

Перенапряжения в электрических сетях и выбор ОПН

(материалы к лекции от 7 декабря 2010 г.
по курсу «Изоляция и перенапряжения»)

Матвеев Даниил Анатольевич

кафедра техники и электрофизики высоких напряжений (ТЭВН) МЭИ

В презентации использованы материалы ЗАО «Феникс 88» (<http://www.fenix88.nsk.su>), ЗАО «ГК «Таврида электрик» (<http://tavrida.ru>) и ГОСТ Р 52725 – «Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия»

Способы заземления нейтрали в странах мира

Страна	Принятое напряжение, кВ	Способ заземления нейтрали			
		Изолированная	Через дугогасящий реактор	Через резистор	Глухое
Россия	6-35	+	+	+	
Италия	10-20	+			
Япония	6,6	+		+	
Финляндия	20	+	+		
Германия	10-20		+		
Австрия	10-30		+		
Швейцария	10-20		+		
Австралия	11-12			+	+
Канада	4-25			+	+
США	4-25			+	+
Испания	10-30			+	+
Португалия	10-30			+	
Франция	12-24			+	
Бельгия	6,3-17			+	
Великобритания	11			+	+

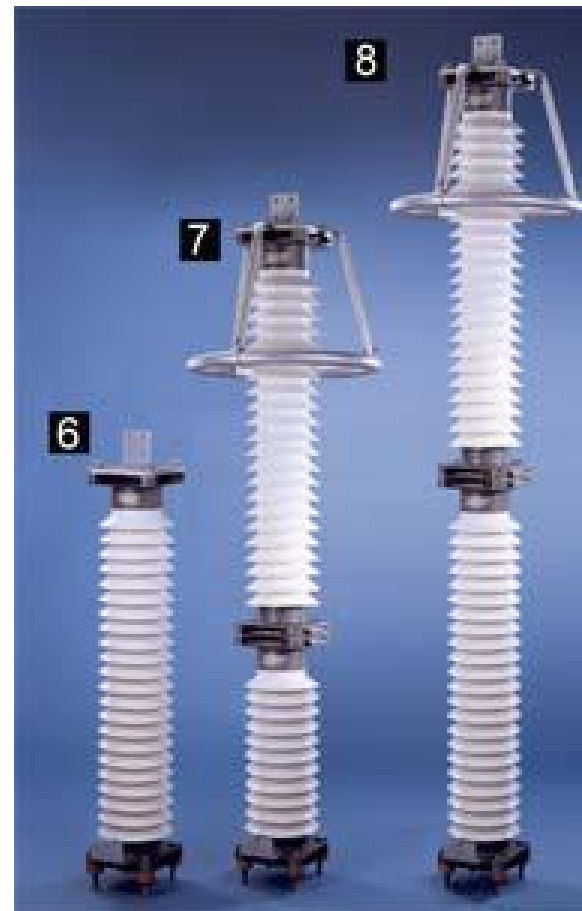
ОПН производства ЗАО «Феникс-88» (г. Новосибирск)



- 1 – ОПН 3 кВ
- 2 – ОПН 6 кВ
- 3 – ОПН 10 кВ



- 4 – ОПН 20 кВ
- 5 – ОПН 35 кВ



- 6 – ОПН 110 кВ
- 7 – ОПН 150 кВ
- 8 – ОПН 220 кВ

ОПН производства ЗАО «Феникс-88» (г. Новосибирск)



9 – ОПН 330 кВ
10 – ОПН 500 кВ



ОПН 750 кВ



Основные параметры ОПН

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ($U_{нр}$) ОПН – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть приложено непрерывно к ОПН в течение всего срока его службы и не приводит к повреждению или термической неустойчивости ОПН при нормированных воздействиях.

Остающееся напряжение ($U_{ост}$) ОПН – максимальное значение напряжения на ограничителе при протекании через него импульсного тока с данной амплитудой и формой импульса.

Характеристика «напряжение – время» – выдерживаемое напряжение промышленной частоты в зависимости от времени его приложения к ОПН. Показывает максимальный промежуток времени, в течение которого к ОПН может быть приложено напряжение промышленной частоты, превышающее $U_{нр}$, не вызывая повреждения или термической неустойчивости.

Номинальное напряжение (U_n) ОПН – действующее значение напряжения промышленной частоты, которое ограничитель может выдерживать в течение 10 с в процессе рабочих испытаний.



