

# Исследование численности и установленной мощности парка гидроагрегатов гидроэлектростанций Грузии

А. О. Егоров<sup>1</sup>, О. А. Пичугова<sup>2</sup>

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup>a.o.egorov@urfu.ru, <sup>2</sup>olga.pichugova.01@mail.ru

**Аннотация.** Энергетическая система Грузии с годовым объемом потребления электроэнергии около 13 млрд кВт·ч является небольшой, но обладает рядом технологических особенностей. Так, на 01.06.2021 в Грузии функционируют 59 гидроэлектростанций суммарной установленной мощностью 3398,6 МВт, среди них 26 – средние и 32 – малые, с установленной мощностью в диапазоне 25-250 МВт и 1-25 МВт, соответственно. Эти 26 средние и 32 малые гидроэлектростанции имеют суммарную установленную мощность 1828,2 МВт и 274 МВт соответственно и обеспечивают в Грузии выработку электроэнергии в объеме 5,5 млрд кВт·ч электроэнергии, что составляет более 60% всех потребностей электрической энергии страны в год. Всего на гидроэлектростанциях Грузии установлено 142 гидроагрегата, основой парка являются 114 агрегатов единичной установленной мощностью от 1 до 25 МВт, их суммарная установленная мощность составляет 1001,63 МВт. На период до 2027 года в Грузии будут введены ещё более 50 новых средних и малых ГЭС. Опыт освоения Грузией гидроэнергетического потенциала путём строительства средних и малых ГЭС может быть интересен для освоения гидроресурсов в регионах России.

**Ключевые слова:** средние и малые гидроэлектростанции энергосистемы Грузии, структура установленной мощности, структура выработки электроэнергии, парк гидроагрегатов, малая и распределённая генерация

## I. ВВЕДЕНИЕ

Грузия является одной из стран Закавказского региона, площадь её территории составляет 69,7 тыс. км<sup>2</sup>, в Грузии проживают более 3,7 млн человек. Ежегодный внутренний валовой продукт экономики Грузии составляет до 20 USD млрд., основой экономики страны является горно-добывающая промышленность, чёрная и цветная металлургия и сельское хозяйство [1, 2].

Энергосистема Грузии является небольшой – объём потребления электроэнергии в стране составляет около 13 млрд кВт·ч в год. Технологическим оператором энергосистемы Грузии является АО «Государственная Грузинская Электросистема (АО «ГГЭ», www.gse.com). По данным годовых отчётов АО «ГГЭ», по итогам технологического функционирования в 2020-м году [3], установленная мощность всех электростанций энергосистемы Грузии составила 4246,7 МВт. Максимум потребления мощности (максимум нагрузки) – 2035,0 МВт, выработка электрической энергии на электростанциях – 11,86 млрд кВт·ч в год, потребление электроэнергии 13,25 млрд кВт·ч в год. По объёму потребления электроэнергии, энергосистема Грузии сопоставима с одним из регионов России средней полосы: Вологодская, Липецкая, Саратовская области, Приморский край или другие.

## II. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ГРУЗИИ

Энергосистема Грузии имеет ряд технологических особенностей, которые представляют определённый научный интерес для Российской и мировой энергетики. Такими особенностями являются:

1. Более 75% электроэнергии вырабатывается в энергосистеме на гидроэлектростанциях (ГЭС). Согласно [3], по итогам 2020 г. установленная мощность ГЭС Грузии составила 3167 МВт (75%), а выработка электроэнергии на ГЭС – 10,6 млрд кВт·ч (89%).

2. Гидроэнергетический потенциал Грузии по [4] оценивается в объёме 15 ГВт установленной мощности ГЭС и в 50 млрд кВт·ч выработки электроэнергии в год. По состоянию на 01.01.2021 потенциал освоен на 20%.

3. В отношении энергосистемы Грузии действует Программа развития на период 2017-2027 г.г. [4], согласно которой к 2027 году установленная мощность ГЭС должна составить 6419 МВт, а выработка электроэнергии – 22,96 млрд кВт·ч. При этом доля ГЭС в структуре выработки электроэнергии должна вырасти с 79% до 87%.

4. До 1991 года энергосистема Грузии развивалась в составе Единой энергетической системы Советского Союза (ЕЭС СССР), на ГЭС Грузии устанавливалось Советское генерирующее оборудование. С 1992 года на ГЭС Грузии специалисты устанавливают зарубежное генерирующее оборудование, преимущественно Западно-Европейского производства. Поэтому сегодня энергосистема Грузии является уникальной площадкой, на которой становится возможным изучение технологий энергетического машиностроения различных производителей, а также становится возможным изучение особенностей конструктивного выполнения гидроагрегатов (гидротурбин, гидрогенераторов) и их влияние на эффективность технологического функционирования гидроагрегатов, в т.ч. влияние на объёмы выработки электроэнергии.

5. Гидроагрегаты ГЭС Грузии функционируют в условиях горной местности, на значительной высоте над уровнем моря, что также может оказывать влияние на эффективность их технологического функционирования.

6. Среди всех ГЭС Грузии значительные их генерирующие мощности размещены на ГЭС, которые по Российской классификации можно отнести к объектам малой и распределённой генерации. Поэтому опыт освоения Грузией гидроэнергетических ресурсов посредством строительства малых ГЭС для обеспечения потребностей страны в электроэнергии, может быть

интересен для освоения гидроэнергетических ресурсов регионов России, на территории которых могут быть построены такие же значительные объёмы малых ГЭС.

В этой связи опыт строительства и технологического функционирования ГЭС энергосистемы Грузии является уникальным и определённо подлежит научному исследованию и изучению.

### III. ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ГРУЗИИ

Ранее, в [5] были описаны результаты изысканий, по итогам которых установлено, что по состоянию на 01.06.2021 в составе энергосистемы Грузии функционируют 53 электростанции трёх типов суммарной установленной мощностью 4492 МВт, в т.ч. 1 ветровая электростанция установленной мощностью 20 МВт, 47 ГЭС мощностью 3282 МВт и 5 тепловых электростанций (ТЭС) мощностью 1190 МВт. Далее, в течение 2021 года эти данные были дополнены и обновлены. Установлено, что по состоянию на 01.11.2021 в Грузии функционируют **59 ГЭС, на их площадках установлено 142 гидроагрегата суммарной установленной мощностью 3398,6 МВт.** Также была определена концентрация численности и установленной мощности ГЭС Грузии и их гидроагрегатов (ГА) по регионам, рис. 1, табл. I:



Рис. 1. Административно-территориальное деление Грузии

ТАБЛИЦА I СТРУКТУРА ЧИСЛЕННОСТИ И УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС ГРУЗИИ ПО РЕГИОНАМ НА 01.11.2021

| №   | Регион                        | № <sub>ГЭС</sub> , ед. | № <sub>ГА</sub> , ед. | Р <sub>уст.</sub> , МВт | Вес, %        |
|-----|-------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
|     | <b>ГЭС Грузии, итого</b>      | <b>59</b>              | <b>142</b>            | <b>3 398,6</b>          | <b>100,0%</b> |
| 1.  | Абхазия                       | 7                      | 19                    | 1 668,7                 | 49,1%         |
| 2.  | Имеретия                      | 9                      | 27                    | 416,0                   | 12,2%         |
| 3.  | Мцхета-Мтианети               | 9                      | 27                    | 354,5                   | 10,4%         |
| 4.  | Аджария                       | 6                      | 18                    | 300,3                   | 8,8%          |
| 5.  | Квемо-Картли                  | 6                      | 13                    | 269,7                   | 7,9%          |
| 6.  | Рача-Лечхуми и Квемо-Сванетия | 6                      | 12                    | 175,3                   | 5,2%          |
| 7.  | Самцхе-Джавахети              | 3                      | 7                     | 110,1                   | 3,2%          |
| 8.  | Кахетия                       | 11                     | 17                    | 82,0                    | 2,4%          |
| 9.  | Гурия                         | 2                      | 2                     | 22,0                    | 0,6%          |
| 10. | Шида-Картли                   | 0                      | -                     | -                       | -             |
| 11. | Самегрело-Верхняя Сванетия    | 0                      | -                     | -                       | -             |
| 12. | Южная Осетия                  | 0                      | -                     | -                       | -             |

Таким образом установлено, что наибольшие объёмы численности ГЭС, ГА и суммарной установленной мощности ГЭС Грузии (свыше 300 МВт), сосредоточены в регионах: Абхазия, Имеретия, Мцхета-Мтианети и в Аджарии, в 3-х регионах ГЭС отсутствуют.

Для исследования структуры выработки электроэнергии ГЭС по линейной шкале установленной

мощности ГЭС, далее целесообразно выделить выработку электроэнергии по регионам и рассмотреть структуру установленной мощности ГЭС Грузии в соответствии с Российской классификацией.

### IV. СТРУКТУРА УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГЭС ГРУЗИИ

При изучении отчётных документов о технологическом функционировании энергосистемы Грузии [1–4], а также дополнительных источников данных [6–9] удалось установить отчётные показатели функционирования ГЭС Грузии и далее определить объёмы установленных мощностей, объёмы производства электроэнергии, а также коэффициенты использования установленной мощности (КИУМ) индивидуально по ГЭС Грузии в регионах. Результаты приведены на рис. 2 и 3 и в табл. II:

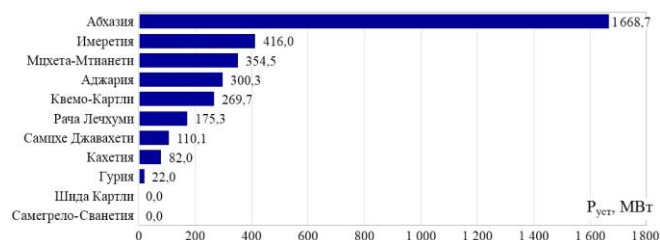


Рис. 2. Установленная мощность ГЭС Грузии в 2020 году по регионам

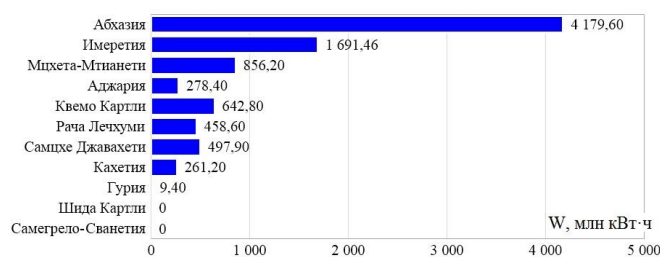


Рис. 3. Выработка электрической энергии на ГЭС Грузии в 2020 году по регионам

ТАБЛИЦА II ОТЧЁТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЭС ГРУЗИИ ПО РЕГИОНАМ В 2020 Г.

| №  | Регион*           | Р <sub>уст.</sub> , МВт | Вес, %        | W <sub>год.</sub> , млн кВт·ч | Вес, %        | КИУМ, %       |
|----|-------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|
|    | <b>ГЭС Грузии</b> | <b>3 398,6</b>          | <b>100,0%</b> | <b>8 819,8</b>                | <b>100,0%</b> | <b>29,81%</b> |
| 1. | Абхазия           | 1 668,7                 | 49,1%         | 4 179,6                       | 47,4%         | 28,59%        |
| 2. | Имеретия          | 416,0                   | 12,2%         | 1 691,5                       | 19,2%         | 46,42%        |
| 3. | Мцхета-Мтианети   | 354,5                   | 10,4%         | 856,2                         | 9,7%          | 27,58%        |
| 4. | Аджария           | 300,3                   | 8,8%          | 278,4                         | 3,2%          | 10,58%        |
| 5. | Квемо-Картли      | 269,7                   | 7,9%          | 642,8                         | 7,3%          | 27,21%        |
| 6. | Рача-Лечхуми &    | 175,3                   | 5,2%          | 402,8                         | 4,6%          | 29,86%        |
| 7. | Самцхе-Джавахети  | 110,1                   | 3,2%          | 497,9                         | 5,6%          | 51,62%        |
| 8. | Кахетия           | 82,0                    | 2,4%          | 261,2                         | 3,0%          | 36,36%        |
| 9. | Гурия             | 22,0                    | 0,6%          | 9,4                           | 0,1%          | 4,88%         |

\*Регионы ранжированы в порядке убывания установленной мощности ГЭС

Крупнейшей ГЭС Грузии является Ингури ГЭС с установленной мощностью 1300 МВт (ГА 5×260 МВт). ГЭС расположена в Абхазии и обеспечивает выработку электроэнергии в объёме до 4,5 млрд кВт·ч ежегодно, т.е. обеспечивает до 40% потребностей Грузии в электрической энергии. В 2020-м году Ингури ГЭС выработала 3,49 млрд кВт·ч с КИУМ 30,65% и обеспечила 26% выработки всей электроэнергии в Грузии. Средний КИУМ по ГЭС Грузии составил в 2020-м календарном году 29,81%, что ниже КИУМ Российских ГЭС на уровне ~40%. Однако обращает

на себя внимание факт относительно высокого КИУМ в регионах с относительно малыми мощностями ГЭС (Имеретия, Кахетия), а также регион с самым высоким КИУМ ГЭС – 51,62% в регионе Самцхе-Джавахетия. Дальнейший анализ состава ГЭС, кроме анализа по регионам, также целесообразно выполнить по линейной шкале установленной мощности.

#### V. СОСТАВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ГРУЗИИ

В России с 2012 года действует классификация установленной мощности ГЭС по шкале, введённой в СТО 01.01.78-2012 ПАО «РусГидро» [10]. В то же время, согласно Постановлению Правительства России от 17.10.2009, №823 [11], при решении проектных и эксплуатационных задач, необходимо учитывать все электрические станции, установленная мощность которых превышает 5 МВт. В этой связи, для объективного и прозрачного анализа состава ГЭС Грузии по Российской шкале, целесообразно ввести дополнительное деление малых ГЭС по внутренней границе 5 МВт. Российская шкала мощности ГЭС по документам [10 и 11], приведена в табл. III:

ТАБЛИЦА III ШКАЛА УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС

| №  | Наименование ГЭС    | Диапазон установленной мощности ГЭС |
|----|---------------------|-------------------------------------|
| 1. | Микро ГЭС           | <0,10 МВт                           |
| 2. | Малые ГЭС до 5 МВт  | 0,10 ÷ 4,99 МВт                     |
| 3. | Малые ГЭС до 25 МВт | 5,00 ÷ 24,99 МВт                    |
| 4. | Средние ГЭС         | 25,00 ÷ 249,99 МВт                  |
| 5. | Крупные ГЭС         | ≥ 250 МВт                           |

С учётом состава исходной информации, описанной в разделе IV, структура численного состава и структура установленной мощности ГЭС Грузии по Российской шкале, приведены в табл. IV:

ТАБЛИЦА IV СТРУКТУРА ГЭС ГРУЗИИ ПО РОССИЙСКОЙ ШКАЛЕ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС

| №  | Наименование ГЭС             | N <sub>ГЭС</sub> , ед. | P <sub>уст.</sub> , МВт | Вес, %        |
|----|------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
|    | <b>ГЭС Грузии, итого</b>     | <b>59</b>              | <b>3 398,6</b>          | <b>100,0%</b> |
| 1. | Микро ГЭС                    | –                      | –                       | –             |
| 2. | Малые ГЭС от 1 до 5 МВт      | 12                     | 28,2                    | 0,8%          |
| 3. | Малые ГЭС от 5 до 25 МВт     | 20                     | 242,2                   | 7,1%          |
| 4. | Средние ГЭС от 25 до 250 МВт | 26                     | 1 828,2                 | 53,8%         |
| 5. | Крупные ГЭС                  | 1                      | 1 300,0                 | 38,3%         |

Таким образом, согласно Российской шкале установленной мощности ГЭС, основой энергосистемы Грузии являются средние ГЭС в количестве 26 ГЭС с суммарной установленной мощностью 1828,2 МВт и которые имеют долю 53,8% в структуре установленной мощности, а также 1 крупная ГЭС – Ингури установленной мощностью 1300 МВт, которая имеет долю 38,3% в структуре установленной мощности. Итого в Грузии функционируют средние и крупные ГЭС в количестве 27 ед. суммарной установленной мощностью 3128,2 МВт и долей в структуре установленной мощности 92,1%.

На объекты малой генерации установленной мощностью в диапазоне от 1 до 25 МВт всего в Грузии приходится 32 малых ГЭС суммарной установленной мощностью 270,4 МВт, их доля в структуре установленной мощности составляет 7,9%.

Для России доля малых ГЭС в структуре установленной мощности электрических станций Объединённых энергосистем (ОЭС) характерна для ОЭС Северо-Запада и ОЭС Юга, их доля также не превышает 10%. Во всей ЕЭС России установленная мощность малых ГЭС составляет 1,2 ГВт (0,5%).

С точки зрения эффективности функционирования ГЭС Грузии, отсортированных по российской шкале, целесообразно рассмотреть объём их выработки электроэнергии и КИУМ. такие данные за 2020-й год приведены на рис. 4, 5 и в табл. V:

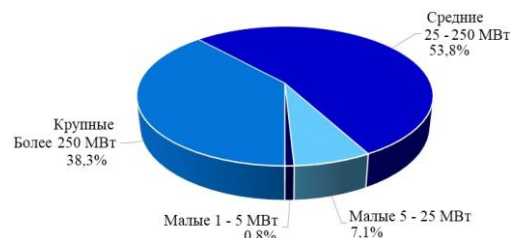


Рис. 4. Доли ГЭС по типам в структуре установленной мощности ГЭС Грузии по Российской шкале

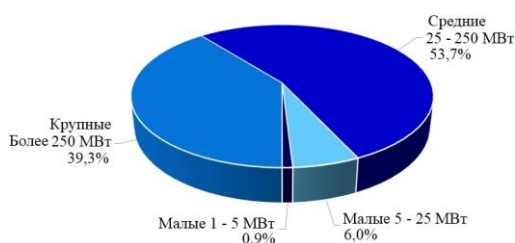


Рис. 5. Доли ГЭС по типам в структуре выработки электроэнергии на ГЭС Грузии по Российской шкале

ТАБЛИЦА V ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЭС ГРУЗИИ ПО РОССИЙСКОЙ ШКАЛЕ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС

| №  | Наименование ГЭС             | P <sub>уст.</sub> , МВт | W <sub>год.</sub> , млн кВт·ч | КИУМ          |
|----|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------|
|    | <b>ГЭС Грузии, итого</b>     | <b>3 398,6</b>          | <b>8 819,8</b>                | <b>29,81%</b> |
| 1. | Микро ГЭС                    | –                       | –                             | –             |
| 2. | Малые ГЭС от 1 до 5 МВт      | 28,2                    | 83,5                          | 30,65%        |
| 3. | Малые ГЭС от 5 до 25 МВт     | 242,2                   | 536,0                         | 29,75%        |
| 4. | Средние ГЭС от 25 до 250 МВт | 1 828,2                 | 4 765,2                       | 25,25%        |
| 5. | Крупные ГЭС                  | 1 300,0                 | 3 490,9                       | 30,65%        |

Таким образом, структура установленной мощности и выработки электроэнергии ГЭС Грузии по Российской шкале установленной мощности, идентичны. На объекты малой генерации в Грузии приходится до 8% установленной мощности и выработки электроэнергии.

При незначительной доле малых ГЭС Грузии, их численность значительная – 32 ед. и они имеют большое значение в электроснабжении отдельных регионов страны. Так, в регионах Квемо-Картли и Рача-Лечхуми доля малых ГЭС в структуре установленной мощности и выработки электроэнергии составляет 20%, а в регионах Кахетия и Гурия – 70% и 100% соответственно, табл. VI:

ТАБЛИЦА VI ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАЛЫХ ГЭС ГРУЗИИ В РЕГИОНАХ

| №  | Наименование ГЭС               | N <sub>мгэс</sub> , ед. | P <sub>уст.</sub> , МВт | W <sub>год.</sub> , млн кВт·ч |
|----|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|    | <b>Малые ГЭС Грузии, итого</b> | <b>32</b>               | <b>270,38</b>           | <b>619,50</b>                 |
| 1. | Абхазия                        | 2                       | 28,70                   | 34,20                         |
| 2. | Имеретия*                      | –                       | –                       | –                             |

| №  | Наименование ГЭС              | N <sub>МГЭС</sub> , ед. | P <sub>усть</sub> , МВт | W <sub>год</sub> , млн кВт·ч |
|----|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 3. | Мцхета-Мтианети               | 5                       | 36,65                   | 82,30                        |
| 4. | Аджария                       | 3                       | 22,83                   | 116,40                       |
| 5. | Квемо-Картли                  | 4                       | 46,72                   | 115,60                       |
| 6. | Рача-Лечхуми и Квемо-Сванетия | 4                       | 34,33                   | 32,00                        |
| 7. | Самцхе-Джавахети              | 2                       | 23,10                   | 97,70                        |
| 8. | Кахетия                       | 10                      | 56,05                   | 131,90                       |
| 9. | Гурия                         | 2                       | 22,00                   | 9,40                         |

\*В Имеретии функционируют только 9 средних ГЭС, их установленная мощность находится в диапазоне 26 ÷ 80 МВт.

С учётом данных табл. I–V видно, что по составу установленной мощности и выработки электроэнергии в 2-х регионах Грузии (Кахетия и Гурия) малые ГЭС являются основными источниками энергообеспечения, что в случае России в полной мере соотносится с целями и задачами использования малых ГЭС, изложенных в Стратегии развития энергетики на период до 2035 г. [12]. В случае с Грузией малые ГЭС вполне успешно выполняют задачу электроснабжения потребителей на удалённых и изолированных территориях, в т.ч. в условиях труднопроходимой горной местности Южного Кавказа, что является хорошим и успешным примером использования малых ГЭС.

## VI. ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ ГЭС ГРУЗИИ

Всего в Грузии функционируют 59 ГЭС, самая старая из них – Захеси ГЭС установленной мощностью 37 МВт, введена в работу в 1927 году. Самые новые ГЭС Грузии – Авани, Арагви, Оро, Местичала-1 и 2, с установленной мощностью 3,5; 8,5; 1,12; 20 и 30 МВт соответственно, введены в эксплуатацию в 2019 году.

Анализ хронологии и возрастного состава ГЭС Грузии показал, что в период с 1927 по 1991 год всего введено в работу 29 ГЭС суммарной установленной мощностью 2760,12 МВт (80% от всей мощности ГЭС). В период с 1992 по 2003 год, активное строительство ГЭС в стране не велось, вводы в работу не осуществлялись. В период с 2004 по 2019 год вновь ведутся активные работы по строительству и вводу в работу ГЭС, всего за этот период в работу введено 30 ГