

УМЕНЬШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СУСПЕНЗИЙ ГЛИНЫ

Х. РАБА

Заземления в песчаных грунтах с глубоко лежащей подпочвенной водой имеют, как известно, высокие, часто не соответствующие действующим нормам величины сопротивления (R_z). Несмотря на многочисленные работы [1-6] в области уменьшения R_z , этот вопрос остается нерешенным и актуальным до сего времени. Чтобы добиться уменьшения R_z , прибегают к различным методам, которые сводятся либо к увеличению количества заземлителей, либо к обработке почвы. В последнем случае в грунт помещают большие количества хорошо проводящих веществ, например, поваренную соль, соду, медный купорос и т. п., или заменяют часть грунта другим веществом, имеющим сильно выраженные абсорбционные свойства, например, шлаком, торфом и др.

Особенностью песка (в меньшей степени супеска) является большая водопроницаемость и отсутствие в нем водорастворимых органических соединений и солей. Вода осадков, просачиваясь в грунт, вследствие большой водопроницаемости не удерживается в зоне расположения заземлителей, а быстро устремляется к нижележащим грунтовым водам. Поэтому в подобных грунтах величина удельного сопротивления (ρ) подвергнута не только сезонным, но даже ежедневным значительным колебаниям в зависимости от осадков [9]. Этот факт крайне нежелателен с точки зрения надежности защиты энергетических объектов. Как известно, ρ воды осадков находится в пределах $0,1 \div 0,5 \cdot 10^2 \text{ ом} \cdot \text{м}$ [4] и может быть понижено прибавлением примесей только до ее насыщения. Насыщение воды поваренной солью достигается, например, при 60—70 г поваренной соли на 1 л воды [3]. Поскольку нет данных о необходимом в каждом конкретном случае количестве соли и, учитывая кратковременность ее действия в песчаном грунте, использование вышеприведенных физико-химических методов обработки нужно считать нерациональным.

Суспензия глины представляет собой механическую смесь обыкновенной водопроводной воды и глины. Удельное сопротивление такой суспензии зависит от количества растворенной в ней глины и является наименьшим при насыщении суспензии, т. е. при концентрации 100 г/л (табл. 1).

Таблица 1

Концентрация суспензии, г/л	Удельное сопротивление суспензии, $10^{-2} \text{ ом} \cdot \text{м}$
60	799
80	676
100	596
150	830
200	838

Таблица 2

Суспензия на основе обыкновенной воды (концентрация 100 г/л, удельное сопротивление $\rho = 596 \cdot 10^{-2} \text{ом} \cdot \text{м}$)

Прибавляемые химикалии	Количество добавки, г/л	pH	$\frac{M}{t}$, см ³ /час	Удельное сопротивление, $10^{-2} \text{ом} \cdot \text{м}$
NaCl	1	9,6	28,4	329
	2	9,5	33	255
	5	9,3	37,2	115
	7	9,1	45	87
Na ₂ CO ₃	1	10,0	20,2	408
	2	10,1	21	312
	4	10,2	22	241
NaOH	1	10,6	20,2	404
	2	11,7	23	235
	4	12,1	23,4	185

Суспензия на основе промышленных отходов (концентрация 100 г/л, без добавок)

Сернокислое железо	9,7	19	312,5
Сульфитный щелок	10,0	17,5	270
Щелочная вода	10,2	16,1	170

Обработка суспензиями некоторого объема почвы вокруг заземлителя образует стабильно действующую, имеющую коллоидные свойства систему. В дождливое время коллоидная система накапливает влагу осадков, отдавая ее в засушливый период окружающей почве, сохраняя тем самым в зоне укладки заземлителя повышенную влажность и обеспечивая на сравнительно долгое время стабильные уменьшенные величины R_3 .

Двухлетние периодические измерения сопротивления почвы вокруг сосредоточенных и протяженных заземлителей, проведенные после ее обработки суспензиями глины на основе обыкновенной водопроводной воды с $\rho = 0,5 \cdot 10^2 \text{ом} \cdot \text{м}$ показывают, что в результате такой обработки R_3 уменьшается в среднем в 2—3 раза и отличается стабильностью независимо от атмосферных влияний [1].

