

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ СЕРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ОТ ОБОБЩЕННОГО ЛИНЕЙНОГО РАЗМЕРА

Установлено залежності основних параметрів трансформаторів від узагальненого лінійного розміру. Запропоновано критерії для порівняння трансформаторів і їхніх серій. Проведено порівняльну оцінку трансформаторів відомих виробників. Наведено рекомендації з покращення параметрів трансформаторів.

Установлены зависимости основных параметров трансформаторов от обобщенного линейного размера. Предложены критерии для сравнения трансформаторов и их серий. Проведена сравнительная оценка трансформаторов известных производителей. Приведены рекомендации по улучшению параметров трансформаторов.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции к глобализации и открытости экономики способствуют развитию конкурентоспособности в мировом производстве и торговле. Это существенно расширяет возможности выбора промышленного электромеханического оборудования, большой сегмент которого составляют трансформаторы различной мощности и типа исполнения. Как следствие актуальной научно-прикладной задачей становится разработка критериев их сравнительной оценки с целью рационального выбора трансформатора под нужды конкретного потребителя.

Выбор трансформаторов должен учитывать качество проектирования серии, в рамках которой они выпускаются. При этом оцениваться должны не только энергетические характеристики, по которым выбирают нужный трансформатор: мощность, напряжение обмоток, потери короткого замыкания и холостого хода, напряжение короткого замыкания и ток холостого хода, но и массогабаритные параметры трансформаторов. Однако до настоящего времени такой комплексный критерий рационального выбора трансформаторов не был разработан.

Установление закономерностей, связывающих мощность и геометрические размеры трансформаторов позволяет сформулировать критерии рационального выбора как мощных трансформаторов для работы в энергосистемах, так и трансформаторов специального назначения. Сравнительная оценка трансформаторов и их серий с использованием подобных зависимостей поможет дополнительно оценить эффективность использования материалов в серийных трансформаторах различных производителей, а также определить перспективы дальнейшего развития трансформаторостроения.

АНАЛИЗ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Связь между мощностью трансформатора и его линейными геометрическими размерами преимущественно определяется законом, установленным М.О. Доливо-Добровольским и полностью сформулированным М. Видмаром [1].

В результате теоретических обобщений при принятии неизменным соотношения линейных размеров в пределах серии, было получено [2, 3], что мощность S трансформатора пропорциональна любому линейному размеру ℓ в четвертой степени, или

$$S \sim \ell^4. \quad (1)$$

При этом потери на единицу мощности

$$p = \frac{P}{S} \sim \frac{1}{S^{1/4}}, \quad (2)$$

где P – потери в трансформаторе, падают вместе с ростом мощности трансформатора, а его КПД соответственно возрастает.

Поверхность трансформатора, охлаждаемая воздухом или другой средой, растет пропорционально квадрату линейных размеров

$$S_c \sim \ell^2 \sim S^{1/2},$$

а потери q , отнесенные к единице охлаждаемой поверхности, также возрастают:

$$q \sim \frac{P}{S_c} \sim \frac{S^{3/4}}{S^{1/2}} = S^{1/4}. \quad (3)$$

Из приведенных выражений видно, что естественный рост охлаждаемой поверхности трансформатора отстает от роста его потерь и, следовательно, с ростом мощности трансформатора усложняется решение проблемы его охлаждения. Для того, чтобы сохранить удельную тепловую нагрузку q поверхности и превышение температуры θ_{ia} внешней поверхности бака над окружающим воздухом, прибегают к искусственному увеличению внешней поверхности бака. При очень больших мощностях и в некоторых особых случаях применяется форсированное охлаждение путем обдувания охладителей бака вентиляторами, перекачки масла трансформатора через теплообменники и т.п. Его применение требует постоянных дополнительных затрат энергии на перекачку масла и подачу воздуха или воды, чем снижается общий КПД трансформатора.

