

УДК 338.45:621.311 (470.345)

З. А. Атаев

***Надежность электроснабжения  
потребителей Крыма***

---

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени  
С.А. Есенина», г. Рязань, Российская Федерация  
e-mail: ataev-rzn@ya.ru

**Аннотация.** *Статья посвящена проблеме надежности электроснабжения Крыма. В регионе меры по решению проблемы системного энергетического дефицита были реализованы без опережающего развития сетевого хозяйства. На основе математической теории графов выявлено, что ½ территории Крыма, это зона негарантированного электроснабжения. Предложена концепция развития комбинированных энергосистем (модель).*

**Ключевые слова:** *энергосистема, циклические сети, ациклическая зона, локальная энергетика, ресурсы.*

### Введение

Сегодня трудно представить жизнь общества без качественных энергоносителей. Среди их многообразия выделяется электрическая энергия. По законам физика, это особый вид энергии: время ее выработки неразрывно от времени потребления. Такая специфика определяет прямую связь между электроэнергией и территориальной организацией общества. Соответственно, от территориальной организации электроэнергетики линейно зависит надежность электроснабжения потребителей, что и актуализирует заявленную тему.

Надежность электроснабжения потребителей имеет три выраженных аспекта: технологический, экономический и морфологический. Как правило, морфологическому аспекту уделяется второстепенное значение. Между тем, территория не только субстрат генезиса проблемы, но и поиска путей ее решения по принципу: хозяйствование есть постоянное пространственное моделирование. Под «энергетическим пространством» подразумеваются структурные и функциональные особенности энергосистемы, их отношения и связи в зоне обслуживания, формирующие наряду с другими звеньями (инфраструктура, расселение, производство) морфологию и «пространственный каркас» энергосистемы [1, с. 17]. Таким образом, производственные и пространственные отношения в электроэнергетике жестко связаны с социально-экономическим развитием территории и проявляются в зоне обслуживания централизованной энергосистемы. Таковой является: «Совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, связанных между собой общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом» [9, с. 14].

Моделирование энергосистем способствует усилению надежности энергоснабжения за счет роста морфологического разнообразия: «Жесткая вертикаль централизации энергоснабжения в условиях крайне растянутых коммуникаций социально-экономического «моря периферии», объективно требует дополнения своим антиподом – обоснованной децентрализации энергоснабжения на локальном уровне конкретной территории (локалитет) [1-2]. Отсюда основная цель рассматриваемой работы: обоснование пространственной модели энергосистемы, повышающей надежность энергоснабжения потребителей.

## Материалы и методы

Топологического расчленения энергосистемы и морфологический анализ надежности организации энергоснабжения базируется на положениях математической теории графов О. Оре [7] и используется для организации управления режимами энергосистем [6; 12]. Из этих работ заимствованы методы адаптации понятий теории графов к анализу энергетического пространства. Для структурирования сетевых образований использована предложенная С.А. Тарховым методика описания топологического строения сетей сухопутного транспорта и их морфологического расчленения на циклические ярусы [11, с. 47-53]. Моделирование энергетического пространства представляет собой взаимное дополнение вертикали пространства централизованной энергосистемы – горизонталью интеграции локальных энергосистем [1, с. 42]. Модель соответствует закону оптимального построения техноценозов: «слон (крупная электростанция) должна иметь окружение мосек (малых электростанций и соответствующей инфраструктуры)». Прикладным следствием закона оптимального построения сложных техноценозов является процедура параметрического нормирования: если решено строить одну электростанцию 500-1000 МВт, то должны быть предусмотрены десять станций по 50-100 МВт, сто электростанций по 10 МВт, тысяча – по 1 МВт и так далее, до десятков киловатт. Причем выстраивание подобной «пирамиды» и в биологической природе, и в технике начинается не с возникновения «слона» (крупной станции), а с построения его естественного окружения – мелких и средних электростанций [4]. К такой модели близок и вариант, предложенный специалистами Института системной энергетики РАН имени академика С.А. Мелентьева [3, с. 9].

## Результаты и обсуждения

**Общие сведения.** Крым входит в состав Южного федерального округа России, представлена двумя субъектами: город федерального подчинения – Севастополь и Республика Крым. По суше полуостров граничит с Украиной, связь с Россией только через Крымский мост (2018 г.). Крым сегодня объект международных территориальных разногласий, поэтому сухопутный транзит через Украину невозможен. Полуостров со стороны Украины блокирован, что усложнило проблемы энергоснабжения и рассматривается в работе на примере региональной энергосистемы (без разделения на субъекты федерации).

Крымский полуостров омывается водами Черного и Азовского морей. Площадь территории 26 161 км<sup>2</sup>. Протяженность региона с запада на восток (между мысами Кара-Мрун – Прибойный и Фонарь) – 324 км, с севера на юг (от Перекопского перешейка до мыса Сарыч) – 207 км. Численность населения 2,4 млн чел. (2020 г.), уровень урбанизации превышает 54% [15].

Средняя плотность населения – 73 чел./км<sup>2</sup>. Актуально рассматривать показатель плотности, исключив крупные внутренние акватории и необитаемые территории (лесхозы, заповедники, горы) [5, с. 30]. Такой подход демонстрирует высокую плотность в городах (1500 чел./км<sup>2</sup>) и на юге в прибрежной полосе между горными массивами и морем (от Фороса до Феодосии). Северная и восточная часть Крыма относительно слабо заселена. Именно население выступает значимым потребителем в электрическом балансе в регионе.

**Электрический баланс Крыма.** В 2013 году потребность Крыма в электроэнергии составляло почти 6 млрд кВт·ч, собственное производство не более 20% от потребности (табл. 1). Дефицит покрывался поставками из Украины по линиям электрических

передач 220-330 кВ (ЛЭП) от Запорожской атомной электростанции через Перекоп и Чонгар.

