

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИЛИ КАК СЕГОДНЯ КУПИТЬ ХОРОШИЙ СИЛОВОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР?

Статья опубликована в журнале «Электроснабжение регионов»
Номер 3 (27), март 2010г., стр. 17 - 22

*Насыщенность современных предприятий, офисов, даже квартир сложной электронной техникой уже не допускает ситуации, когда лампочки горят вполнакала, или еще того хуже, когда напряжение регулярно «прыгает». В статье «Сберегая энергию, приумножаем деньги» («Электротехнический рынок» №5(29)) авторы пишут «Весь мир уже давно и сознательно перешел в режим «энергосбережения». И делается это не только для того, чтобы не дать «нажиться» энергетическим монополистам. Это целые программы европейских государств с целью сохранения ресурсов внутри бюджета страны. А мы не богаче европейцев». Как обеспечить надежное и энергоэффективное электроснабжение объекта? Какие факторы необходимо проанализировать и учесть, приобретая трансформаторное оборудование для системы электроснабжения любого объекта? Может ли силовой трансформатор быть **энергоберегающим**? Для ответа на эти вопросы, отталкиваясь от фундаментальных работ Бориса Ивановича Кудрина и его учеников, автор рассматривает **комплекс по обеспечению электроснабжения объекта как экономический мегаценоз**. Для упрощения рассуждений допустим, что система электроснабжения состоит только из силового трансформатора I - III габарита.*

Немного теории. Основываясь на теории техноценозов научной школы профессора Б.И. Кудрина (kudrinbi.ru), его учеником В.В. Фуфаевым выделена и формализована объективная реальность социально-экономической среды - самоорганизация хозяйствующих субъектов в экономические ценозы организаций. Первое определение сообщества организаций как «мегаценоза» было введено в 1993 г.: «Мегаценоз – это множество предприятий выделенной макроэкономической территориально-административной системы (город, регион, республика). Такая система характеризуется общим количеством предприятий и распределением предприятий-видов по повторяемости...». Экономический ценоз – это самоорганизующееся многовидовое сообщество организаций (особей) различных отраслей (популяций) выделенного территориально-административного образования, характеризующееся связями различной силы (сильными, средними и преимущественно слабыми), объединенное совместным использованием природных (экоценозы), технических (техноценозы), социальных (социоценозы) ресурсов и экономических ниш спроса на продукцию, товары и услуги, с действием внутривидового и межвидового отбора.

Применяя предыдущий абзац к нашему случаю, получаем следующий перечень различных отраслей (популяций), предприятия/организации (особи) которых входят в мегаценоз «КОМПЛЕКС ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА»:

- Поставщики электроэнергии.
- Проектные организации систем электроснабжения.
- Производители силовых трансформаторов I – III габарита.
- Фирмы-дилеры заводов-производителей.
- Строительно-монтажные организации.
- Эксплуатирующая организация/подразделение системы электроснабжения.

В дальнейшем автор предполагает использовать описанную выше структуру мегаценоза «КОМПЛЕКС ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА» для анализа оптимальности его структуры применительно к отдельному федеральному округу. В данной статье описанная выше структура использована для анализа факторов, которые необходимо проанализировать и учесть, приобретая то или иное трансформаторное оборудование для обеспечения энергоэффективности системы электроснабжения любого объекта. Таким образом для выбора наилучшего варианта силового трансформатора (в смысле энергоэффективности и надежности электроснабжения), следует проанализировать следующие факторы:

- 1.Поставщики электроэнергии.
- 2.Проектные организации систем электроснабжения.
- 3.Производители силовых трансформаторов I – III габарита.
- 4.Фирмы-дилеры заводов-производителей.
- 5.Строительно-монтажные организации.
- 6.Эксплуатирующая организация/подразделение системы электроснабжения.

Перед подробным анализом влияния каждого фактора на выбор трансформаторного оборудования отметим фундаментальную связь проблемы энергоэффективности с динамикой структуры мегаценозов [более подробно см. В.В. Фуфаев «Основы теории динамики техноценозов», www.kudrinbi.ru]. Из идей указанной работы следует, что энергоэффективность – не модный лозунг современного этапа развития мировых экономик, а объективная реальность, внутренний фактор этого развития. А так как электроэнергетические системы являются одним из важнейших элементов существования и развития экономики каждой страны, то снижение потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях – один из важнейших аспектов повышения эффективности российской экономики. Комплексно эта проблема рассматривается, в частности, в