Основные параметры ОПН (продолжение)

Пропускная способность ($I_{пр}$) ОПН – нормируемое изготовителем максимальное значение прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс (ток пропускной способности). При испытаниях ОПН должен выдержать 18 таких воздействий с принятой последовательностью.

Удельная энергия ОПН – рассеиваемая ограничителем энергия, полученная им при приложении одного импульса тока пропускной способности, отнесенная к величине наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения

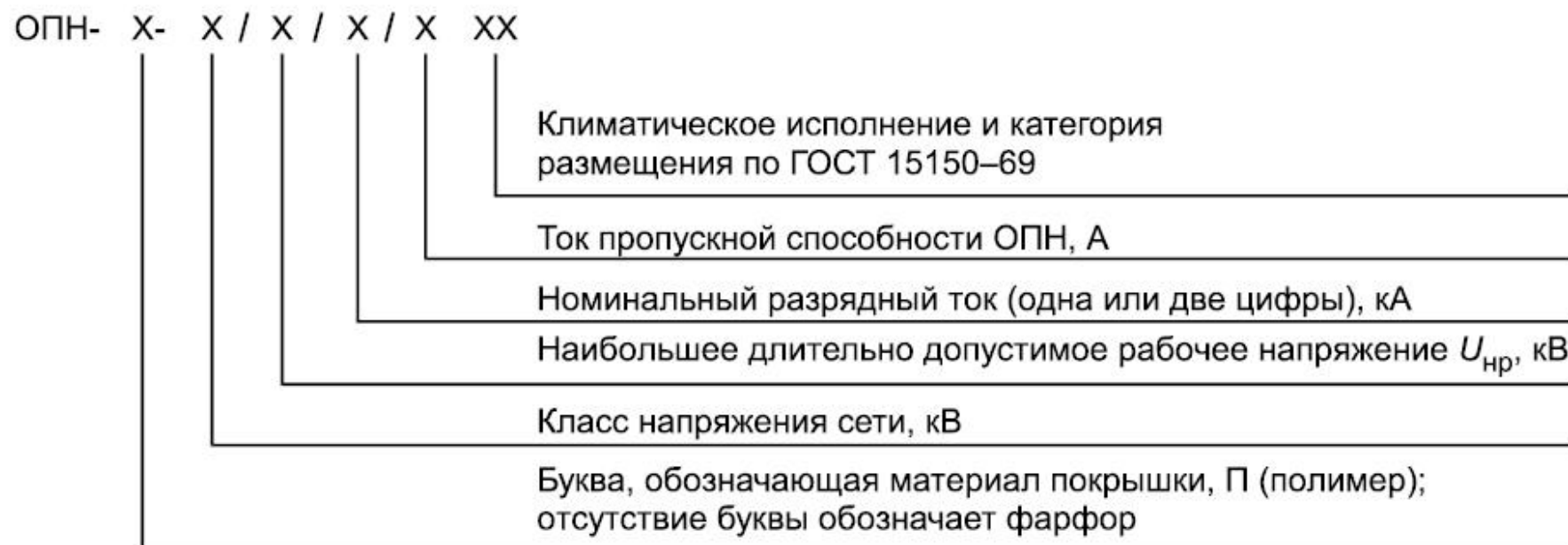
Класс пропускной способности	Пропускная способность, А	Удельная энергия, кДж/кВ, не менее
1	От 250 до 400 включ.	1,0
2	От 401 до 750 включ.	2,0
3	От 751 до 1100 включ.	3,2
4	От 1101 до 1600 включ.	4,5
5	Св. 1601	7,1

Классы пропускной способности ОПН

Класс ограничителя по пропускной способности	Номинальный разрядный ток, А	Максимальные значения токов, А, при импульсах, мкс		
		30/60	8/20	1/10
1	5000	125, 250, 500	2500, 5000, 10000	5000
	10000	125, 250, 500	5000, 10000, 20000	10000
2	10000	250, 500, 1000	5000, 10000, 20000	10000
3	10000	500, 1000, 2000	5000, 10000, 20000	10000
4	10000	500, 1000, 2000	5000, 10000, 20000	10000
	20000	500, 1000, 2000	10000, 20000, 40000	20000
5	20000	500, 1000, 2000	10000, 20000, 40000	20000

Номинальный разрядный ток (I_H) ОПН – максимальное (амплитудное) значение разрядного тока, имеющего форму 8/20 мкс, используемое для классификации ОПН.