После вхождения в состав России, поставки из Украины были блокированы (ноябрь 2015 г.). Для достижения энергетической независимости полуостров интегрировали с ЕЭС России посредством сооружения энергомоста Крым – Кубань (через Керченский пролив, декабрь 2015 г.). Расстояние, на которое ранее передавалась электрическая энергия от Запорожской атомной электростанции до Керчи (500 км), сопоставимо с расстоянием от Ростовской АЭС.

**Таблица 1**

Динамика и структура электропотребления Крыма (2013-2020 гг.)

Динамика электропотребления, млн кВт·ч								
Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
электропотребление	5902	5501	5493	5836	6084	7732	7841	7920
абсолютный прирост	н/д	-401	-7	343	248	164,8	108	79
прирост в год, %	н/д	-7,3	-1,3	5,87	4,08	27,1	1,4	1
собственное пр-во ЭЭ	н/д	1219	1472	2299	1855	3096	6611	6493
прием ЭЭ извне	4286	4283	4022	3538	4230	4636	1232	1428
Структура потребления электроэнергии, %								
Основные группы потребителей	2013 год		2014	2015	2016	2017		
бытовые нужды населения	н/д		38	36	36	37		
другие виды деятельности	н/д		24	18	18	20		
промышленное производство	н/д		14	18	19	17		
потери в электросетях	н/д		12	18	17	15		
торговля оптовая и розничная, ремонт	н/д		3	4	4	4		
транспорт и связь	н/д		3	4	3	3		
сельское и лесное хозяйство	н/д		2	2	2	2		
строительство	н/д		2	1	1	1		

*Примечание:* ЭЭ – электрическая энергия.

*Составлено автором по [8; 13; 17; 18; 20].*

Из анализа таблицы вытекает ряд суждений. Спад потребления электроэнергии в 2014-2015 гг. объясняется комплексом факторов (блокада, переходный период, кризис экономики). С 2016 года потребление вновь растет. По состоянию на 2019 г. (сравнительно с 2017 г.), собственная генерация выросла в 3,5 раза, а потребление почти на 29%. Это следствие ввода в эксплуатацию Таврической и Балаклавской ПГУ-ТЭЦ. В 2020 году собственное производство электроэнергии в Крыму уже составило 6493 млн кВт·ч, или 82% от потребления. Дефицит электроэнергии покрывался за счет поставок по энергомосту из Краснодарского края и Ростовской области (18%).

Структура электропотребления за период 2014-2017 гг. почти постоянна. Преобладающая доля (36-38%) приходится на бытовые нужды населения. У этой группы потребителей сглажен график нагрузки. Нет резкого скачка нагрузки в холодный сезон (потребность в тепле), нет спада и летом, т.к. резко возрастает потребность на нужды охлаждения воздуха и водоснабжение. Стоит обратить внимание на высокую долю потерь в сетях (12-18%). Показатели заметно выше сравнительно со средним значением по ЕЭС России (примерно 10%) [16].

Социально-экономическое развитие Крыма (туризм, потребности растущего население, промышленность, сельское хозяйство, водоснабжение, орошение, электрификация железных дорог) позволяет прогнозировать рост потребления электроэнергии. Согласно базовому варианту расчета специалистов ЕЭС России, потенциал энергосистемы и пропускная способность энергомоста позволяют обеспечить потребности до 2023 г. Умеренно-оптимистичный вариант прогноза наоборот, свидетельствует о неизбежности роста дефицита. С 2021 года не покрываемый дефицит мощности достигнет 101 МВт, а в 2023 году – 337 МВт [8. с. 88-94]. В 2025 году потребление электроэнергии в Крыму прогнозируется в объеме 9216 млн кВт·ч. Ввод новых электростанций не планируется [18, с. 18]. Таким образом, потребление увеличится на 42% от уровня 2020 г., а это новый виток роста дефицита энергосистемы. В 2026 г. по причине ввода объектов Черноморского флота и Крымской железной дороги образуется не покрываемый дефицит мощности уже в 500 МВт [8]. Между тем возможности энергомоста Крым – Кубань имеют ограничения по техническим причинам и энергетическим возможностям Кубанской и Ростовской энергосистемы.

**Собственная генерация Крыма** представлена крупным и разнообразным потенциалом электростанций (табл. 2, рис. 1). Из анализа таблицы вытекает, суммарная мощность объектов генерации превышает 2071 МВт, доминируют тепловые электростанции (82% мощности).

За 2018-2019 годы введены в эксплуатацию Таврическая и Балаклавская ПГУ-ТЭЦ, самые современные (КПД-53%) и мощные станции Крыма (987 МВт). Коэффициент использования установленной мощности близок к оптимуму (0,91), станции функционируют в базовой части графика нагрузки энергосистемы (8 тыс. часов/год). Функционально Балаклавская ТЭС должна покрыть потребности Севастополя, Южного берега Крыма и западной части, а Таврическая – Симферополя, центральной, северной и восточной частей полуострова.

В Крыму значим потенциал мобильных газотурбинных электростанций (МГТЭС): Симферопольская, Западно-Крымская и Севастопольская (19% мощности, 15% от объема производства). Сегодня МГТЭС эксплуатируются в режиме пиковых (полупиковых) станций с минимальной нагрузкой (2 тыс. час/год). По факту станции являются отраслевым резервом мощности (при нормативе 10%, резерв – 19%). Блок-станции предприятий обеспечивают производственные потребности конкретных заводов и далее в анализе не значимы. В энергосистеме полуострова высока доля и возобновляемой энергетики (19% по мощности и 8% по объему). Зависимость эксплуатации по ресурсу и невозможность аккумуляции определяет место «зеленой энергетики» в базисе нагрузке.

