

ЗОНАЛЬНАЯ СХЕМА СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ АКАДЕМИИ НАУК МОЛДОВЫ

Грицай М.А.

Институт Энергетики АНМ

Аннотация. На основе фактических данных электропотребления выполнен расчет режима в существующей сети электроснабжения академических учреждений в районе Телецентра г. Кишинева, а также оценены потери электроэнергии во всех элементах сети. Установлено, что из-за низкого электропотребления рабочие трансформаторы загружены менее чем на 20%, в результате чего потери в стали трансформаторов (потери холостого хода) доминируют в общей структуре (около 95%). Наиболее вероятной причиной повышенных потерь является старение оборудования. Как показали натурные испытания трансформаторов, потери в стали могут намного превосходить паспортные значения потерь у трансформаторов с длительным сроком эксплуатации (20-30 лет). Предложены три более экономичные конфигурации сети. Для каждой схемы сети рассчитаны потери электроэнергии во всех элементах. Проведено сопоставление вариантов с точки зрения потерь. Показаны преимущества зональной схемы как одной из наиболее экономичных схем электроснабжения.

Ключевые слова: Схема электрической сети, режим работы, потери электрической энергии.

SCHEMĂ ZONALĂ DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A INSTITUȚIILOR ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI

Grițai M.A.

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei

Rezumat. Pe baza datelor actuale a consumului de energie electrică s-a efectuat calculul regimului în rețeaua existentă pentru alimentare instituțiilor academice în sectorul Telecentru din Chișinău, de asemenea sunt estimate pierderile de energie electrică în toate părțile ale rețelei. S-a constatat că, datorită consumului redus de energie electrică transformatoarele sunt încărcate mai puțin de 20% și, ca rezultat pierderile în oțel a transformatoarelor (pierderi de mers în gol) domină în totalul pierderilor (circa 95%). Cel mai probabil cauza pierderilor crescute este îmbătrânirea echipamentului. A fost demonstrat prin teste și încercări, că pierderile reale în oțel ar putea depăși substanțial pierderile nominale, indicate pe plăcuța de identificare a transformatoarelor la o durată lungă de viață (20-30 ani). Au fost propuse trei configurații mai eficiente ale rețelei. Pentru fiecare schemă de rețea au fost calculate pierderile de putere în toate elementele. A fost efectuată compararea opțiunilor din punct de vedere a pierderilor. Au fost demonstrate avantajele sistemului zonal de rețea ca unul dintre cele mai economice circuite de alimentare cu energie electrică.

Cuvinte-cheie: Schema rețelei electrice, regimul de funcționare, pierderile de energie electrică.

ZONAL SCHEME OF ELECTRIC SUPPLY NETWORK INSTITUTIONS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF MOLDOVA

Gritsay M.A.

Institute of Power Engineering of Academy of Sciences of Moldova

Abstract. Analysis of regime of operation of existing electricity network of academic institutions in the district of Television Center of Chisinau was performed. Calculations were performed on the base of actual power consumption. Losses of electricity in all parts of the network have been estimated as well. It has been demonstrated that due to the low power consumption, transformers of the system have been loaded less than 20%. As a result, losses in the steel (idling losses) of transformers dominate over value of losses of all networks (about 95%). Basic cause of increased losses was aging of the equipment. The losses in iron of transformers could be much greater than the certified value of the losses in transformers with a long life (20-30 years). Three efficient network configurations have been proposed. Power losses have been calculated for each topology of network. Advantages of the zonal scheme, as one of the most efficient power supply network, have been demonstrated.

Keywords: Electric network, operating mode, electric energy losses.

Введение

В предыдущей статье [1] была подробно рассмотрена существующая схема электроснабжения Академгородка – учреждений Академии Наук, расположенных в

районе Телецентра города Кишинева, а также система учета потребленной электроэнергии.

