

УДК 621.316.9

**З.А.ВОРОНИНА**, зав. отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**О.Ю. ГЛЕБОВ**, ст. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**В.И. ДОЦЕНКО**, канд. техн. наук, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**В.М. ЖИНЖИКОВ**, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**Г.М. КОЛИУШКО**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зам. директора,  
НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

## **МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

В статье перечислены основные функции заземляющих устройств (ЗУ), приведен перечень проверок ЗУ согласно нормативных документов, а также перечень основных недостатков ЗУ различных объектов.

**Ключевые слова:** заземляющее устройство, электробезопасность, выравнивание и уравнивание потенциалов, релейная защита и автоматика, подстанции.

**Введение.** В современных условиях заземляющее устройство (ЗУ) выполняет следующие функции [1]:

- защита от напряжений прикосновения и шага при повреждении изоляции (то есть выравнивание потенциалов на поверхности земли);
- обеспечение действия релейных защит от замыканий на землю;
- защита изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- защита подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- обеспечение действий защит от перенапряжений;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод в грунт рабочих токов (токи несимметрии, токи при использовании земли в качестве провода и т. п.);
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности;
- уравнивание потенциалов;
- защита от статического электричества.

ЗУ является неотъемлемой частью электроустановки. В аварийных режимах именно ЗУ имеет определяющее значение для обеспечения электробезопасности и надежности функционирования. Поэтому определение состояния ЗУ является актуальной задачей.

**Нормативные требования по диагностике ЗУ.** С целью определения состояния ЗУ сотрудники НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» в соавторстве с сотрудниками ГП «ДонОРГРЭС» в 2003 году разработали нормативный документ ГНД 32.20.303 «Випробування та контроль пристроїв заземлення еле-

ктроустановок. Типова інструкція», а в 2009 году пересмотрели и выпустили в виде СОУ 31.2-21677681-19:2009 «Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція».

Данный документ предусматривает следующие виды проверок:

- проверка конструктивного исполнения ЗУ;
- проверка соединения заземляемых частей электроустановки с ЗУ;
- проверка соединения естественных заземлителей с ЗУ;
- определение путей растекания тока при коротком замыкании (КЗ);
- измерение сопротивления ЗУ электроустановок;
- измерение напряжения прикосновения;
- проверка напряжения на ЗУ при стекании с него тока КЗ;
- проверка коррозионного состояния;
- определение удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования.

Специально для выполнения указанных выше измерений и проверок сотрудниками НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработали измерительный комплекс КДЗ–1У. Этот комплекс введен в Реестр измерительной техники, допущенной к применению в Украине.

Основное достоинство разработанной методики заключается в том, что работы выполняются на действующем объекте (без снятия напряжения и без какой-либо документации на ЗУ). Естественно данная методика позволяет проверять монтаж ЗУ на соответствие проектной документации по окончании строительства или ремонта.

**Анализ результатов диагностики ЗУ.** На сегодняшний день сотрудниками НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» обследовано около 1000 объектов. Среди них все четыре ныне действующие атомные электростанции, около полутора десятка тепловых электростанций, три гидроэлектростанции Днепровского каскада, около 800 подстанций 35 – 750 кВ, газокompрессорные и нефтеперекачивающие станции, установки связи, а также здания и сооружения промышленного и иного назначения.

Анализ результатов диагностики ЗУ, полученных за последние пятнадцать лет, позволяет утверждать, что ЗУ практически всех объектов на момент обследования не удовлетворяли требованиям ПУЭ как по конструктивному выполнению, так и по значениям контролируемых параметров.

Недостатки ЗУ обусловлены целым рядом как объективных, так и субъективных факторов. К объективным факторам можно отнести естественную коррозию заземляющих проводников, что приводит, в конце концов, к их полному разрушению. Геофизические свойства грунта, протекание блуждающих токов также оказывают разрушающее действие на элементы ЗУ. Близость и агрессивность грунтовых вод вносит немалую лепту в разрушение ЗУ.

К субъективным факторам следует отнести следующие.

1. Проектная организация выполняла проектирование ЗУ согласно действовавших на момент проектирования нормативных документов, которые

не отвечают современным более жестким требованиям.

2. Строительно-монтажные организации, выполнявшая строительную часть подстанций и ЗУ, допускали отступления от проектной документации, которые по окончании строительства не проверялись.