большой статье «Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия» (журнал «Энергосбережение», №№ 2-3, 2005г., авторы: В.Э. Воротницкий, М.А. Калинкина, Е.В. Комкова, В.И. Пятигор.). Если в развитых странах потери электроэнергии в распределительных сетях не превышают 10%, то в России в отдельных регионах они более 20%. Анализ потерь при передаче электроэнергии и экономический эффект от технического перевооружения на примере Красноярского края, приведен в докладе П.В. Морозова (ЗАО «Вольтаг», г. Москва) 25 ноября на «круглом столе», который прошел в Международном выставочно-деловом центре «Сибирь» в г. Красноярске. А именно: **экономический эффект от замены устаревшего трансформаторного оборудования на новое может дать ежегодную экономию в 200 миллионов рублей!** Если же рассматривать конкретного потребителя электроэнергии (предприятия, объекты ЖКХ и т.д.), то и здесь использование энергоэффективного [трансформаторного](#)

[оборудования](#) дает вполне ощутимые финансовые результаты. Специалисты некоторых заводов-производителей подсчитали, что применение их трансформаторов дает 20 000...30 000 рублей в год на один трансформатор.

Рассмотрим влияние каждого фактора подробнее.

Фактор поставщика электроэнергии.

Когда приобретается силовой трансформатор, нужно ОБЯЗАТЕЛЬНО учитывать качество поставляемой электроэнергии по всем параметрам, а не только по напряжению и частоте. Так, например превышение допустимого параметра по третьей гармонике, может вызвать значительные перегревы металлоконструкций, т.к. третья гармоника не замыкается по магнитной системе.

Фактор проектной организации. Выбор типа и конструкции трансформатора

Что необходимо иметь в виду, оценивая правильность выбора проектировщиками конструкции и параметров силового трансформатора для электроснабжения предприятия или других объектов? Сегодня проектировщики (приношу им заранее свои извинения за критику), сильно ангажированы; и не стоит скрывать этого факта. Наша рыночная экономика диктует правила игры, не всегда выгодные потребителю/покупателю. Поэтому в проекты подстанций попадает оборудование, не то которое оптимально с точки зрения условий эксплуатации, а то, которое пролоббировано. Заказчику же впоследствии либо нужно пересогласовывать проект, либо принимать его, таким как есть. А ведь разные условия эксплуатации требуют **различных конструктивных решений силового трансформатора!** К сожалению, эти моменты чаще всего не принимаются во внимание. Это приводит к тому, что уже на этапах транспортировки, тем более при монтаже [трансформатор](#) может получить повреждения, приводящие со временем к выходу его из строя. Для оценки качества представленного проекта предлагаю рассмотреть наиболее важные нюансы выбора типа и конструкции силового трансформатора. Отталкиваясь от приведенной ниже информации, можно в целом оценить/проконтролировать правильность и качество работы проектировщиков.

Приобретаемый трансформатор необходимо комплексно оценить по критериям **КАЧЕСТВО – ЦЕНА ТРАНСФОРМАТОРА – ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ**. В подавляющем большинстве случаев уважаемый Заказчик или вообще забывает о третьем критерии или наоборот – придает ему гипертрофированное значение.

Забывая о последующих эксплуатационных расходах, часто, **из-за низкой цены**, отдают предпочтение так называемым **трансформаторам с хранения**, или проще говоря, бывшим в употреблении (потому что под видом трансформаторов с хранения продаются именно вышедшие ранее из строя и отремонтированные трансформаторы). И в результате получают ситуацию, с которой автору приходится регулярно сталкиваться. Так в 2008 году, когда в нашей стране начался кризис, один из Заказчиков (регион указывать не буду), отклонив наше предложение о поставке [трансформатора ТМ 1600 кВА](#), выбрал по соображениям дешевизны трансформатор с хранения. Через месяц раздался звонок от него: «Помогите, срочно нужен трансформатор! Тот, который мы приобрели (С ХРАНЕНИЯ), оказался **неработоспособен**». Комментарии излишни. В другом варианте, Заказчик потребовал только трансформатор ТМГ и именно в гофробаке, мотивируя свой выбор минимальными эксплуатационными расходами этого типа трансформаторов. Хотя в наличии были трансформаторы типа ТМ, Заказчик отказался. А если иметь в виду, что по условиям эксплуатации трансформатор мог подвергаться (потенциально) механическим воздействиям (случайные удары), то вряд ли выбор гофробака был оправдан. К тому же в штатном расписании Заказчика была предусмотрена служба эксплуатации подстанций, - т.е. эксплуатационные расходы приобретение такого «экономичного» оборудования не уменьшались.

