

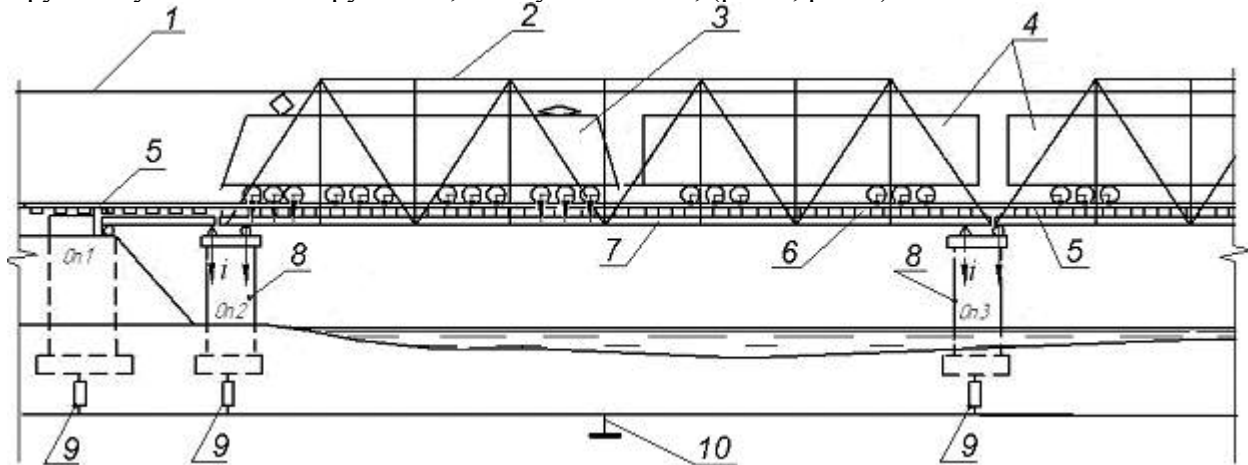
УДК: 620; 624.21

*Кротова О.М. инженер,  
Национальный авиационный университет, г. Киев  
Токарев М.Н. кандидат технических наук, доцент,  
Харьковский Национальный университет  
строительства и архитектуры, г. Харьков  
Украина*

## ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ БЕТОНА ВОЗДЕЙСТВИЮ ТОКА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОГ ПУТЕМ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОР КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Электрокоррозии от постоянного тока в обводненных железобетонных конструкциях подвергается и разрушается не только арматура, но и бетон [1]. Более того, разрушаются в этих условиях и неармированные бетонные и каменные конструкции. Электрокоррозионное разрушение возникает под действием не только постоянного, но и переменного тока.

В качестве объектов, на которых проявляется такое электрокоррозионное воздействие токов утечки, рассмотрены мосты через водотоки, водопропускные трубы под железнодорожными путями и расположенные рядом с путями пассажирские платформы. Особенностью этих объектов является кратчайший путь для токов утечки через обводненные, а, следовательно, водонасыщенные конструкции указанных сооружений, в воду и в землю, (рис.1, рис.2).



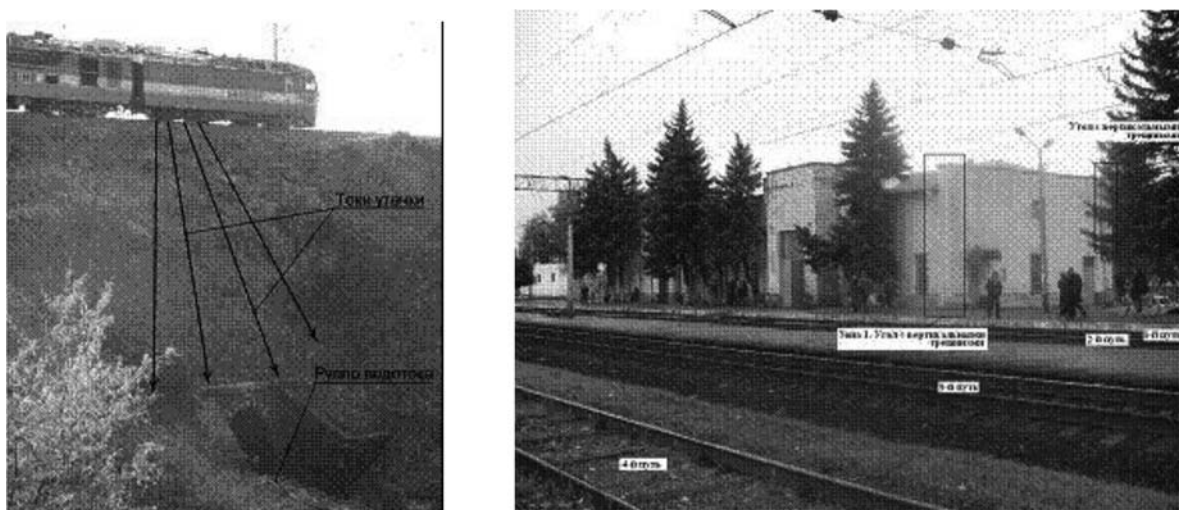
**Рисунок 1** - Схема возникновения электрических потенциалов и токов утечки в конструкциях металлического моста:

