

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ФАКТОРАМ, ВЛИЯЮЩИМ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, НА ПРИМЕРЕ ВЛЭП И ЭД

О.И. Хомутов, И.В. Белицын, Е.О. Мартко, А.В. Макаров, Р.С. Старухин

В статье предложен вероятностный подход к расчету и моделированию выходных параметров электроустановок при учете вероятностного характера внешних воздействий. Рассмотрены факторы, влияющие на различные типы электрооборудования на примере воздушных линий электропередач и асинхронных электродвигателей, предложена их классификация с позиций вероятностного подхода. Предложена обобщенная методика для выбора функции плотности вероятности для входных параметров и на ее основе получены законы распределения основных метеорологических характеристик в некоторых районах Алтайского края.

Одним из видов электроустановок являются воздушные линии электропередачи (ВЛЭП), предназначенные для передачи и распределения электрической энергии. При проектировании ВЛЭП важным является расчет механической части воздушных линий, а именно, расчет проводов и тросов при нормальных режимах работы линии. Исходными данными для такого расчета являются различные сочетания климатических условий: температуры окружающей среды, скорости ветра, толщины стенки гололеда. На сегодняшний день выделяют пять сочетаний климатических условий. Выходными данными являются механическое напряжение материала провода и тросов и их стрел провесов.

При эксплуатации ВЛЭП вокруг нее создается переменное электромагнитное поле (ЭМП) промышленной частоты, параметры которого зависят от длины пролета и стрелы провеса проводов и тросов, которое влияет на объекты, находящиеся в непосредственной близости к ВЛЭП. Объекты могут быть как техническими, тогда речь идет об электромагнитной совместимости, а могут быть и биологическими, в этом случае говорят о действии ЭМП на человека, животных, растения. В случае эксплуатации ВЛЭП напряжением выше 220 кВ высокая напряженность электрического поля может приводить к возникновению коронного разряда. С этим явлением связаны потери электрической энергии. Известно, что потери на корону сильно зависят от вида и продолжительности осадков. Кроме этого может возникать акустический шум, который можно слышать как при хорошей погоде, но особенно усиливается при дожде, этот фактор также влияет на экологическую обстановку вблизи ВЛЭП [1].

Другим видом электроустановок являются электродвигатели (ЭД), предназначенные для преобразования электрической энергии.

Около 60 % отказов ЭД в сельском хозяйстве которых приходится на время их работы в посевной и уборочный сезоны. Например, регулярно возникает ситуация, когда отказавший электродвигатель, установленный на ответственном технологическом оборудовании не имеет регламентированного подменного резерва. При этом продолжительность простоя производственных мощностей может составлять две и более недель. Как следствие, убытки от отказа значительно превосходят стоимость нового электродвигателя и наносят значительный ущерб финансовому состоянию хозяйства [2].

В сельском хозяйстве срок службы ЭД значительно меньше положенного срока работы (для двигателей порядка 5 лет). Связано это с тем, с малым временем использования в течение суток, низким коэффициентом использования, сезонностью работы, и влиянием внешних воздействий. Одной из особенностей использования электродвигателей в сельскохозяйственном производстве также является то, что оно часто эксплуатируется в агрессивных средах, причем в условиях сельскохозяйственного производства отрицательные факторы оказывают свое воздействие в совокупности и одновременно. Это приводит к более сильному износу изоляционных материалов [3].

Повысить надёжность ЭД, используемых сезонно возможно, за счёт улучшения параметров окружающей среды (там, где это возможно), то есть создания нормального микроклимата в производственных помещениях. Надёжность является комплексным свойством любого технического изделия и зависит, главным образом, от назначения и условий его эксплуатации [4].

Таким образом, для наиболее полного и точного решения задач связанных с проектированием, моделированием работы электро-

установок, и процессов связанных с их функционированием и оценке ее надежности необходимо как можно более точно определять входные параметры, влияющие на выходные параметры электроустановок.