В целом, видовое разнообразие электростанций создает предпосылки для организации многообразного энергетического пространства Крыма. Где объекты генерации формирует узлы сопряжения, а линии электропередач связующие звено «рисунка энергетического пространства территории».

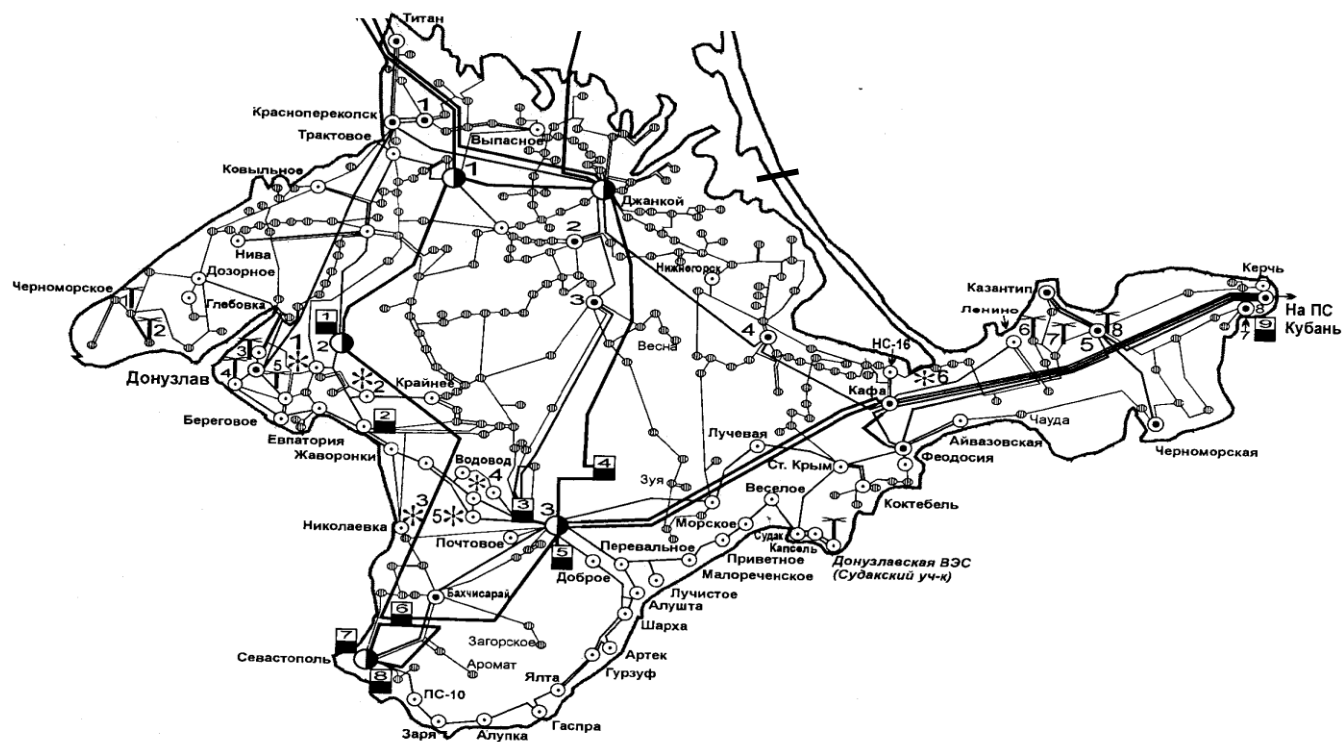
Таблица 2

Электростанции Крыма (2020 г.)

Электростанция*	Установленная мощность, МВт	Объем производства ЭЭ, млн кВт·ч/год
1. Симферопольская ТЭЦ	86 (с 2018 г.)	562
2. Камыш-Бурунская ТЭЦ	30 (с 2018 г.)	77
3. Сакская ПГУ-ТЭЦ	154,3 (с 2020 г.)	100
4. Балаклавская ПГУ-ТЭЦ	496,8	~ 2100
5. Таврическая ПГУ-ТЭЦ	490,2	~ 2100
6. Симферопольская МГТЭС	135	370
7. Западно-Крымская МГТЭС	131,8	
8. Севастопольская МГТЭС	129,3 (с 2021 г.)	574
9. ТЭЦ Крымский содовый завод	20,4 МВт	107,7 (2017 г.)
10. ТЭЦ Крымский Титан	18 МВт	
11. Сакская ВЭС	20,83	Загрузка 6-10% в год ~ 130
12. Тарханкутская (Черноморская) ВЭС	22,45	
13. Донузлавская ВЭС	6,8	
14. Пресноводненская ВЭС	7,4	
15. Судакская ВЭС	6,3	
16. Останинская ВЭС	24,55	
17. СЭС «Перово»	105,56 (2021 г.)	132
18. СЭС «Охотниково»	82,65 (2021 г.)	100
19. СЭС «Николаевка»	70	90
20. СЭС «Митяево»	31,35	40
21. СЭС «Родниковое»	7,5	9,7
<b>Сумма</b>	<b>2071,23</b>	<b>6493</b>

Примечание: Значком (\*) отмечено, что в списке нет Севастопольской ТЭЦ (30 МВт), т.к. станцию планируется вывести из эксплуатации; ЭЭ – электрическая энергия; ТЭС – тепловые электростанции, ТЭЦ – теплоэлектроцентраль, ПГУ-ТЭЦ – теплоэлектроцентраль на основе парогазовой установки; МГТЭС – мобильная газотурбинная электростанция, СЭС – солнечная электростанция; ВЭС – ветроэлектрическая станция.