Электроснабжение академических учреждений осуществляется от Центральной Распределительной Подстанции (ЦРП-15, Долина Роз) по двум кабельным линиям напряжением 10 кВ до Распределительного Пункта РП-61 на территории Академгородка с последующей кабельной разводкой к шести (6) трансформаторным подстанциям (ТП), от которых непосредственно осуществляется электроснабжение академических учреждений. Суммарная установленная мощность всех трансформаторов 9640 кВА. Из шестнадцати установленных трансформаторов 10 единиц находятся под нагрузкой, остальные трансформаторы – в горячем резерве (трансформаторы подключены к сети на стороне 10 кВ и отключены на стороне 0,4 кВ). Существующая схема электроснабжения показана на рис.1.

Первичной информацией в системе учета являются показания счетчиков активной электрической энергии за каждый месяц. Часть счетчиков установлена на стороне 0,4 кВ силовых трансформаторов, остальные счетчики стоят у конечных потребителей. Реактивная мощность нагрузки на стороне 0,4 кВ трансформаторов не измеряется, поэтому согласно официальной Инструкции [2] потребители должны быть отнесены к группе С, для которой в расчетах предписано принимать коэффициент мощности $\cos(\varphi) = 0.75$.

Однако реактивная мощность все же измеряется, а именно в единственной точке сети – на стороне 10 кВ питающей подстанции ЦРП-15. В этой точке измеряется суммарная реактивная мощность нагрузки всего Академгородка. Эти измерения важны для общей оценки режима электропотребления. По информации за 2010 год интегральный коэффициент мощности ($\cos\varphi$) практически был равен единице, то есть активная мощность была доминирующей составляющей в структуре электропотребления.

Существующая сеть

На основании фактических данных по электропотреблению был выполнен анализ потерь энергии во всех элементах сети для каждого месяца 2010 года [1]. Анализ выполнен методом математического моделирования в полном соответствии с Инструкцией по расчету потерь в элементах сети [2]. Результаты расчета позволили сделать несколько существенных выводов относительно существующей конфигурации сети и режима электропотребления.

1. Разность между показаниями счетчиков на головной подстанции (**2 224 000.**) и суммарным потреблением всего Академгородка (**1 882 194**) за весь год составила **341 806** кВтч или **18,2%** от годового электропотребления. Эту разность показаний счетчиков следует отнести к полным потерям.
2. Технические (расчетные) потери во всех элементах сети составили **169044,0** кВтчас (8.98% от объема электропотребления)

Структура расчетных потерь:

- постоянные потери (потери в стали) трансформаторов 96,9 %,
- переменные (нагрузочные) потери в трансформаторах 1,58 %,
- потери в кабелях 1,52%.

Следует обратить особое внимание тот факт, что технические потери составляют всего лишь половину от полных потерь. Вторая половина потерь требует отдельного рассмотрения; пока же их можно отнести к коммерческим потерям, происхождение

которых не вполне ясно и четко не установлено. В предыдущей статье [1] были высказаны две гипотезы относительно коммерческих потерь: (i) несанкционированный отбор, или хищение и (ii) старение оборудование. По нашему мнению, наиболее вероятным источником коммерческих потерь являются потери в стали трансформаторов; в технической литературе эти потери называют также потерями холостого хода (XX), поскольку они измеряются при отключенной нагрузке трансформатора. Потери в стали обусловлены перемагничиванием магнитной системы (магнитопровода) трансформатора. В расчетах нами были приняты паспортные значения потерь XX, как это сделано в официальном документе [3], однако, по-видимому, такое допущение не соответствует действительности.

В работе российских специалистов [4] приведены результаты измерений фактических потерь XX трансформаторов 6-10 кВ, находящихся в процессе длительной эксплуатации (до 30 лет). Измерения убедительно показали, что потери XX всегда *увеличиваются* с ростом срока эксплуатации трансформаторов. Следовательно, реальные потери в сети можно оценить только после измерения потерь холостого хода трансформаторов.

3. Потери в кабелях незначительны, режим кабелей не оказывает заметного влияния на сеть электроснабжения. Подобная картина наблюдается во всех рассмотренных схемах сети.

