

УДК 911.3: 33

З.А. АТАЕВ, д.г.н., доцент  
РГУ имени С.А. Есенина, г. Рязань

## КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЕДИНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РОССИИ

Электроэнергетическая система (энергосистема) — это базис территориальной организации общества. Соответственно, крайне значим анализ эффективности энергосистемы, для которого используются различные параметры. В настоящей работе в качестве критерия для сравнения выбран коэффициент использования установленной мощности электростанций (КИУМ).

КИУМ — это или отношение среднеарифметической мощности к установленной мощности электроустановки за установленный интервал времени [1], или отношение фактического количества электроэнергии, выработанного электростанциями за год, к суммарной установленной мощности всех генераторов электростанции (1):

$$\text{КИУМ} = (W_{\text{ЭС год}} / P_{\text{ЭС уст}} \cdot T_{\text{год}}) \cdot 100 = (T_{\text{уст. год}} / T_{\text{год}}) \cdot 100\% \quad (1),$$

где  $T_{\text{уст. год}}$  — отношение фактического количества электроэнергии;  
 $T_{\text{год}}$  — число часов в году (8760 ч);  
 $W_{\text{ЭС год}}$  — объем фактической выработки электростанции;  
 $P_{\text{ЭС уст}}$  — суммарная установленная мощность электростанции.

Сравнение и анализ КИУМ в данной работе проведен на основе фактической информации в разрезе отраслевого пространства, т.е. зоны Единой энергосистемы России (ЕЭС России) и объединенных энергосистем [2].

В целом, в контексте ЕЭС России атомные электростанции работают в базисном графике нагрузки энергосистемы (КИУ — 81,47%). Такой режим является производной экономической целесообразности и технологической безопасности. Тепловые электростанции в среднем имеют КИУМ более 41%, что является неплохим показателем нагрузки. Однако, как показал анализ, в разрезе объединенных энергосистем показатель ниже даже у мощных конденсационных электростанций (ГРЭС); это производная ряда ограничений в ходе регулирования нагрузки энергосистемы. Основным регулятором нагрузки ЕЭС России выступает маневренный потенциал гидроэлектростанций. КИУМ для гидроэнергетики относительно высок — более 47% (почти  $\frac{1}{2}$  в год). Однако данный показатель имеет существенную дифференциацию в разрезе объединенных энергосистем.

Объединенные энергосистемы соединены межсистемной связью, работают в параллельном режиме и образуют две специфичные зоны (по частоте тока). С

учетом наличия зоны изолированных энергосистем Единая энергосистема России включает три структурные части (см. рис. 1 и табл. 1).

**Таблица 1. Коэффициент использования установленной мощности электростанций Единой энергосистемы России (на 1 января 2021 г.) [3, 4]**

Структура ЕЭС России	Установленная мощность электростанций, МВт	КИУМ, % $(T_{уст. год} / T_{год}) \cdot 100\%$
<b>Первая синхронная зона</b>		
ОЭС Северо-Запада	Сумма — 23604,33 из них: АЭС — 4947,64 (20,96%) ГЭС — 2955,24 (12,52%) ТЭС — 15696,35 (66,5%) ВЭС — 5,10 (0,02%)	АЭС — 73,14 ГЭС — 53,19 ТЭС — 38,15 ВЭС — 24,38
ОЭС Центра	Сумма — 51716,88; из них: АЭС — 14778,28 (28,58%) ГЭС — 1810,07 (3,5%) ТЭС — 35128,539 (67,92%)	АЭС — 80,03 ГЭС — 27,79 ТЭС — 36,57
ОЭС Средней Волги	Сумма — 27397,20; из них: АЭС — 4072,0 (14,86%) ГЭС — 7013,0 (25,6%) ТЭС — 16081,80 (58,7%) ВЭС — 85,40 (0,31) СЭС — 145,0 (0,53%)	АЭС — 87,17 ГЭС — 43,53 ТЭС — 35,38 ВЭС — 28,43 СЭС — 14,70
ОЭС Юга	Сумма — 25955,32; из них: АЭС — 4071,92 (15,69%) ГЭС+ГАЭС — 6165,74 (24,3%) ГАЭС — 140,0 ТЭС — 13759,78 (53,01%) ВЭС — 935,36 (3,6%) СЭС — 882,52 (3,40%)	АЭС — 92,48 ГЭС — 38,38 ТЭС — 38,93 ВЭС — 27,40 СЭС — 16,04
ОЭС Урала	Сумма — 53383,49; из них: АЭС — 1485,0 (2,78%) ГЭС — 1908,69 (3,58%) ТЭС — 49589,15 (9,89%) ВЭС — 1,65 СЭС — 399,7 (0,75%)	АЭС — 83,03 ГЭС — 38,67 ТЭС — 49,84 ВЭС — 6,0 СЭС — 13,84
ОЭС Сибири	Сумма — 52139,94; из них: ГЭС — 25301,78 (48,53%) ТЭС — 26537,96 (50,09%) СЭС — 300,2 (0,57%)	ГЭС — 52,98 ТЭС — 37,35 СЭС — 14,00
<b>Первая синхронная зона</b>		
ОЭС Востока	Сумма — 11116,09; из них: ГЭС — 4617,50 (41,54%) ТЭС — 6498,59 (58,46%)	ГЭС — 41,81 ТЭС — 47,37
ЕЭС России	Сумма — 245313,25; из них: АЭС — 29354,84 (11,97%) ГЭС — 49912,02 (20,35%) ТЭС — 163292,16 (66,56%) ВЭС — 1027,51 (0,42%) СЭС — 1726,72 (0,70%)	АЭС — 81,47 ГЭС — 47,33 ТЭС — 41,34 ВЭС — 27,47 СЭС — 15,08

*Примечание:* КИУМ — коэффициент использования установленной мощности электростанций

*Зона изолированных энергосистем России* почти совпадает с районами Крайнего Севера (в том числе частично в европейской части страны). По территориально-технологическим и экономическим причинам территория полностью изолирована от Единой энергосистемы России (возникает ареал сетевой несвязности). Здесь централизованные энергосистемы представлены только автономными энергетическими районами. Зона изоляции далее в работе не рассматривается.

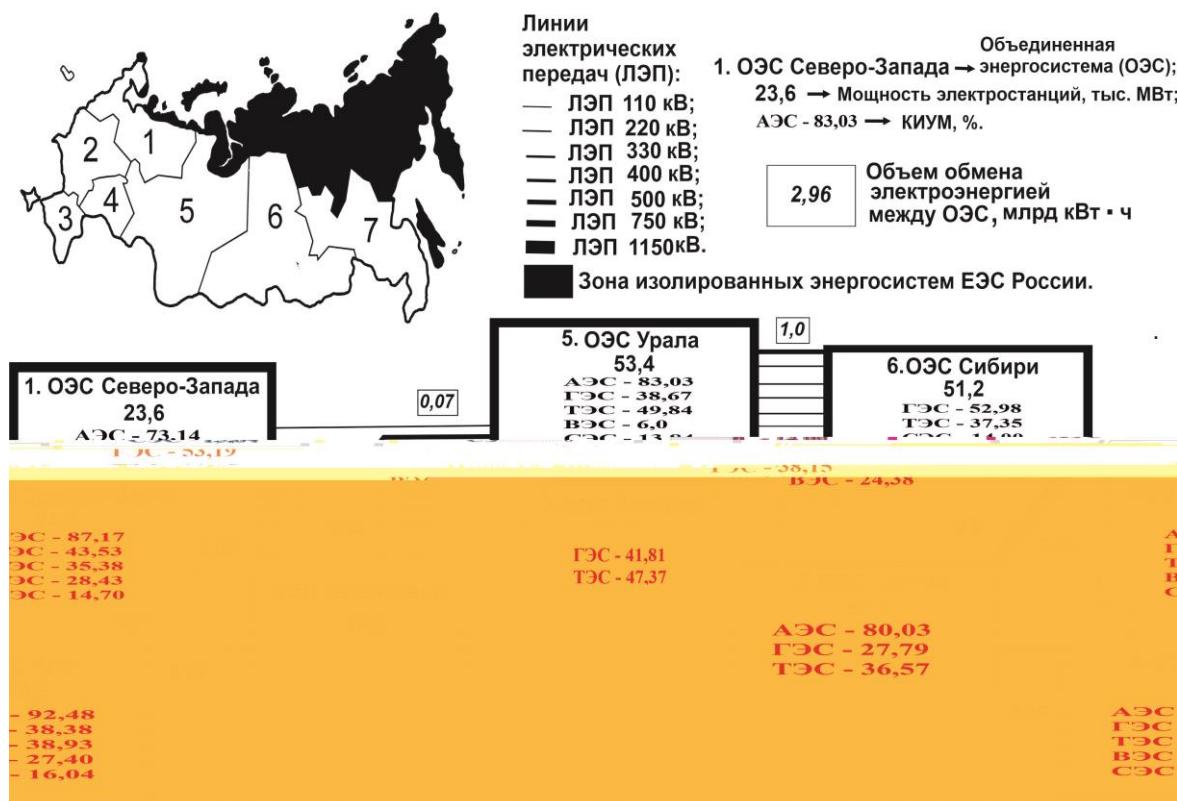


Рисунок 1. Коэффициент использования установленной мощности ЕЭС России

*Первая синхронная зона ЕЭС России* состоит из шести объединенных энергосистем: Северо-Запада, Центра, Верхней Волги, Юга, Урала, Сибири.

ОЭС Северо-Запада включает 10 субъектов Российской Федерации (12,8 млн чел.). Здесь высока концентрация крупных ТЭС и АЭС (87% мощности), а потенциал гидроэнергетики недостаточен для регулирования нагрузки системы (12,5%). Поэтому ГРЭС работают в неэффективном режиме, результатом чего стал низкий коэффициент использования установленной мощности — 38%.