- 1 – контактный провод; 2 – верхний пояс фермы; 3 – электролокомотив; 4 – вагоны; 5 – рельсы;
- 6 – подрельсовые основания (мостовые брусья, плиты БМП); 7 – нижний пояс фермы;
- 8 – мостовые опоры; 9 – сопротивление растеканию тока в грунте; 10 – земля.

Кроме того, выполненный анализ литературных данных, в том числе зарубежной литературы, показывает, что блуждающие потенциалы (термин из зарубежной литературы) возникают практически от любых достаточно мощных источников (трансформаторные подстанции, промышленный рельсовый транспорт, городской электротранспорт, электродвигатели различных механизмов и др.). При этом потенциалы попадают на конструкции промпредприятий, животноводческие фермы, жилые дома и другое и даже оказывают вредное влияние на людей

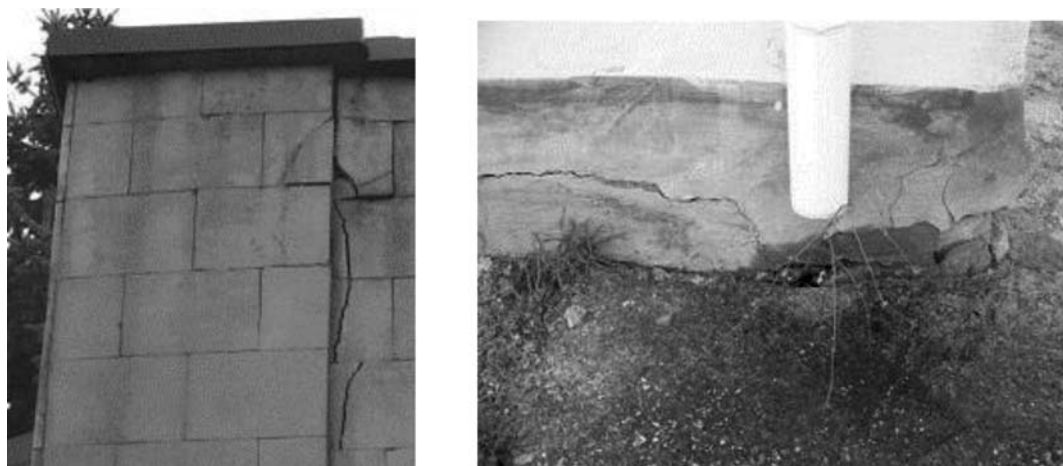
и животных. В ряде литературных источников [5] обращается внимание на необходимость обязательной защиты конструкций таких зданий и сооружений от разрушающего действия блуждающих токов и потенциалов.

Изложенное дает основание предположить, что на железной дороге блуждающие токи и токи утечки могут вызывать разрушения не только конструкций мостов через реки и водопропускные трубы, расположенные непосредственно под рельсами, с которых стекает ток в землю, но и бетонных, железобетонных, кирпичных и каменных конструкций зданий и сооружений, расположенных на некотором удалении от путей.



**Рисунок 2** - а) Прохождение поездов с электротягой над водопропускной трубой, заполняемой водой в период дождей и паводков;  
 б) Здание железнодорожного вокзала, расположенное рядом с рельсовыми путями на электрифицированном постоянным током участке железной дороги.