Как видно из структуры потерь, все технические потери в сети сконцентрированы в трансформаторах, их доля в структуре потерь составляет 98,48%. Рабочие трансформаторы существенно недогружены, средний коэффициент нагрузки трансформаторов составляет всего 17%; и как следствие такого режима потери холостого хода составляют 97% от всех потерь. Отсюда следует важный вывод: установленная мощность трансформаторов в существующей сети *избыточна* относительно нынешнего уровня электропотребления. Можно ожидать значительной экономии электроэнергии за счет уменьшения числа работающих трансформаторов.

Новые конфигурации сети

Из всего вышесказанного становится ясным направление поиска более эффективной конфигурации сети электроснабжения. В новой сети должно быть меньше трансформаторов, как рабочих, так и резервных при сохранении необходимого уровня надежности электроснабжения.

С этой целью были предложены три новые конфигурации сети с меньшим числом работающих трансформаторов. Схемы представлены на рис. 2,3,4. Основная идея во всех трёх схемах – объединение части трансформаторов на вторичной стороне 0,4 кВ.

Это позволяет обеспечить питанием всех существующих потребителей при сохранении прежнего уровня надёжности. Во всех схемах выполнен расчет потерь в трансформаторах и кабелях. Результаты сведены в таблицу.

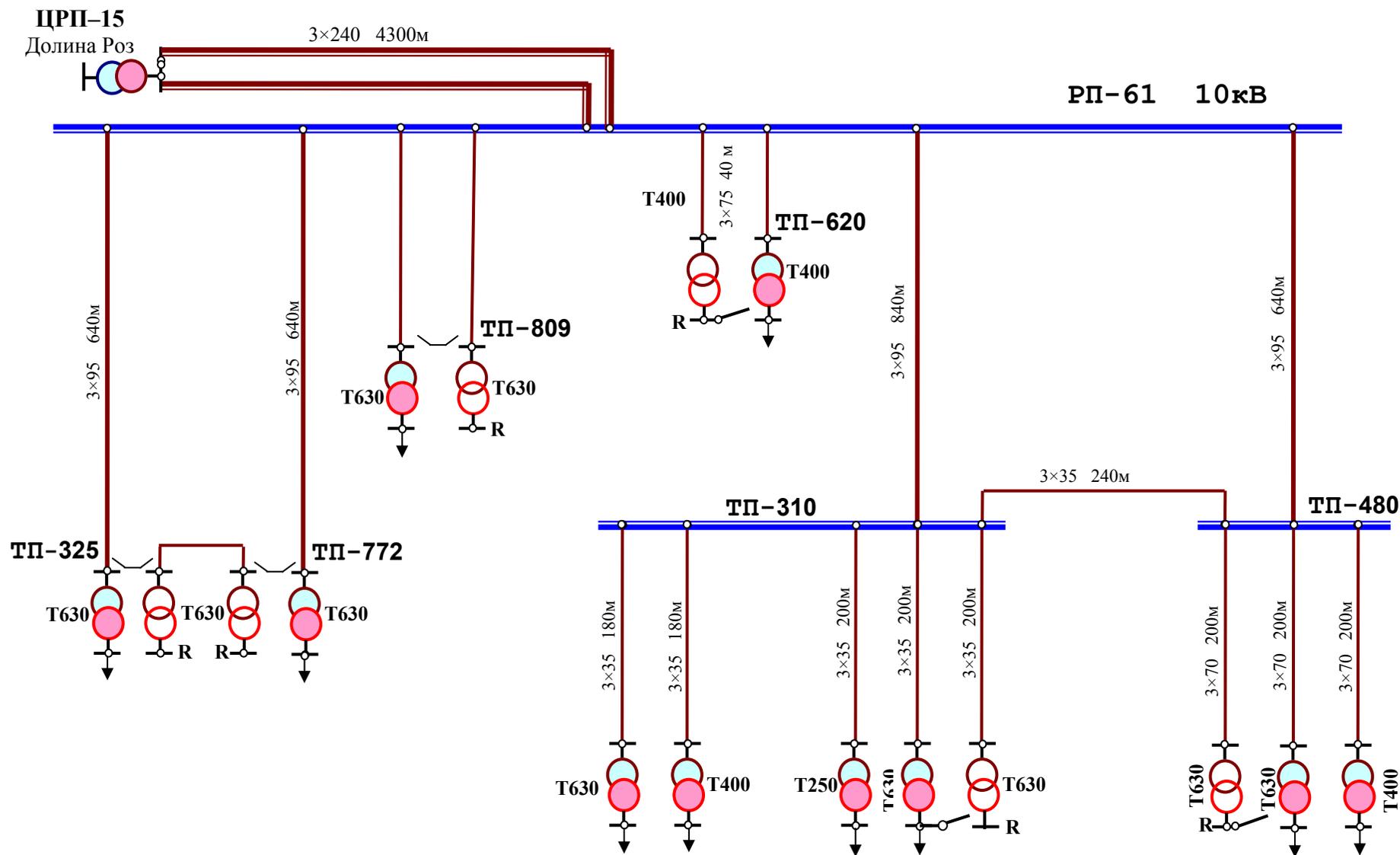


Рис.1. Существующая схема /10+6/ 10 рабочих и 6 резервных трансформаторов $\Delta P = 171\ 218$ кВтч/год