Любую электроустановку можно рассматривать как систему. Под системой [5] понимается множество компонентов (элементов) имеющие определенные характеристики и параметры, взаимодействующих между собой и окружающей средой. Такое определение системы можно представить графически (рис. 1). Внешняя среда оказывает воздействие на систему, сама система преобразовывает это воздействие в другое воздействие.

Состояние системы определяется значением характеристик компонентов системы. Фактическое состояние электроустановки и ее выходные параметры, например, параметры ЭМП вокруг ВЛЭП, [6] состояние изоляции обмотки электродвигателей, в любой момент времени зависит как от истории ее функционирования в различных режимах работы, под влиянием внешних воздействий, так и от всех физико-механических характеристик элементов ее конструкции.

Если рассматривать электроустановку, как показано на рисунке 1, то методы расчета выходных параметров могут разрабатываться безотносительно к внешним воздействиям [7, 8], но взаимосвязь внешних воздействий на компоненты системы должны быть установлены заранее, когда еще не известны конкретные конструктивные решения электроустановки. Общие параметры внешних воздействий могут быть найдены независимо от конкретной электроустановки, на которую они воздействуют.

Можно предложить следующую классификацию внешних воздействий, по времени воздействия и степени влияния на выходные параметры на электроустановку. Первую группу факторов входят:

- постоянные воздействия, которые оказывают влияние на параметры ЭУ в течение всего срока эксплуатации;
- переменные воздействия, оказывающие влияние на параметры ЭУ в течение все-

го срока эксплуатации, меняющие свое значение в различные моменты времени;

- кратковременные воздействия, оказывающие влияние на параметры ЭУ в течение времени значительно меньшего, чем срок эксплуатации;
- маловероятные воздействия, оказывающие влияние на параметры ЭУ вследствие малой вероятности событий.

Во вторую группу факторов входят:

- статические воздействия, которые не вызывают значительных изменений характеристик и параметров самой системы, так и выходных параметров ЭУ;
- динамические воздействия, которые вызывают значительные изменения характеристик и параметров самой системы, так и ее выходных параметров.

Величины и параметры, характеризующие внешнее воздействие не могут быть заданы четкими числами или детерминированными функциями. Очевидно, что часть входных параметров носит вероятностный характер, поэтому и выходные параметры также будут иметь вероятностный характер, поэтому возникает необходимость в определении законов распределения случайных величин и процессов, которыми являются входные параметры.

В таблице 1 приведены некоторые внешние факторы, влияющие на элементы и выходные параметры ЭУ, на примере ЭД и ВЛЭП с их классификацией по степени влияния и времени воздействия на ЭУ.

В результате анализа внешних воздействий на различные виды электроустановок, можно выделить две общие группы, которые будут влиять на выходные параметры электроустановки. Первая группа объединяет метеорологические характеристики, основными из которых является температура окружающей среды, скорость ветра, влажность воздуха. Ко второй группе можно отнести параметры, основными из которых являются значенные напряжения, питающее электроустановку и величина протекающего в ней тока и его частота.



Рис. 1. Графическое представление системы

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ФАКТОРАМ, ВЛИЯЮЩИМ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК,
НА ПРИМЕРЕ ВЛЭП И ЭД