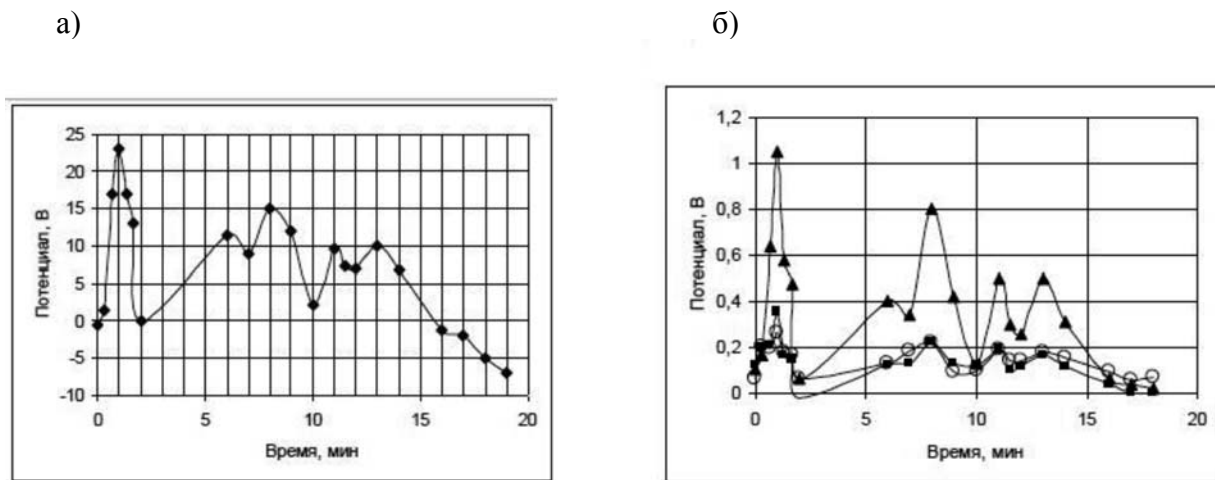
Проведены экспериментальные исследования электрических потенциалов на рельсовых путях, поверхности грунта на разных расстояниях от рельса, а также зданиях и сооружениях трех железнодорожных станций, расположенных вблизи путей, электрифицированных постоянным током [2]. Эти станции были наиболее разрушенными (рис. 3). А также была исследована взаимосвязь повреждений с указанными потенциалами.



**Рисунок 3** - а) трещины в стенах; б) разрушение цокольной части здания вокзала, расположенного вблизи рельсовых путей электрифицированного участка железной дороги.

Измерение потенциалов производили с помощью мультиметра DT 9208A с высоким входным сопротивлением. Потенциалы на рельсе  $U_p$  измеряли по отношению к «Земле», в качестве которой использовали арматурный стержень периодического профиля диаметром  $\varnothing = 12$  мм, забитый в землю на глубину около 1,5 м, на расстоянии 100 метров от пути. Потенциалы на поверхности грунта  $U_{гр}$  измеряли по отношению к той же «Земле». Для измерения потенциалов на конструкциях использовали датчик, в котором контакт с поверхностью конструкции обеспечивается губкой, смоченной насыщенным водным раствором медного купороса  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ . Губка находится в стальном корпусе, к которому припаян измерительный провод.