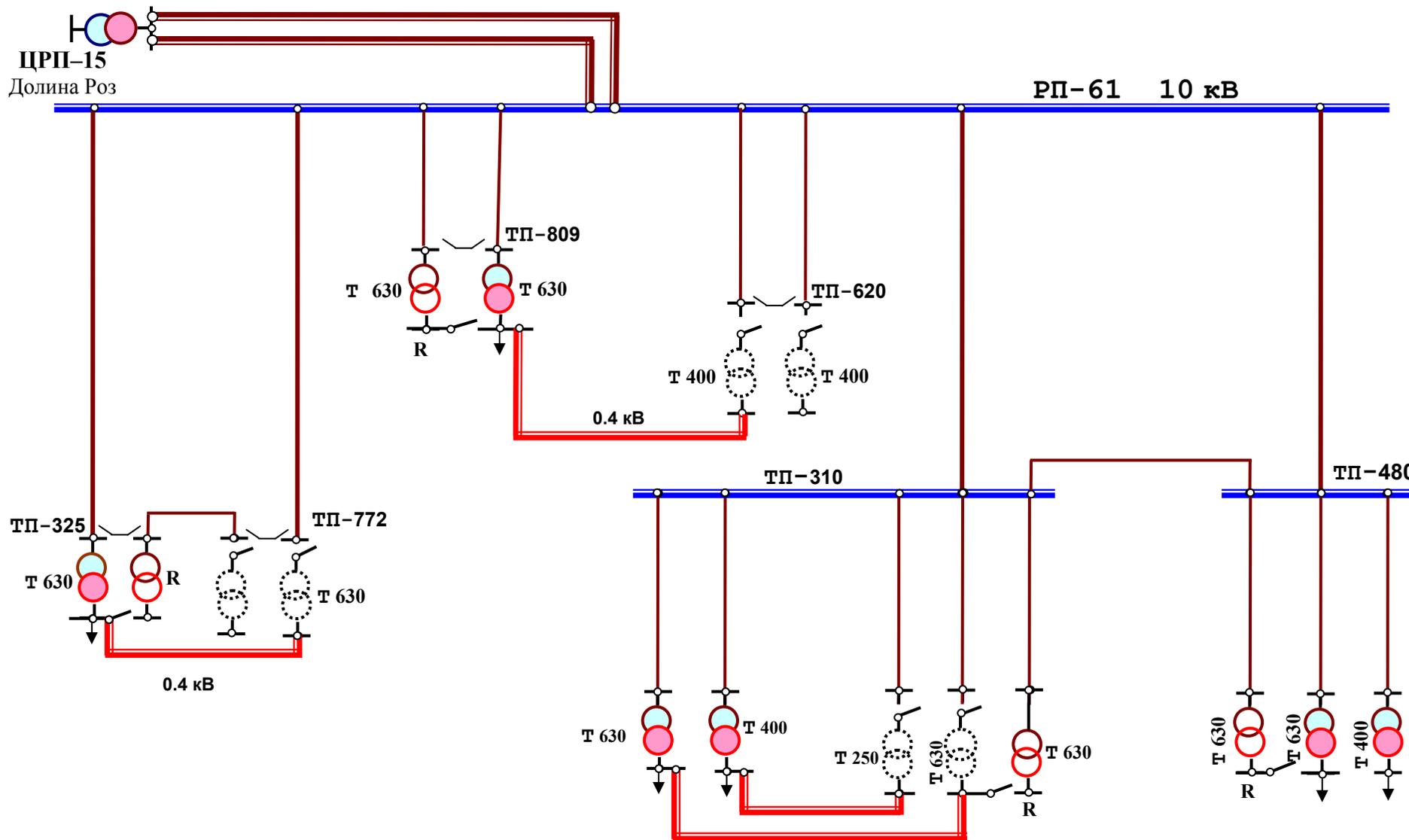


Рис. 2. Модифицированная схема /6+4/ 6 рабочих и 4 резервных трансформатора $\Delta P = 113\,531$ кВтч/год

