинестите насипи. Безопасността на движението налага при такива обстоятелства да бъде ограничена скоростта на движение в аварийния участък до 30 – 40 km/h. Важно е да се припомни, че праховите глини не могат да бъдат достатъчно добре уплътнявани.

Електрохимично заздравяване на земно платно на руднични ж.п. линии с допълнително променливо-токово поле изследва Драганов през 1986г. [1]. През 2011г. Етимов [4] описва осушаване и заздравяване с електрически (променлив и постоянен) ток на водонаситени глинести почви и прахови пясъци с малка филтрационна способност, в които не могат да се инжектират циментови разтвори, синтетични смоли и битуми.

### 2. Цели и предпоставки на проведените нови изследвания

Проведохме серия опити в лабораториите на ВТУ „Тодор Каблешков“ за проверка на възможностите за електро-химично заздравяване на глината. За нашите

изследвания бе взета ненарушена проба от прахова глина от железопътен насип в междугарието Червен бряг – Телиш от км. 153+300 на дълбочина 70cm под баластовата призма при ремонта на железопътния насип през 2016г. На същия насип са проведени гео-електрични проучвания за установяване на причините за пропадането на ж.п. линията [5], а проблемите с носимоспособността на насипа при навлажняване на глините, от които е изграден, са описани в докладите на Кисьов през 1990г. [3] и Димитров [2] през 1999г.

От материала на взетите проби са изготвени нови лабораторни образци с обем по  $1000\text{cm}^3$  в края на 2016г. в съотношение: варовик - 0,5 kg, фаялит - 0,5 kg и глина от насипа 1 kg. За получаване на необходимата консистенция е прибавено 0,5 l вода. Използваният варовик на прах (отпадъчен продукт от кариерата на гара Карлуково) е пресят през сито 160mm и 80 mm за се отделят в разтвора калциеви катиони. По време на заздравяването към сместа е добавен и 13%-ов разтвор на солна киселина за получаване на електролит при химическата реакция с варовика. Влиянието на фаялита (отпадъчен продукт от добива на електролитна мед) е задача на по-нататъшни изследвания и в този доклад не се третира.

### **3. Електрическа апаратура и параметри на електрическия ток при електрохимичното заздравяване на пробите**

При провеждане на лабораторните опити за електрохимичното заздравяване с променлив ток е използван автотрансформатор СПТУЕ-София - 1971г, 220/245V с мощност 2 kVa с максимален ток  $I_{\text{max}} = 10\text{A}$ ; Амперметър за постоянен и променлив ток с електромагнитна система и клас на точност 2; Волтметър за постоянен и променлив ток с електромагнитна система и клас на точност 2. Заздравяването с постоянен ток е проведено с източник на постоянен ток ТЕС 5060 с максимално напрежение 100V. За електроди са използвани алуминиеви тръбички с диаметър 10 mm.

Проба № VI е електрохимично заздравявана с постоянен ток с големина 0,1 до 0,4A и подавано напрежение на електродите от 60 до 100V за време 6h 30 min, с напрегнатост на електрическото поле от 3 до 5V/cm. Проба № VII е заздравявана с променлив ток с големина от 0,25 до 1A и подавано напрежение от 100 до 130V за време 6h. За да установим края на процеса на заздравяването на проба № VII, подаваното напрежението между електродите е увеличено от 130 на 214V през два интервала от 10min, от 20 и от 60 min. Големината на тока I се изменя от 2,5A при вкарване на две порции от по 50 ml, 18%-ов разтвор на солна киселина и напрежение 130V и намалява до 0,05A при напрежение 214V. Така от пада на големината на тока правим заключение, че електрохимичният процес е приключил.

