

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУНТОЗАМЕЩАЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

И.А. Павлович,

ст. преподаватель каф. практической подготовки студентов БГАТУ

С.М. Барайшук,

зав. каф. практической подготовки студентов БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

*В статье обоснована экономическая и экологическая эффективность применения композиционной грунтозамещающей смеси для заземляющих устройств сельскохозяйственных электроустановок. Использование смеси на основе глины, графита и гидрогеля обеспечивает соблюдение нормируемого сопротивления  $R \leq 4$  Ом согласно ТКП 339-2022 при сокращении количества вертикальных электродов и снижении капитальных затрат. Технологическое решение исключает применение химически агрессивных реагентов и обеспечивает стабильность параметров заземления в течение года.*

*Ключевые слова:* заземляющее устройство, грунтозамещающая смесь, экономическая эффективность, экологическая безопасность, металлоемкость, выбросы  $CO_2$ .

*The article substantiates the economic and environmental efficiency of using a composite soil-replacing mixture for grounding devices of agricultural electrical installations. The use of mixture based on clay, graphite, and hydrogel ensures compliance with the normalized resistance of  $R \leq 4$  Ohm according to TKP 339-2022 while reducing the number of vertical electrodes and reducing the capital cost. The technological solution eliminates the use of chemically aggressive reagents and ensures the stability of grounding parameters throughout the year.*

*Keywords:* grounding device, soil-replacing mixture, economic efficiency, environmental safety, metal consumption,  $CO_2$  emissions.

### Введение

Обеспечение стабильного сопротивления заземляющих устройств (ЗУ) представляет серьезную техническую проблему, особенно для грунтов с высоким удельным сопротивлением и значительными сезонными колебаниями влажности [1]. Ключевой сложностью является сильная зависимость удельного сопротивления грунта от температурно-влажностных условий [2], что создает риски временного превышения нормативных значений сопротивления ЗУ и угрозу электробезопасности [3]. Решение этих проблем неизбежно приводит к увеличению затрат.

Применяют различные методы снижения сопротивления заземляющего устройства, каждый из которых имеет свои особенности. Стабилизация влажности грунта посредством искусственного увлажнения или применения дренажных систем позволяет минимизировать сезонные колебания сопротивления [4]. Установка глубинных заземлителей ниже зоны промерзания грунта снижает их зависимость от температурных колебаний [5, 6], однако такие решения значительно дороже традиционного увеличения количества электродов [7].

Эффективным решением является химическая обработка грунта, хотя и требует регулярного обновления из-за вымывания реагентов [8]. Используются также заземлители в бетонной оболочке, которые демонстрируют повышенную проводимость и коррозионную стойкость, однако они требуют точного расчета состава бетонной смеси [9]. Ранее было установлено [10], что одним из перспективных способов является оптимизация электрофизических параметров заземляющих устройств при помощи грунтозамещающих композиционных смесей, обеспечивающих стабильность электрофизических параметров при температурно-влажностных колебаниях [7; 11]. Применение таких смесей требует учета возможного влияния на природные свойства грунтов [12], их техническая и экологическая эффективность зависит от влажностного режима [3; 13], а затраты на материалы и монтаж требуют экономического обоснования.

Проблемы эффективности заземляющих устройств и обеспечения электробезопасности освещены в работах Е.А. Дерюгиной, А. И. Якобс, Л. М. Веденеевой, А.В. Чудинова, Д.Е. Кучеренко, Д.Н. Грищенко, В.А. Михайловой, В.Г. Андруша, А.И. Федорчука, М.А. Короткевича.

Целью данной статьи является обоснование эколого-экономической и технологической эффективности композиционной грунтозамещающей смеси на основе проводящих и влагостабилизирующих компонентов.

### Основная часть

Для сельскохозяйственных электроустановок напряжением до 1000 В, питающихся от сетей с глухозаземленной нейтралью (система TN-C-S), нормирование сопротивления защитного заземления осуществляется в соответствии с требованиями пунктов 4.3.8.2 и 4.3.8.4 ТКП 339-2022 [14].

Согласно пункту 4.3.8.2, сопротивление заземляющего устройства, к которому непосредственно присоединена нейтраль трансформатора (основной заземлитель), в любое время года должно быть не более 2, 4 или 8 Ом при линейных напряжениях 690, 400 и 230 В соответственно. Таким образом, для сельских электрических сетей стандартным является линейное напряжение 400 В, для которого нормируемое сопротивление основного заземляющего устройства составляет 4 Ом.