Составлено по [8; 18; 19; 21].



**Рис. 1.** Энергетическая система Крыма (2020 г.).

□ Тепловые электростанции: 1. Западно-Крымская МГТЭС; 2. Сакская ТЭЦ; 3. Симферопольская ТЭЦ; 4. Таврическая ТЭС; 5. Симферопольская МГТЭС; 6. Севастопольская МГТЭС; 7. Севастопольская ТЭЦ; 8. Балаклавская ТЭС; 9. Камыш-Бурунская ТЭЦ.

Ветряные электростанции (ВЭС): 1. Донузлавская ВЭС; 2. Мироновская (Мироновский уча-к); 3. Донузлавская (Донузлавский участок); 4. Сакская; 5. Сакская (Воробьевский участок); 6. Акташская; 7. Останинская; 8. Пресноводненская ВЭС.

\* Солнечные электростанции (СЭС): 1. Охотниково СЭС; 2. Митяево; 3. Николаевка; 4. Родниковое; 5. Перово; 6. Владиславка СЭС.

Электрические подстанции (ПС): — 330 кВ; ⊙ — 220 кВ; ⊕ — 110 кВ; — 35 кВ. ЛЭП: — 330 кВ; — 220 кВ; — 110 кВ; — 35 кВ.

Составлено автором по: [8; 14; 17; 18; 19; 21]

**Сетевое хозяйство Крыма** представлено разными сетевыми комплексами по напряжению, конфигурации и функциям (табл. 3, рис. 1).

Выделяют классы линий электрических передач (ЛЭП): системообразующие, питающие и распределительные сети [10, с. 145]. Системообразующие сети сверхвысокого напряжения ( $\geq 330$  кВ) предназначены для объединения энергосистем в единое «кольцо», выдачи мощности крупных станций и обеспечения связей ЕЭС России. Подстанции этого класса замкнуты сетями в единое кольцо (цикличны). В Крыму эти функции выполняет ЛЭП 220- 330 кВ, что обеспечивало связь энергосистемы Крыма с Украиной (до декабря 2015 г.): ЛЭП-220 кВ Каховская – Титан; ЛЭП-330 кВ Каховская – Островская, Каховская – Джанкой, Мелитополь – Джанкой. В последующем была сооружена межсистемная связь энергосистемы Крыма с ЕЭС России (Кубанская энергосистема): Тамань – Кафа (3 цепи 220 кВ); Тамань – Камыш-Бурун (220 кВ).

**Таблица 3**

Электросетевое хозяйство Крыма

Классификация электрических подстанций (ПС)						
Системообразующие ПС			Питающие подстанции			Сумма
750 кВ	500 кВ	330 кВ	220 кВ	110 кВ	35 кВ	–
–	–	5 ед.	15 ед.	101 ед.	198 ед.	319
–	–	2480 МВА	1769 МВА	3295 МВА	1399 МВА	8943 МВА
Технический износ подстанций, 2021 г.						
750 кВ	500 кВ	330 кВ	220 кВ	110 кВ	35 кВ	–
–	–	61,4%		95,54%		78,5%
Классификация линий электрических передач						
Системообразующие ЛЭП			Питающие ЛЭП			Сумма
750 кВ	500 кВ	330 кВ	220 кВ	110 кВ	35 кВ	–
–	–	10 ед.	26 ед.	111 ед.	391	539 ед.
–	–	612 км	1814 км	2073 км	3436 км	7935 км
Технический износ линий электрических передач, 2021 г.						
750 кВ	500 кВ	330 кВ	220 кВ	110 кВ	35 кВ	35-330 кВ
–	–	75%				75%

Составлено автором по: [8; 14; 19; 20; 21]

Питающие сети высокого напряжения (35-110 кВ) обычно замкнуты (цикличны) и служат для передачи питания от станций (подстанций) к центрам питания распределительных сетей (районным подстанциям). Размещение питающих сетей зависит от специфики территории (заселенность, транспортная насыщенность, уровень промышленного развития и т.д.). Распределительные сети используют низкое напряжение (0,4-0,6-10 кВ). По конфигурации обычно разомкнуты и предназначены для транспорта электроэнергии от районных подстанций к местным потребителям. Далее этот класс сетей не рассматривается.

В целом сетевые комплексы Крыма можно характеризовать как аварийные с высоким износом потенциала. По состоянию на 2021 год оборудование подстанций 220-330 кВ было в среднем изношены на 61,4% от потенциала, а

подстанции 35-110 кВ – до 96%. Одновременно сильно изношены и электросети 35-330 кВ (75%). И как следствие, рост частоты аварий, отключений, простоев на ремонт. Особенно острая ситуация складывается на юге полуострова, в зоне концентрации населения, промышленного и рекреационного потенциала.

Отсюда парадокс ситуации: меры решения проблемы системного дефицита электроэнергии в Крыму реализованы без опережающего развития сетевого хозяйства. Следствие, актуальность проблемы устойчивости энергоснабжения.

Технологический аспект проблемы, это выстраивание фактически нового сетевого хозяйства Крыма (износ 79-96% потенциала). Тогда проблема надежности энергоснабжения решается за счет усиления централизации системы (наращивание сети и ввода новых электростанций). Такие меры реализуемы при мощном финансовом обеспечении федерального центра. Но одновременно растут и потребности региона, получается новый виток старой проблемы (табл. 1).