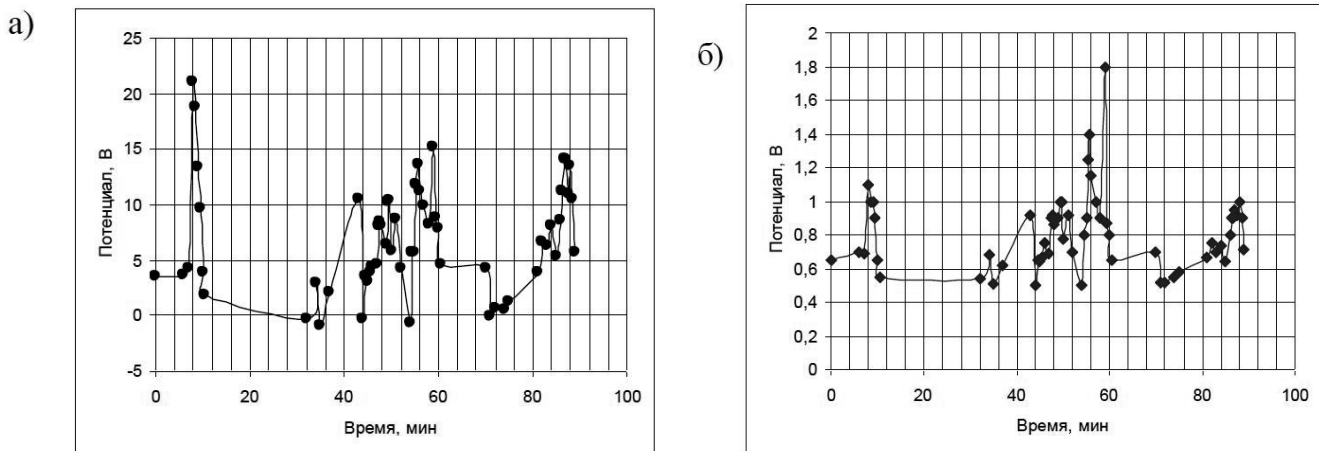
Результаты измерений потенциалов на рельсах  $U_p$  и поверхности грунта  $U_{гр}$  при движении поездов на ст. Остряково представлены на рис. 4.



**Рисунок 4** - а) изменение потенциала на рельсе  $U_p$ ; б) изменение потенциала на поверхности грунта  $U_{гр}$  для указанных расстояний от рельсов:

- ▲— потенциал  $U_{гр1}$  на поверхности грунта на расстоянии 10 м от 1-го пути;
- потенциал  $U_{гр2}$  на поверхности грунта на расстоянии 28 м от 1-го пути;
- потенциал  $U_{гр3}$  на поверхности грунта на расстоянии 36 м от пути.

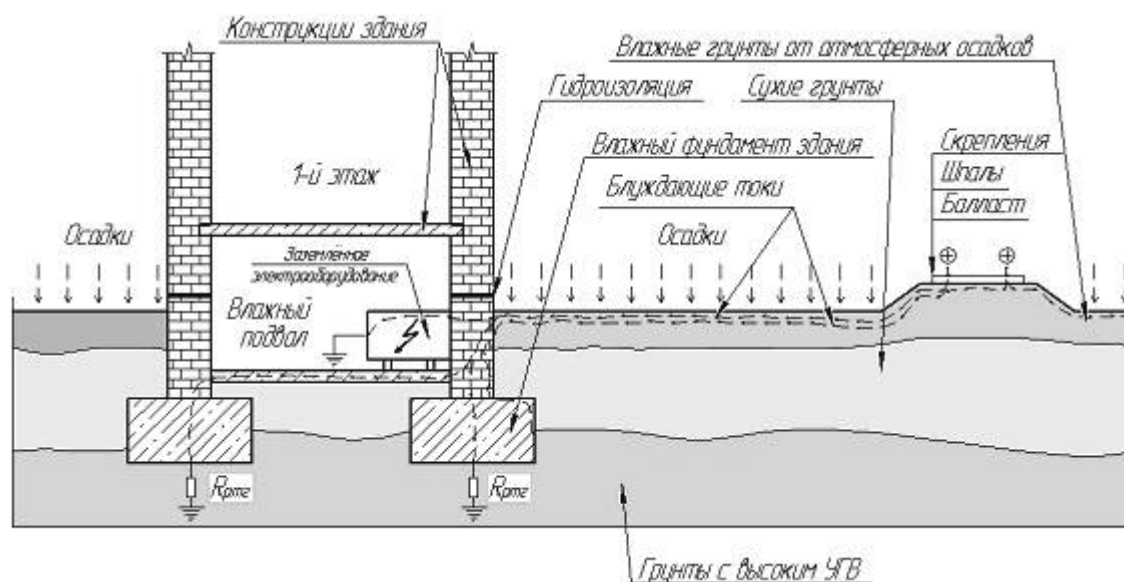
Согласно полученным данным изменение потенциалов на поверхности грунта на расстояниях 10 м ( $U_{гр1}$ ), 28 м ( $U_{гр2}$ ) и 36 м ( $U_{гр3}$ ) от пути и потенциала на рельсе  $U_{р1}$  при прохождении поездов имеют одинаковый характер с практически синхронным проявлением максимумов потенциалов.