На основе рекомендованных методик [15] был проведен расчет сопротивления заземляющего устройства без применения грунтозамещающей смеси для среднего удельного сопротивления грунта в Республике Беларусь.

Требуемое количество вертикальных стержней  $n$  для группового заземлителя (без учета коэффициента использования и сопротивления полосы) находится как [15, 16]:

$$n = \frac{R_b}{R_U} = \frac{160,6}{4} = 40,18 \approx 40 \text{ шт.}, \quad (1)$$

где  $R_b$  – сопротивление вертикального стержня, полученное экспериментальным путем, Ом

$R_U$  – допустимое сопротивление контура заземления, Ом

Если за конфигурацию группового заземлителя принять контур, длина горизонтальной полосы  $l_T$  определяется по формуле (10.19), приведенной в [16], причем расстояние между вертикальными электродамиратно одной длине вертикального электрода,  $a=3$  м:

$$l_T = 117 \text{ м.} \quad (2)$$

Для заданных условий, согласно первоначальному расчету по методике [16], для контура из 40 вертикальных электродов длиной 3 м, соединенных горизонтальной полосой длиной 117 м, получено значение сопротивления  $R_{гр} \approx 4,5$  Ом. Данная величина превышает нормируемое значение, установленное ТКП 339-2022 для основного заземляющего устройства в сети с глухозаземленной нейтралью при линейном напряжении 380 В [14].

Для обеспечения требуемого уровня электробезопасности и соблюдения условия  $R_{гр} \leq R_U$  потребовалось увеличить количество вертикальных электродов. Расчет показал, что при доведении числа стержней до  $n=46$  и соответствующем увеличении длины горизонтальной

связи до 138 м сопротивление контура снижается до  $R_{гр} \approx 3,92$  Ом, что укладывается в допустимый предел.

Таким образом, защитное заземление представляет собой защитный контур, состоящий из 46 вертикальных электродов, установленных на расстоянии 3 м, соединенных между собой горизонтальной полосой, смонтированной на глубине 0,5 м.

При применении околоэлектродных смесей необходимо использовать эквивалентное значение удельного сопротивления грунта с учетом замещения. Для определения эквивалентного удельного сопротивления грунта с учетом замещения части грунта смесью используем формулу, полученную на основе экспериментальных данных для однослойного грунта [10]:

$$\rho_{эkv} = \rho_3 \cdot 0,98^{\frac{d_{смеси}}{d_3}} \cdot \left( \frac{\rho_{смеси}}{\rho_3} \right)^{\frac{1}{3\pi}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{эkv}$  – искомое расчетное удельное сопротивление, Ом · м;

$\rho_3$  – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

$d_{смеси}$  – эквивалентный диаметр заземлителя, м;

$d_3$  – диаметр заземлителя, м;

$\rho_{смеси}$  – удельное сопротивление смеси, Ом · м.

В расчете были использованы те же нормативы удельного сопротивления грунта  $\rho_3$ .

Определяем сопротивление растеканию одиночного вертикального электрода  $R_b$  по формуле (4) из [15]:

$$R_b = 112,3 \text{ Ом}$$

В расчете будем использовать такие же параметры заземляющего устройства, что и для контрольного контура. Приближенное количество вертикальных стержней  $n$  при требуемом сопротивлении искусственного заземлителя

$$R_U = 4 \text{ Ом: } n \approx 28 \text{ шт.}$$

Определяем соответствующую длину горизонтальной полосы из [16]:

$$l_T = 81 \text{ м.}$$

Тогда сопротивление растеканию одиночного горизонтального заземлителя  $R_T$  и сопротивление всего контура  $R_{гр}$ :

$$R_T = 16,5 \text{ Ом,}$$

$$R_{гр} = 3,99 \text{ Ом.}$$

Полученное сопротивление растеканию тока группового заземлителя в обоих случаях находится в пределах, обозначенных в [1; 14; 16]

$$0,8 R_U \leq R_{гр} \leq R_U \quad (4)$$

Из расчетов следует, что при использовании смеси для оптимизации электрофизических параметров заземляющего устройства в качестве засыпки для замены грунта в околоэлектродном пространстве возможно упрощение монтажа контура заземления и уменьшение количества электродов на 30 %.