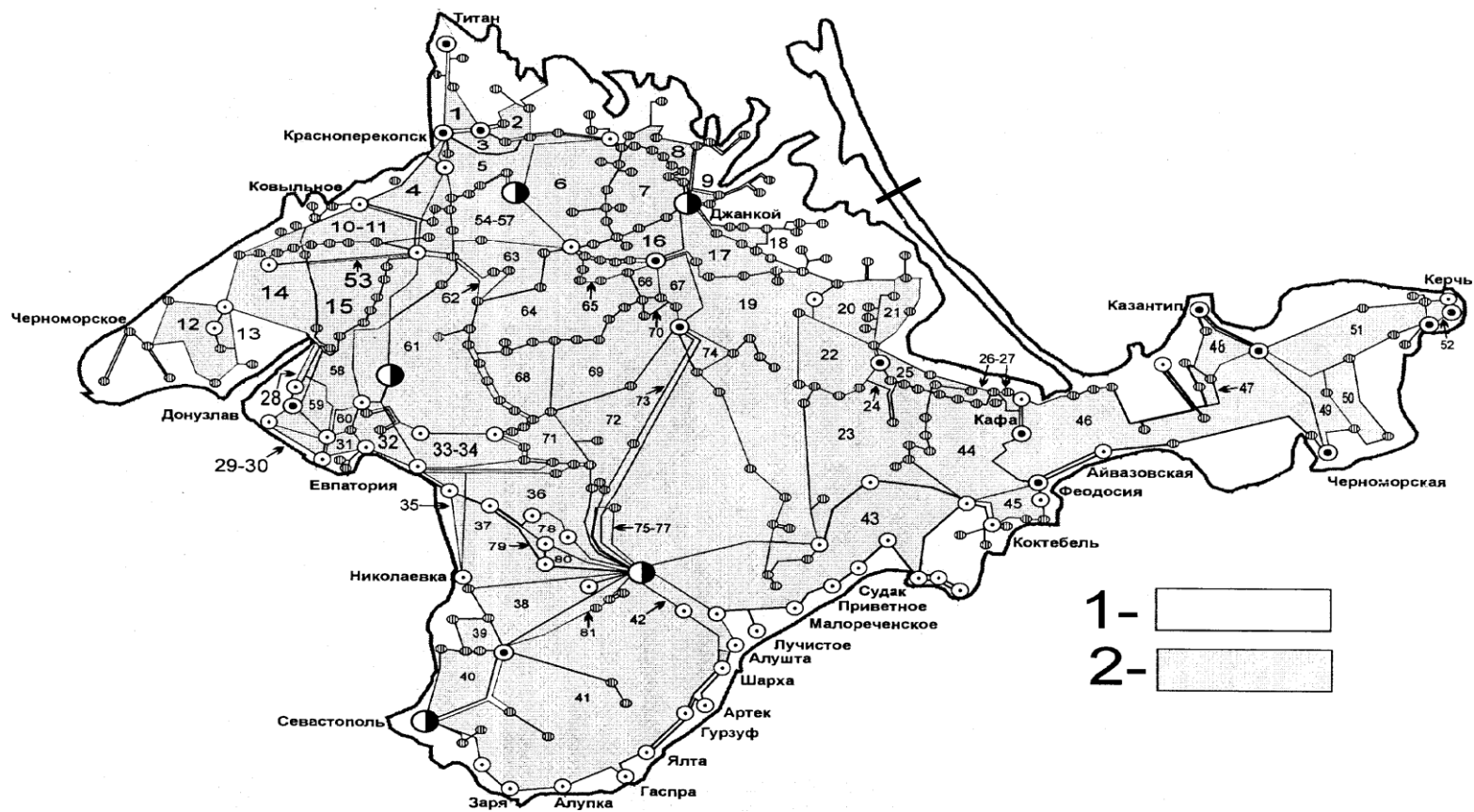
Автору представляется, что морфологическому аспекту смягчения проблемы надежности энергоснабжения уделяется второстепенное значение. Жесткая вертикаль централизации энергоснабжения в условиях крайне растянутых коммуникаций социально-экономического «моря периферии», объективно требует дополнения своим антиподом — обоснованной децентрализации энергоснабжения на локальном уровне конкретной территории (локалитет) [1-2]. Поэтому в рамках объективно единого социально-экономического пространства важна установка на стратегию взаимодополнения централизации-децентрализации в энергетике. Альтернативный подход к каждой из них не приемлем. Рассмотрим эти тезисы на примере Крыма.

**Топологическое расчленение энергосистемы Крыма.** Выделен главный остов циклической сети (рис. 2). Остов выявлен круговым обходом вдоль внешней периферии всех циклов питающей сети энергосистемы, имеющие хотя бы одну общую вершину или ребро с внешней границей остова (всего 81 цикл). Таким образом, главный остов – это ареал наибольшего освоения территории, оконтуривает зону относительно устойчивого энергоснабжения (сгущение циклов – вектор «сжатия пространства»). Конфигурация остова приурочена к системе расселения и транспортным жгутам (примерно 80% площади региона). От Симферополя сетевые комплексы 110-330 кВ расходятся почти параллельно основным транспортным коридорам региона.

Структурно главный остов состоит из двух топологических ярусов питающей сети Крыма. Первый топологический ярус включает 54 цикла (№1-52), второй топологический ярус – 24 цикла (№53-81).

В районе Тарханкутского полуострова сформировался простой побочный остов (одна вершина сочленения с главным остовом), состоящий из двух циклов (№ 12,13). Выход из строя ПС-110 кВ «Дозорное» (вершина сочленения) приведет к полной потере связи с региональной энергосистемой. Тогда из-за отсутствия сетевого резервирования неизбежно замыкание в циклах побочного остова локальной энергосистемы на базе Донузлавской и Черноморской ВЭС (29,25 МВт). И как следствие, сужается возможность регулирования ВЭС в рамках энергосистемы, нейтрализуется возможность сброса в систему излишков генерации, или наоборот – получения дефицита (мощности, объема).