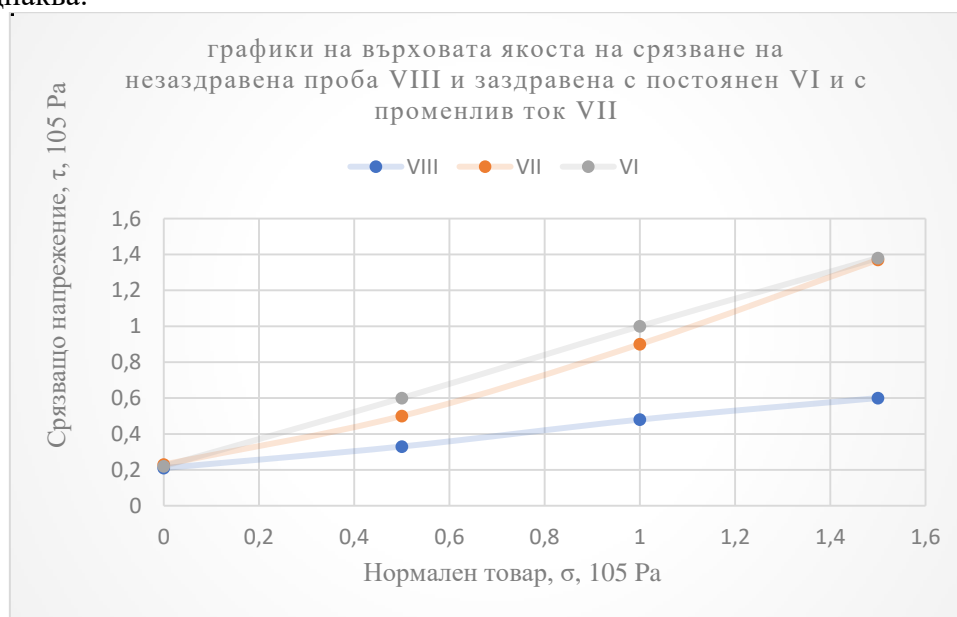
Пробите са оставени за набиране на якост в продължение на три месеца и 15 дни. Якостта на срязване е определена със срязващ апарат тип „Taylor“, съгласно БДС 10188-82. Якостните параметри са определени след срязване при три степени на нормален товар  $\sigma = 50; 100$  и  $150$  kPa. Изпитването е проведено в недренирано, консолидирано състояние през април. 2017г.

### **4. Зависимост между якостните свойства на лабораторно заздравените проби и параметрите на електрическия ток**

Получената лабораторна якост на срязване е следствие на протичащия през заздравяваните проби електрически ток. Електрическият ток ориентира йоните и едновременно с това предизвиква електроосмоза, електролиза, йонен обмен, разлагане на част от твърдата фаза, в резултат на което се образуват нови химични съединения и минерали с преструктуриране на глинестите скали.

Изчертани са графическите зависимости между физичните и якостни свойства на лабораторно заздравените проби. Лабораторно определените якостни показатели на

проби от смес с процентно отношение 25% фаялит, 25% варовик и 50% глина и заздрави с електрически ток, са отразени на фиг.1. От фиг.1 се вижда, че ъгълът на вътрешно триене  $\varphi = 37,53^{\circ}$  при електрохимично заздравената с постоянен ток проба е незначително по-голям от електрохимично заздравената с променлив ток проба, където  $\varphi = 37,20^{\circ}$ . При кохезията  $c$  [kPa] разликата в резултатите от правия и променливия ток също е незначителна. При променливия ток, обаче реакцията протича по-бързо вследствие на по-високото подадено напрежение между електродите на пробата. От фиг.1 правим заключение, че постигната върхова якост на срязване при електрохимично заздравените проби VI (с постоянен ток) и VII (с променлив ток) е почти еднаква.

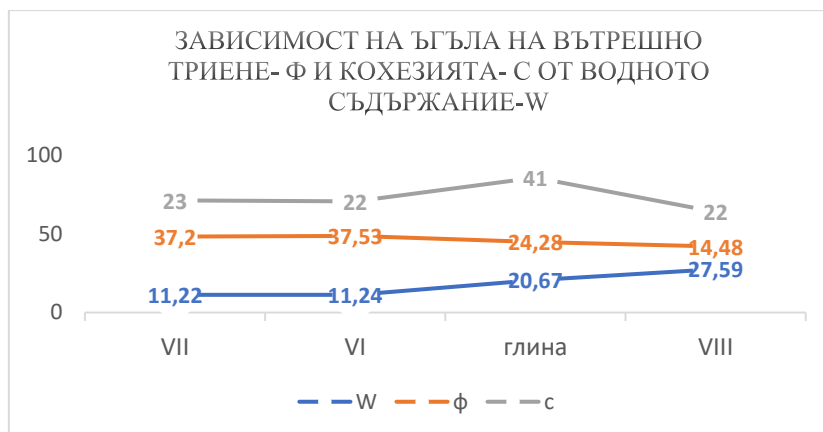


**Фиг. № 1:** Графики на върховата якост на срязване на незаздравена почвена проба VIII и електрохимично заздравена с постоянен ток проба VI и електрохимично заздравена с променлив ток проба VII.

След изчерпването на йонния обмен токът престава да протича през пробата и е необходимо инфилтрирането на нова порция заздравяващ разтвор. Това се доказва и с направените опити. По време на инфилтрирането на следващата порция електролит се забелязва, че големината на тока при заздравяването с постоянен ток се изменя по-плавно, отколкото при заздравяването с променлив ток.