Структура условного обозначения ОПН



Пример условного обозначения ограничителя:

ОПН-П-220/146/10/550 УХЛ 1

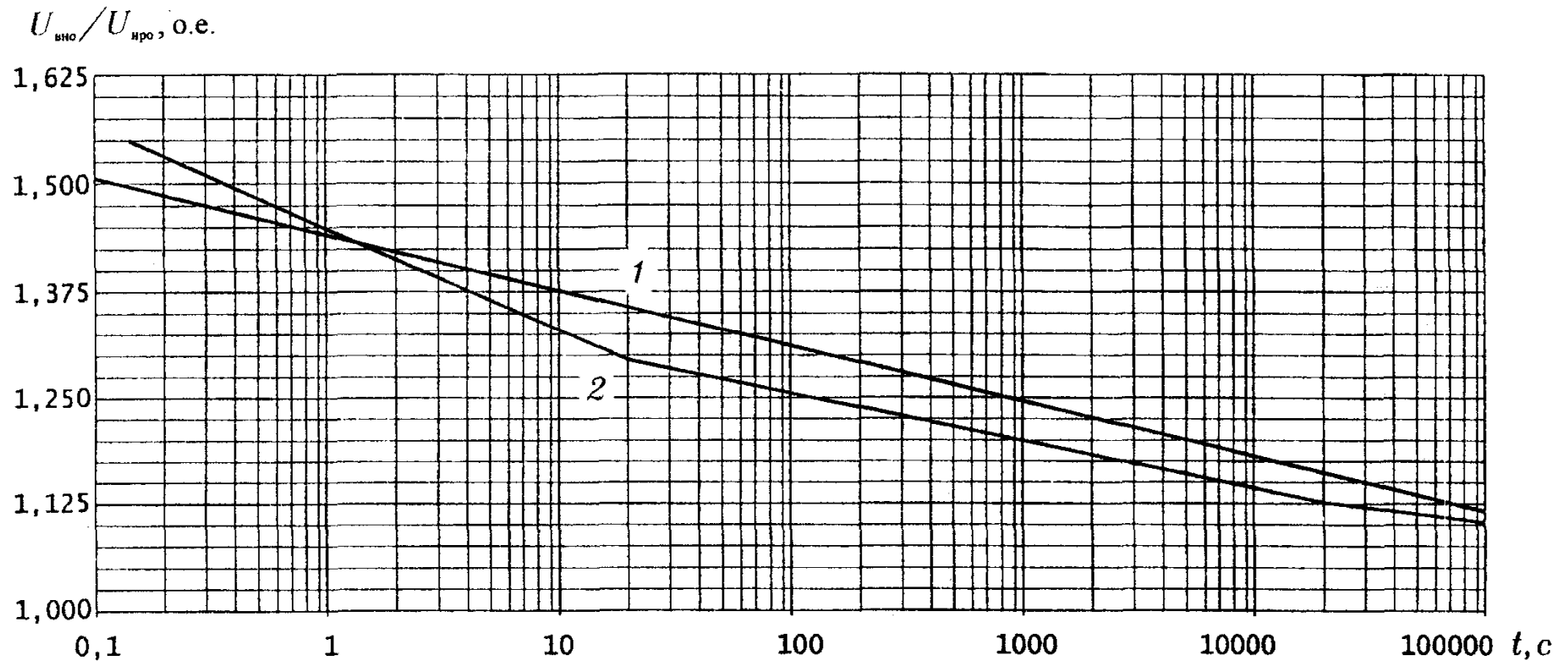
Параметры ОПН 220 кВ II-го класса пропускной способности производства ЗАО «ГК «Таврида электрик»

