

$$Z = \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} \frac{I_t + K_t}{(1+E)^t} \rightarrow \min,$$

где Z – сумма дисконтированных затрат;

K_t – капитальные затраты в год t ;

I_t – эксплуатационные издержки в год t ;

E – норма дисконта;

t – текущие годы строительства и эксплуатации объекта;

$T_{\text{расч}}$ – срок службы объекта, дисконтированные затраты приводятся к началу расчетного периода ($t = 0$).

Учитывая, что большинство подстанций и воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше было построено в 60–80 годы прошлого столетия и находится в эксплуатации 25–30 лет и более, физический износ основных фондов подстанций составляет 64,5 %, в том числе по оборудованию 72,3 %. На подстанциях, построенных в 60-е годы, практически все оборудование выработало свой остаточный ресурс и требует замены.

Исходная информация для экономических расчетов сформулирована на основе списка количества оборудования, отслужившего нормативный срок, количества оборудования, достигшего морального износа, а также количества оборудования генерирующих источников, строительство которых намечается на ближайшую перспективу.

Результаты экономических расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Суммарные дисконтированные затраты, млрд. бел. руб.

		Система напряжений	
		существующая	альтернативная
Режим максимальных нагрузок зимних суток	–20 %	1393,01	1817,81
	0 %	1376,50	1800,55
	+20 %	1382,69	1805,37

По рассчитанному критерию минимума суммарных дисконтированных затрат сделан вывод, что наиболее выгодным из двух приведенных вариантов развития сети энергосистемы является вариант развития с использованием существующей системы напряжений.

УДК 621.311

ПОКРЫТИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Бахар Е.П.

Научный руководитель – канд. техн. наук, профессор ФЕДИН В.Т.

Для нахождения оптимального варианта развития энергосистемы необходимо иметь подробное описание режима суммарной нагрузки, отражающего подробно все характерные колебания потребления мощности. Режим электропотребления отражается суммарным графиком нагрузки энергосистемы. На этот режим оказывает влияние ряд факторов: состав отраслей народного хозяйства, входящих в энергосистему; продолжительность рабочей недели и число рабочих смен за сутки; степень загрузки отдельных смен промышленных предприятий и тенденции в ее изменении. Определяющее значение для формирования графиков нагрузки имеет состав потребителей.

Нами осуществлен прогноз нагрузки потребителей и производится покрытие графика нагрузки энергосистемы с учетом развития электростанций, что дает представление о характере графика нагрузки Белорусской энергосистемы, перспективах энергетики страны, с учетом сооружения Белорусской атомной электростанции и энергетической безопасности.

Прогноз активных и реактивных нагрузок обеспечивает основную исходную информацию для принятия решений при управлении режимами электроэнергетических систем в процессе планирования их нормальных электрических режимов. Результаты долгосрочного прогнозирования нагрузки используются при долгосрочном планировании режимов, при планировании ремонтов оборудования, при решении вопросов перспективного развития электроэнергетических систем. Важно определить основные показатели расходной части энергобаланса, к которым относятся электропотребление, максимум нагрузки энергосистемы и режим электропотребления [1].

Прогноз нагрузки потребителей осуществлялся на 2020 г. по методу, основанному на линейной экстраполяции изменения электропотребления, по формулам сложных процентов, с учетом данных «Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь».

Метод прогнозирования электропотребления, основанный на линейной экстраполяции изменения электропотребления с приданием большего веса последнему году, предполагает использование следующей формулы [2]:

$$\Delta W_p = \frac{h\Delta W_{p-1} + \sum_{n=1}^h \Delta W_{p-(n+1)}}{2h},$$

где ΔW_p – прогнозируемое изменение электропотребления за расчетный год;

ΔW_{p-1} – изменения за предыдущие годы;

h – количество лет периода предыстории минус один год.

Согласно формуле сложных процентов, электропотребление в p -ом расчетном году представляется в виде

$$W_p = W_0 \left(1 + \frac{n}{100}\right)^{p-p_0},$$

где W_0 – известное базисное потребление;

p_0 – базисный год, в котором наблюдалось потребление электроэнергии W_0 ;

n – среднегодовой прирост потребления электроэнергии, %.

Иногда прогнозирование электропотребления ведут по формуле:

$$W_p = W_0 \left[1 + \frac{n}{100}(p - p_0)\right].$$

С учетом «Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь» нами принят максимум нагрузки энергосистемы на 2020 г. 8970 МВт для зимнего рабочего дня. Также был определен максимум нагрузки для характерных дней года – зимнего выходного дня и летних выходных и рабочих дней для трех уровней нагрузки, отличающихся максимумом нагрузки на 20 %. Предполагаемый максимум нагрузки для характерных дней года приведен в таблице 1.