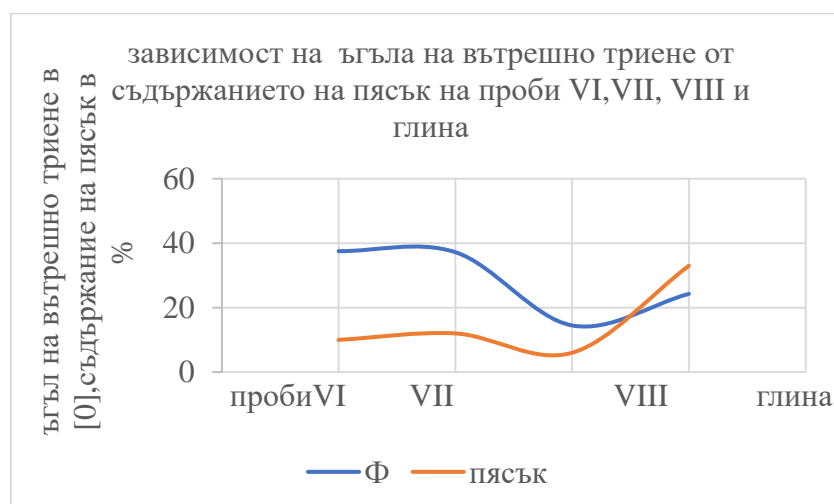
## 5. Зависимост на якостта на срязване от водното съдържание $w$

Предпоставка за протичане на електро-кинетичните процеси в глината е нейното водно съдържание  $w$  да бъде по-високо от максималната молекулна влажност, т.е. от границата на източване  $w_p$ . Резултатите са показани на фиг.2.



**Фиг.2:** Графики на зависимостта между ъгъла на вътрешно триене φ и кохезията c от водното съдържание w на електрохимично заздравените проби VII, VI, незаздравената проба VIII и проба от естествена глина.

### 6. Зависимост на ъгъла на вътрешно триене φ от съдържанието на пясък

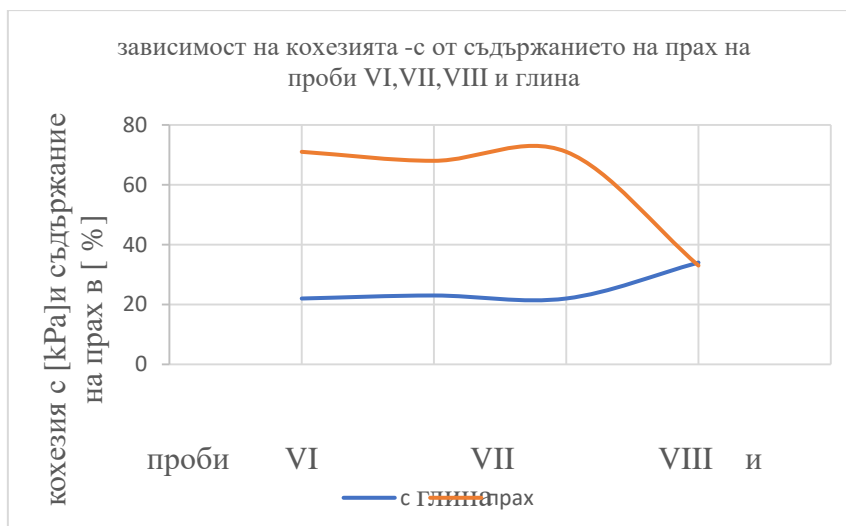


**Фиг. 3:** Графична зависимост на ъгъла на вътрешно триене φ и съдържанието на пясък [%] за проби VI, VII, VIII и проба от естествена глина

При електрохимичното заздравяване в зърнометричния състав на глините се забелязва уедряване и коагулиране на колоидните глинести частици и увеличаване на пясъчната фракция. Това го доказват и нашите изследвания Фиг.3. Резултатите доказват, че по време на реакцията глината се реструктурира от колоидна в кристалинна и се заздравява.

### 7. Зависимост на кохезията c от съдържанието на прах след електрохимичното заздравяване

Повишаването на съдържанието на прах в нашите опити, показано на фиг.4, се обяснява с голямата специфична повърхност и специфична енергия на праховите частици които са причина за по-активен обмен. Обвивките им изтъняват, което създава възможност за коагулиране.



**Фиг.4:** Графична зависимост на кохезията с [кРа] и количеството прах [%] на проби VI, VII, VIII и пробата от естествена глина.