Расчет стоимости заземляющего устройства был проведен с учетом рыночной цены комплектующих. В таблице 1 приведена стоимость комплектующих элементов заземляющего устройства используемого типа без применения грунтозамещающей смеси (вариант 1) и с ее применением (вариант 2).

Произведем расчет экономической эффективности использования заземляющего устройства:

Экономия на капитальных затратах=3374,66 руб.

Как видно из таблицы 1, при монтаже контура заземления с использованием предлагаемой смеси возникает существенная экономия денежных средств.

Аналогичным образом произведем расчет еще нескольких объектов (табл. 2).

На представленных на рисунке 1 графиках показаны сравнения количества использованных электродов.

Как видно из графика, наибольшая экономия достигается при наибольшем удельном сопротивлении грунта на объекте монтажа.

Помимо прямой экономии материальных и трудовых ресурсов, применение грунтозамещающих смесей открывает возможность для оптимизации геометрических параметров заземляющего устройства. В условиях плотной застройки или дефицита свободной

территории актуальной становится задача минимизации площади, отводимой под контур заземления, при безусловном соблюдении нормативных требований по сопротивлению.

Для формализации данной задачи введем следующие обозначения:

$n$  – количество вертикальных электродов в контуре (целое число,  $n \geq 4$ );

$a$  – расстояние между соседними вертикальными электродами, м;

$L_v$  – длина вертикального электрода, м;

$V_{см}$  – объем грунтозамещающей смеси, засыпаемой вокруг одного вертикального электрода, м<sup>3</sup>;

$R_{гр}$  – сопротивление группового заземлителя, Ом;

$R_{норм}$  – нормируемое значение сопротивления.

Целевой функцией выступает площадь  $S$ , занимаемая контуром заземления. При равномерном размещении электродов по периметру квадрата его площадь выражается через периметр ( $n \cdot a$ ):

$$S = \left( \frac{n \cdot a}{4} \right)^2. \quad (5)$$

Таким образом, задача оптимизации формулируется следующим образом:

Таблица 1. Стоимость монтажа контура заземления

Наименование товара	Стоимость с НДС, руб.	Вариант 1		Вариант 2	
		Количество, шт	Стоимость, руб	Количество, шт	Стоимость, руб
Вертикальный заземлитель 16 мм (1,5 м)	57,20	92	5262,4	56	3203,2
Муфта	21,89	46	1006,9	28	612,92
Наконечник	17,65	46	811,9	28	494,2
Забивочник	10,46	46	481,2	28	292,88
Зажим	30,59	46	1407,1	28	856,52
Полоса 40x4 (1,0 м)	14,08	138	1943,0	81	1140,48
Глина (1кг)	0,36	0	0	257,04	257,04
Гидрогель (1кг)	36	0	0	302,4	302,4
Графит (1кг)	3	0	0	378	378
Итого			10 912,5		7537,64

