

О. В. ШУТЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Д. Н. БАКЛАЙ, ассистент, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Досліджено закони розподілу шести показників якості трансформаторних масел на основі статистичного аналізу результатів експлуатаційних випробувань. Встановлено, що більшість показників мають розподіл близький до розподілу Вейбулла. Досліджено динаміку змін параметрів законів розподілу показників в залежності від ступеню старіння трансформаторних масел.

Исследованы законы распределения шести показателей качества трансформаторных масел на основе статистического анализа результатов эксплуатационных испытаний. Установлено, что большинство показателей имеют распределение близкое к распределению Вейбулла. Исследована динамика изменений параметров законов распределения показателей в зависимости от степени старения трансформаторных масел.

Investigated the distribution laws of the six indicators of quality of transformer oil based on statistical analysis of the results of operational tests. Found that the majority of indicators have a distribution close to the Weibull distribution. Research on the dynamics of changes in the parameters of the distribution laws of indices, depending on the degree of aging or transformer oil.

Введение. Одним из путей повышения эффективности эксплуатационного контроля состояния высоковольтных силовых трансформаторов является переход от планового обслуживания оборудования к обслуживанию по его прогнозируемому техническому состоянию [1]. Такой переход возможен при наличии математических моделей, позволяющих адекватно и достоверно выполнить оценку текущего состояния диагностируемого объекта, а также выполнить прогноз его состояния на ближайший период. В свою очередь получение таких моделей возможно на основе статистического анализа результатов эксплуатационных испытаний состояния изоляции трансформаторов. При этом одной из важнейших задач является исследование законов распределения диагностических параметров. В связи с этим исследование законов распределения показателей трансформаторных масел является актуальной и практически значимой задачей.

Анализ публикаций. В настоящее время законы распределения физико-химических показателей трансформаторных масел изучены недостаточно и практически отсутствуют публикации о исследованиях в данной области.

Цель статьи – В статье, приведены результаты исследования законов распределения шести показателей трансформаторных масел, полученные

на основе анализа результатов эксплуатационных испытаний.

Метод решения. Для исследования законов распределения физико-химических показателей масел сформирован массив данных, представляющий собой результаты периодических испытаний трансформаторных масел по Донецкой, Луганской, Полтавской, Сумской, Харьковской областям, а также АР Крым. Всего проанализированы результаты наблюдений по 249 трансформаторам напряжением 110 кВ и номинальной мощностью от 6,3 до 63 МВА. Перечень показателей масел и объемы выборочных значений приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Перечень показателей качества трансформаторных масел

№ п./п.	Показатель качества масла	Объем выборочных значений	
		Количество рядов	Количество значений
1	Температура вспышки	230	3746
2	Кислотное число	231	3741
3	Пробивное напряжение	231	3723
4	tgδ при 90 °С	60	570
5	Содержание водорастворимых кислот	46	1191
6	Влагосодержание масла	73	1635
Всего		871	14606

Однако данные полученные в результате эксплуатационного контроля являются статистически неоднородными, поскольку трансформаторы эксплуатировались в разных условиях, имели отличия в сортах заливаемого масла, различные значения загрузки и как следствие различные значения рабочей температуры. В результате скорость старения масел, а следовательно и скорость дрейфа их показателей значительно разнятся. Для формирования однородных массивов данных были использованы три статистических критерия:

1. Ранговый критерий Уилкоксона – для проверки статистической гипотезы о схожести законов распределения двух независимых выборок;
2. Z критерий – для проверки статистической гипотезы о равенстве математических ожиданий двух независимых выборок;
3. Критерий Фишера-Снедекора для проверки статистической гипотезы о равенстве дисперсий двух независимых выборок

Две независимые выборки считались однородными если по результатам тестирования статистические гипотезы: о схожести законов распределения двух независимых выборок; о равенстве математических

ожиданий двух независимых выборок; о равенстве дисперсий двух независимых выборок не отвергались при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$.

В результате выполненного тестирования по каждому из показателей были сформированы несколько подмножеств однородных данных, которые учитывают различия в скорости дрейфа показателей масел, что позволило выполнить оценку законов распределения по каждому из них.

Анализ законов распределения показателей качества трансформаторных масел выполнялся в следующей последовательности:

1. Эмпирические данные ранжировались по возрастанию;
2. Определялись параметры 16 законов распределения, непрерывной случайной величины, по эмпирическим данным, для чего использовались метод моментов и метод максимального правдоподобия [2];
3. Определялся полигон эмпирических частот [3];
4. Рассчитывались теоретические частоты исходя из полученных ранее параметров законов распределения;
5. Выполнялась проверка на схожесть эмпирического и теоретического распределения по двум статистическим критериям:
 - Критерий Пирсона χ^2 ;
 - Критерий Колмогорова-Смирнова.

Приведенный алгоритм реализован в виде программы «ZR», разработанной на кафедре «Передача электрической энергии» НТУ «ХПИ». Программа позволяет в режиме on-line, выполнить проверку на соответствие 16 законов распределения см. рис. 1.

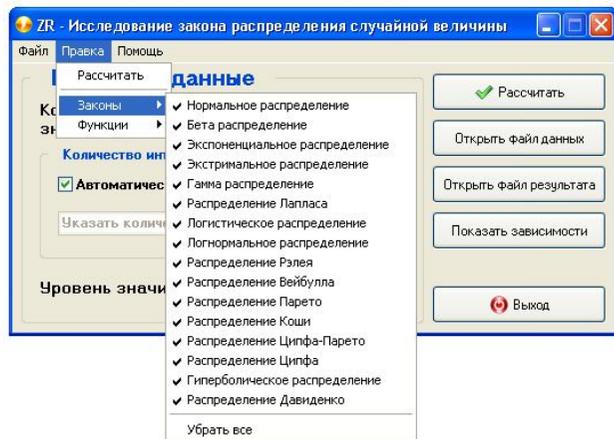


Рис. 1 – Диалоговое окно программы «ZR», для выбора законов распределения

Ниже приведены результаты исследований законов распределения для шести показателей трансформаторных масел.

Распределение кислотного числа трансформаторных масел.

Для анализа законов распределения кислотного числа трансформаторных масел отобрано 4 однородных подмножества, которые имеют наибольший объем выборочных значений и отражают различную степень окисления масел. Объем выборочных значений N , значения математического ожидания M_x , дисперсии D_x , а также коэффициентов асимметрии и эксцесса J_a и J_e для данных подмножеств приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2 значения математических ожиданий кислотного числа в разных подмножествах значимо отличаются, что свидетельствует о различной степени окисления масел в анализируемых подмножествах. В то же время все 4 подмножества имеют положительную асимметрию, что свидетельствует о том, что «длинная часть» кривой распределения расположена справа от математического ожидания. Положительное значение коэффициента эксцесса говорит о том, что кривая распределения имеет более высокую и «острую» вершину, чем кривая нормального закона.

Таблица 2 – Статистические характеристики однородных подмножеств кислотного числа трансформаторных масел

Массив	N	M_x	D_x	J_a	J_e
M1	666	0,018138	0,000082	0,880165	4,419631
M2	453	0,035457	0,000244	0,402181	2,531735
M3	498	0,054697	0,000729	0,412774	2,754605
M4	170	0,111588	0,005225	0,523491	2,260562

По результатам анализа выполненного с помощью программы «ZR» удалось установить, что распределение кислотного числа в анализируемых подмножествах можно описать законом распределения Вейбулла, о чем свидетельствуют значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значения параметров закона распределения Вейбулла а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

Массив	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	α	β	$\chi^2_{\text{расч.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{расч.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
М1	0,020488	2,093618	10,874	14,100	0,519	1,360
М2	0,039984	2,407310	16,288	16,900	0,807	1,360
М3	0,061784	2,122303	11,343	12,600	1,0697	1,360
М4	0,124450	1,570938	7,615	11,100	0,647	1,360

Как видно из таблицы 3 для всех четырех массивов кислотного числа, значения критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова не превышают критических точек данных критериев при уровне значимости 0,05, что свидетельствует о том, что нет основания для отвержения гипотезы о приемлемости закона распределения Вейбулла. На рис. 2 приведены гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения закона Вейбулла для подмножества М1 кислотного числа. Как видно из таблицы 3 по мере увеличения степени окисления масел происходит увеличение параметра масштаба закона распределения. Значения параметра формы изменяются случайным образом. Наглядно изменение плотности законов распределения кислотного числа в зависимости от степени старения трансформаторных масел иллюстрирует рисунок 3.

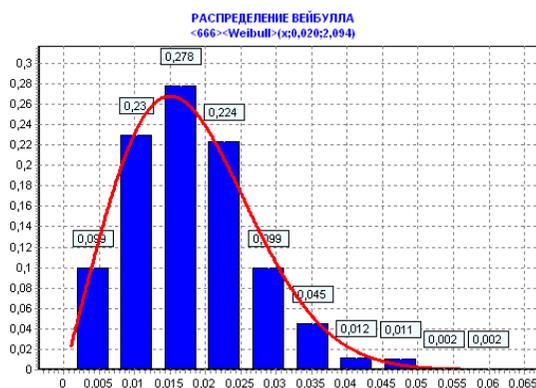


Рис. 2 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения законов Вейбулла для подмножества кислотного числа масел М1

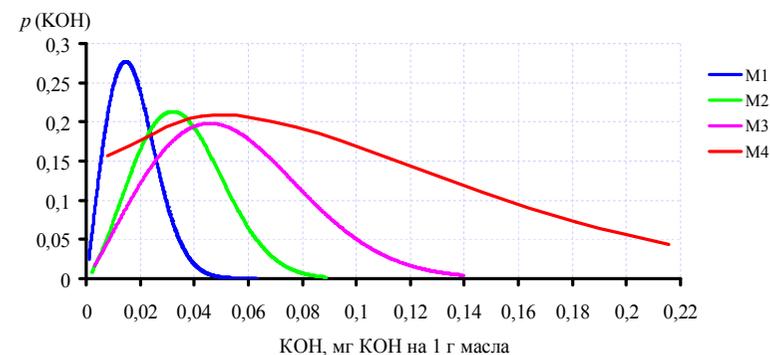


Рис. 3 – Изменение плотности теоретического распределения кислотного числа, в зависимости от степени окисления трансформаторных масел

Распределение содержания в масле водорастворимых кислот.

Оценка распределения содержания в трансформаторном масле водорастворимых кислот выполнялась на основе статистического анализа 3 однородных подмножеств данных. Объем выборочных значений N , значения математического ожидания M_x , дисперсии D_x , а также коэффициентов асимметрии и эксцесса J_a и J_e для данных подмножеств приведены в табл. 4. Как видно из таблицы значения математических ожиданий водорастворимых кислот в разных подмножествах значительно отличаются, что свидетельствует о различной степени окисления масел в анализируемых подмножествах. В то же время из 3 подмножеств данных два имеют положительную асимметрию, что свидетельствует о том, что «длинная часть» кривой распределения расположена справа от математического ожидания, а одно отрицательную. Положительное значение коэффициента эксцесса говорит о том, что кривая распределения имеет более высокую и «острую» вершину, чем кривая нормального закона.

Таблица 4 – Статистические характеристики однородных подмножеств содержания в трансформаторном масле водорастворимых кислот

Массив	N	M_x	D_x	J_a	J_e
М1	123	0,015184	0,000037	0,205494	2,431002
М2	50	0,003718	0,000007	0,678379	2,325283
М3	48	0,001581	0,0000003956	-0,098322	1,884696

По результатам анализа выполненного с помощью программы «ZR» удалось установить, что распределение содержания в трансформаторном масле водорастворимых кислот в анализируемых подмножествах можно описать законом распределения Вейбулла, о чем свидетельствуют значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Значения параметров закона распределения Вейбулла а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

Массив	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	α	β	$\chi^2_{\text{расч.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{расч.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M1	0,017072	2,650779	9,103	14,100	0,649	1,360
M2	0,004071	1,369353	3,589	5,990	0,501	1,360
M3	0,001777	2,684672	2,144	3,840	0,492	1,360

Как видно из таблицы 5 для всех трех массивов водорастворимых кислот значения критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова не превышают критических точек данных критериев при уровне значимости 0,05, что свидетельствует о том, что нет основания для отвержения гипотезы о приемлемости закона распределения Вейбулла. На рисунке 4 приведены гистограмма эмпирических распределений и функция плотности распределения закона Вейбулла для подмножеств водорастворимых кислот M1.

Также как и для кислотного числа по мере увеличения степени окисления масел происходит увеличение параметра масштаба закона распределения для водорастворимых кислот. При этом по мере накопления содержания водорастворимых кислот происходит сдвиг математического ожидания в сторону увеличения, что наглядно иллюстрирует рис. 5.



Рис. 4 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения законов Вейбулла для подмножества водорастворимых кислот M1

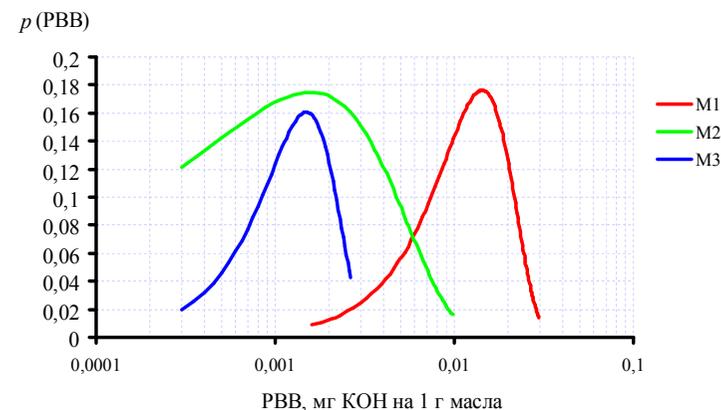


Рис. 5– Изменение плотности теоретического распределения содержания в масле водорастворимых кислот в зависимости от степени окисления трансформаторных масел

Распределение тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторных масел

Для анализа законов распределения тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторных масел, использовались два однородных подмножества данного показателя. Статистические характеристики однородных подмножеств тангенса угла диэлектрических потерь приведены в табл. 6. Как видно из таблицы 6 значения математических

ожиданий тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторных масел в разных подмножествах значительно отличаются, что свидетельствует о различной степени окисления масел в анализируемых подмножествах. В то же время все подмножества имеют положительную асимметрию, что свидетельствует о том, что «длинная часть» кривой распределения расположена справа от математического ожидания. Положительное значение коэффициента эксцесса говорит о том, что кривая распределения имеет более высокую и «острую» вершину, чем кривая нормального закона.

Таблица 6 – Статистические характеристики однородных подмножеств тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторных масел

Массив	N	M _x	D _x	J _a	J _ε
M1	205	1,217902	0,922974	1,263386	4,610560
M2	146	0,620959	0,435722	2,692499	13,231072

При определении законов распределения тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторных масел возникли объективные сложности, обусловленные тем, что для каждого подмножества данных нашлись как минимум три закона распределения, обеспечивающих минимальные значения критериев согласия. Это экспоненциальный закон распределения, гамма-распределение и распределение Вейбулла. Однако, наименьшие значения критериев согласия для двух подмножеств тангенса угла диэлектрических потерь соответствуют закону распределения Вейбулла. Значения параметров закона распределения Вейбулла и значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова приведены в табл. 7. Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения Вейбулла для подмножества тангенса угла диэлектрических потерь масла M1 приведены на рис. 6.

Из таблицы 7 легко увидеть, что по мере старения масла, значения параметров формы и масштаба увеличиваются (от массива M2 к массиву M1). Наглядно это иллюстрирует рис. 7, на котором приведены зависимость плотности теоретического распределения тангенса угла диэлектрических потерь от степени старения трансформаторных масел. Как видно из рисунка по мере старения масел форма закона распределения претерпевает значительные изменения. Наблюдается смещение максимума вправо по оси абсцисс.

Таблица 7 – Значения параметров закона распределения Вейбулла а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

Массив	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	α	β	$\chi^2_{\text{расч.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{расч.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M1	1,317618	1,285699	4,513	15,500	0,495	1,360
M2	0,619205	0,993450	9,763	12,600	0,758	1,360



Рис. 6 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения Вейбулла для подмножества тангенса угла диэлектрических потерь масла M1

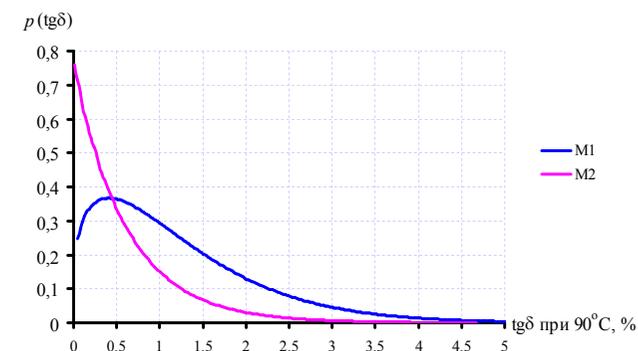


Рис. 7 – Изменение плотности теоретического распределения тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от степени старения трансформаторных масел

Распределение пробивного напряжения трансформаторных масел

Распределение пробивного напряжения трансформаторных масел исследовалось по 4 массивам однородных данных, статистические характеристики которых приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Статистические характеристики однородных подмножеств пробивного напряжения трансформаторных масел

Массив	N	M_x	D_x	J_a	J_c
M1	208	62,624038	217,350576	-0,548405	3,113916
M2	1371	53,499096	136,903665	-0,273460	3,202027
M3	265	46,069434	129,059103	0,096977	2,924840
M4	181	39,325967	171,848221	0,264911	2,330625

Как видно из таблицы 8 по мере снижения математического ожидания пробивного напряжения (т.е. снижения электрической прочности масел) происходит дрейф коэффициента асимметрии с отрицательных значений до положительных. Выполненный с помощью программы «ZR» анализ законов распределения, позволил установить, что значения пробивного напряжения трансформаторного масла из анализируемых массивов подчиняются закону распределения Вейбулла. Значения параметров закона распределения Вейбулла и значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Значения параметров закона распределения Вейбулла а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

Массив	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	α	β	$\chi^2_{расч.}$	$\chi^2_{крит.}$	$\lambda_{расч.}$	$\lambda_{крит.}$
M1	68,220881	4,831765	13,597	15,500	0,404	1,360
M2	58,001287	5,259604	6,059	7,820	0,398	1,360
M3	50,330851	4,596098	15,389	15,500	0,393	1,360
M4	43,786437	3,282641	9,047	9,490	0,881	1,360

Как видно из таблицы 9 расчетные значения критериев согласия для всех четырех анализируемых массивов данных не превышают критические значения при уровне значимости $\alpha=0,05$, и соответствующем значении степеней свободы, что не позволяет отвергнуть гипотезу о приемлемости распределения эмпирических данных пробивного

напряжения трансформаторных масел закону распределения Вейбулла. На рисунке 8 приведены гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения для подмножества пробивного напряжения трансформаторных масел M1.

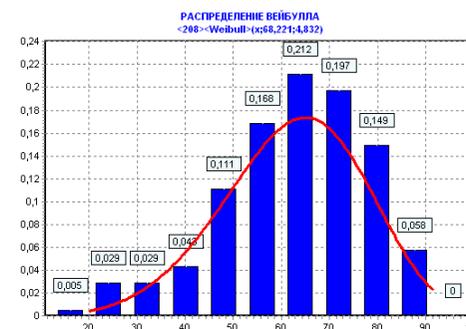


Рис. 8 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения Вейбулла для подмножества пробивного напряжения масла M1

Зависимость плотности теоретического распределения пробивного напряжения от степени старения трансформаторных масел приведена на рис.9.

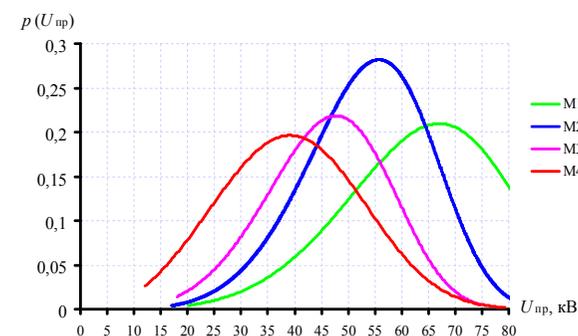


Рис. 9 – Изменение плотности теоретического распределения пробивного напряжения в зависимости от степени старения трансформаторных масел

Как видно из рис. 9 по мере снижения электрической прочности трансформаторных масел происходит изменение формы кривой распределения. Т.е. сдвиг максимального значения по оси абсцисс влево.

Для анализа законов распределения влагосодержания трансформаторных масел, использовались два однородных подмножества данного показателя. Статистические характеристики однородных подмножеств влагосодержания приведены в табл. 10.

Таблица 10 – Статистические характеристики однородных подмножеств влагосодержания трансформаторных масел

Массив	N	M _x	D _x	J _a	J _c
M1	196	26,963469	146,638716	0,858937	3,600872
M2	64	16,816563	47,341663	1,268321	6,597416

По результатам выполненного анализа удалось установить, что значения влагосодержания трансформаторного масла из анализируемых массивов подчиняются закону распределения Вейбулла. Значения параметров закона распределения Вейбулла и значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова приведены в табл. 11. На рисунке 10 приведены гистограмма эмпирических распределений и функция плотности распределения для подмножеств влагосодержания масел M1. Анализируя данные таблицы 11, легко увидеть, что как и в предыдущих случаях, по мере старения масла, значения параметров формы и масштаба увеличиваются (от массива M2 к массиву M1) см. рис. 11.

Таблица 11 – Значения параметров закона распределения Вейбулла а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

МАССИВ	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	α	β	$\chi^2_{\text{расч.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{расч.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M1	30,421905	2,351338	10,031	12,600	0,820	1,360
M2	18,924819	2,582573	10,396	12,600	1,006	1,360

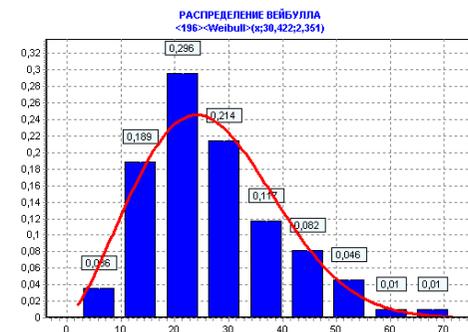


Рис. 10 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности распределения Вейбулла для подмножества влагосодержания масла M1

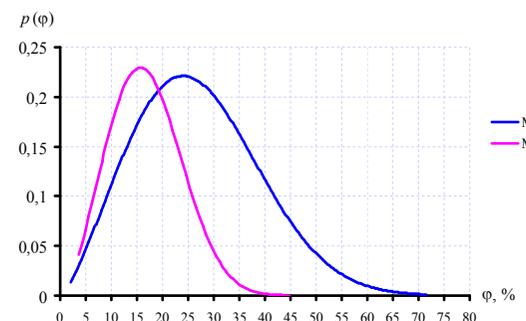


Рис. 11 – Изменение плотности теоретического распределения влагосодержания в зависимости от степени старения трансформаторных масел

Как видно из рисунка по мере старения масел форма закона распределения претерпевает значительные изменения. Наблюдается смещение максимума в право по оси абсцисс.

Распределение температуры вспышки трансформаторных масел
Для исследования закона распределения температуры вспышки трансформаторных масел, использовались пять однородных подмножеств данного показателя. Статистические характеристики однородных подмножеств температуры вспышки масла приведены в табл. 12.

Таблица 12 – Статистические характеристики однородных подмножеств влагосодержания трансформаторных масел

Массив	N	M_x	D_x	J_a	J_e
M1	123	141,243902	5,355146	-0,175656	4,989500
M2	680	143,422059	7,096866	0,379857	3,021181
M3	137	144,087591	2,182109	-0,232442	2,885301
M4	218	147,642202	4,110513	-0,076044	3,136887
M5	87	150,919540	22,303871	0,214689	2,151951

Как видно из таблицы 12 выборочное значение коэффициентов асимметрии в анализируемых подмножествах данных близко к нулю, что свидетельствует о симметричном характере кривой плотности распределения относительно математического ожидания. По результатам выполненного анализа удалось установить, что значения температуры вспышки трансформаторного масла из анализируемых массивов распределены по закону близкому к нормальному. Значения параметров нормального закона распределения и значения критериев χ^2 и критерия Колмогорова-Смирнова приведены в табл. 13.

Таблица 13 – Значения параметров Нормального закона распределения а также расчетные и критические значения (при $\alpha=0,05$) критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова

Массив	Параметры закона распределения		Значение критерия Пирсона		Значение критерия Колмогорова-Смирнова	
	μ	σ	$\chi^2_{\text{расч.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{расч.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M1	141,243902	2,323584	7,160	14,100	0,747	1,360
M2	143,422059	2,665955	5,475	7,820	1,150	1,360
M3	144,087591	1,482617	7,166	12,600	0,425	1,360
M4	147,642202	2,032106	7,757	7,820	0,821	1,360
M5	150,919540	4,750076	1,604	9,490	0,374	1,360

Как видно из таблицы 13 расчетные значения критериев согласия для всех четырех анализируемых массивов данных не превышают критические значения при уровне значимости $\alpha=0,05$, и соответствующем значении степеней свободы, что не позволяет отвергнуть гипотезу о приемлемости распределения эмпирических данных температуры вспышки трансформаторных масел нормальному закону распределения.

На рисунке 12 приведены гистограмма эмпирических распределений и функция плотности распределения для подмножества температуры вспышки масел M1.

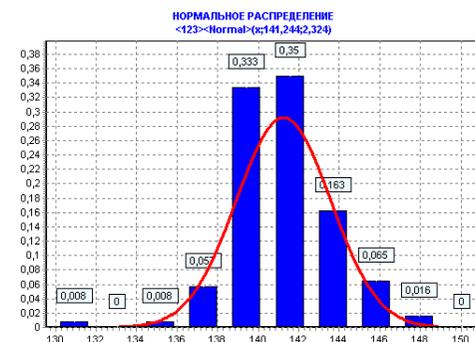


Рис. 12 – Гистограмма эмпирического распределения и функция плотности нормального распределения для подмножества температуры вспышки масла M1

Более наглядно изменение формы кривых эмпирических распределений температуры вспышки в процессе старения трансформаторных масел иллюстрирует рисунок 13. Как видно из приведенных зависимостей по мере снижения температуры вспышки трансформаторных масел (от массива M5 к массиву M1) происходит сдвиг математического ожидания температуры вспышки влево по оси абсцисс.

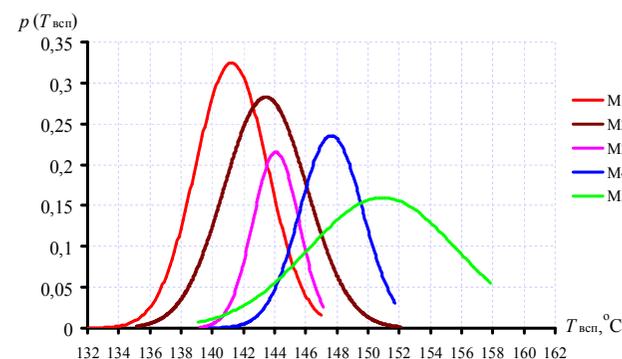


Рис. 13 – Изменение плотности теоретического распределения температуры вспышки в зависимости от степени старения трансформаторных масел

Выводы

1. В результате выполненных исследований удалось установить, что из 6 проанализированных показателей трансформаторных масел, только один – температура вспышки имеет распределение близкое к нормальному закону;

2. Близость законов распределения показателей трансформаторного масла к закону распределения Вейбулла свидетельствует о процессах старения трансформаторных масел в ходе длительной эксплуатации;

3. Содержание в масле органических кислот, содержание в масле водорастворимых кислот, пробивное напряжение трансформаторного масла, тангенс угла диэлектрических потерь, а также влагосодержание в масле трансформаторов, длительное время находящихся в эксплуатации имеют законы распределения близкие к закону распределения Вейбулла;

4. Для показателей качества эксплуатационных масел имеющих закон распределения близкий к закону распределения Вейбулла, происходит значимое изменение (или увеличение или уменьшение) параметра масштаба закона распределения. При этом параметр формы меняется случайным образом. Для сильно состаренных масел наблюдается изменение асимметрии распределения, что наглядно иллюстрируют зависимости пробивного напряжения;

5. Для кривых распределения температуры вспышки трансформаторных масел, по мере снижения температуры вспышки происходит сдвиг математического ожидания влево по оси абсцисс.

Список литературы: 1. *M. Marketz Maintenance Strategies for Distribution Networks /Marketz M., Polster J., Muhr M. // Proc. 14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, 2005. Paper F-55;* 2. *Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. - М.: Высш. шк., 2003.- 479 с.;* 3. *Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов: учебник / О.Ю. Ермолаев. - М.: Московский психологический и социальный институт Флинта, 2003.-336 с.*

Поступила в редколлегию 01.04. 2012