**Рисунок 5** - Изменение потенциала:  
а) на рельсе 3-го пути  $U_{р3}$ ; б) на стенке здания вокзала

Постоянный потенциал распространяется по местности в зависимости от влажности среды на десятки метров и на конструкциях зданий, расположенных в десятках метров от путей, достигает 2 В. Результаты измерений потенциалов на рельсах  $U_p$  и здании вокзала  $U_{зд}$  при движении поездов на ст. Остряково представлены на рисунке 5. Представленные выше данные изменения потенциала на здании  $U_{зд}$  и потенциала на рельсе  $U_p$  при прохождении поездов по станции также имеют одинаковый характер с синхронными повторениями максимумов потенциалов. Аналогичные данные получены по остальным станциям [2].

При прохождении поезда с постоянной электротягой положительный потенциал с рельсов передается по грунту в глубину и по поверхности, убывая с расстоянием, попадает на наружную поверхность бетонной или железобетонной конструкции, конструкции из кирпича или камня со швами из цементно-песчаного раствора, вызывает протекание тока (аналог блуждающему) через влажные или водонасыщенные бетон или раствор в землю.



**Рисунок 6** - Схема натекания блуждающих токов на конструкции зданий, расположенных в отдалении от электрифицированных постоянным током участков железных дорог.

Из рисунка 6 видно, что блуждающие токи при дождливой погоде или влажном грунте, когда сопротивление поверхностных слоев грунта меньше, чем глубинных слоев, могут распространяться на значительные расстояния (десятки метров) от пути и входить в землю в местах с меньшим сопротивлением растеканию тока в грунте, чем под рельсовыми путями. При этом, если на пути блуждающего тока расположена конструкция из проводящего ток материала (металлическая, бетонная, железобетонная, каменная или кирпичная) он может протекать через конструкцию и фундамент в грунт или проходить через конструкцию в оборудование и через его заземление в заземляющий контур в землю.

Проблема повышения плотности и прочности бетонных и железобетонных изделий в транспортном строительстве может быть решена при сравнительно небольших затратах путем формирования структуры, которая исключает проникновение влаги и обладает достаточно высоким электросопротивлением, что достигается при заполнении пористого пространства тела бетона, а также неплотностей в структуре готовых изделий отверждающимися жидкостями.

Пористая структура бетона имеет свои особенности. Она представляет собой систему хаотически распределенных пор размером от 100 Å и менее до 100 мкм, а иногда до 0,5 см. Крупные поры образуются, в основном, в результате вовлечения воздуха при укладке и перемешивании бетонной смеси. При наблюдении за состоянием структуры бетона выявлено, что происходит нарушение сплошности бетона в контактной зоне растворной части и крупного заполнителя в

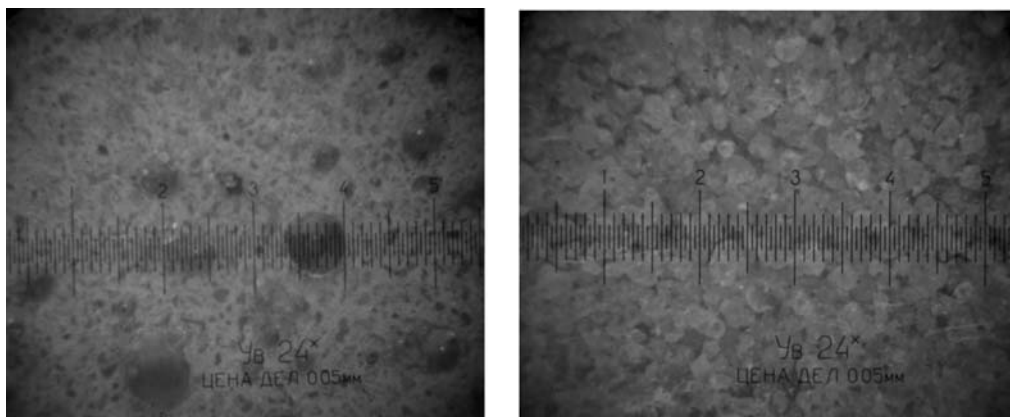
результате недостаточной адгезии [3]. Бетон – типичное капиллярно-пористое тело. Свойства капиллярно-пористых тел функционально зависят от пористости. Пористость – основной фактор, лимитирующий прочность цементного камня. Восстановление сплошности бетона возможно путем пропитки пористого пространства твердеющей жидкостью, что приведет к увеличению плотности бетона, а отверждение пропитывающей жидкости увеличит диэлектрический показатель и даст увеличение его прочностных показателей. При исследовании режимов пропитки бетона и влияния их на физико-механические характеристики пропитанных изделий, изучалось влияние предварительного вакуумирования бетонных образцов на степень насыщения их пропитывающими жидкостями при повышенном давлении.