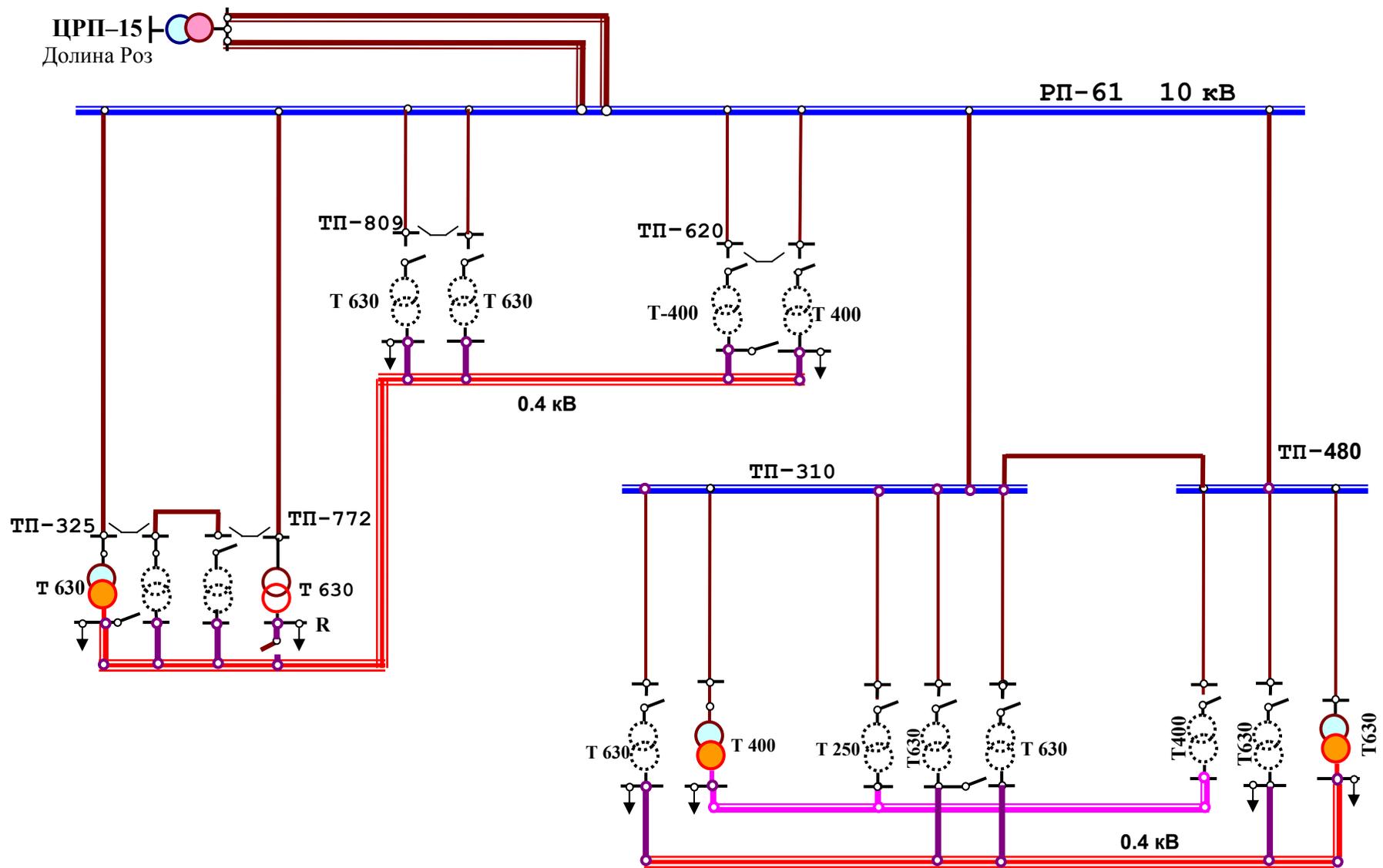


Рис. 3. Зональная схема. / 3+3/ 3 рабочих и 3 резервных трансформатора $\Delta P = 71\ 674$ кВтч/год