3. Организация, выполнявшая ремонт ЗУ, допустила нарушения требований ПУЭ.

Следующие недостатки ЗУ можно считать типичными для обследованных объектов.

1. Вся территория открытого распределительного устройства (ОРУ) не занята сеткой ЗУ.

2. Расстояние от оборудования до заземлителя не редко превышает 1,5 м.

3. Горизонтальные заземлители проложены на разной глубине.

4. Отсутствие соединения продольных и поперечных горизонтальных заземлителей в местах их пересечения.

5. Металлическая ограда объекта присоединена к ЗУ, а выравнивающая потенциалы шина за пределами объекта отсутствует.

6. Здание общеподстанционного пункта управления (ОПУ) и другие здания (компрессорная, аппаратная пожаротушения, маслохозяйство и др.) не имеют внешнего контура заземления, а связь внутреннего контура (системы уравнивания потенциалов здания) с ЗУ осуществляется по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения (защитные и экранирующие оболочки силовых и контрольных кабелей, PEN проводники кабелей 0,4 кВ сети собственных нужд), металлоконструкциям кабельных сооружений, проводящим частям бытовых и технологических инженерных коммуникаций (коммунальный водопровод, воздухопровод, пожарный водопровод, маслопровод).

7. При расположении здания ОПУ между двух ОРУ разных классов напряжения отсутствует необходимое количество связей между ЗУ этих ОРУ (должно быть не менее четырех) и отсутствуют необходимое количество связей между ЗУ этих ОРУ, проходящие в непосредственной близости от здания ОПУ (должно быть две связи).

8. В местах установки силовых трансформаторов (автотрансформаторов), короткозамыкателей, разрядников и ограничителей перенапряжений (ОПН) отсутствует сетка ЗУ с ячейкой 6×6 м.

9. Трансформаторы (автотрансформаторы) и их нейтрали связаны с ЗУ только по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения, трубам пожаротушения, рельсам, металлоконструкциям портала, что не обеспечивает должного отвода токов в грунт.

10. У разъединителей не заземлены механизмы ручных приводов.

11. У воздушных выключателей в случае аварии большая часть аварийного тока (от 50 до 90 %) может растекаться по воздухопроводу высокого давления (20 атм.) и заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей, что обусловлено отсутствием у воздушных выключателей гальванической

связи между корпусом (баком) выключателя и заземленным основанием (рамой), на котором установлен выключатель.

12. Конденсаторы связи (КС) присоединены к ЗУ длинными (10 м и более) проводниками и в случае аварии большая часть аварийного тока (до от 20 до 50%) может протекать по экранирующей оболочке радиочастотного кабеля. Радиочастотные кабели прокладываются в грунте на глубине нескольких сантиметров.

13. На подстанциях в качестве молниеотводов используются осветительные мачты с установленными на них стержневыми молниеприемниками. Прокладка кабеля 0,4 кВ электропитания осветительного оборудования выполнена с нарушением требований ПУЭ: кабель прокладывается в грунте на подходе (10 м) к молниеотводу и далее по молниеотводу не в металлической трубе.

14. Отдельностоящий молниеотвод устанавливают в непосредственной близости от здания ОПУ, а токоотвод молниеотвода присоединяют только к внутреннему контуру (системе уравнивания потенциалов) ОПУ, что в случае прямого удара молнии неизбежно приведет к заносу высокого потенциала в ОПУ. Иногда токоотвод молниеотвода подсоединяют непосредственно к заземляющему спуску высоковольтного оборудования.

15. Отдельностоящий или порталый молниеотвод установлен на расстоянии 20-30 см от кабельного канала и его токоотвод присоединен к металлоконструкции канала, что в случае прямого удара молнии неизбежно приведет к электрическому пробое изоляции кабелей, проложенных в этом канале. Металлическую ограду ОРУ или внешнюю ограду подстанции приваривают к металлической конструкции молниеотвода.

16. Токоотводы молниеотводов, установленных на крышах зданий, не редко выполнены с нарушением нормативных документов по молниезащите: не соблюдены безопасные расстояния от оконных и дверных проемов и др.

17. Расположение кабельных каналов на многих подстанциях не отвечает требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС). Элементы металлоконструкции кабельных каналов не редко находятся в неудовлетворительном состоянии вследствие коррозии и не выполняют защитных экранирующих функций.