Проведенный анализ позволяет заключить, что, как достижение полного заполнения пористого пространства, так и ускорение темпа пропитки возможно при условии удаления воздуха из капиллярно-пористого тела бетона [4]. Полная пропитка бетона возможна при условии проведения процесса насыщения в несколько этапов: 1 – дегазация пористого пространства; 2 – сохранение внутри изделия вакуума; 3 – погружение пористого изделия в пропитывающую жидкость; 4 – создание в жидкости избыточного давления для ускорения процесса заполнения пор и капилляров. Установлено, что для пропитки могут быть использованы менее прочные (в твердом состоянии), менее пожароопасные и дорогостоящие вещества, чем полиметилметакрилат или полистирол, а именно: жидкое стекло или расплавленная сера. Характеристики образцов бетона подвергнутых пропитке представлены в таблице 1.

**Таблица 1** - Характеристики образцов (4x4x16см), состав бетона (Ц:З = 1:5), (В:Ц=0,6).

Образец бетона пропитан таким веществом	Плотность образца, г/см <sup>3</sup>	Прочность растяжения при изгибе R <sub>bt</sub> , МПа	Прочность при сжатии R <sub>b</sub> , МПа	Водопоглощение, %
контр. (не проп.)	2,02	2,81	9,28	5,59
метилметакрилат	2,78	67,23	102,41	0,24
жидкое стекло	2,45	9,50	21,64	1,15
расплав серы	2,86	10,74	34,52	1,07

Модифицированные пропиткой бетоны практически не имеют пор (рис. 7), так что при испытании образцов бетона на проницаемость водой под давлением они разрушаются механически от силы давления, но не пропускают воду вплоть до разрушения.



**Рисунок 7** - Структура мелкозернистого бетона (24<sup>x</sup>):  
а) до проведения пропитки; б) после пропитки жидким натриевым стеклом при интенсивном режиме

Полная непроницаемость обеспечивает морозостойкость и стойкость изделия в агрессивных средах – т.е. повышенную долговечность, и, что особенно важно, электростойкость. Электрическое сопротивление  $10^{10}$ – $10^{13}$  Ом·см, стабильное в разных влажностных условиях, обеспечивает им необходимые электроизоляционные свойства на электрифицированных участках железных дорог. Хорошие электроизоляционные свойства позволяют использовать новые материалы при строительстве линий электропередач. В частности, для подземных высоковольтных кабелей неармированные бетонные пропитанные конструкции предпочтительнее железобетонных, т.к. наличие стальной арматуры в электромагнитном поле кабеля вызывает значительные энергетические потери.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плагин А.Н. Электрокоррозия железобетонных мостов и других сооружений / Плагин А.Н., Скорик А.А., Плагин А.А. и др. // Залізничний транспорт України, 2004. – №1. – С. 11–13.
2. Плагин А.Н. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог / Плагин А.Н., Плагин А.А., Калинин О.А., Плагин Д.А., Плагин Ал.А., Дудин А.А., Борзяк О.С. // Зб.наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109. – С. 131–143.
3. Вандоловський О.Г. Бетон як композиційний матеріал. Аналіз дефектів структури та шляхи їх ліквідації просоченням / Вандоловський О.Г., Токарев М.М. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007. – № 41. – С. 122–126.
4. Токарев М.М. Отримання високоміцних бетонних виробів методом просочення шляхом створення в бетоні внутрішнього вакууму / Токарев М.М., Кротова О.М. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – Київ, 2010. – № 35. – С. 75–78.
5. Bucklin R.A., Talbot M.T., Becker W.J., Bray D.R. Stray Voltages In Dairies // edis.ifas.ufl.edu/AE019.