Энергетические системы подвергается закономерному разностороннему воздействию ряда факторов, в результате чего:

- графики электрической нагрузки систематически разуплотняются;
- вершины пиков графиков отдельных систем становятся острыми;
- ночной провал суточного графика углубляется.

Таблица 1. Предполагаемый максимум электропотребления для характерных дней года на 2020 г.

Уровень нагрузок	День года	Максимум нагрузки на 2005 г., МВт	Максимум нагрузки на 2020 г., МВт	Максимум нагрузки на 2020 г., МВт, $k = 0,52$
Наибольший	зимний рабочий	6950	10764	12000
	зимний выходной	5886	9117	10440
	летний рабочий	4970	7699	8760
	летний выходной	4025	6234	7980
Средний	зимний рабочий	5792	8970	10000
	зимний выходной	4905	7596	8700
	летний рабочий	4142	6415	7300
	летний выходной	3354	5195	6650
Наименьший	зимний рабочий	4634	7176	8000
	зимний выходной	3924	6078	6960
	летний рабочий	3314	5133	5840
	летний выходной	2683	4156	5320

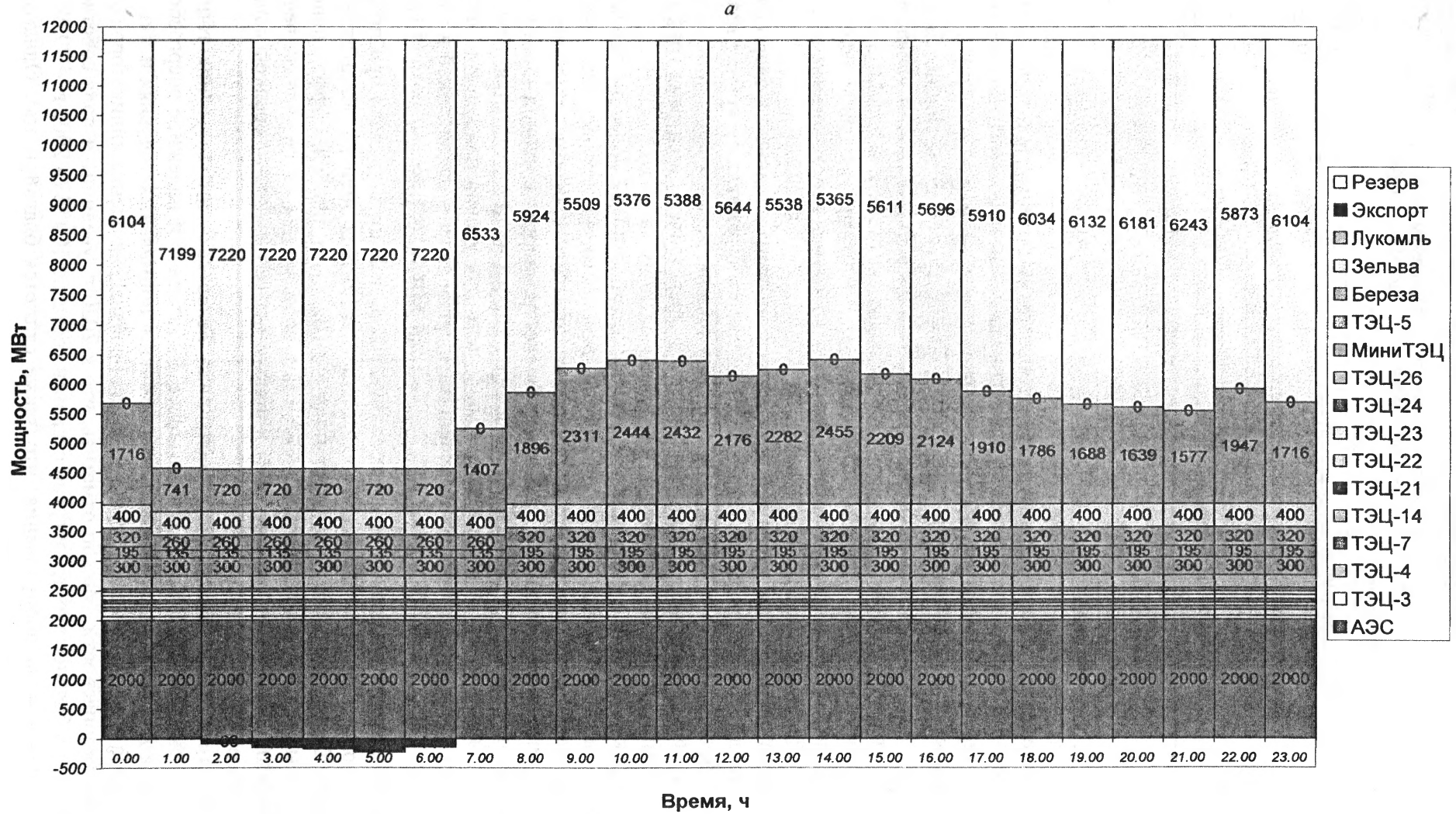
Определенная неравномерность свойственна также недельным и годовым графикам нагрузки. В связи с этим описанные выше режимы были рассмотрены и для коэффициента неравномерности $k = 0,52$.