**Рис. 2.** Топоморфологические части энергосистемы Крыма (2020 г.).

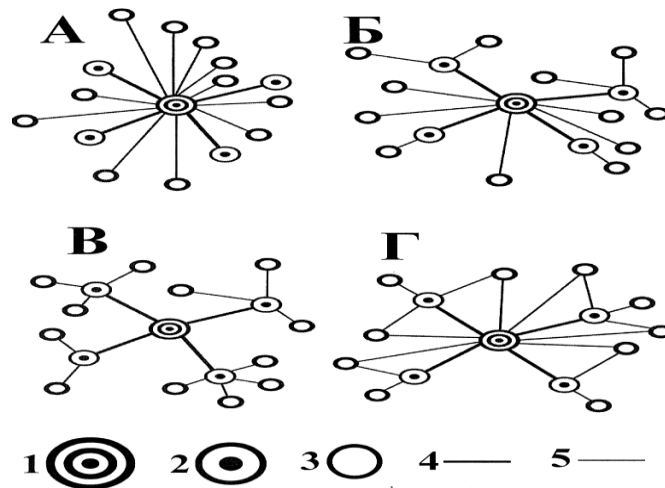
1. Ацикличная зона питающей сети энергосистемы (ветвь-дерево). 2. Главный остов циклов питающей сети энергосистемы.

*Составлено автором*

Часть питающих сетей работает в разомкнутом режиме, это ациклическая зона на периферии региона с низким уровнем централизации и надежности энергосистемы (примерно 15-20% площади).

К зоне ациклических сетей относится и Южный Крым (зона туризма и рекреации), где население сконцентрировано в узкой прибрежной полосе между морем и горами (плотность населения – 1500 чел./км<sup>2</sup>). Летом здесь самая высокая нагрузка, электрические сети и подстанции работают на пределе возможностей, часто отключаются. Перебои характерны по всему побережью от Фороса до Алушты и Судака. К тому же сетевые комплексы устарели, изношены, а нагрузка только возрастает. И как следствие, дальнейшее обострение проблемы надежности энергоснабжения.

Последний тезис требует основания на локальном уровне организации энергетического пространства. С этой целью использована методика выбора типа управляющей структуры сетями (рис. 3). Геосетевой анализ рис. 2-3 свидетельствует, что в зоне доминирования ациклических сетей характерен строго-централизованный тип управления с очень высокой уязвимостью энергосистемы.



**Рис. 3.** Типы и свойства управляющей структуры энергосистемы

1–3 – энергетические узлы различной мощности и назначения (электростанция-подстанция), 4–5 – электрические сети разного класса и назначения.

Типология управляющей структуры энергосистемы:

- А – строго централизованный тип, очень высокая уязвимость энергосистемы;
- Б – централизованный тип, высокая уязвимость энергосистемы;
- В – иерархический тип, низкая уязвимость энергосистемы;
- Г – смешанный тип, очень низкая уязвимость системы.

*Составлено по [12, с. 14]*

С точки зрения геосетевого анализа неоднозначна ситуация и в пределах циклов главного остова питающей сети Крыма. Речь идет о больших по площади сетевых циклах в зоне малозаселенного расселения. В первом топологическом ярусе к ним могут быть отнесены циклы №6, 19, 23, 41, 43, 44, 46, 51. Необходимо учитывать и проблемные циклы побочного остова (№12, 13). Во-втором топологическом ярусе к крупным циклам можно отнести №61, 64, 69, 72. В морфологии организации этих циклов доминирует централизованный тип управления сетями с высокой уязвимостью энергосистемы. В сумме проблемные

циклы вместе с зоной ациклических сетей охватывает примерно  $\frac{1}{2}$  площади Крыма. Следовательно, почти 50% энергетического пространства полуострова, в случае возникновения масштабной аварии в энергосистеме (или сбоя поставок через Керченский пролив), представляет собой ареал подверженный инверсиям и обострению энергетических проблем по каскадному сценарию («эффект домино»). Между тем, территория является субстратом не только возникновения проблемы, но и поиска путей ее решения по принципу: хозяйствование есть постоянное пространственное моделирование.

**Моделирование энергетического пространства Крыма** представляет собой взаимное дополнение вертикали пространства централизованной энергосистемы – горизонталью интеграции локальных энергосистем [1, с. 42]. В итоге реализации модельного варианта можно усилить надежность энергоснабжения Крыма. Здесь можно выделить два направления.

Первое направление, основу первого уровня энергетического пространства составляют циклы централизованной питающей сети. При наращивании потенциала сетей и подстанций, необходимо ликвидировать сетевые дефекты энергосистемы: усиление связности сети, в том числе побочного остова, резервирование ЛЭП на южном побережье, замыкание питающих сетей в ациклической зоне и в пределах больших по площади циклических образований.

Второе направление предполагает создание в рамках сетевых циклов локальных энергосистем. Таким образом, формируются множество территориально сочетающихся энергосистем (циклов) локального значения, ориентированных на энергоносители разной природы и имеющих связь с региональной энергосистемой посредством питающей и распределительной сети. В такой модели локальная система может «замыкать» потребителей на местный сетевой цикл и свой потенциал малой генерации (децентрализация).

На практике такое построение имеет следствием рост топоморфологического разнообразия: «Взаимное дополнение тенденций централизации и децентрализации энергосистем – это возможность увеличить реальное многообразие форм территориальной организации энергоснабжения и разнообразия выполняемых функций» [1, с. 33].