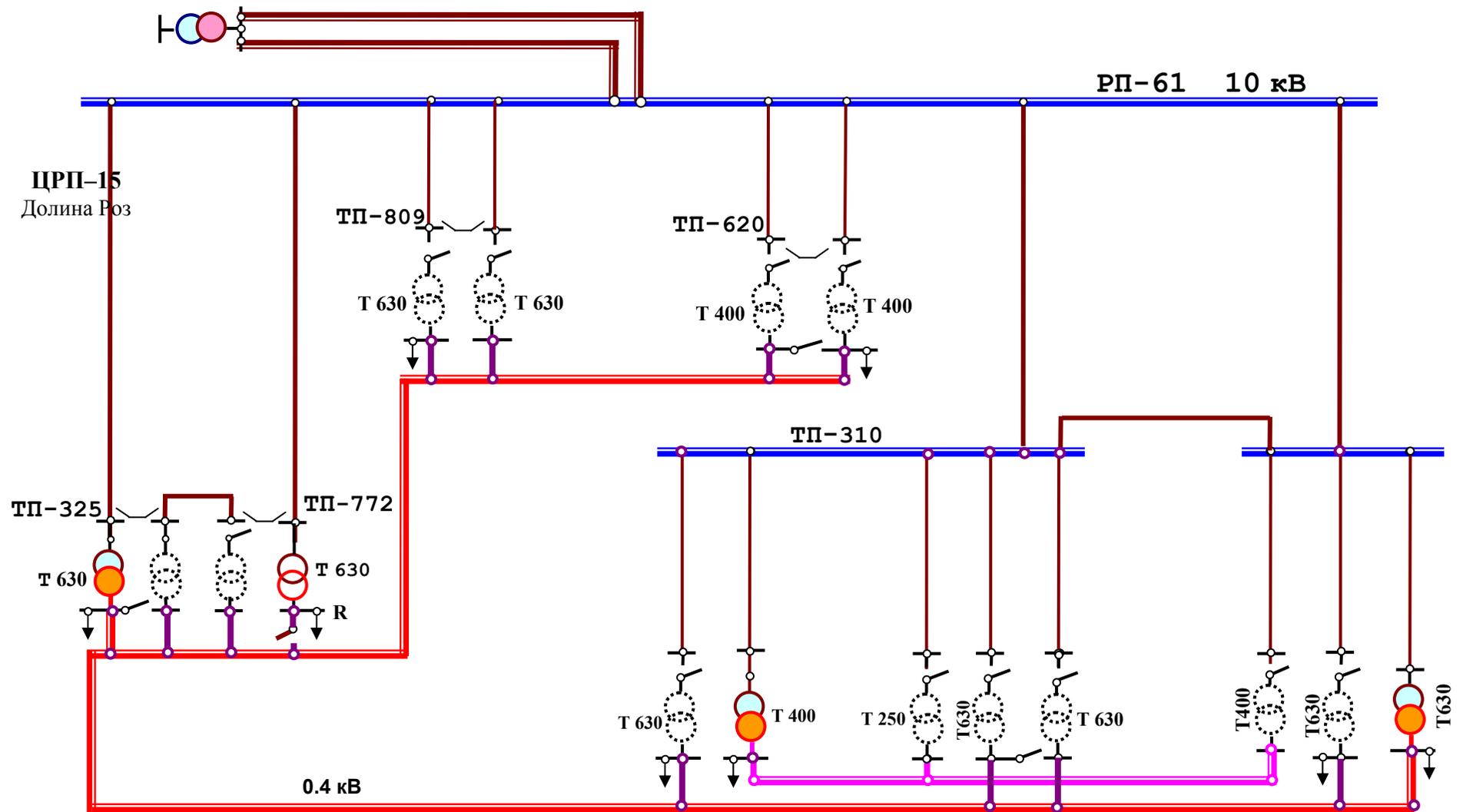


Рис. 4. Оптимальная схема. /3+1/ 3 рабочих и 1 резервный трансформатор $\Delta P = 71\ 674$ кВтч/год

Схема	Потери холостого хода (W_0)	Полные потери в трансформаторе.	Потери в кабелях	Потери во всей сети	Ожидаемая экономия, кВтч/год	Относит. снижение потерь
Act /10+6/	166 002	168 674	2 545	171 218		1,0
Mod /6+4/	106 963	111 038	2 493	113 531	57 687	1,51
Zon /3+3/	61 690.	69 011	2 663	71 674	99 544	2,4
Opt /3+1/	42 163	49 628	2 601	52 229	118 989	3,3

Из сопоставления результатов следует несколько выводов:

1. Потери холостого хода трансформаторов (W_0) преобладают в структуре потерь. Они составляют **97 %** (вар. А), **94 %** (вар. М) и **81 %** в оптимальном варианте
2. Потери в кабелях составляют **0.14%** от суммарного потребления и **3.0 %** от полных потерь. Потери в кабелях не оказывают заметного влияния на структуру потерь по двум причинам: (а) снижение уровня электропотребления, (б) относительно небольшие длины кабельных линий
3. Потери в кабелях практически постоянны во всех вариантах схем, оставаясь вблизи значения **2500** кВтч. Происходит лишь перераспределение потерь между внутренними и внешними кабелями.
4. Потери в оптимальной схеме в 3.3 раза меньше, чем в существующей схеме. В абсолютном выражении экономия составит около **120 000** кВтч в год. При действующих тарифах на электроэнергию (1.48 лей/кВтч + 20% НДС) экономия составит порядка **210 000** леев в год.

Заключение