С учетом развития электростанций были составлены балансы мощности и определено, что намеченный на перспективу план развития электростанций удовлетворяет покрытию графика нагрузки для уровня наименьших нагрузок и в летний период для уровня средних нагрузок. Дефицит мощности имеется для уровня наибольших нагрузок, т. е. при значительном увеличении нагрузки возникает необходимость в покупке мощности. Дефицита энергии не наблюдается.

Принципы покрытия графиков нагрузки обусловлены наличием в энергосистеме станций различных типов, их маневренностью и экономичностью. Покрытие графиков нагрузки производилось с учетом АЭС, которая подключалась к системе с помощью шести линий напряжением 330 кВ. На рисунке 1 представлено покрытие графика нагрузки в зимний и летний рабочие дни для уровня средних нагрузок.

Графики нагрузки с коэффициентом неравномерности 0,52 более пикообразны, и в утренние и вечерние часы возникает дефицит мощности, а в ночные часы – избыток. Наиболее перспективным является стремление отыскать способы аккумулирования электроэнергии в энергосистеме, при которых электроэнергия в период минимума нагрузки накапливается, а в периоды повышенного спроса на нее – отдается. При расчетах было выявлено, что в воскресный зимний день для уровня наибольших нагрузок существует возможность погашения дефицита энергии за счет накопленной в часы избытка. Так, $\mathcal{E}_{\text{накопл}} = 2640$ МВт·ч, $\mathcal{E}_{\text{покрытия}} = 1486$ МВт·ч. В рабочий зимний день накопленная энергия покрывает незначительную часть дефицита. Однако при покрытии неравномерных графиков нагрузки сооружение накопителя энергии обязательно. Это позволит обеспечить работу электростанций в стабильном, наиболее эффективном режиме, повысить их устойчивость, надежность и экономичность, уменьшить величину установленной мощности энергосистем и приблизить ее к величине средней мощности потребления.

Энергетическая безопасность Республики Беларусь – это состояние топливно-энергетического комплекса, обеспечивающее достаточное и надежное энергосбережение страны для устойчивого развития экономики в нормальных условиях и минимизацию ущерба в чрезвычайных ситуациях. Была произведена оценка индикаторов энергетической безопасности. Можно отметить, что к 2020 г. увеличится доля собственных источников в балансе электроэнергии страны и составит 100 % (в 2003 г. – 79,6), будет произведена замена оборудования, что также скажется благоприятно. Однако, доля