18. При прокладке кабелей в кабельных каналах не выдерживаются расстояния между силовыми и контрольными кабелями. Очень часто кабели лежат «в навал». При вводе кабелей в здание ОПУ защитные и экранирующие оболочки кабелей не присоединяются к внутреннему контуру (системе уравнивания потенциалов) здания. При прокладке кабелей в грунте не выдерживается глубина прокладки. Кабели не защищены от механических повреждений. Не редко кабели укладываются прямо на горизонтальные заземлители.

19. Шкафы управления разъединителями не имеют заземляющих спусков и соединяются с ЗУ по заземленным с двух сторон проводящим частям силовых и контрольных кабелей.

20. Бетонные порталы на некоторых подстанциях не имеют видимых заземляющих спусков. После ремонта порталов (бетонирования его основания) заземляющие спуски также становятся невидимыми.

21. Заземление вышек связи выполняется с нарушением требований ПУЭ и других нормативных документов по заземлению устройств связи: не выполнено уравнивание потенциалов между вышкой и оборудованием связи; отсутствуют устройства защиты от импульсных помех на вводе кабелей связи в здание (помещение) связи. В случае прямого удара молнии в вышку связи указанные недостатки неизбежно приводят к сбоям и даже к физическому разрушению устройств связи.

22. Металлические ограды вокруг элементов ОРУ (трансформаторов собственных нужд, разрядников, ОПН, КС и др.) не заземлены.

23. На многих обследованных подстанциях выявлены места вероятного выноса высокого потенциала за пределы подстанции. Вынос потенциалов возможен по трубам водоснабжения, канализации, а также по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения.

24. При проведении диагностики выполняется определение нормируемой величины – сопротивление ЗУ. Для некоторых подстанций это требование не выполняется. Особенно это характерно для небольших подстанций с неразвитой сеткой ЗУ, занимающей маленькую площадь, а также для подстанций, построенных на грунтах с большим удельным сопротивлением.

25. При проведении ремонтных работ заземляющие проводники (спуски) иногда выполняются либо из арматуры, либо из проволоки диаметром 6 – 8 мм, что не удовлетворяет требованиям по термической стойкости к току КЗ. Ремонтное (или новое) оборудование присоединяется к ЗУ проводниками длиной более 1,5 м. Группа оборудования соединяется заземляющим проводником последовательно. Иногда не выполняются соединения продольных и поперечных заземлителей в местах их пересечения, а там, где выполняются имеют место нарушения требований по длине сварного шва и защите от коррозии.

26. На некоторых подстанциях выявляются группы оборудования, которые связаны между собой, но связи с общим ЗУ не имеют. Этот недостаток характерен для больших магистральных подстанций.

Для иллюстрации указанных недостатков на рис. 1-9 приведены примеры ЗУ подстанций, расположенных в различных частях Украины. Приведенные рисунки позволяют заключить, что недостатки не зависят от географического расположения подстанций, а обусловлены скорее субъективными факторами, нежели коррозионными процессами различной природы.

На рис. 1 изображен план подстанции, расположенной в восточной части Украины. В нижней части рисунка расположено ОРУ-220 кВ и автотрансформаторы 220/110 кВ, в средней – ОРУ-110 кВ и трансформаторы 110/35 кВ, в верхней – ОРУ-35 кВ. Слева расположено здание ГЩУ. Эта подстанция является одной из самых старых подстанций, она претерпела несколько реконструкций, в том числе с повышением класса напряжения. Для того, чтобы более четко пред-

ставить конструктивное исполнение ЗУ, на рис. 2 изображен план ЗУ, здание ГЩУ, а также трансформаторы. Видно, что отсутствует равномерная сетка ЗУ, имеют место отдельные части ЗУ, не соединенные между собой, беспорядочное присоединение к ЗУ трансформаторов, здание ГЩУ не присоединено к ЗУ искусственными заземлителями, а присоединено лишь заземленными с двух сторон проводящими частями кабелей различного назначения.