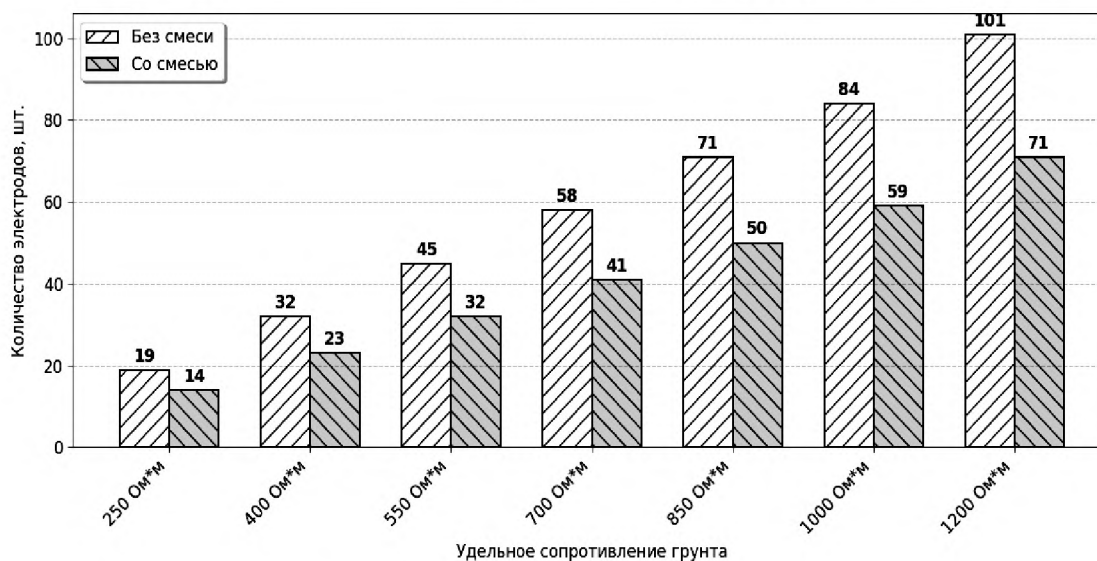


Рисунок 1. Сравнение количества электродов

**Таблица 2. Результаты расчетов**

Исходное $\rho$ грунта, Ом·м	Без смеси		С применением смеси		Экономический эффект	
	Кол-во электро- дов, шт.	Стоимость, руб.	Кол-во элек- тродов, шт.	Стоимость, руб.	Экономия, руб.	Снижение затрат, %
250	20	4 162	14	3 048	1 114	26.8%
400	32	7 011	23	5 006	2 005	28.6%
550	45	9 860	32	6 965	2 895	29.4%
700	58	12 709	41	8 923	3 786	29.8%
850	71	15 558	50	10 881	4 677	30.1%
1000	84	18 407	59	12 840	5 567	30.2%
1200	101	22 132	71	15 438	6 694	30.2%

Минимизировать  $S = \left(\frac{n \cdot a}{4}\right)^2$  при ограничениях:

$$R_{гр}(n, a, L_b, V_{см}) \leq R_{норм}. \quad (6)$$

Сопротивление группового заземлителя  $R_{гр}$  рассчитывается по методике, изложенной в [15, 16], с учетом эквивалентного удельного сопротивления грунта  $\rho_{экв}$  при частичном замещении смесью согласно формуле (3).

Поскольку  $n$  – целочисленная переменная, а зависимости носят нелинейный характер, то для решения задачи использовался комбинированный метод: сначала непрерывная релаксация с последующим уточнением дискретных значений. На первом этапе  $L_b$  и  $V_{см}$  фиксируются исходя из условия максимальной эффективности (минимума  $R_b$ ). Затем из условий Куна–Таккера для непрерывных переменных  $n$  и  $a$  получается система двух нелинейных уравнений, которая решается численно. Найденное непрерывное значение  $n$  округляется до ближайших четных целых, после чего для каждого из них решением уравнения  $R_{гр} = R_{норм}$  находится соответствующее  $a$  и выбирается вариант с минимальной площадью  $S$ .

Поскольку в точке минимума площади ограничение по сопротивлению будет активным (иначе можно было бы уменьшить  $n$  или  $a$ ), заменим неравенство (6) равенством:

$$R_{гр}(n, a) = R_{норм} \quad (7)$$

$$L = \left(\frac{na}{4}\right)^2 + \lambda(R_{гр}(n, a) - R_{норм}) \quad (8)$$

Необходимые условия экстремума:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial n} = \frac{n^2 a}{8} + \lambda \frac{\partial R_{гр}}{\partial n}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial a} = \frac{n^2 a}{8} + \lambda \frac{\partial R_{гр}}{\partial a} = 0$$

$$R_{гр}(n, a) = R_{норм}$$

Исключая  $\lambda$  из первых двух уравнений, получаем:

$$\frac{\partial R_{гр} / \partial a}{\partial R_{гр} / \partial n} = \frac{n}{a} \quad (9)$$

Таким образом, для нахождения оптимальных  $n$  и  $a$  необходимо решить систему двух нелинейных уравнений (7) и (8).

Следует отметить, что приоритет площади перед стоимостью может приводить к нескольким увеличенным объемам смеси или длинам электродов по сравнению со стоимостной оптимизацией, однако для стесненных условий такой компромисс является оправданным. Совместное применение разработанной смеси и методов математической оптимизации обеспечивает гибкость проектирования и позволяет в каждом конкретном случае выбирать наилучшее решение в зависимости от доступного пространства и бюджета.