б

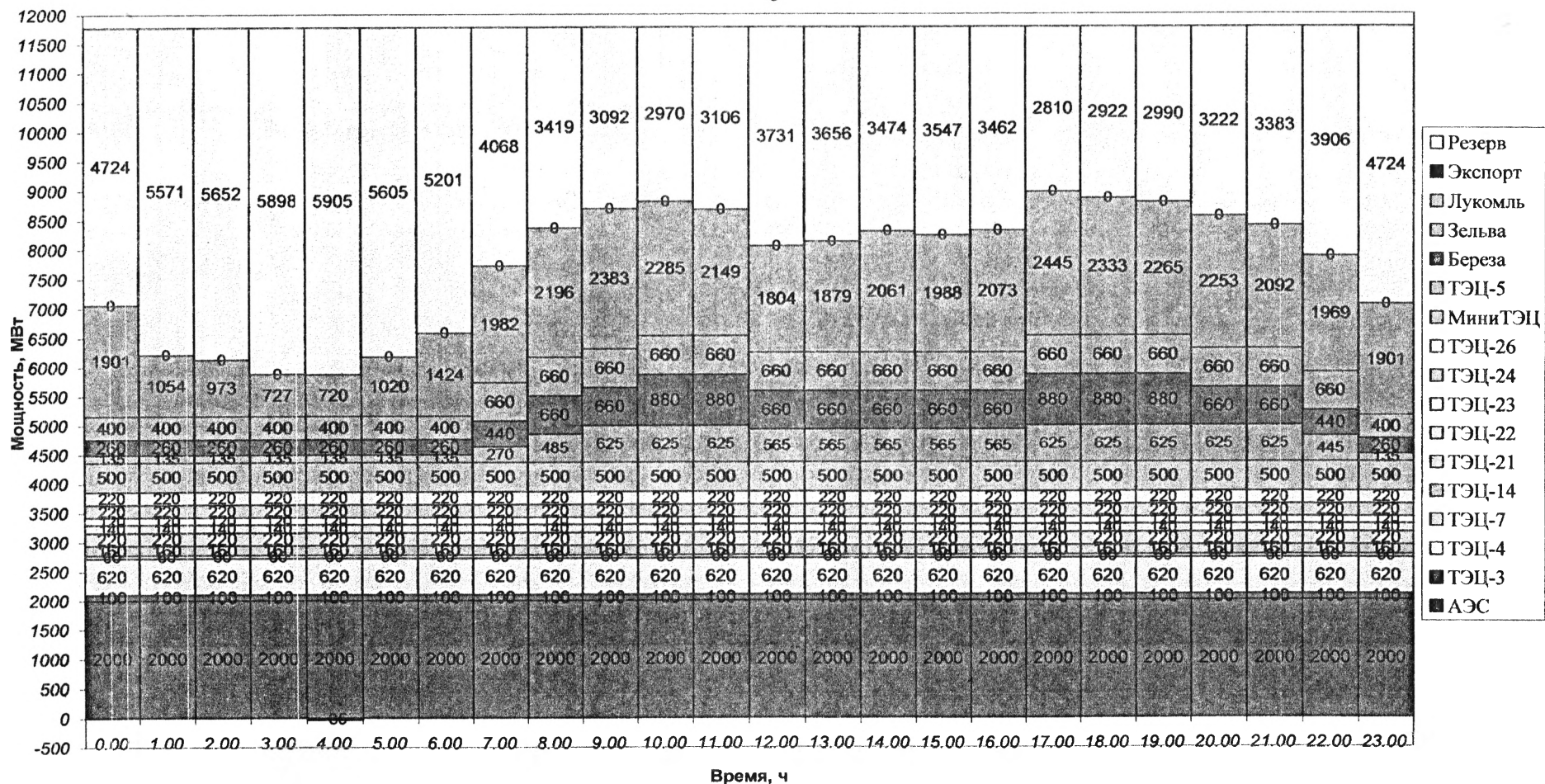


Рис. 1. Варианты покрытия графиков нагрузки рабочего дня 2020 г.: а – лето; б – зима

собственных источников в балансе по основным видам котельно-печного топлива практически не изменится, и данный показатель будет находиться в состоянии чрезвычайного кризиса. Такие показатели как отношение суммарной установленной мощности электростанций страны к максимальной фактической электрической нагрузке его потребителей, удельные выбросы вредных веществ в атмосферу от предприятий топливно-энергетического комплекса на единицу площади территории страны и отношение площади нарушенных и отчужденных земель предприятиями ТЭК к общей площади территории страны находятся в нормальном состоянии.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- к 2020 г. прогнозируется электропотребление с максимальной мощностью равной 8970 МВт, что было принято за уровень средних нагрузок. При данном уровне мощность генерирующих источников Белорусской энергосистемы достаточна для покрытия графиков нагрузки, при этом существует некоторый избыток мощности;
- при развитии энергосистемы по сценарию наименьших нагрузок возникает проблема избытка мощности в летние выходные дни при минимальной загрузке электростанций. В это время нет спроса на избыточную мощность в соседних энергосистемах, так как режим электропотребления примерно одинаков. Чтобы этого избежать необходимо вводить в эксплуатацию более маневренные станции;
- при уровне наибольших нагрузок наблюдается очень малый резерв мощности;
- при изменении конфигурации графика на пикообразный возникает необходимость во вводе накопителей электроэнергии.

Литература

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / В.А. Барин, А.З. Гамм, Ю.Н. Кучеров и др.; Под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 648 с.
2. Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие / Е.В. Калентионюк, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин; Под общей ред. В.Т. Федина. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 351 с.

УДК 621.311

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 110 КВ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ

Новик Т.С.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Повышение эффективности работы электроэнергетических систем и энергообъединений было и остается актуальной задачей современной электроэнергетики, одной из важнейших составляющих которой является снижение потерь активной мощности и энергии в электрической сети.

В линиях электропередачи напряжением 110–750 кВ наряду с тепловыми (нагрузочными) потерями возникают также потери на корону, обусловленные токами утечки, образующимися при ионизации воздушного пространства вокруг провода.

Потери на корону зависят в основном от величины напряжения на линии, сечения проводов, конструкции фазы провода и метеорологических условий на трассе линии.

Вопросу целесообразности регулирования рабочего напряжения линий с номинальными напряжениями 220–750 кВ в научно-исследовательской литературе [1] уделено достаточное внимание и мало для линий с номинальным напряжением 110 кВ, хотя протяженность сетей 110 кВ в энергосистемах велика.