Выбор вида генератора локальной энергосистемы зависит от содержания сетевого цикла. Сегодня ставка делается на газовые технологии и сооружение малых газотурбинных теплоэлектроцентралей (ГТУ-ТЭЦ). Крым имеет газовые месторождения на шельфе Черного моря (Гольцинское, Одесское, Штормовое, Архангельское и др.). Среднегодовая добыча составляет 1,5-2 млрд м<sup>3</sup>. Газ обнаружен и в акватории Азовского моря, добывается и на суше (Тарханкутский полуостров). Для функционирования малых ГТУ-ТЭЦ отечественного производства требуется магистральный газопровод с давлением не менее 2,5 МПа. В Крыму существует и расширяется развитая система магистральных газопроводов, усиленная новым маршрутом из России (по Керченскому проливу). Функционирует Глебовское подземное газохранилище (1,5 млрд м<sup>3</sup>).

Следовательно, проекты ГТУ-ТЭЦ можно реализовать в форме линейно-узловой типа развития локальных энергосистем (вдоль магистралей газоснабжения). Такой подход актуален для зон с высокой плотностью населения и нарастающим спросом (города). В том числе и на южном побережье Крыма.

Более интересен вариант развития малой энергетики на основе газопоршневых двигателей, адаптированных для работы от газопроводов массового стандарта городской и сельской сети газоснабжения (0,3-1,2 МПа.). Такие проекты для Крыма уже рассматривались, в 2015 г планировалось строительство Черноморской (12 МВт) и Джанкойской мини-ТЭС (24 МВт). Станция представляет собой газопоршневой когенерационный генератор блочного типа. Каждый блок это единичная установка (по 2 МВт), модулирование блоков на параллельную работу позволяет концентрировать любую мощность генерации. Поэтому развитие малой энергетики на основе газопоршневых двигателей можно признать перспективным, но не повсеместным направлением (ареально-узловой тип локальных энергосистем). Такой подход актуален для реализации на территории крупных и протяженных циклов Крыма. В их пределах можно дробить циклы за счет замыкания распределительными сетями (0,6-10 кВ).

Однако при любом сценарии развития малой тепловой энергетики неизменна зависимость от истощаемых ресурсов и цен на энергоносители. Ставка на развитие газовых технологий повышает зависимость от динамики ценового коридора на газ. В этой связи возрождаются идеи массового развития локальных энергосистем на основе ресурсов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что способствует распространению повсеместного ареального типа развития локальных энергосистем (на основе солнечной, ветряной и гидроэнергии).

### **Выводы**

Развитие комбинированных энергосистем (централизация, децентрализация) в пределах объективно единого энергетического пространства Крыма не противоречит отраслевой стратегии. Реализация модельной концепции «двухуровневой» энергосистемы прямо соответствует отраслевым функциям (надежность, устойчивость и гарантированность энергоснабжения). В Крыму актуальны дальнейшие комплексные исследования с целью выявления зон сопряжения экологической, социально-экономической и технологической целесообразности развития локальной энергетики и малых энергосистем.

### ***Литература***

1. Атаев З. А. Территориальная организация локальной энергетики Центрального экономического района России: Монография. Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. М.; Рязань: Изд-во МПСИ, 2008. 344 с.
2. Атаев З. А. Территориальная организация локальной энергетики Центрального экономического района России: Дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.24. /Институт географии РАН. М., 2008. 294 с.
3. Воропай Н. И., Кейко А. В., Санеев Б. Г., Сендеров С. М., Стенников В. А. Тенденции развития централизованной и распределенной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. 2005. № 7. С. 2 – 11.
4. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов: Монография. Калининград: Изд-во КИЦ «Техноценоз», 2019. 940 с.
5. Ефимов С. А., Селезнева О. А. Геоинформационные подходы к

- картографированию плотности населения в Автономной республике Крым. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия «География». Том 22 (61). 2009 г. С. 25-32.
6. Ильинский Н. Ф., Цацекин В. К. Приложение теории графов к задачам электромеханики. М.: Энергия, 1968. 200 с.
  7. Оре О. Теория графов. 2-е изд. М.: Наука, 1980. 356 с.
  8. Отчет о научно-исследовательской работе «Схема и программа развития электроэнергетики Республики Крым на 2019-2023 гг. (заключительный)» М.: АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы (московское отделение)», 2018. 210 с.
  9. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Гл. 7.5, 7.6, 7.10. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002. 184 с.
  10. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства. М.: Информагротех, 1999. 544 с.
  11. Тархов С. А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск; Москва: Универсум, 2005. 384 с.
  12. Чебан В. М., Ландман А. К., Фишов А. Г. Управление режимами электроэнергетических систем в аварийных ситуациях. М.: Высшая школа, 1990. 144 с.
  13. В Крыму побит исторический рекорд энергопотребления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rg.ru> Экономика.
  14. Карта-схема размещения линий электропередачи, подстанций напряжением 220 кВ и выше и электростанций Республики Крым и города Севастополь на 2020-2026 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energybase.ru> Карты.
  15. Население Крыма: численность, состав, динамика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rosinfostat.ru> naselenie-kryma-po-dannym-rosstat/.
  16. Нормативы потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям территориальных сетевых организаций. Министерство энергетики Российской Федерации. Приказ от 26 сентября 2017 года N 887 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru> document/542608709.
  17. Системный оператор ЕЭС России. ОДУ Юга. Потребление электроэнергии в Крымской энергосистеме [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energybase.ru> Карты.
  18. Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2019 - 2025 годы (Утверждена приказом Минэнерго России от 28 февраля 2019 г. № 174) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru> node/14828files.stroyinf.ru Техническая документация..
  19. Схема ЛЭП и электроснабжения России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://frexosm.ru> power/.
  20. Темные времена: почему Крым обесточен [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sprotuv.info> Новости.
  21. Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Юга Черноморское региональное диспетчерское управление: краткая справка [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://yug.so-ups.ru> Page.aspx?IdP=4051.