## 8. Предпроектни изчисления за електрохимично заздравяване на железопътни насипи

С електрохимичното заздравяване на земното платно или насипа се повишава якостта и водоустойчивостта на глините, от които те са изградени. Заздравяването може да се извърши както при строителството, така и по време на експлоатацията на жп линиите. Дебелината на заздравявания слой е по-голяма от тази която може да се постигне чрез механичните или химичните методи. Изчислителните стойности на показателите са дадени в табл.1.

**Таблица 1:** Стойности на електрическите характеристики при заздравяването.

	мярка	стойност	
		прав ток	променлив ток
<b>I. Размери на заздравявания участък</b>			
1. дължина	m	100	100
2. широчина на еднопътна жп линия	m	6.30	6.30
3. дълбочина на електрохимичното заздравяване	m	0.50	0.50
4. заздравяван обем в участъка	m <sup>3</sup>	315	315
<b>II. Параметри на тока и разтвора</b>			
1. потенциален градиент	V/cm	0.5	0.5
2. напрежение между електродите	V	40	40
3. големина на тока, протичащ през мрежата 2I	A	360	360
4. продължителност на заздравяването	h	9 денонощия	9 денонощия
5. разход на енергия за лабораторната проба	kWh	67	461
6. разход на енергия за целия проектен участък	kWh	21105	145215

Стойностите на изчислителните параметри са получени от лабораторните изследвания и по литературни данни на Драганов [1].

## 9. Заключение:

Методът на електрохимичното стабилизиране на влажни и преовлажнени плътни глинести почви е икономичен и ефективен. Той позволява земното легло и насипите да се обработват едновременно със строителството или експлоатацията на жп линиите. Той е за предпочитане, когато другите методи за подобряване на слабите

почви не могат да доведат до необходимите технико-икономически резултати. От проведените лабораторни изследвания могат да се направят следните изводи:

1. От нашите изследвания установихме, че при електро-химичното заздравяване с прав и променлив ток се получават еднакви якости на срязване.

2. В литературния обзор по темата не открихме публикации за изследване на електрохимично заздравяване на слаби почви с променлив ток.

3. Необходимата електрическа енергия за заздравяване на глина с променлив ток е много по-голяма (6-7 пъти) от тази с прав ток, макар променливият ток да действа по-бързо. Въпреки това, при електрифицирани жп линии само с монтирането на един понижаващ трансформатор може да се изпълни заздравяване с променлив ток, вместо да се организира и разходва гориво за транспорт, монтаж и работа на дизелов агрегат за прав ток.

#### **Литература:**

[1] Драганов Л. Електрохимично заздравяване на скалите., С., Техника, 1986.

[2] Димитров П. Доклад относно : Слабо място „Хумата“, от км. 153<sup>+100до</sup> км. 154<sup>+660</sup>, 1999г., Техн. Архив на НКЖИ, 1990.

[3] Кисьов Пл. Изследване състоянието на слабо място в земното платно в участъка гара Хумата гара Телиш, Сборник доклади на Втора младежка научна сесия“ на ВВТУ „Тодор Каблешков“, София, 20-21дек. 1990г, с. 44-49.

[4] Етимов Т., Земна механика и фундиране, С., „АВС Техника“, 2004.

[5] Соколов Н., Ив.Миков, Отчет за геоелектрични проучвания на обект „Заздравяване на слабо място от км.153<sup>+400</sup> до км.154<sup>+600</sup> по ж.п. линия София – Варна.София“, Техн. Архив на НКЖИ, 1990г

[6] Инструкция за устройство и подържане на земното платно за жп линии, НКЖИ, С., 2004.

## **ELECTRIC-CHEMICAL STABILIZATION OF RAIL EMBANKMENT CONSTRUCTION OF DUST CLAY**

**Peter Donev**

[petardonev@abv.bg](mailto:petardonev@abv.bg)

***Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
BULGARIA***

**Key words:** *Electrochemical healing with straight and alternating current, HCL extraction, mineral additives, quicklime, limestone (CaCO<sub>3</sub>)*

**Abstract:** *Most railway embankments in Bulgaria are made of dust clays, which become wettable when wetted and reduce their bearing capacity during snow melting and torrential rains. Stabilization in the classic ways is not effective due to the cyclicity of phenomena and is related to the interruption of traffic by railway. The report reflects the laboratory results of the electrochemical stabilization of a mixture of clay samples, limestone minerals (CaCO<sub>3</sub>), and 13% of hydrochloric acid with straight and alternating current.*