Таблица 1

Факторы, влияющие на элементы и параметры электроустановок

Фактор	Диапазон	Влияние на элементы и параметры электроустановок	Вид воздействия
Электродвигатели			
Температура в течение года	- В зависимости от места установки ЭД	- изменение размеров узлов двигателя [9]; - в полимерной изоляции происходят физические и химические изменения, возникают термомеханические напряжения, которые приводят к частичному или полному разрушению материала, имеющему меньшую прочность, например, полимерных составляющих изоляции обмоток [9].	В зависимости от режима работы
		- при высоких температурах смазка теряет вязкость и свои смазочные свойства, в результате чего подшипниковые узлы испытывают механические перегрузки и перегрев [10]; - при низких температурах смазка загустевает и теряет свои свойства. Физические и химические изменения заключаются во взаимном перемещении молекул, разрыве химических связей, уменьшении степени полимеризации молекул и изменении химического состава [10].	Динамическое, кратковременное
		- при одновременном воздействии повышенной температуры и высокой влажности воздуха возникает интенсивная коррозия металлов, интенсифицируется рост плесневых грибков, выделения которых активизируют процессы коррозии [9].	Динамическое, маловероятное
		- тепловое старение приводит к значительному уменьшению сопротивления изоляции и электрической прочности, снижению прилипания плёнок эмаль-лаков к проводам в системах изоляции электрических машин, ухудшению стойкости изоляции к химически активным средам; - увеличение температуры окружающей среды вызывает ухудшение охлаждения электродвигателей, в следствие чего возникает рост потерь в обмотках.	Статическое, переменное
Содержание пыли	В зав-ти от хар-ра пр-тва с-х продукции	- оседание пыли на обмотку и другие конструктивные элементы ЭД вызывает снижение теплоотдачи и возникновение повышенного нагрева; - из-за ударов абразивных частиц в местах, где воздушный поток имеет наибольшую скорость, наблюдается наиболее сильная эрозия изоляции; - в некоторых случаях пыль способствует увлажнению обмоток, создаёт токопроводящие мостики между токоведущими частями, что может привести к поверхностному разрушению материала, замыканию токоведущих частей или пробую изоляции [11].	Статическое, переменное
Относительная влажность (влаги)	от 18 до 100%,	- в процессе увлажнения (поглощении или конденсации влаги) снижается объёмное и, особенно, поверхностное сопротивление растёт тангенс угла диэлектрических потерь и несколько повышается диэлектрическая проницаемость, повышается отношение ёмкостей, снижается электрическая прочность изоляционного материала [9]; - воздействие влаги приводит к размягчению некоторых изоляционных материалов, которые могут даже переходить в жидкое состояние. При этом выделяются органические кислоты, которые разрушают другие органические материалы и способствуют интенсивной коррозии металла [12]; - происходят химические изменения в полимерной изоляции обмоток [12]; - проникновение влаги вызывает гидrolитическое разрушение изоляционных материалов, особенно имеющих волокнистую структуру. Периодическое проникновение влаги в изоляцию и её удаление подсушкой во время работы электрических машин способствует развитию пор в изоляции [13]; - при увлажнении резко снижается напряжение пробоя в местах дефектов и тем самым создаётся условия для возникновения дуговых разрядов при сравнительно низких перенапряжениях [13].	Статическое, переменное