Применение грунтозамещающей смеси позволяет оптимизировать конструкцию заземляющего устройства и снизить его металлоемкость. Проведенный анализ показывает, что данная технология обеспечивает сокращение расхода металла на 30 % по сравнению с традиционными решениями.

Для количественной оценки экологического эффекта был проведен расчет сокращения выбросов парниковых газов, в первую очередь диоксида углерода ( $CO_2$ ), образующихся на стадии производства металла.

За основу принято значение удельных выбросов  $CO_2$  при производстве одной тонны стали, составляющее в среднем 1,85 тонны  $CO_2$ -эквивалента по данным Всемирной ассоциации стали (*WSA*) [17, 18].

Расчет предотвращенных выбросов  $CO_2$  для одного заземляющего устройства производится по формуле:

$$\Delta E = M \cdot K \cdot UE, \quad (10)$$

где  $\Delta E$  – сокращение выбросов  $CO_2$ , т;

$M$  – исходная масса металла в заземляющем устройстве, т;

$K$  – коэффициент снижения металлоемкости (0,3);

$UE$  – удельные выбросы  $CO_2$  при производстве 1 тонны стали (1,85 т  $CO_2$ /т стали).

$$\Delta E = 0,37 \cdot 0,3 \cdot 1,85 = 0,204 \text{ т.}$$

Таким образом, для одного заземляющего устройства сокращение выбросов  $CO_2$  составит 0,204 тонны. Данная оценка наглядно демонстрирует вклад предлагаемого технологического решения в снижение углеродного следа и соответствует глобальным целям по смягчению антропогенного воздействия на климат [19].

Графит является природным минералом и абсолютно безопасным для окружающей среды. Он не растворяется в воде и не вступает в реакции, которые могли бы привести к образованию вредных для экосистемы соединений. Гидрогель (на основе полиакрилатов калия) представляет собой нетоксичный полимер, широко применяемый в сельском хозяйстве в

качестве влагоудерживающей добавки. Он биологически инертен, не разлагается в почве на опасные компоненты и не оказывает негативного воздействия на почвенную микрофлору и фауну [20, 21].

Традиционные методы химической обработки грунта, такие как использование солей (хлоридов, сульфатов), связаны с рисками вымывания реагентов, коррозии металлических элементов заземления и загрязнения почв и грунтовых вод. Предложенная смесь связывает соли в грунте в полусухой электrolит. Это особенно критично в сельскохозяйственных регионах, где чистота почвы и воды напрямую влияет на качество продукции и экологическое равновесие.

Данное технологическое решение особенно актуально для объектов агропромышленного комплекса, расположенных в непосредственной близости от природных экосистем, водоохраных зон и источников водоснабжения, и вносит вклад в сохранение экологического баланса территорий.

### Заключение

Выполненные исследования подтверждают, что применение композиционной грунтозамещающей смеси на основе проводящих и влагостабилизирующих компонентов обеспечивает достижение нормируемого сопротивления заземляющего устройства ( $R \leq 4$  Ом) в соответствии с требованиями [1; 15] при одновременном снижении металлоемкости конструкции. Для средних грунтовых условий Республики Беларусь требуемое количество вертикальных электродов сокращается с 46 до 28 шт., что эквивалентно уменьшению расхода стали на 40 % и экономии капитальных затрат на 3375 руб. (31 %) на одно заземляющее устройство. Экологический эффект выражается в сокращении выбросов  $\text{CO}_2$  на 0,204 т за счет снижения потребления металла.

Данное технологическое решение исключает применение коррозионно-активных реагентов и обеспечивает стабильность электрических параметров заземления в течение года, что особенно актуально для объектов агропромышленного комплекса, расположенных вблизи природных экосистем. Полученные результаты демонстрируют экономическую и экологическую целесообразность внедрения разработанной смеси в практику проектирования заземляющих устройств сельскохозяйственных электроустановок.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Грант № Т25УЗБ-024).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний: ТКП 339-2022 (33240). – Введен 20.12.2022. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2022. – 593 с.

2. Глушко, В.И. Влияние сезонных измерений параметров верхних слоев земли на электрические характеристики заземляющих устройств электроустановок / В.И. Глушко, О.Е. Ямный, Э.П. Ковалев // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2001. – № 2. – С. 60-68.