ОЭС Центра включает 19 субъектов (40,4 млн чел.). Социально-экономический и политический центр страны перенасыщен ГРЭС и АЭС (96,5% мощности). При этом потенциал гидроэнергетики также недостаточен для регулирования нагрузки (3,5%). Как следствие, ГРЭС вынуждены работать неэффективно; коэффициент использования установленной мощности — 36,6%.

ОЭС Средней Волги включает 9 субъектов страны (19,5 млн чел.). Для данной энергосистемы характерна высокая доля гидроэнергетики при действовании Волжско-Камского каскада (25,6% мощности). Потенциал ГЭС поз-

воляет обеспечить перетоки электроэнергией, централизовано регулировать нагрузку объединенных энергосистем Центра, Юга, Урала и Казахстана (сальдо -4,81 млрд·кВт·ч). Положение ОЭС «Верхняя Волга» обеспечивает реверсный транзит электроэнергии по широтной линии Центр – Урал – Сибирь (запад – восток).

ОЭС Юга включает 15 субъектов (26,5 млн чел.). В структуре электропотребления здесь отмечается самая большая доля коммунально-бытовой нагрузки и наиболее значительная доля генерации на основе возобновляемых источников энергии (32% мощности с учетом потенциала ГЭС). Одновременно потенциал гидроэнергетики используется как сезонный регулятор нагрузки других объединенных энергосистем. В результате ГЭС не загружены (КИУМ – 38,8%).

ОЭС Урала включает 11 субъектов страны (24,6 млн чел.). По мощности и объему производства это самая крупная объединенная энергосистема России (ТЭС – 93%). Крупные ГРЭС и АЭС работают в базовой нагрузке энергосистемы; это наиболее эффективный режим эксплуатации для названного класса электростанций. Коэффициент использования установленной мощности для АЭС – 83%, для ГРЭС – 49%. Таким образом, ГРЭС не выполняют функцию регулятора нагрузки. Урал имеет большую долю парогазовых и газотурбинных установок (ПГУ и ГТУ). Именно этот маневренный потенциал выступает основным регулятором нагрузки мощной энергосистемы, в которой минимальна доля ГЭС (3,58%).

Основная связь между ОЭС Урала и Сибири проходит по территории Казахстана. Изменение geopolитической ориентации Казахстана может повлечь крайне негативные последствия для устойчивости Единой энергосистемы России (учитывая, что генезис событий января 2022 г. не ясен). Однако в результате принятых за последнее десятилетие мер зависимость от транзита через Казахстан стала не столь критичной (сегодня строительство сетей проходит на территории России).

ОЭС Сибири включает 12 регионов страны (19,0 млн чел.). Энергосистема занимает третье место в ЕЭС России по установленной мощности электростанций (53,1 ГВт). Из них  $\frac{1}{2}$  – это доля мощных ГЭС Ангаро-Енисейского каскада (26,5 ГВт). Коэффициент использования мощности ГЭС – 53%. Сибирский каскад функционально ориентирован на работу в базисе нагрузки, чем принципиально отличается от ГЭС в европейской части страны (в аспекте регуляторов нагрузки). Сибирские ГЭС обеспечивают генерацию дешевой электроэнергии для нужд цветной металлургии. Как следствие, каскад гидроэлектростанций не может использоваться для регулирования нагрузки мощных энергосистем европейского сегмента ЕЭС России, перенасыщенного мощными ТЭС и АЭС.

*Вторая синхронная зона ЕЭС России* включает одну ОЭС Востока в составе 5 регионов страны (5,1 млн чел.). В структуре мощностей наблюдается относительное равенство между ТЭС (58,5%) и ГЭС (41,5%). Показатели коэффициента использования мощности почти равнозначны (ТЭС – 47,4%, ГЭС – 41,8%). Производительность гидроэлектростанций потенциально выше, однако она лимитирована учетом интересов речного судоходства (Зейская ГЭС и Бурейская

ГЭС). ОЭС Востока не участвует в параллельной работе с первой зоной ЕЭС России. Слабая связь «запирает» мощности, что приводит к негативным последствиям в случае сбоя (аварии). Связь ОЭС Сибири и Востока представлена двумя магистралями. Исходя из их функционального назначения, можно сделать вывод, что обе тяговые сети крайне слабы для обеспечения межсистемной связи энергосистем Сибири и Востока.

#### Список литературы:

1. ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения (дата введения 1 января 1986 г.) (Введен в действие 01.01.1986 г.) [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ohranatruda.ru/upload/iblock./069/4294833923.pdf> (дата обращения 30.01.2023).
2. ГОСТ Р 57114-2016. Национальный стандарт Российской Федерации «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы, термины и определения» (Введен в действие 01.06.2017 г.) [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru/document/1200139922...>(дата обращения 10.02.2023).
3. Системный оператор ЕЭС России (СО ЕЭС России). Единая энергетическая система России [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.soups.ru/functioning/ees/ups2021/>. (дата обращения 10.02.2023 г.).
4. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.soups.ru/fileadmin/files/compani/reports/disclosure/2021/ups\\_rep2020.pdf](http://www.soups.ru/fileadmin/files/compani/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf) (дата обращения 11.02.2023 г.)