Вообще, выбор между трансформаторами типов ТМ и ТМГ (герметичных) в обычном баке, и выбор между трансформаторами типов ТМ и ТМГ (герметичных) в гофробаке, по моему мнению, требует очень тщательного анализа будущих условий эксплуатации трансформатора, и сопоставления критериев КАЧЕСТВО – ЦЕНА ТРАНСФОРМАТОРА – ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ.

Чем отличаются трансформаторы с обычным баком от трансформаторов в гофробаке? Во-первых: гофробак – это следующий этап эволюции герметичного трансформатора с обычным баком. Когда технологически и экономически стало возможно и целесообразно изготовление гофрированной тонкостенной



(~1мм толщиной) конструкции, которая бы компенсировала упругими деформациями тепловое расширение трансформаторного масла, - то это позволило сократить габариты (высоту, длину, ширину) трансформатора. Громоздкие радиаторы охлаждения уступили место компактной «дышащей» «гармошке». Но в технике редко бывают однозначно выигрышные решения. При переходе к гофрированной тонкостенной конструкции ее механическая прочность, конечно же, **уменьшилась**. Необходимо помнить также, что коррозия тонкостенных металлических конструкций, в случае создания благоприятных условий, происходит значительно быстрее.

Следовательно, сначала необходимо установить, какой тип трансформатора требуется: ТМ или ТМГ.

Трансформаторы ТМ получили наибольшее распространение. Баки таких трансформаторов в плане имеют прямоугольную форму с радиаторами для охлаждения трансформаторного масла, расположенными по периметру бака. Стенки баков таких трансформаторов изготовлены из стального листа толщиной от 2,5 до 4 мм с ребрами жесткости. Тем самым обеспечивается высокая устойчивость оболочек изделий к деформациям при транспортировании любыми видами транспорта и надежная работа трансформаторов без остаточных деформаций при возникновении внутри бака кратковременных избыточных давлений до 150кПа (1,5 кгс/см²) и до 300кПа (3 кгс/см²) без разрушения конструкции. В трансформаторах типа ТМ изменение давления внутри бака компенсируется за счет сообщения с окружающей средой через расширитель. Для очистки и осушения воздуха, поступающего в трансформатор при температурных колебаниях, расширитель снабжен масляным затвором с воздухоосушителем. Указатель уровня масла, отградуированный в функции температуры окружающей среды, расположен на боковой стенке расширителя.

Дополнительные эксплуатационные расходы трансформаторов типа ТМ определяются следующими факторами. Трансформаторы типа ТМ (с расширителями) требуют дополнительного проведения испытаний трансформаторного масла в процессе хранения, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, текущих и капитальных ремонтов.

Кроме того, трансформаторы ТМ дополнительно требуют проведения систематических осмотров для определения степени увлажнения сорбента воздухоосушителя. При насыщении сорбента влагой требуется его замена на новый (на приобретение которого требуется расход средств) или на регенерированный (на регенерацию требуется расход тепловой энергии). Суммарные расходы на выполнение всех вышеизложенных работ в течение срока эксплуатации трансформаторов типа ТМ достигают от 40 до 63 % полной стоимости трансформатора (в зависимости от его мощности).

Трансформаторы силовые масляные типа ТМГ в обычном баке изготавливаются в герметичном исполнении, их внутренний объем не связан с внешней средой и изменение давления внутри бака компенсируется благодаря воздушной или азотной «подушке», предусмотренной в верхней части бака трансформатора. Для исключения недопустимого превышения давления трансформатор снабжен предохранительным клапаном, срабатывающим при избыточном давлении 75кПа (0,75 кгс/см²). При соблюдении требований инструкции по эксплуатации трансформатора, избыточное давление внутри бака не должно превышать 50кПа (0,5 кгс/см²). Изоляция внутреннего объема бака трансформатора от окружающей среды значительно улучшает условия работы масла, исключает его увлажнение, окисление и шламообразование. Для контроля уровня масла, трансформаторы ТМГ оснащаются маслоуказателем, расположенным на стенке бака.

Для локализации последствий аварий, которые с определенной долей вероятности могут произойти при тяжелых внутренних повреждениях трансформатора, баки трансформаторов серий ТМГ мощностью 400кВА и более, оснащаются предохранительными трубами со встроенными мембранными устройствами, предназначенными для аварийного сброса масла при резком увеличении избыточного давления свыше 150кПа (1,5 кгс/см²). При нормальной эксплуатации трансформатора данное устройство не требует дополнительного обслуживания в течение всего срока службы трансформатора.