На практике в современных сериях трансформаторов предположение геометрического подобия полностью не соблюдается, и соотношения мощностей, потерь, масс и размеров трансформаторов одной серии несколько отклоняются от приведенных выше простых законов. Это позволяет использовать данные соотношения только для получения некоторых обобщенных выводов о тенденциях изменения размеров, массы, потерь и т.д. трансформаторов с изменением мощности, а также для приближенных пересчетов.

Для более точной оценки и сравнения трансформаторов и их серий был введен ряд дополнительных коэффициентов и критериев, представленных в [4].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление зависимостей основных параметров трансформаторов от ОЛР. Обоснование критериев сравнения трансформаторов и их серий и сравнительная оценка на их основе трансформаторов известных отечественных и зарубежных производителей.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ОЛР

В качестве ОЛР для трансформаторов согласно [2] принимается среднее геометрическое трех габаритных размеров: длины L , ширины B и высоты H

$$\ell = \sqrt[3]{LBH}; \quad (4)$$

$$\ell_b = \sqrt[3]{L_b B_b H_b}, \quad (5)$$

где ℓ, ℓ_b – ОЛР соответственно расчетного трансформатора серии и трансформатора, принятого в серии за базовый (например, трансформатор минимальной мощности); L_b, B_b, H_b – соответствующие размеры базового трансформатора.

Зависимости электромагнитной мощности S , массы M и мощности потерь P трансформатора от ОЛР представляют в виде:

$$S = k_S \ell^{n_S}; \quad (6)$$

$$M = k_M \ell^{n_M}; \quad (7)$$

$$P = k_P \ell^{n_P}, \quad (8)$$

где k_S, k_M, k_P – коэффициенты пропорциональности; n_S, n_M, n_P – показатели степени.

Показатели степени в зависимостях электромагнитной мощности, массы и мощности потерь от ОЛР (3)-(5) рассчитывают из следующих соотношений [3]:

$$n_S = \ln(S/S_b) / \ln(\ell/\ell_b), \quad (9)$$

$$n_M = \ln(M/M_b) / \ln(\ell/\ell_b), \quad (10)$$

$$n_P = \ln(P/P_b) / \ln(\ell/\ell_b), \quad (11)$$

где S_b, M_b, P_b – электромагнитная мощность, масса и мощность потерь для трансформатора, принятого в серии за базовый.

Из экспериментальной оценки зависимостей показателей степени n в соотношениях (6)-(8) приходим к выводу о том, что наиболее адекватной является их аппроксимация методом наименьших квадратов формулой вида

$$n = n_c + \frac{n_v}{\ell^k}, \quad (12)$$

где n_c – постоянная составляющая; n_v – коэффициент; k – показатель степени.

Проверка адекватности (12) экспериментальным данным удовлетворяет F -критерию Фишера.

В целом показатели степени зависимостей энергетических параметров от ОЛР отличаются от теоретических значений. Однако кривые, отражающие данные зависимости, асимптотично приближаются к теоретическим значениям [3].

Для трансформаторов низкого напряжения подтверждены теоретические предположения о преобладающем влиянии мощности на ОЛР [3]. Доказано, что для этих трансформаторов показатель степени зависимости электромагнитной мощности приближается к

четырем, массы и мощности потерь – к трем.

Возникающие отклонения в значениях показателя степени могут быть объяснены изменением электромагнитных нагрузок трансформатора с ростом ОЛР.

Очевидно, что ОЛР в (6)-(8) представляет собой размер, который относится к активной части трансформатора. С другой стороны, трансформаторы мощностью в десятки кВа и более изготавливаются в защищенном исполнении (в том числе и с маслonaполненным баком). Однако в условиях реального выбора и эксплуатации трансформатора, как правило, известны только габаритные размеры бака и ОЛР ℓ_t , полученный по габаритным размерам.