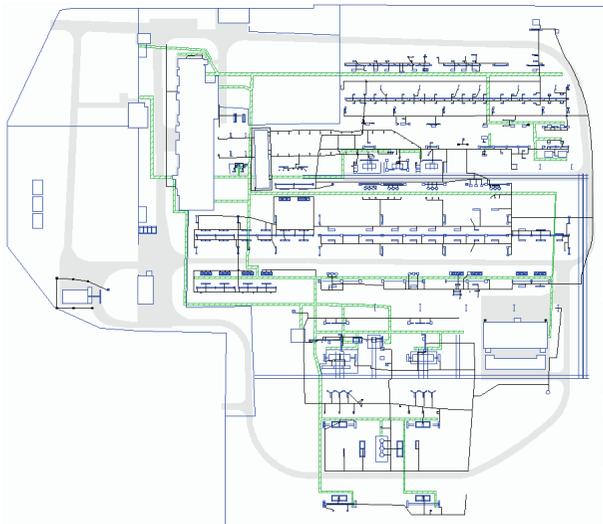


Рисунок 1 – План подстанции в восточной части Украины

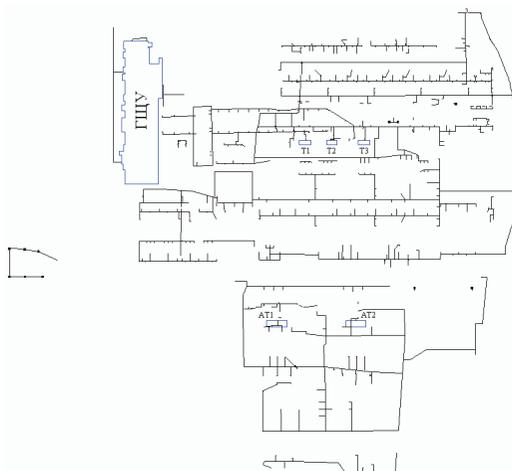


Рисунок 2 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 3 изображен план подстанции, расположенной в центральной части Украины. В нижней части рисунка расположено ОРУ-330 кВ, в средней – автотрансформаторы 330/110 кВ, в верхней – ОРУ-110 кВ и здание ГЩУ. На рис. 4 изображен план ЗУ, здание ГЩУ и автотрансформаторы. Очевидно что сетка ЗУ уже более равномерная, хотя занимает не всю территорию, но также как и на предыдущей подстанции, имеет место беспорядочное присоединение к ЗУ автотрансформаторов и здание ГЩУ не присоединено к ЗУ искусственными заземлителями.

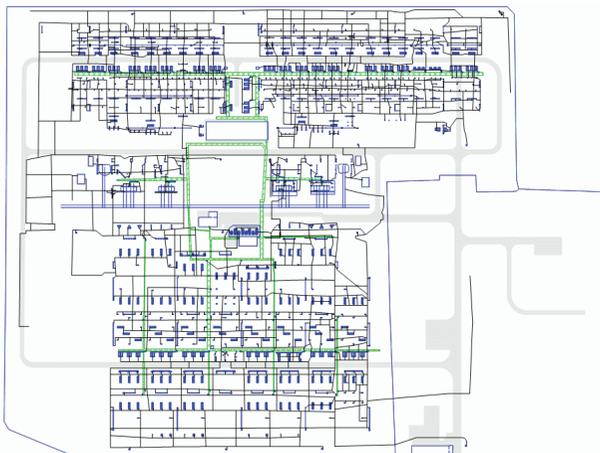


Рисунок 3 – План подстанции в центральной части Украины

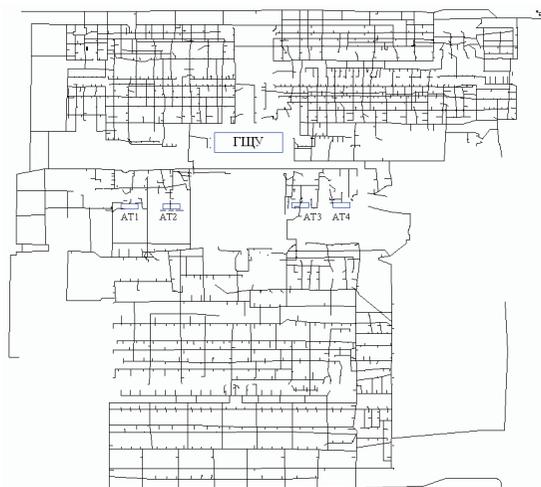


Рисунок 4 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 5 изображен план подстанции, расположенной в западной части Украины. В правой части рисунка расположено ОРУ-330 кВ, в средней – ОРУ-220 кВ и здание ГЩУ, в левой – ОРУ-110 кВ, в нижней – трансформаторы и автотрансформаторы. На рис. 6 изображен план ЗУ, здание ГЩУ, а также трансформаторы и автотрансформаторы. Как и в первом примере отсутствует равномерная сетка ЗУ, имеют место отдельные части ЗУ, не соединенные между собой, беспорядочное присоединение к ЗУ трансформаторов и автотрансформаторов. Однако здание ГЩУ присоединено к ЗУ подстанции тремя заземляющими проводниками.