Прод. табл. 1

1	2	3	4
5	От -5% до +10% $U_{ном}$	- коррозия изоляции обмоток за счёт пустотных электрических разрядов [2]; - при работе ЭД на пониженном напряжении ($\delta U = -5\%$), происходит ускоренный износ изоляции обмоток, что сокращает срок службы изоляции ЭД (в 1,5 раза) [12].	Статическое, переменное
		- напряжение на зажимах двигателя ниже номинального, следовательно, произойдет перегрев обмотки статора и всего двигателя в частности; - нарушение симметрии напряжения сети вызывает перегрев обмотки статора, а также дополнительную вибрацию ЭД; - снижение напряжения может вызвать момент сопротивления больше максимального вращающего момента ЭД. В этом случае произойдет «опрокидывание» ЭД [4].	Динамическое, кратковременное
Воздушные линии электропередачи			
Температура окружающей ср.	В зависимости от расположения.	- изменение механического напряжения материала провода, троса элементов конструкции опор, что приводит к изменению параметров уравнения состояния провода, т. е. влияет изменение стрелы провеса проводов и тросов, геометрия которых будет влиять на параметры ЭМП от ВЛЭП.	Статическое, переменное
		- увеличение температуры окружающей среды вызывает ухудшение охлаждения проводников, что приводит к дополнительному увеличению стрелы провеса.	Стат., кратковрем.
Относительная влажность воздуха	От 0 до 100%,	- снижается поверхностное сопротивление изоляторов растёт тангенс угла диэлектрических потерь и несколько повышается диэлектрическая проницаемость, все это приводит к снижению электрической прочности изоляционных материалов; - вода, вступая в химическую реакцию с химически активными веществами находящимися в воздухе, образует щелочи, которые вызывают интенсивную коррозию алюминиевых проводов электролиты и становится хорошим проводником электрического тока, усиливая своё разрушающее действие на изоляцию.	Статическое, переменное
		- усиливается влияние ионизационных явлений вблизи поверхности проводов, что приводит к увеличению потерь на корону и усилению шума вблизи ВЛЭП.	Динам., кратковременное
Скорость ветра	В зав-ти от расположения	- изменение скорости и направления ветра влияют на расчетную нагрузку от давления ветра на все элементы конструкции ВЛЭП, которая влияет как на провисание проводов и тросов вдоль нее, так и на выбор элементов и конструкции опор.	Статическое, переменное
		- порывы ветра могут приводить к обрывам проводов ВЛЭП или их схлестыванию, что приводит к перерывам в электроснабжении и снижению надежности.	Динам., кратковрем.
Напряжение и ток	В зависимости от режима работы	- изменение напряжения вдоль ВЛЭП приводит к перераспределению заряда на проводах, тросах и металлических элементах конструкции ВЛЭП, что приводит к изменению параметров ЭМП.	Стат., переменное
		- при возникновении перенапряжения или короткого замыкания – многократное увеличение параметров ЭМП что может приводить к возникновению помех в линиях связи и электронных приборов.	Динам., маловероятное
		- из-за значительной протяженности ВЛЭП, возможного наличия однофазных потребителей и неравномерного их распределения по фазам в электрических сетях может иметь место значительная несимметрия зарядов на проводах фаз, и изменение электрических параметров ВЛЭП, а именно погонной индуктивности и емкости.	Статическое, постоянное

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ФАКТОРАМ, ВЛИЯЮЩИМ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК,
НА ПРИМЕРЕ ВЛЭП И ЭД