Последующие исследования показали, что прибавление к суспензии незначительных количеств Na₂CO₃, NaOH, NaCl и других химикалий щелочной реакции делает возможным дальнейшее уменьшение ρ и водопроводности суспензии. Еще лучших результатов можно достигнуть путем применения вместо воды промышленных отходов (вод) ряда предприятий. Самыми перспективными из них оказываются щелочная вода (известная также под названием «черный щелок»), сульфитный щелок и сернокислое железо (FeSO₄). Первые два отхода получаются в неограниченном количестве на целлюлозно-бумажных комбинатах и представляют собой смесь нескольких химических соединений щелочной реакции, органических веществ и воды, третий является отходом металлообработывающих предприятий. Многолетний опыт показывает, что

все эти промышленные отходы практически не действуют на материал заземлителей из стали, железа и красной меди.

Об изменении водопроницаемости суспензий глин в зависимости от их концентрации и количества прибавляемых химикалий в лабораторных условиях можно судить путем измерения количества фильтрата M фильтр-пресса, проходящего за определенное время t через объем суспензии поверхностью S и толщиной h под давлением p , т. е.

Таблица 3

$$\frac{M}{t} = A \left(\frac{pS}{h} \right),$$

где A — водопроницаемость суспензии. При постоянных p , S и h

$$\frac{M}{t} \approx A.$$

№ заземлителя	Суспензия на основе щелочной воды					
	Кол-во суспензии, л	Концентрация глины, г/л	Сопротивление заземления, ком		Удельное сопротивление, $10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}^*$	
			R'_3	R''_3		
17	Почва не обработана				102	
12	200	25	4.2	3,9	0,93	96
14	200	25		3,8	0,90	93
13	200	35		2,8	0,67	68
6	300	50		1,0	0,24	24
1	300	50		0,9	0,21	22
2	300	100		0,78	0,18	19
4	300	100		0,84	0,20	18,5
5	300	100		0,64	0,15	14
7	300	100	0,30	0,07	6,6**	

* Вычислено по формуле Вайнера [9]

$$\rho = \frac{2\pi l R_3}{\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2t+l/2}{2t-l/2}}. \quad \text{Здесь } t = h + \frac{l}{2}.$$

** К суспензии прибавлен таннин в количестве 1 г/л. R_3 измерялось меггером и измерителем заземления типа МС-07 два раза в месяц. Обработка суспензией снижает R_3 трубчатых заземлителей до пяти раз. Как показывают результаты более двухлетних периодических измерений, достигнутые величины R_3 являются довольно стабильными (рис. 2).



Рис. 1. Подлежащий обработке объем песчаной почвы вокруг а — сосредоточенного, б — протяженного заземлителя.

В табл. 2 приведены данные измерения $\frac{M}{t}$ и ρ суспензий глины, содержащих 100 г глины на 1 л вышеуказанных промышленных отходов (вод). В целях сравнения эффекта в той же таблице приведены соответствующие величины для суспензий такой же концентрации (100 г/л), но на основе обыкновенной водопроводной воды с прибавлением незначительных количеств химикатов щелочной реакции.

Из табл. 2 видно, что с увеличением количества NaCl водопроницаемость суспензий не уменьшается, как этого можно было ожидать, а наоборот, увеличивается. Объясняется это коагуляцией (распадом) частиц глины. Поэтому применение NaCl в суспензиях глины не может быть рекомендовано.

Влияние суспензий глины на величину R_3 было исследовано на опытных заземлениях, расположенных в песках и супесках.

Сосредоточенные заземлители в песке

В качестве сосредоточенных заземлителей использованы стальные трубы внешним диаметром $d=1\frac{3}{4}$ " и длиной $l=1,8$ м, вертикально забитые в чисто песчаный грунт (пласт песка толщиной около 9—10 м) на глубину $h=0,8$ м (рис. 1а). Пользуясь органическими, растворимыми в песчаных грунтах веществами, например, таннином, представляется возможным уменьшить вязкость суспензии и добиться удовлетворительного ее проникновения в почву. Следует рекомендовать суспензии большей вязкости для гравия и меньшей для мелкозернистого песка. Результаты обработки песка вокруг трубчатых заземлителей приведены в табл. 3, где R'_z — минимальное значение R_z в летний период, R''_z — среднее значение R_z после обработки.