Результаты расчета рассмотренных схем сети показывают, что существующая схема электроснабжения Академгородка не является оптимальной с точки зрения потерь электроэнергии. Такое утверждение связано исключительно с нынешним уровнем электропотребления и вполне объяснимо. Существующая сеть создавалась несколько десятилетий назад в другое время с другими нагрузками и относительно низкими ценами на электроэнергию. К этому следует также добавить старение силовых трансформаторов как основного оборудования. С учетом этих замечаний вполне разумным представляется критический анализ существующей схемы электроснабжения с точки зрения потерь электроэнергии в ее элементах и разработка новых вариантов конфигурации сети, обеспечивающих минимальные суммарные потери при существующем уровне электропотребления. При этом следует учитывать реальное техническое состояние оборудования и действующие тарифы на электроэнергию.

Общий вывод, основанный на результатах расчета, состоит в следующем. Наличие в существующей сети слабо загруженных трансформаторов, а также относительно большое число трансформаторов в режиме горячего резерва существенно снижают эффективность всей системы электроснабжения за счет потерь холостого хода трансформаторов. Действительно, в существующей сети из 16 установленных трансформаторов 6 единиц (или 37.5%) работают в режиме холостого хода.

Как было уже отмечено, паспортные значения потерь холостого хода не остаются неизменными в процессе эксплуатации. Этот факт, установленный экспериментально российскими специалистами, имеет большое практическое значение для оценки потерь в любой системе электроснабжения. Измерения фактических потерь показали, что потери холостого хода трансформаторов возрастают по мере увеличения срока эксплуатации.