3. Герасимович, Д.А. Метод расчета электромагнитных характеристик уединенного стержневого заземлителя при стекании переменного тока промышленной частоты / Д.А. Герасимович, Е.А. Дерюгина // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 5. – С. 22-33.

4. Vilson, L.C. The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems / L. Coelho Vilson, A. Piantini, A.D. Almager Hugo [et al.] // Electric Power Systems Research. – 2015. – Vol. 118. – P. 76-82.

5. Vedeneeva, L.M. Investigation of the influence of basic soil properties on the resistance of grounding devices / L.M. Vedeneeva, A.V. Chudinov // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 89-100.

6. Datsios, Z.G. Laboratory characterization and modeling of DC electrical resistivity of sandy soil with variable water resistivity and content / Z.G. Datsios, P.N. Mikropoulos, I. Karakousis // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2017. – Vol. 24, № 5. – P. 3063-3072.

7. Datsios, Z.G. Laboratory Measurement of the Impulse Characteristics of Wet Sand / Z.G. Datsios, P.N. Mikropoulos, E.T. Staikos, T.E. Tsovilis, D. Vlachopoulos, S. Ganatsios // 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe): proceedings, Madrid, Spain, June 9-12, 2020. – P. 1-6.

8. Драко, М.А. Перспективные направления развития практики проектирования заземляющих устройств электроустановок белорусской энергосистемы / М.А. Драко, С.М. Барайшук, В.Л. Еруслапов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: международный научный семинар им. Ю. Н. Рудеенко: в 3 кн. – Кн. 3: Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2020. – Вып. 71. – С. 144-153.

9. Бохан, Н.В. Применение глубинных вертикальных заземлителей для снижения входного сопротивления заземляющего устройства / Н.В. Бохан // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й междунар. науч.-технич. конференции: в 3 т. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 20.

10. Павлович, И.А. Экспериментальное обоснование применения композиционной смеси для улуч-

шения характеристик заземляющих устройств / И.А. Павлович // Агропанорама. – 2025. – № 4. – С. 21-27.

11. Веденеева, Л.М. Исследование влияния влажности и пористости грунтов на величину их проводимости / Л.М. Веденеева, А.В. Чудинов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управленческие риски. – 2016. – № 5. – С. 119-130.

12. Драко, М.А. Коррозия заземлителей электроустановок / М.А. Драко // Энергетическая стратегия. – 2019. – № 6. – С. 44- 48.

13. Сухарь Г.А. Вопросы обеспечения электробезопасности при проектировании военных зданий и сооружений различного назначения на основе действующих стандартов / Г.А. Сухарь, О.Е. Белов, А.В. Вязников // Военный инженер. – 2021. – № 2 (20). – С. 12-18.

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: ТКП 181-2023 (33240). – Введен 28.02.2025. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2022. – 344 с.

15. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций: СП 4.04.05-2023. – Введен 15.02.2024. – Минск: СТРОЙТЕХНОРМ, 2023. – 28 с.

16. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций: СН 4.04.03-2020. – Введен 21.04.2021. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 161 с.

17. World Steel Association [сайт]. – 2003 – 2025. – URL: [http:// https://worldsteel.org/](http://https://worldsteel.org/) (дата обращения: 01.11.2025).

18. Recycling Today [сайт]. – 2003 – 2025. – URL: <https://www.recyclingtoday.com/news/worldsteel-co2-report> (дата обращения: 01.11.2025).

19. European Parliament [сайт]. – 2003 – 2025. – URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20180305STO99003/reducing-carbon-emissions-eu-targets-and-policies> (дата обращения: 01.11.2025).

20. Ревенко, В.Ю. Использование гидрогелей в растениеводстве / В.Ю. Ревенко, О.М. Агафонов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 11 – С. 59-65.

21. Шеркузиев, Д.Ш. Технологии получения новых гидрогелей комплексного действия для сельского хозяйства / Д.Ш. Шеркузиев [и др.] // Universum: технические науки. – 2020. – № 4 (73). – С.39-44.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.04.2026

## Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

ГОВ.

*Производство плугов освоено на ДП «Минийтовский ремонтный завод».*

*В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.*

### Основные технические данные

Тип.....	навесной
Тип корпуса.....	полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	1,20/1,35/1,50/1,65