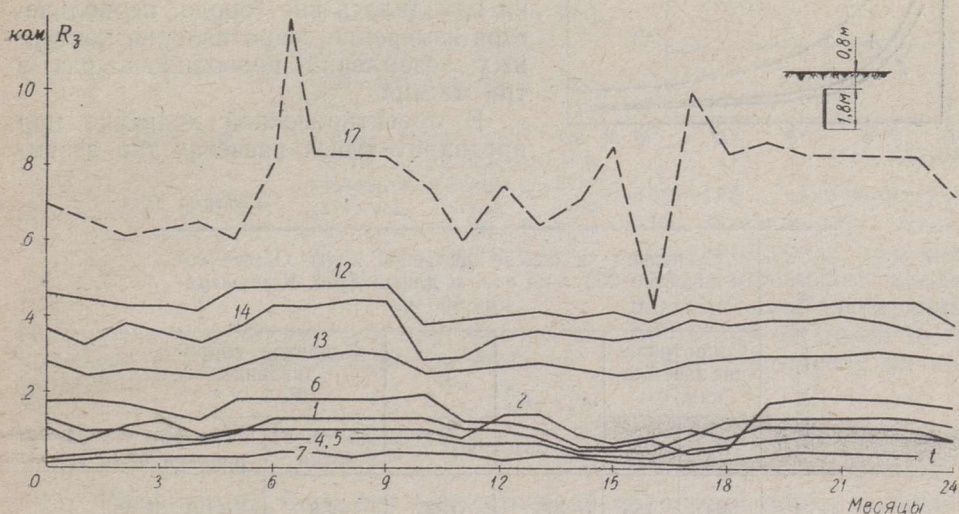


Рис. 2. Зависимость сопротивления заземления сосредоточенных заземлителей, обработанных суспензиями глины (по данным табл. 3), от времени.

Протяженные заземлители (лучи) в супеске

Протяженные заземлители представляют собой лучи различной длины, изготовленные из стальной оцинкованной проволоки диаметром $d=6$ мм и длиной (l) до 40 м. Лучи были заложены горизонтально в канавы на глубину $t=0,5$ м (рис. 1б). Толщина пласта супески в этих местах не превышала 1—2 м. Под супеском находилась массивная скала (известняк). На основании результатов измерений, приведенных в табл. 4, можно заключить, что разность $R'_z - R''_z$ является наибольшей при сравнительно коротких (до 8 м) лучах. Как видно из рис. 3, обработка суспензией снижает величину R_z в три раза.

Контурные заземления мачт ВЛ 35 кВ

Контурные заземления представляли собой четыре вертикально забитые в почву трубчатых заземлителя диаметром $d=2$ ", соединенных полосами сечением 25×4 мм по схеме рис. 4. Обработке подвергалась почва только вокруг вертикальных заземлителей, причем производилась

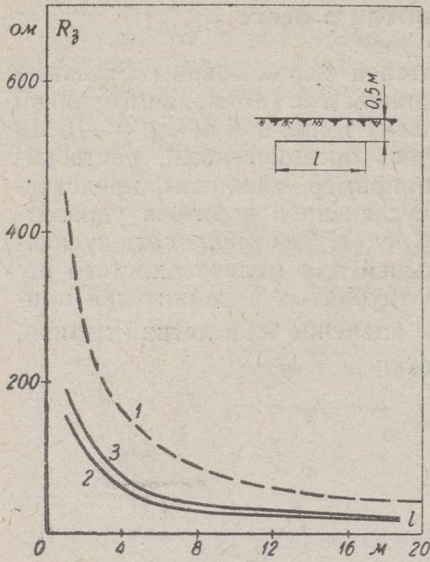


Рис. 3. Зависимость сопротивления заземления протяженных заземлителей, обработанных суспензией глины (по данным табл.4), от длины заземлителя. Величина R_3 : 1 — до обработки, 2 — после обработки, 3 — после двухлетнего пребывания в почве

она при тех же условиях, что и для одиночных труб: суспензия на основе щелочной воды, количество — 300 л, концентрация — 100 г/л.