Z. Ataev

## ***Reliability of electricity supply to consumers in Crimea***

---

Ryazan State University named for S. A. Yesenin, Ryazan,  
Russian Federation  
e-mail: ataev-rzn@ya.ru

**Abstract.** *The article is devoted to the problem of reliability of power supply in the Crimea. In the region, measures to solve the problem of systemic energy shortage were implemented without advancing the development of the network economy. Based on the mathematical theory of graphs, it was revealed that 1/2 of the territory of Crimea is a zone of non-guaranteed electricity supply. The concept of development of combined power systems (model) is proposed.*

**Keywords:** *power system, cyclic networks, acyclic zone, local energy.*

### ***References***

1. Ataev Z. A. Territorial'naya organizaciya lokal'noj energetiki Central'nogo ekonomicheskogo rajona Rossii: Monografiya. Ryaz. gos. un-t im. S.A. Esenina. M.; Ryazan': Izd-vo MPSI, 2008. 344 s. (in Russian)
2. Ataev Z. A. Territorial'naya organizaciya lokal'noj energetiki Central'nogo ekonomicheskogo rajona Rossii: Dis. ... dokt. geogr. nauk: 25.00.24. /Institut geografii RAN. M., 2008. 294 s. (in Russian)
3. Voropaj N. I., Kejko A. V., Saneev B. G., Senderov S. M., Stennikov V. A. Tendencii razvitiya centralizovannoj i raspredelennoj energetiki // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2005. № 7. S. 2 – 11. (in Russian)
4. Gnatyuk V. I. Zakon optimal'nogo postroeniya tekhnocenzov: Monografiya. Kaliningrad: Izd-vo KIC «Tekhnocenz», 2019. 940 s. (in Russian)
5. Efimov S. A., Selezneva O. A. Geoinformacionnye podhody k kartografirovaniyu plotnosti naseleniya v Avtonomnoj respublike Krym. Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya». Tom 22 (61). 2009 g. S. 25-32. (in Russian)
6. Il'inskij N. F., Cacekin V. K. Prilozhenie teorii grafov k zadacham elektromekhaniki. M.: Energiya, 1968. 200 s. (in Russian)
7. Ore O. Teoriya grafov. 2-e izd. M.: Nauka, 1980. 356 s. (in Russian)
8. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Skhema i programma razvitiya elektroenergetiki Respubliki Krym na 2019-2023 gg. (zaklyuchitel'nyj)» M.: AO «Nauchno-tekhnicheskij centr Edinoj energeticheskoy sistemy (moskovskoe otdelenie)», 2018. 210 s. (in Russian)
9. Pravila ustrojstva elektroustanovok. Razdel 1. Obschie pravila. Glavy 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Razdel 7. Elektrooborudovanie special'nyh ustanovok. Gl. 7.5, 7.6, 7.10. M.: Izd-vo NC ENAS, 2002. 184 s. (in Russian)
10. Spravochnik inzhenera-elektrika sel'skohozyajstvennogo proizvodstva. M.: Informagrotekh, 1999. 544 s. (in Russian)
11. Tarhov S. A. Evolyucionnaya morfologiya transportnyh setej. Smolensk; Moskva: Universum, 2005. 384 s. (in Russian)

12. СЕбан V. M., Landman A. K, Fishov A. G. Upravlenie rezhimami elektroenergeticheskikh sistem v avarijnyh situacijah. M.: Vysshaya shkola, 1990. 144 s. (in Russian)
13. V Krymu pobit istoricheskij rekord energopotrebleniya URL: <http://rg.ru>»Ekonomika. (in Russian)
14. Karta-skhema razmeshcheniya linij elektroperedachi, podstancij napryazheniem 220 kV i vyshe i elektrostancij Respubliki Krym i goroda Sevastopol' na 2020-2026 gody URL: <http://energybase.ru>»Karty. (in Russian)
15. Naselenie Kryma: chislenost', sostav, dinamika URL: <http://rosinfostat.ru>»naselenie-kryma-po-dannym-rosstat/.(in Russian)
16. Normativy poter' elektricheskoy energii pri ee peredache po elektricheskim setyam territorial'nyh setevyh organizacij. Ministerstvo energetiki Rossijskoj Federacii. Prikaz ot 26 sentyabrya 2017 goda N 887 URL: <http://docs.cntd.ru>»document/542608709. (in Russian)
17. Sistemnyj operator EES Rossii. ODU YUga. Potreblenie elektroenergii v Krymskoj energosisteme URL: <http://energybase.ru>»Karty. (in Russian)
18. Skhema i programma razvitiya Edinoj energeticheskoy sistemy Rossii na 2019 - 2025 gody (Utverzhdena prikazom Minenergo Rossii ot 28 fevralya 2019 g. № 174) URL: <http://minenergo.gov.ru>»node/14828files.stroyinf.ru»Tekhnicheskaya dokumentaciya». (in Russian)
19. Skhema LEP i elektrosnabzheniya Rossii URL: <http://frexosm.ru>»power/ . (in Russian)
20. Temnye vremena: pochemu Krym obestochen URL: <http://sprotyv.info> Novosti.
21. Filial AO «SO EES» ODU YUga CHernomorskoe regional'noe dispetcherskoe upravlenie: kratkaya spravka URL: <http://yug.so-ups.ru>»Page.aspx?IdP=4051. (in Russian)

*Поступила в редакцию 15.12.2021 г.*