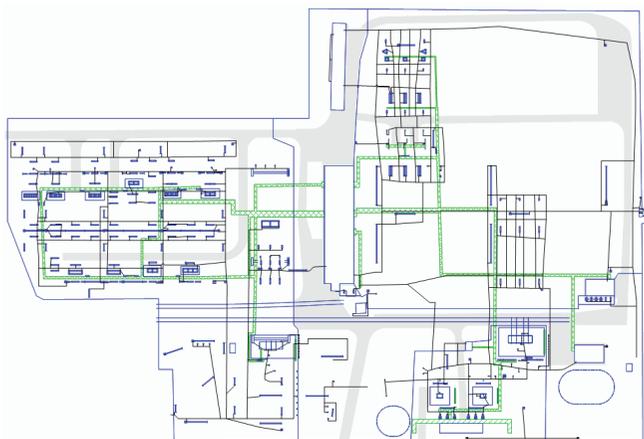


Рисунок 5 – План подстанции в западной части Украины

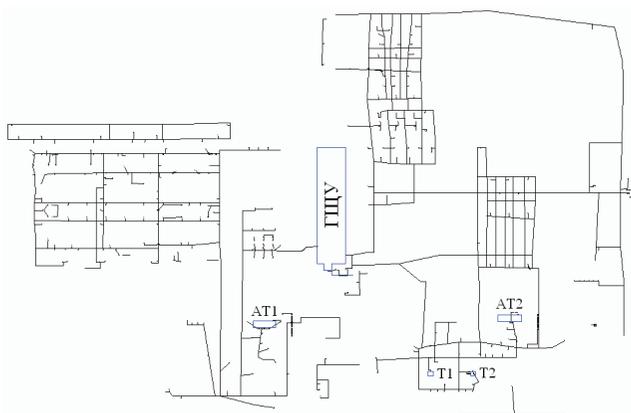


Рисунок 6 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 7 изображен план подстанции, которая находится в ведении Железной дороги. В верхней части расположено ОРУ-35 кВ, в нижней – транс-

форматоры и здание ГЩУ. На рис. 8 изображены план ЗУ, здание ГЩУ и трансформаторы. В отличие от всех предыдущих примеров имеет место равномерная сетка на всей территории подстанции, многократное присоединение здания ГЩУ к ЗУ, трансформаторы присоединены к сетке ЗУ короткими заземляющими проводниками. Сотрудники НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» выполнили диагностику ЗУ всего одной подстанции, находящейся в ведении Железной дороги, и эта подстанция разительно отличается от других. Все ли подстанции Железной дороги находятся в таком состоянии – авторам не известно, но эта подстанция позволяет почувствовать разницу.