Обработка контурных заземлений мачт снижала R_3 примерно в пять раз. Поскольку линия электропередачи находилась вне города, периодическое измерение сопротивления контурных заземлений проводилось раз в три месяца.

В проектировочной практике при предварительных расчетах тип зазем-

Таблица 4

Длина луча, м	Суспензия на основе щелочной воды. Общее количество 300 л на пог. м длины луча. Концентрация 100 г/л					
	Сопротивление заземления, ом		$R'_3 - R''_3$	$\frac{R''_3}{R'_3}$	Удельное сопротивление, $10^2 \text{ ом} \cdot \text{м}^*$	
	R'_3	R''_3			до обработки	после обработки
1	450	155	295	0,34	4,8	1,6
2	290	100	190	0,34	5,0	1,7
3	200	75	125	0,37	4,7	1,8
4	170	60	110	0,35	4,9	1,7
8	86	31	55	0,36	4,3	1,6
12	65	24	41	0,37	4,5	1,6
16	50	17	33	0,34	4,3	1,5
20	45	16	29	0,35	4,7	1,7

* Вычислено по формуле Найфельда [10]

$$\rho = \frac{2,7 \cdot l \cdot R_3}{\lg \frac{l^2}{t \cdot d}}$$

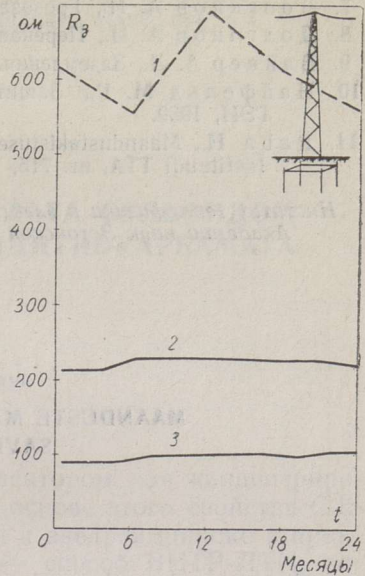
ления выбирается по величине удельного сопротивления почвы на месте укладки сооружаемого заземления. В каждом ответственном случае эту величину следует предварительно определить. Руководствуясь классификацией грунтов по удельному сопротивлению, приведенной в табл. 5 [7, 8], применяются типовые заземления группы, соответствующей величине удельного сопротивления, полученной после обработки почвы. В нашем случае представляется возможным применять в песке заземления 4-й группы, а в супеске — 2-й группы, чем достигается заметная экономия строительных материалов и монтажных работ без ущерба для надежности работы заземлений.

Особенное значение описываемый метод имеет для уменьшения ко-

Рис. 4. Зависимость сопротивления заземления контурных заземлений мачт ВЛ 35 кв от времени. Величина R_3 : 1 — до обработки, 2 — после обработки одного вертикального заземлителя, 3 — после обработки всех заземлителей контура.

Таблица 5

№ группы	Удельное сопротивление, $10^2 \text{ ом} \cdot \text{м}$	Тип грунта
1	До 1	Чернозем, глина, суглинки
2	1—3	Лес, супески, глина с содержанием влаги до 40%
3	3—5	Пески, пески с галькой
4	5—10	Сухие пески, пески с валунами
5	Более 10	Степные пески при мощности пласта более 10 м и глубоко стоянии грунтовых вод; мягкие грунты при малой мощности слоя (1,5 м) на скальном основании



личества заземлителей при сооружении новых подстанционных заземлений и маленьком пространстве для заземления,

ограниченном зданиями или другими препятствиями, но он может быть применен и для действующих заземлений в целях повышения их качества.