Таблица 2

Функциональные характеристики распределения Джонсона и Пирсона

Закон распределения. Наименование и обозначение	Область значений случайной величины x	Аналитическое выражение плотности вероятности	Определяющие параметры
S_L -Джонсона $S_L(a, \lambda, \alpha, \beta)$	$[a, \infty)$	$\frac{\beta}{(x-a)\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\alpha + \beta \cdot \ln\left(\frac{x-a}{\lambda}\right)\right]^2}$	$ a < \infty;$ $\lambda > 0;$ $ \alpha < \infty;$ $\beta > 0$
S_B -Джонсона $S_B(a, \lambda, \alpha, \beta)$	$[a, a + \lambda]$	$\frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\lambda}{(x-a) \cdot (\lambda - x + a)} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\alpha + \beta \cdot \ln\left(\frac{x-a}{\lambda - x + a}\right)\right]^2}$	аналогично
S_U -Джонсона $S_U(a, \lambda, \alpha, \beta)$	$(-\infty, \infty)$	$\frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + \lambda^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left[\alpha + \beta \cdot \ln\left\{\left(\frac{x-a}{\lambda}\right) + \left[\left(\frac{x-a}{\lambda}\right)^2 + 1\right]^{\frac{1}{2}}\right\}\right]^2}$	аналогично
Пирсона типа I $\pi_I(a, \lambda, \alpha, \beta)$	$[\pm a, b];$ $b = \lambda \mp a$	$\frac{z^\alpha (1-z)^\beta}{\lambda \cdot B(\alpha + 1, \beta + 1)},$ где $B_x(p, q) = \int_0^x t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt$ - неполная бета-функция	$a > 0;$ $\lambda > 0;$ $\alpha > -1;$ $\beta > -1;$ $z = \frac{x \pm a}{\lambda}$
Пирсона типа II $\pi_{II}(a, \lambda, \alpha)$	$[a - \lambda,$ $a + \lambda]$	$\frac{\Gamma\left(\alpha + \frac{3}{2}\right)}{\lambda \cdot \sqrt{\pi} \cdot \Gamma(\alpha + 1)} \cdot (1-z^2)^\alpha,$ где $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ - гамма-функция	$ a < \infty;$ $\lambda > 0;$ $\alpha > -1;$ $z = \frac{x-a}{\lambda}$
Пирсона типа III $\pi_{III}(a, \lambda, \alpha)$	$(a - \lambda, \infty)$ при $\beta_1 > 0,$ $(-\infty, a - \lambda)$ при $\beta_1 < 0$	$\frac{ \alpha }{ \lambda } \cdot \frac{\alpha^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)} \cdot \left(1 + \frac{x-a}{\lambda^*}\right)^\alpha e^{-\alpha \cdot \left[1 + \frac{x-a}{\lambda^*}\right]}$ $\lambda^* = \begin{cases} \lambda, & \beta_1 > 0 \\ -\lambda, & \beta_1 < 0 \end{cases}$	$ a < \infty;$ $\lambda > 0;$ $\alpha > -1$
Пирсона типа IV $\pi_{IV}(a, \lambda, \alpha, \beta)$	$(-\infty, \infty)$	$\frac{\Gamma\left(\frac{2 \cdot \alpha + j \cdot \beta}{2}\right) \Gamma\left(\frac{2 \cdot \alpha - j \cdot \beta}{2}\right)}{\lambda \cdot \sqrt{\pi} \cdot \Gamma(\alpha) \cdot \Gamma\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)} \times [1 + z^2]^\alpha \cdot e^{-\beta \cdot \arctg(z)}$ $z = \frac{(x-a)}{\lambda}$	$ a < \infty;$ $\lambda > 0;$ $\alpha \geq 1;$ $\beta \geq 0$
Пирсона типа V, $\pi_V(a, \lambda, \alpha)$	$[a, \infty)$	$\frac{1}{\lambda \cdot z^\alpha \cdot \Gamma(\alpha - 1)} \cdot e^{-\frac{1}{z}}; \quad z = \frac{(x-a)}{\lambda}$	$ a < \infty;$ $\lambda > 0;$ $\alpha > 1;$
Пирсона типа XI, $\pi_{XI}(a, \lambda)$	$[a, \infty)$	$\frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x-a}{\lambda}}$	$ a < \infty;$ $\lambda > 0$

Функции распределения климатических характеристик в городах Алтайского края

Параметр	Местонахождение метеостанции	График эмпирической функция распределения $F(X)$ или плотности вероятности $f(X)$	Выборочные оценки свойств случайной величины	Функция аппроксимирующее распределение по:	
				Пирсону	Джонсону
Температура	Барнаул		$\alpha_1 = 3,04$ $\mu_2 = 211$ $\mu_3 = -1017$ $\mu_4 = 111353$ $\beta_1 = 0,110$ $\beta_2 = 2,498$	Пирсона типа I	Св-Джонсона
	Бийск		$\alpha_1 = 3,97$ $\mu_2 = 193$ $\mu_3 = -949$ $\mu_4 = 96054$ $\beta_1 = 0,125$ $\beta_2 = 2,576$	Пирсона типа I	Св-Джонсона
	Змеиногорск		$\alpha_1 = 4,09$ $\mu_2 = 194$ $\mu_3 = -1047$ $\mu_4 = 103476$ $\beta_1 = 0,149$ $\beta_2 = 2,73$	Пирсона типа I	Св-Джонсона
Влажность воздуха	Барнаул		$\alpha_1 = 69,06$ $\mu_2 = 334$ $\mu_3 = -3546$ $\mu_4 = 285077$ $\beta_1 = 0,337$ $\beta_2 = 2,556$	Пирсона типа I	Св-Джонсона

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ФАКТОРАМ, ВЛИЯЮЩИМ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК,
НА ПРИМЕРЕ ВЛЭП И ЭД

Прод.табл.3

1	2	3	4	5	6
Влажность воздуха	Бийск		$\alpha_1 = 72,1$ $\mu_2 = 340$ $\mu_3 = -4215$ $\mu_4 = 313933$ $\beta_1 = 0,45$ $\beta_2 = 2,71$	Пирсона типа I	Св-Джонсона
	Змеиногорск		$\alpha_1 = 68,4$ $\mu_2 = 420$ $\mu_3 = -4274$ $\mu_4 = 403649$ $\beta_1 = 0,245$ $\beta_2 = 2,27$	Пирсона типа I	Св-Джонсона
Скорость ветра	Барнаул		$\alpha_1 = 2,24$ $\mu_2 = 2.66$ $\mu_3 = 9,16$ $\mu_4 = 56,1$ $\beta_1 = 4,42$ $\beta_2 = 7,88$	Пирсона типа XI (экспоненциальный)	Св-Джонсона
	Бийск		$\alpha_1 = 2$ $\mu_2 = 2.25$ $\mu_3 = 8,36$ $\mu_4 = 59,8$ $\beta_1 = 6,07$ $\beta_2 = 9,9$	Пирсона типа XI (экспоненциальный)	Св-Джонсона
	Змеиногорск		$\alpha_1 = 2,37$ $\mu_2 = 3,24$ $\mu_3 = 12,81$ $\mu_4 = 69,22$ $\beta_1 = 4,8$ $\beta_2 = 6,57$	Пирсона типа XI (экспоненциальный)	Св-Джонсона

Для выбора статистической модели распределения вероятностных свойств входных параметров можно использовать подбор аппроксимирующего распределения эмпирических данных. Для этого могут быть использованы как общие, так и специальные методы [14].

Общие методы, основаны на получении распределений методом функциональных преобразований. Суть метода сводится к получению новых распределений случайных величин Y по известным распределениям X путем преобразования

$$Y = f(X).$$

(1)

Он оправдан в том случае если получаемое распределение будет соответствовать исходным предпосылкам относительно распределений случайной величины X и механизма преобразования. Как известно [15], семейства распределений Джонсона получены путем преобразования нормированной нормально распределенной случайной величины. В общем виде преобразование имеет вид

$$x = \gamma + \eta\tau(y, \varepsilon, \lambda), \quad (2)$$

где τ - произвольная функция; $\gamma, \eta, \varepsilon, \lambda$ - параметры распределений. После преобразования рассматривается x - нормированная случайная величина, распределенная по нормальному закону. Плотности распределения для трех различных семейств функций τ предложенных Джонсоном представлены в таблице 2.

Специальные методы основаны на задании плотностей распределения вероятностей, в первую очередь это одномерные распределения Пирсона, которые были введены как решение дифференциального уравнения

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{(x+b)f(x)}{c_0 + c_1x + c_2x^2}. \quad (3)$$

Все константы уравнения (3) могут быть выражены через три центральных момента. Плотности распределения для семи различных семейств распределений Пирсона представлены в таблице 2.

Для выбора функции плотности вероятности из семейства Джонсона или Пирсона необходимо знать четыре начальных момента $\alpha_1 - \alpha_4$, которые определяются из экспериментальных данных, образующих выборку из генеральной совокупности их значений. Затем определяют центральные моменты μ_s как

$$\mu_s = \sum (-1)^j \frac{s!}{j!(s-j)!} \alpha_{s-j} \alpha_1^j, \quad (4)$$

после этого вычисляем коэффициент асимметрии

$$\beta_1 = \frac{\mu_3}{(\mu_2)^{1.5}}, \quad (5)$$

и показатель эксцесса

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}. \quad (6)$$

В зависимости от параметров β_1 и β_2 по рисункам, приведенным в [16] определяем тип распределения.

Далее рассмотрим конкретные примеры по определению законов распределения температура окружающей среды, скорость ветра, влажность воздуха и получим аналитические выражения их плотности вероятности. Результаты сведены в таблицу 3. Графики эмпирических функций распределения температуры построены с дискретностью 0,5 °С, относительной влажности воздуха 1%, скорости ветра 0,5 м/с.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный вероятностный подход для определения выходных параметров можно считать универсальным для любых типов электроустановок, не зависимо от их класса напряжения и рода тока.

2. Классифицированы внешние воздействия на конкретные типы электроустановок, а именно, ВЛЭП и асинхронные электродвигатели, эксплуатируемые в сельском хозяйстве, определена информация необходимая для их описания с точки зрения вероятностного подхода.

3. Для метеорологических характеристик - температуры окружающей среды, скорости ветра и влажности воздуха, для различных районов Алтайского края получены статистические модели распределения этих параметров. В качестве функций аппроксимирующее распределение температуры и влажности может быть использованы семейство распределений Пирсона I^{20} типа (бета распределение), для аппроксимации распределения скорости ветра - Пирсона XI^{20} типа (экспоненциальное распределение), либо для всех этих характеристик можно использовать семейство распределений S_B -Джонсона.

4. Полученные статистические модели могут быть использованы в других исследованиях, а метод их получения может быть распространен на получение статистических

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ФАКТОРАМ, ВЛИЯЮЩИМ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, НА ПРИМЕРЕ ВЛЭП И ЭД

моделей, как параметров внешних воздействий, так и выходных параметров электроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 360 с.
2. Козлов В.И. Повышение эффективности ремонтного производства // Энергомашиностроение. – 1987. – №2. – С. 7-8.
3. Мозговой А.Г. Ультразвуковые методы и технические средства контроля и диагностики изоляции электродвигателей в сельском хозяйстве: дис.... канд. техн. наук. – Барнаул, 1999. – 184 с.
4. Малинский В.Д. Испытания радиоаппаратуры: учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1965. – 398 с.
5. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании/ под ред. Ю.П. Адлера, В.Н. Варыгина. – Вып.1. – М.: Статистика, 1978. – 221 с.
6. Белицын И.В., Котырло Т.В., Макаров А.В. Электрическое поле высоковольтных электрических установок, проблемы нормирования, расчета и моделирования // Ползуновский вестник. – № 4-2. – 2006. – С. 387-394.
7. Белицын И.В., Компанец Б.С., Старухин Р.С. Метод расчета параметров эллиптических полей для выполнения требований нормативных документов. Наука и молодежь 2007: Материалы IV всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 45-47.
8. Белицын И.В., Старухин Р.С., Урвачев С.А. Перспективные методы расчета и моделирования, электромагнитных полей установок высокого напряжения. Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексе: Сборник статей VII Международной научно - практической конференции. – Пенза, 2006. – С. 221-223.
9. Левачев А.В. Диагностика изоляции асинхронных электродвигателей на основе использования параметров схемы замещения обмоток: дис.... канд. техн. наук. – Барнаул, 2002. – 144 с.
10. Меламедов И.М. Физические основы надёжности. – М.: Энергия, 1970. – 152 с.
11. Гутов И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: Дис ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Защищена 26.12.97: Утв. – Барнаул, 1997. – 259 с.
12. Сырых Н.Н. Эксплуатация сельских электроустановок. – М.: Агропромиздат, 1986. – 255 с.
13. Губин И.Б. Предэксплуатационная диагностика и моделирование состояния изоляции электродвигателей сезонно эксплуатируемого оборудования в сельском хозяйстве: дис.... канд. техн. наук. – Барнаул, 2003. – 128 с.
14. Губарев В.В. Вероятностные модели: Справочник. В 2-х частях. / Новосиб. электротехн. ин-т. – Новосибирск, 1992. – Ч.1. – 198 с.
15. Справочник по теории вероятностей и математической статистики / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука. 1985. – 640 с.
16. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте / под ред. А.В. Башарина. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1979. – 232 с.