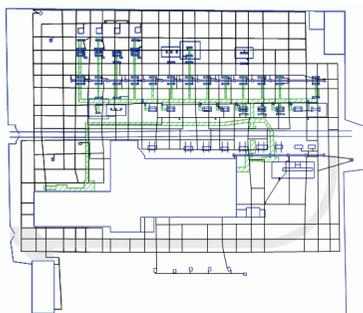


Рисунок 7 – План подстанции, находящейся в ведении железной дороги

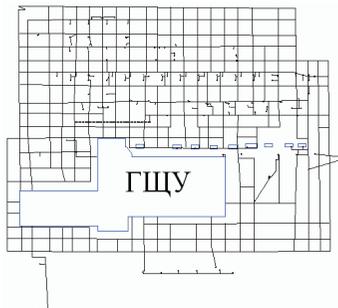


Рисунок 8 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

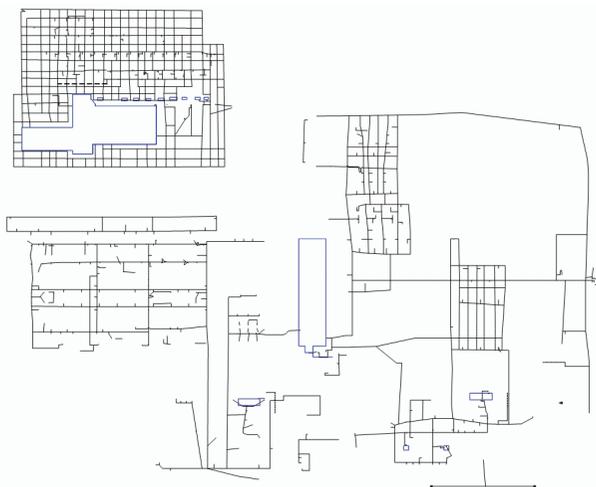


Рисунок 9 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

Для того, что бы эта разница была более ощутима, на рис. 9 изображены планы ЗУ двух последних подстанций в одном масштабе. Не правда ли, есть к чему стремиться?!

На рис. 10 изображено ЗУ подстанции (см. рис. 1 и 2) с рекомендациями по ремонту, направленными на выполнение требований ПУЭ:2006 в части обеспечения электробезопасности. Приведенные рекомендации возможно не удовлетворяют требованиям электромагнитной совместимости вторичных и первичных цепей в полной мере, но все же лучше, чем ничего. К тому же на сегодняшний день отсутствуют нормативные основания для разработки рекомендаций по ЭМС. В ПУЭ:2006 лишь указано, что ЗУ должно обеспечивать требования ЭМС, но каким именно образом этого достичь – не указано.

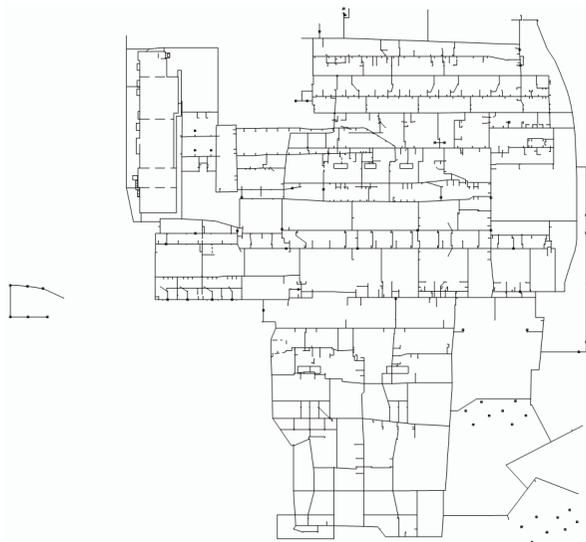


Рисунок 10 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции с учетом рекомендаций

## Выводы

1. Необходимо выполнить работы по электромагнитной диагностике ЗУ для всех энергообъектов и для всех ЗУ необходимо составить паспорта с исполнительными схемами.
2. Во время строительства и реконструкции подстанций необходимо контролировать проведение монтажа ЗУ. Акт скрытых работ оформлять после полной проверки ЗУ на соответствие проектной документации.
3. Необходимо разработать нормативные требования к ЗУ по обеспечению электромагнитной совместимости первичных и вторичных цепей на подстанциях 110 кВ и выше.

**Список литературы:** 1. Кац Е. Л., Меньшов Б. Г., Целебровский Ю. В. Заземляющие устройства электроустановок высокого и низкого напряжений // Сер. «Электрические станции и сети» (Итоги науки и техники). – М., ВИНТИ, 1989.

Поступила в редколлегию 17.10.2012

УДК 621.316.9

**Методика и результаты проведения диагностики заземляющих устройств / З. А. Воронина, О. Ю. Глебов, В. И. Доценко, В. М. Жинжиков, Г. М. Колиушко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 49-59. – Бібліогр.: 1 назв.**

В статті наведено основні функції заземлюючих пристроїв (ЗП), перелік перевірок ЗП згідно до нормативних документів, а також перелік основних недоліків ЗП різних об'єктів.

**Ключові слова:** заземлюючий пристрій, електробезпека, зрівнювання та вирівнювання потенціалів, релейний захист та автоматика, підстанції.

The main function of grounding system (GS), a list of GS test procedures in relation with normative documents and a list of GS disadvantage of different objects are given in the paper.

**Keywords:** grounding system, electrical safety, potential balancing, equipotential bonding, relay protection and automatics, substation.