Для ℓ_t полагают

$$S \sim \ell_t^{n_t} = (\ell + t)^{n_t}, \quad (13)$$

где t – разница между ОЛР, определенным по габаритным размерам бака трансформатора и ОЛР, определенным по размерам активной части трансформатора; n_t – показатель степени зависимости ОЛР, полученного по габаритным размерам, от мощности.

Рассчитать зазор t между баком и активной частью трансформатора можно из соотношения:

$$t = \left(\frac{\ell}{\ell_b} \right)^{\frac{4}{n_t}} (\ell_b + t_b) - \ell. \quad (14)$$

Результирующий показатель степени зависимости ОЛР, полученного по габаритным размерам, рассчитывается как

$$n_t = 4 \frac{\ln(\ell_b/\ell)}{\ln \frac{\ell_b + t_b}{\ell + t}}, \quad (15)$$

а для сравнения трансформаторов различных размеров рационально использовать понятие относительно зазора:

$$\delta_t = \frac{t}{\ell}. \quad (16)$$

Полученные при расчетах показатели степени значительно отличаются от теоретических и с ростом класса напряжения это отличие возрастает, следовательно, в трансформаторах высокого напряжения на ОЛР, вместе с мощностью, влияет и напряжение. Это подтверждается тем фактом, что в трансформаторах высокого напряжения габаритные размеры определяются не только электромагнитными нагрузками, но и требованиями к электробезопасности: нормированием величин изоляционных промежутков.

Каждая из таких составляющих ОЛР трансформатора будет иметь свою взаимозависимость с энергетическими параметрами, которая позволит сделать зависимость между геометрическими и энергетическими параметрами более прогнозируемой.

Учет влияния частоты тока, индукции магнитного поля в сердечнике трансформатора и плотности тока в его обмотках дает возможность уточнить значение показателя степени в зависимости электромагнитной мощности от ОЛР.

Принимая, что магнитная индукция в магнитопроводе трансформатора при увеличении ОЛР остается неизменной, а плотность тока в обмотках геометрически подобных трансформаторов обратно пропорцио-

нальна корню квадратному из линейного размера, получена зависимость тока холостого хода от ОЛР:

$$i_0 \sim \frac{1}{\ell}. \quad (17)$$

Зависимость КПД от ОЛР выражается формулой:

$$\eta = 1 - \frac{n_{\eta}}{\ell}, \quad (18)$$

где n_{η} – коэффициент. Таким образом, в зависимость КПД ОЛР входит с показателем степени -1 .

Для силовых трансформаторов с масляным баком целесообразно разделять ОЛР на две составляющие [3]: ℓ_S – зависимость от мощности S и ℓ_U – зависимость от напряжения U :

$$\ell = \ell_S + \ell_U. \quad (19)$$

При этом предлагается представить зависимость ℓ_S от S в виде:

$$\ell_S = k_S n_{Sa} \sqrt{S}, \quad (20)$$

где n_{Sa} – показатель степени зависимости S от ℓ без влияния напряжения и других параметров.

Зависимость ℓ_U от U предлагается линейной:

$$\ell_U = k_U U, \quad (21)$$

где k_U – коэффициент пропорциональности.

Составляющая ℓ_U ОЛР соответствует разнице t между ОЛР, полученным по габаритным размерам, и ОЛР, относящимся к размерам активной части, фактически – зазору между активной частью и баком трансформатора.

В свою очередь, зазор между баком и активной частью зависит от общих и неизменных для всех трансформаторов серии конструктивных соображений и класса напряжения, влияющего на изоляционные промежутки.

Сравнение значений относительного зазора между баком и активной частью для трансформаторов отдельных серий показало, что он в значительной мере зависит от напряжения – при неизменном классе рассмотренных трансформаторов и в незначительной степени определяется требованиями к охлаждению и циркуляции масла.

Такой подход позволил объяснить аномально большие значения показателя степени в зависимости мощности от ОЛР. Так, при определении ОЛР по размерам бака трансформатора показатель степени зависимости мощности от ОЛР стремится к значениям, значительно превышающим 4.

При анализе результатов расчетов были получены выражения, связывающие ОЛР ℓ с определяемым по баку (корпусу) трансформатора ОЛР ℓ_t .

Для трансформаторов высокого напряжения серий с базовым трансформатором мощностью от 10 до 100 кВ·А ОЛР представляется как:

$$\ell = \ell_t \left(0,9 - 0,2 \frac{\ell_{tb}}{\ell_t} \right), \quad (22)$$

где ℓ_{tb} – ОЛР базового трансформатора в серии с баком

Для трансформаторов высокого напряжения серий с базовым трансформатором мощностью более 100 кВ·А ОЛР принимается:

$$\ell = \ell_t \left(0,85 - 0,3 \frac{\ell_{tb}}{\ell_t} \right). \quad (23)$$

Представленные соотношения характеризуют изменение параметров для трансформаторов при отсутствии подобия: все три габаритных размера меняются непропорционально друг другу.

Результаты расчетов показателей степени зависимостей электромагнитной мощности от ОЛР для трансформаторов с линейным подобием соответствуют теоретическим предположениям: линейно увеличивается площадь обмоточного окна и линейно увеличивается площадь сечения магнитопровода, таким образом, зависимость мощности от ОЛР при плоскостном подобии должна быть квадратичной. В результате расчетов получено значение показателя степени $n_{Sc} = 2,01$.

Результаты расчетов показателей степени зависимостей электромагнитной мощности от ОЛР для трансформаторов с линейным подобием свидетельствуют о том, что показатель степени зависимости электромагнитной мощности от ОЛР меняется в пределах 3,0...4,0, что совпадает с теоретическими предположениями. А именно: квадратично увеличивается площадь обмоточного окна и линейно увеличивается площадь сечения магнитопровода, таким образом, зависимость мощности от ОЛР при линейном подобии должна иметь показатель степени 3,0 и выше.

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ СЕРИЙ

Критерием рационального выбора трансформатора является минимум капитальных и эксплуатационных затрат. Известные методики расчета и сравнения технико-экономической эффективности трансформаторов [5] требуют использования большого количества параметров: массы материалов, удельной их стоимости и пр. Обычно эти параметры неизвестны. Поэтому был разработан критерий, который бы учитывал только геометрические параметры трансформаторов.

Согласно расчетам, эксплуатационные затраты C_e , которые характеризует показатель степени n_p , превышают капитальные C_c , которые характеризуются показателем степени n_m , в 8,8 раза, что учитывалось при сопоставлении показателей путем умножения их на относительный вес коэффициентов в полной стоимости трансформатора.

При сведении показателей степени в один, генеральный показатель, они нормировались путем деления на теоретические значения, которые составляют для n_p , как и для n_m , 3. С учетом этого генеральный показатель n_g был представлен в виде:

$$n_g = \frac{1}{3} 0,9 n_p + \frac{1}{3} 0,1 n_m = \frac{1}{3} (0,9 n_p + 0,1 n_m). \quad (24)$$

Показатель n_g является абсолютным, а для сравнения трансформаторов был введен относительный показатель:

$$n_{gr} = \frac{1}{3} [0,9(n_{p1} - n_{p2}) + 0,1(n_{m1} - n_{m2})] = n_{g1} - n_{g2}, \quad (25)$$

где n_{p1} , n_{p2} – показатели степени зависимости мощности потерь от ОЛР для первого и второго сравниваемых трансформаторов; n_{m1} , n_{m2} – показатели степени зависимости массы от ОЛР для первого и второго сравниваемых трансформаторов; n_{g1} , n_{g2} – абсолютные

генеральные показатели для первого и второго сравниваемых трансформаторов.

Если полученное значение n_{gr} положительно, то лучшие показатели имеет первый трансформатор, если отрицательно – то второй.

В итоге был предложен обобщенный показатель, учитывающий и величину n_s :

$$n = n_g + \frac{4}{3}n_s. \quad (26)$$

Коэффициент (4/3) является отношением теоретических показателей степени зависимости мощности и потерь от ОЛР.

Таким образом, характер изменения обобщенного показателя отражает рациональность выбора серий трансформаторов, в целом совпадая с характером изменения n_s .

Для нахождения критерия рационального выбора серий трансформаторов необходимо сравнить показатели, рассчитанные для трансформаторов наибольшей мощности в серии при базовом трансформаторе минимальной мощности:

$$n_{rS} = \frac{1}{3} [0,9(n_{P1S} - n_{P2S}) + 0,1(n_{M1S} - n_{M2S})] + \frac{4}{3}(n_{S1S} - n_{S2S}) \quad (27)$$

где n_{P1S}, n_{P2S} – показатели степени зависимости мощности потерь от ОЛР для первой и второй сравниваемой серии трансформаторов; n_{M1S}, n_{M2S} – показатели степени зависимости массы от ОЛР для первой и второй сравниваемой серии трансформаторов; n_{S1S}, n_{S2S} – показатели степени зависимости мощности от ОЛР для первой и второй сравниваемой серии трансформаторов.

Если полученное значение n_{rS} положительно, то лучшие показатели имеет первая из сравниваемых серия трансформаторов, если отрицательно – то вторая серия трансформаторов.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАТОРОВ И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Используя полученные критерии, была выполнена сравнительная оценка трансформаторов известных отечественных и зарубежных производителей: серий *GETI*, *Resibloc* (ABB, Швеция) и *ТСЗН* (Украина) – сухие и серий *ZST* (Болгария), *ТМ* и *ТМГ* (Украина) – масляные (табл. 1) [6-10].

Как видно из табл. 1, в диапазоне мощностей до 630 кВА из рассмотренных серий наиболее рациональным является выбор серия *GETI*, имеющей наименьшие габариты, массу и довольно низкие потери.

Таблица 1

Сравнение параметров трансформаторов различных серий

Серия	ℓ_t , мм	ℓ , мм	n_{St}	n_s	M	n_M	P , Вт	n_P	n_g	n
400 кВА										
<i>Resibloc</i>	1514	904	4,63	3,26	1690	2,2	6000	2,7	0,88	5,23
<i>GETI</i>	1187	881	5,81	4,66	1380	3,2	5070	2,9	0,98	7,19
<i>ТСЗН</i>	1471	1154	5,04	4,18	1600	1,3	4300	3,0	0,93	6,50
<i>ZST</i>	1087	852	5,07	4,19	1600	2,9	6880	3,7	1,21	6,79
<i>ТМ</i>	1612	1187	6,85	4,23	2345	2,7	6100	3,5	1,13	6,79
<i>ТМГ</i>	1431	1058	6,36	4,00	2370	2,6	5600	3,0	1,00	6,34
630 кВА										
<i>Resibloc</i>	1612	982	5,64	4,07	2280	2,7	8000	3,0	0,99	6,42
<i>GETI</i>	1242	931	6,47	5,21	1950	3,6	8400	3,9	1,29	8,24
<i>ТСЗН</i>	1531	1208	5,47	4,55	2300	1,7	5500	3,1	0,99	7,06
<i>ZST</i>	1270	1017	4,59	3,85	2080	2,6	9745	3,4	1,11	6,24
<i>ТМ</i>	1610	1185	9,16	5,65	2650	3,0	9000	4,7	1,51	9,05
<i>ТМГ</i>	1505	1124	6,86	4,52	2570	2,4	8500	3,6	1,16	7,19
1000 кВА										
<i>Resibloc</i>	1730	1072	5,91	4,41	3060	2,9	10800	3,1	1,03	6,91
<i>GETI</i>	1454	1121	5,21	4,27	2950	3,2	11500	3,1	1,04	6,73
<i>ТСЗН</i>	1622	1290	5,70	4,76	3200	2,0	8250	3,4	1,08	7,42
<i>ZST</i>	1439	1169	4,45	3,77	3000	2,7	13850	3,3	1,08	6,11
<i>ТМ</i>	1813	1368	7,20	4,91	4130	3,1	12200	3,9	1,28	7,82
<i>ТМГ</i>	1648	1253	6,41	4,46	3190	2,3	10500	3,3	1,06	7,01
1600 кВА										
<i>Resibloc</i>	1865	1206	5,99	4,29	4500	3,0	15500	3,1	1,03	6,75
<i>GETI</i>	1591	1245	5,21	4,31	4300	3,2	16300	3,1	1,04	6,78
<i>ZST</i>	1600	1314	4,45	3,80	4950	2,9	19800	3,3	1,09	6,15
<i>ТМ</i>	1967	1507	6,91	4,90	5200	3,0	17000	3,8	1,25	7,78
<i>ТМГ</i>	1850	1434	5,84	4,26	4980	2,5	16000	3,2	1,06	6,73

Показатель n_s также в трех из четырех случаев в серии *GETI* является самым большим, что дополнительно подтверждает эффективность этой серии. В диапазоне мощностей свыше 1000 кВА рациональней по этим же показателям выбирать серию *ТМ*.

Перспективным направлением совершенствования трансформаторов является усовершенствование конструкций обмоток путем изготовления их из разных проводниковых материалов. Кроме того, уменьшить габариты трансформаторов, а также улучшить

распределение магнитных потоков в них можно, изменяя структуру и пространственное распределение магнитной системы.

Доказано [4], что изготовление наружных обмоток из более дешевого, по сравнению с медью, алюминия, а внутренних – из меди позволяет сделать их в 1,3 раза более компактными. Использование проводников из ленты, наматываемой широкой стороной по высоте обмотки, позволяет уменьшить габариты и стоимость трансформатора при улучшении распределения напряжения. Выполнение магнитопровода из эллиптических сердечников и применение пространственной магнитной системы позволяет уменьшить до 1,5 раза габариты трансформатора и улучшить распределение магнитных потоков.

ВЫВОДЫ

1. Установлены зависимости основных параметров трансформаторов от ОЛР.

2. Предложены критерии выбора трансформаторов и их серий с использованием ОЛР, позволяющие проводить их сравнение на основе известных геометрических размеров.

3. Выполнена сравнительная оценка трансформаторов известных отечественных и зарубежных производителей, приведены рекомендации по улучшению параметров трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – М.: Энергия, 1974. – 839 с.
2. Загирняк М.В., Невзлин Б.И. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров трансформаторов. Ч. 1. Известные теоретические и экспериментальные зависимости между энергетическими, электромагнитными и массогабаритными параметрами трансформаторов // Изв. вузов. Электромеханика. – 2004. – № 6. – С. 47-52.
3. Загирняк М.В., Невзлин Б.И. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров трансформаторов. Ч. 2. Исследования реальных взаимосвязей параметров трансформаторов с обобщенным линейным размером // Изв. вузов. Электромеханика. – 2005. – № 4. – С. 21-29.
4. Загирняк М.В., Невзлин Б.И., Дьяченко Ю.Ю., Аль-Зурейгат А.М.М. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров трансформаторов Ч. 3. Оценка соответствия новых теоретических и экспериментальных зависимостей. Критерии рационального выбора трансформаторов // Изв. вузов. Электромеханика. – 2007. – № 2. – С. 11-21.
5. Крысенко С.И., Пуйло Г.В., Чайковский В.П. Влияние экономических факторов на технико-экономические характеристики трансформатора // Электромашиностроение и электрооборудование. Респ. межвед. научн.-техн. сборник. К.: Техника, 1992. С. 90-93.

6. Dry-Type Transformers Resibloc. Masstabelle dimension table. – P. 2-4.

7. Catalog AEG. Cast Resin Dry Type Transformers GETI, 2000. – 6 p.

8. Официальный сайт ООО "Тесла Электрикс" <http://transformator.kiev.ua/>, каталоги трансформаторов.

9. Официальный сайт ПАО «Электроаппарат» <http://www.uea.com.ua/catalogue>, каталоги трансформаторов.

10. Официальный сайт ПАО «Супер» («Запорожский завод сверхмощных трансформаторов») <http://www.zst.ua>.

Bibliography (transliterated): 1. Vol'dek A.I. Elektricheskie mashiny. – M.: Energija, 1974. – 839 s. 2. Zagirnyak M.V., Nevzlin B.I. Funkcional'naja vzaimosvjaz' massogabaritnyh i energeticheskikh parametrov transformatorov. Ch. 1. Izvestnye teoreticheskie i eksperimental'nye zavisimosti mezhdru energeticheskimi, elektromagnitnymi i massogabaritnymi parametrami transformatorov // Izv. vuzov. Elektromehaniка. – 2004. – № 6. – S. 47-52. 3. Zagirnyak M.V., Nevzlin B.I. Funkcional'naja vzaimosvjaz' massogabaritnyh i energeticheskikh parametrov transformatorov. Ch. 2. Issledovanija real'nyh vzaimosvjazej parametrov transformatorov s obobchennym linejnym razmerom // Izv. vuzov. Elektromehaniка. – 2005. – № 4. – S. 21-29. 4. Zagirnyak M.V., Nevzlin B.I., D'jachenko Ju.Ju., Al'-Zurejgat A.M.M. Funkcional'naja vzaimosvjaz' massogabaritnyh i energeticheskikh parametrov transformatorov Ch. 3. Ocenka sootvetstvija novyh teoreticheskikh i eksperimental'nyh zavisimostej. Kriterii racional'nogo vybora transformatorov // Izv. vuzov. Elektromehaniка. – 2007. – № 2. – S. 11 – 21. 5. Krysenko S.I., Pujlo G.V., Chajkovskij V.P. Vlijanie ekonomicheskikh faktorov na tehniko-ekonomicheskie karakteristiki transformatora // Elektromashinostroenie i elektrooborudovanie. Resp. mezhdved. nauchn.-tehn. sbornik. K.: Tehnika, 1992. S. 90–93. 6. Dry-Type Transformers Resibloc. Masstabelle dimension table. – P. 2-4. 7. Catalog AEG. Cast Resin Dry Type Transformers GETI, 2000. – 6 p. 8. Oficial'nyj sajt ООО "Tesla Elektriks" <http://transformator.kiev.ua/>, katalogi transformatorov. 9. Oficial'nyj sajt ПАО «Электроаппарат» <http://www.uea.com.ua/catalogue>, katalogi transformatorov. 10. Oficial'nyj sajt ПАО «Super» («Запорожский завод сверхмощных трансформаторов») <http://www.zst.ua>

Поступила 26.10.11

Загирняк Михаил Васильевич, д.т.н., проф.

Прус Вячеслав Вячеславович, к.т.н., доц.

Невзлин Борис Исаакович, к.т.н., доц.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,

кафедра электрических машин и аппаратов

Украина, 39614, Кременчуг, ул. Первомайская, 20

тел. (05366) 3-62-19, e-mail: mzagirn@kdu.edu.ua

Zagirnyak M., Prus V., Nevzlin B.

Estimation of transformers and their series using functional dependences of parameters on the generalized linear size.

Dependences of transformer main parameters on the generalized linear size have been revealed. Comparison criteria for transformers and their series have been formulated. Comparative estimation of transformers made by famous manufacturers has been carried out. Recommendations for transformer parameter improvement have been worked out.

Key words – transformer, generalized linear size, parameter dependences, comparison criteria.