В связи с этим вызывает сомнение корректность принятых в директивном документе [3] допущений и результатов расчетов. Единственный способ внести ясность в этот вопрос состоит в проведении натуральных испытаний трансформаторов. В противном случае любые оценки потерь будут оставаться неубедительными без надежного обоснования. Кроме того, целесообразность натуральных испытаний состоит в том, что они являются одним из наиболее доступных и относительно недорогих методов диагностики технического состояния трансформаторов.

Потери холостого хода трансформаторов оказывают решающее влияние на выбор оптимальной конфигурации сети. Вся сеть электроснабжения расположена компактно на небольшой территории, потери в кабелях незначительны и составляют менее 1% в структуре потерь.

Во всех предложенных конфигурациях сети руководящим принципом является сокращения числа работающих и резервных трансформаторов при сохранении необходимого уровня надежности. Схемы отличаются степенью интеграции нагрузки на стороне 0,4 кВ трансформаторов. Начиная со схемы на рис.2 интеграция последовательно возрастает и достигает максимальной степени на рис. 4.

Из трех рассмотренных конфигураций сети Зональная схема сети, показанная на рис.3, является, по нашему мнению, наиболее предпочтительной по следующим причинам.

- все подстанции и соответствующие потребители разделены на две зоны, примерно равные по установленной мощности трансформаторов и по нагрузке;
- компактное расположение подстанций обеспечивает минимальную длину общей шины 0,4 кВ между подстанциями в каждой зоне;
- с режимной точки зрения зоны функционируют независимо друг от друга;
- при появлении дополнительных потребителей баланс мощности легко достигается за счет подключения к сети дополнительных трансформаторов, находящихся в каждой зоне в состоянии холодного резерва
- существенно облегчается проблема замены устаревших трансформаторов. В существующей сети со временем придется заменить, по крайней мере, 10 рабочих трансформаторов. В зональной схеме эта проблема сводится к замене двух рабочих трансформаторов.
- суммарные потери в зональной схеме ненамного превышают потери в оптимальной сети (рис. 4).

Выполненный анализ потерь в существующей схеме электроснабжения, а также в предложенных конфигурациях сети показал наличие реального резерва для снижения потерь. Если предположить, что фактические потери холостого хода превышают паспортные значения, то реальное снижение потерь в предложенных схемах сети будет значительно больше расчетных оценок. Однако расчетную оценку потерь следует считать предварительной из-за отсутствия информации по фактическим потерям холостого хода трансформаторов.

Для окончательного выбора схемы электроснабжения необходимо оценить капитальные затраты на реконструкцию сети в каждом варианте и соответствующий срок окупаемости инвестиций. Такая работа может быть выполнена проектной организацией, в частности, Молдавским Институтом Energo proiect.

Литература

- [1] Grițai M.A. Măsurile de eficiență a funcționării rețelei electrice. Problemele Energeticii Regionale №3, 2011, pp. 73-84.
- [2] Инструкция по расчету потерь активной и реактивной энергии в элементах сети, находящихся на балансе потребителя, официальное издание Monitorul oficial № 94-

97 (2081-2084), от 6 июля 2007 стр.74-78.

[3] Pierderile tehnice de energie electrică activă în transformatoarele Stațiilor de transformatoare aflate la balanța CSȘDT al AȘM. Hotărîrea Biroului Consiliului Suprem Pentru Știință și Dezvoltare Tehnologică al Academiei de Științe a Moldovei, Nr.12-6, 28-03-2011.

[4] Цищорин А.Н. О потерях холостого хода силовых трансформаторов 6-10 кВ. Электрические станции, 2011, №3, стр.48-51.

Сведения об авторе:



Грицай Михаил Андреевич, Институт энергетики Академии Наук Молдовы, ведущий научный сотрудник, к.т.н., Область научных интересов: математическое моделирование электрических сетей и систем.
E-mail **mgrine@ie.asm.md**