Наименование параметра, размерность	Значение для ограничителя типа ОПН - У -							
	220/120-2	220/146-2	220/154-2	220/160-2	220/168-2	220/176-2	220/180-2	
1 Класс напряжения сети, кВд	220							
2 Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВд	120	146	154	160	168	176	180	
3 Остающееся напряжение при импульсе тока 1 / 10 с амплитудой 10000 А, кВ max, не более	441	536	566	589	619	649	663	
4 Остающееся напряжение, кВ max, не более, при импульсе тока 30 / 60 с амплитудой:	250 А max	294	357	377	393	412	432	442
	500 А max	301	366	386	402	422	442	452
	1 000 А max	316	385	406	423	444	466	476
5 Остающееся напряжение, кВ max, не более, при импульсе тока 8 / 20 с амплитудой:	500 А max	304	370	390	406	426	446	457
	5 000 А max	358	436	460	478	502	526	539
	10 000 А max	383	466	492	512	538	564	576
	20 000 А max	429	522	551	574	603	632	646
6 Классификационное напряжение при амплитуде тока 3 мА, кВд, не менее	152	185	195	202	213,5	224	229	
7 Номинальный разрядный ток, кА max	10							
8 Максимальная амплитуда импульса тока 4 / 10, кА	100							
9 Амплитуда прямоугольного импульса тока длительностью 2 000 мкс, Аmax	500							

Параметры ОПН 220 кВ III-го класса пропускной способности производства ЗАО «ГК «Таврида электрик»

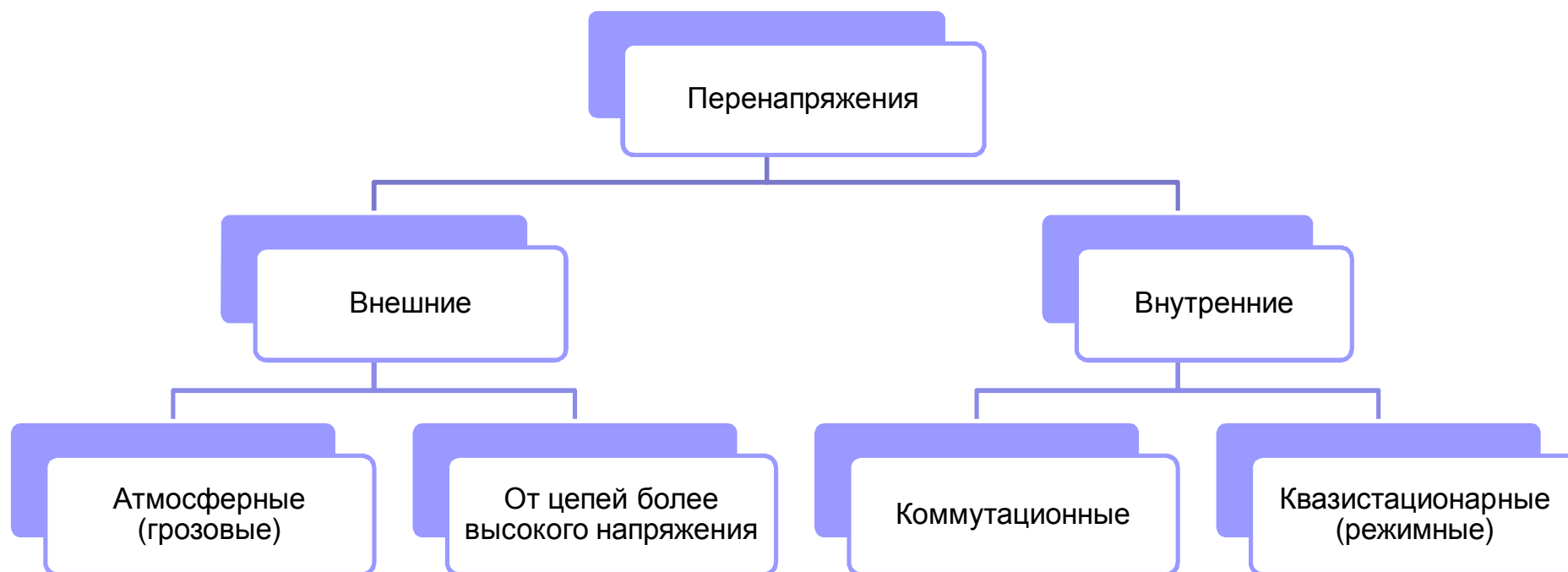
Наименование параметра, размерность	Значение для ограничителя типа ОПН - У -							
	220/120-3	220/146-3	220/154-3	220/160-3	220/168-3	220/176-3	220/180-3	
1 Класс напряжения сети, кВд	220							
2 Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВд	120	146	154	160	168	176	180	
3 Остающееся напряжение при импульсе тока 1 / 10 с амплитудой 10000 А, кВ max, не более	419	509	539	557	585	613	628	
4 Остающееся напряжение, кВ max, не более, при импульсе тока 30 / 60 с амплитудой:	500 А max	284	345	365	378	397	416	426
	1 000 А max	296	358	380	392	413	437	442
	2 000 А max	313	380	403	417	437	459	470
5 Остающееся напряжение, кВ max, не более, при импульсе тока 8 / 20 с амплитудой:	500 А max	288	350	372	382	400	421	432
	5 000 А max	340	416	440	454	476	501	513
	10 000 А max	364	442	468	484	508	533	546
	20 000 А max	404	491	520	538	564	592	606
6 Классификационное напряжение при амплитуде тока 3 мА, кВд, не менее	145	177	187	193	202	213	217	
7 Номинальный разрядный ток, кА max	10							
8 Максимальная амплитуда импульса тока 4 / 10, кА	100							
9 Амплитуда прямоугольного импульса тока длительностью 2 000 мкс, Аmax	850							