Выводы

1. Разработана методика искусственной обработки плохо проводящих почв, заключающаяся в обогащении почвы вокруг заземляющих устройств суспензией глины.

2. Методика обработки может быть применена в целях уменьшения R_3 заземляющих устройств как находящихся в эксплуатации, так и проектируемых. В последнем случае предварительно задаются величинами ρ , полученными при обработке соответствующих почв.

3. Использование органических веществ дает возможность изменить вязкость суспензии глины и добиться удовлетворительного ее распределения в почвах различной зернистости.

4. Двухлетние периодические измерения R_3 опытных заземляющих устройств, обработанных суспензией глины, указывают на несущественное изменение достигнутых величин R_3 под влиянием атмосферных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

- Sanick J. H., Acta Polytechnica (Stockholm), No. 53, 41—46 (1949).
- Konczynski H., Prace Instytutu Łączności, VIII, № 3 (24), 80—81 (1961).
- Richter A. N., Transact. South African IEE, Nov., 333—347 (1957).
- Fritsch V., Geoelektrische Baugrunduntersuchung, Berlin, 1960.
- Тодоров Т., Научн. тр. Н.-и. ин-та охраны труда и проф. заболеваний (Болгария), № 2, 73—79 (1960).
- Jensen C., Electr. Eng., Feb., 68—74 (1945).

7. Долгинов А. И., Грозозащита электрических установок, ГЭИ, 1954.
8. Долгинов А. И., Перенапряжения в электрических системах, ГЭИ, 1962.
9. Вайнер А. Л., Заземления, ГОНТИ, 1938.
10. Найфельд М. Р., Защитные заземления в электротехнических установках, ГЭИ, 1959.
11. Raba H., Maandustakistuse vähendamine katsemaandustel. ENSV TA Energieetika Instituudi TTA, nr. 715, 1961. (Ротапринт).

*Институт термofизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
24. I 1964

MAANDUSTE MAANDUSTAKISTUSE VÄHENDAMINE SAVISUSPENSIOONIDE ABIL

H. Raba

Resümee

Nagu on selgunud, annab savisuspensioonide kasutamine maanduste maandustakistuse vähendamisel väikese elektrijuhtivusega pinnastes märksa paremaid tulemusi kui seni kasutatud keedusool ja teised kemikaalid. Savisuspensioonid võimaldavad veevarustuse vee baasil vähendada maandustakistust keskmiselt 3-kordselt. Savisuspensioonide kolloidsete omaduste aktiveerimise teel osutub aga võimalikuks vähendada maandustakistuse suurus 5-kordselt ja veel enam. Artiklis esitatakse liivaste pinnaste töötlemise meetod savisuspensioonide abil ja andmed suspensioonidega töödeldud üksik- ja kontuurmaanduste maandustakistuse muutumise kohta kahe aasta jooksul.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Termofüüsika ja Elektrofüüsika Instituut*

Saabus toimetusse
24. I 1964

ÜBER DAS VERRINGERN DES WIRKWIDERSTANDES DER ERDEN MIT HILFE VON SUSPENSIONEN

H. Raba

Zusammenfassung

Es ist bekannt geworden, dass der Gebrauch von Suspensionen zwecks Verringern des Wirkwiderstandes der Erden in Böden mit kleinem elektrischem Leitwert durchaus bessere Resultate erweist, als das bisher verwendete Kochsalz und andere Chemikalien. Suspensionen aus Lehm und Trinkwasser ermöglichen ein Verringern des Wirkwiderstandes etwa dreimal. Durch Aktivisieren kolloidischer Eigenschaften von Suspensionen wird aber ein Verringern des Wirkwiderstandes der Erden über fünfmal erzielt. Im Artikel wird in Methode zur Bearbeitung sandiger Böden mit Suspensionen gegeben und Resultate über das Benehmen der Grösse des Wirkwiderstandes mit Suspensionen bearbeiteter einzelner Erden und Erdungskonturen bei einer Messperiode von 2 Jahren veröffentlicht.

*Institut für Thermophysik und Elektrophysik
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSK*

Eingegangen
am 24. Jan. 1964