Поэтому, если все-таки необходим тип ТМГ, то необходимо оценить возможность использования ТМГ в гофробаке (жесткие требования к массогабаритным параметрам, комфортные условия в плане возможных случайных механических воздействий). Так, к примеру, в условиях нефтеразработок или в условиях карьеров, целесообразно применять трансформаторы в обычных баках.

Поскольку в статье рассматриваются факторы, обеспечивающие эксплуатационную надежность силовых масляных трансформаторов, то необходимо обязательно упомянуть о преимуществах (!) масляных трансформаторов перед сухими. Т.к. в последнее время складывается представление о безусловных преимуществах сухих силовых трансформаторов перед масляными (если судить по многочисленным статьям в специальной литературе). Преимуществом масляных трансформаторов является защищенность обмоток трансформатора от внешних воздействий, что повышает надежность работы и уменьшает потребность в эксплуатационном надзоре.

Кроме того, благоприятным фактором является невысокое реактивное сопротивление трансформатора с масляной изоляцией по сравнению с трансформатором с воздушной изоляцией. Как уже отмечалось выше, у герметичных масляных **трансформаторах типа ТМГ** полностью отсутствует контакт масла с окружающей средой, что исключает увлажнение, окисление и шламообразование масла. Не



требуется проведение профилактических, текущих и капитальных ремонтов в течение всего срока эксплуатации трансформатора.

Известно, что значительная доля повреждений распределительных трансформаторов случается из-за ослабления шинных соединений на выводных наружных контактах НН и, независимо, сухой трансформатор или масляный, эти контакты требуют к себе периодического внимания и ухода. На масляном трансформаторе перегрев контакта вызовет разрушение изолятора или разгерметизацию уплотнения, в любом случае ремонт такого повреждения не представляет особой проблемы. На сухом трансформаторе при этом виде повреждения, из-за менее эффективного охлаждения зоны перегрева и интенсивной передачи тепла по проводнику в обмотку, происходит разрушение литой изоляции в зоне выводов из обмотки, что наверняка приведет к необходимости замены блока обмоток на поврежденной фазе.



В сухих трансформаторах существует различие коэффициентов теплового объемного расширения материалов проводника и литой изоляции, в связи с чем, блоки обмоток сухих трансформаторов в процессе эксплуатации подвержены микроразрушениям, что приводит к появлению частичных разрядов. Микротрещина создает пограничное соприкосновение двух различных диэлектрических сред, вследствие чего в этой зоне возникает повышенная напряженность электрического поля, что неизбежно вызывает непрерывный, как бы тлеющий, пробой внутри микротрещины. В этой точке постепенно происходит обугливание изоляции, перерастающее впоследствии в межвитковое или межслоевое короткое замыкание и приводящее к выгоранию обмотки. Процесс может развиваться неделями, даже месяцами, но практически остается незаметным, вплоть до момента аварии. Частичные разряды могут быть выявлены только специальными приборами. Собственно говоря, и сама проблема контроля отсутствия частичных разрядов в распределительных трансформаторах

возникла в связи с появлением именно сухих трансформаторов. В масляных трансформаторах частичные разряды теоретически могут возникнуть при наличии микропузырьков воздуха где-либо в бумажно-масляной изоляции, но, благодаря технологии вакуумирования при подготовке и заливке масла, масляные трансформаторы этому виду повреждения не подвержены. Дефекты изоляции в сухих трансформаторах могут возникнуть и при нарушении допустимых климатических условий их применения. Имеются в виду не только условия эксплуатации трансформаторов, но и условия их хранения до ввода в эксплуатацию. Как правило, нижний предел температуры применения сухих трансформаторов ограничивается значением -25°C .

Таким образом, в каждом конкретном случае необходимо учитывать реальные условия эксплуатации оборудования, что обеспечит более полное отражение сравниваемых технико-экономических показателей и оптимальный его выбор.

Фактор производителя силовых трансформаторов I – III габарита.

Непосредственное воплощение в металл приобретаемого трансформатора осуществляет завод-производитель. Об условиях, которые определяют изготовление надежной машины, очень кратко и емко высказал главный конструктор ОАО «ЭТК «БирЗСТ» Александр Владиславович Волков. «На заводе-производителе должно быть обеспечено выполнение двух непереносимых условий:

- Высокое качество проектирования конструкции трансформаторов, которое предполагает:
- Использование при проектировании трансформатора всех известных конструктивных решений (выбор стыка магнитной системы, выбор главной и продольной изоляции, выбор системы охлаждения от различных радиаторов до гофры).
- Использование проверенных расчетных методик.
- Исключение из процесса проектирования подхода «если нельзя но очень хочется, то можно».
- Принятие только обоснованных решений.
- Высокий технологический уровень производства трансформаторов. Любую конструкцию можно угробить, если не поддерживать заданный технологический уровень. Необходимо повышать технологию производства и внедрять новые методы испытаний, как окончательных, так и межоперационных.

Выбор завода-производителя представляет собой зачастую наиболее сложную задачу для снабженцев, особенно небольших предприятий и организаций. Сегодня в России только маслonaполненные трансформаторы производят более десятка крупных и мелких заводов. Число же ремонтных полукустарных производств, которые также предлагают покупателям свою «продукцию» под видом «новых, находившихся на хранении» трансформаторов учету не поддается. Как же определить, кто изготовит действительно качественное, надежное, подлинно энергоэффективное оборудование?

Автор данной статьи долгое время работал в оборонном конструкторском бюро, в службе гарантийного надзора. Почему одно и то же изделие одним заводом выпускается отличного качества, а другим – никуда не годного, знает не понаслышке. Предлагаю простую анкету – «лакмусовую бумажку», содержащую перечень основных и надежных критериев/параметров для выбора завода-производителя.

- Узнайте ассортимент трансформаторов, выпускаемых заводов; чем он шире – тем мощнее, совершеннее и стабильнее технологические процессы;
- Узнайте срок работы завода; чем он больше – тем стабильнее технологические процессы, выше технологическая дисциплина, надежнее преемственность рабочих, выше их профессионализм;



- Сопоставьте цены заводов; если цена продукции какого-либо ниже среднерыночных цен на 15% - 30%, то скорее всего вам предлагают «обновленное» бывшее в употреблении оборудование;
- Критически проанализируйте информацию с сайтов заводов – чем больше там технической информации, информации о технологиях и меньше самовосхваления, тем качественнее продукция;
- Обратите внимание на референц – лист, попробуйте связаться с кем-либо из указанных там покупателей;
- Если возможно – наведите справки о собственнике завода; зачастую эта информация скажет сама за себя;
- Найдите информацию о дилерской сети завода-производителя; если это известные фирмы, профессиональные участники рынка силовых трансформаторов – больше шансов приобрести качественное оборудование.

Фактор фирмы-дилера завода-производителя.

О поставщиках написано много. Не повторяя уже сказанное другими авторами, укажу, что приобретение качественного и оптимального по техническим характеристикам электрооборудования (в том числе и силовых трансформаторов) существенно упрощается, если Вы обращаетесь с заказом к авторизованному поставщику. ВЫБИРАЯ ПОСТАВЩИКА, ВЫ В КОНЕЧНОМ СЧЕТЕ ВЫБИРАЕТЕ И КАЧЕСТВО, И НАДЕЖНОСТЬ, И БЕЗУСЛОВНО ЭКОНОМИТЕ КАК ТЕКУЩИЕ, ТАК И БУДУЩИЕ РАСХОДЫ.

Фактор строительно-монтажной организации.

Если раньше, при СССР, организации монтажа и эксплуатации обладали квалифицированными кадрами, то на сегодня большой процент организаций слабо разбирается в этих работах. Это можно наблюдать, если проанализировать претензии, поступающие на любой завод, производящий силовые распределительные трансформаторы. Поэтому, выбирая организацию для монтажа приобретенного трансформатора, обратите внимание и на наличие соответствующей лицензии, и на референц-лист произведенных работ.

Фактор эксплуатирующей организации/подразделения.

Профессионализм эксплуатирующей организации/подразделения влияет как на корректность ТЗ, выдаваемого проектной организацией, так и на долговечность приобретенного трансформатора. Когда заказчик/эксплуатирующая организация предъявляет требование по сечению нулевого отвода (сечение фазных и нуля одинаковые), то можно предположить, что угроза безопасности эксплуатации будет связано именно с самими «эксплуатационниками», т.к. ГОСТ на трансформаторы оговаривает: нулевой проводник должен рассчитываться на токи 25% от номинального для У/Ун-0 и 75% для Д/Ун-11.

Таким образом, анализируя структуру мегаценоза «КОМПЛЕКС ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА», мы выявили доминанты, определяющие положительный результат приобретения необходимого силового трансформатора (или трансформаторов). Учитывая все вышесказанное еще на этапе формирования технического задания, можно с уверенностью констатировать: выбор и приобретение качественного силового трансформатора, - вполне выполнимая задача, даже если Вы, уважаемый Заказчик, очень ограничены во времени принятия решения и в располагаемых финансовых ресурсах.

Ю.М. Савинцев,
кандидат технических наук,
Генеральный директор ООО «Корпорация «Русский трансформатор»