Зависимость «допустимое напряжение – время» для случая предварительного нагружения (ЗАО «Феникс 88»)



- 1 – для ОПН 110 – 220 кВ
- 2 – для ОПН 500 кВ

Классификация перенапряжений по причинам возникновения и длительности





Квазистационарные перенапряжения

- n повышения напряжения в дальних электропередачах, вызванные емкостным эффектом;
- n установившиеся перенапряжения при коротком замыкании;
- n перенапряжения промышленной частоты в неполнофазных режимах;
- n перенапряжения феррорезонанса и параметрического резонанса.

Коммутационные перенапряжения

- n плановые включения воздушных линий;
- n однофазные и трехфазные АПВ;
- n отключение коротких замыканий;
- n отключение ненагруженных линий;
- n отключение трансформаторов и реакторов;
- n Коммутации разъединителями участков холостых шин ОРУ, ЗРУ и КРУЭ



Выбор электрических характеристик ОПН

ОПН с правильно выбранными электрическими характеристиками удовлетворяет двум требованиям:

- 1) имеет минимально возможные значения остающегося напряжения;
- 2) выдерживает все возможные эксплуатационные воздействия и при этом имеет минимальную пропускную способность.

Поэтому выбор ОПН заключается в выборе из имеющейся номенклатуры аппарата с:

- 1) наименьшим значением $U_{нр}$;
- 2) наименьшей пропускной способностью.

Дальнейшая процедура является проверкой:

- 1) на термическую устойчивость в рабочих и аварийных режимах сети;
- 2) обеспечение координационных интервалов.




Проверка ОПН – квазистационарные перенапряжения

Для ОПН, устанавливаемых на шинах ОРУ, расчетным является случай несимметричного КЗ на шинах

Для ОПН, устанавливаемых на линии, также проверяют:

- трехфазное одностороннее отключение однофазного КЗ на противоположном конце линии;
- трехфазное одностороннее отключение линии при действии автоматики прекращения асинхронного хода;
- неполнофазные режимы одностороннего включения или отключения линии с подключенными к ней шунтирующими реакторами, автотрансформаторами или трансформаторами (в частности, при отказе выключателя)



Проверка ОПН – коммутационные и грозовые перенапряжения

Проверке подлежит не только координационный интервал, но и энергия, поглощаемая ОПН.

Основные расчетные режимы коммутационных перенапряжений:

- плановые включения воздушных линий;
- однофазные и трехфазные АПВ;
- отключение коротких замыканий;
- отключение ненагруженных линий;
- отключение трансформаторов и реакторов;
- коммутации разъединителями участков холостых шин ОРУ, ЗРУ и КРУЭ

Выбранный тип ОПН проверяют на возможность установки в ОРУ на расстоянии, обеспечивающем требуемую ПУЭ надежность грозозащиты защищаемого оборудования (пригодно только для типовых схем).



Упомянутые литературные источники

1. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ. – М.: Изд-во НТК “Электропроект”, 2000.
2. ГОСТ Р 52725. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия // Москва, 2007.
3. Матвеев Д.А., Никулов И.И. К вопросу о выборе ОПН // Энергоэксперт, №2, 2010. (<http://tvn-moscow.ru/download/MatveevNikulov.pdf>)
4. Дмитриев М.В. Оценка защищенности оборудования подстанций от грозовых перенапряжений и анализ требований ПУЭ в части расстановки защитных аппаратов // Сборник докладов НТК «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния». – СПб.: Изд-во ПЭИПК, Минтопэнерго РФ, 2005. (<http://www.zeu.ru/articles/doc22.pdf>)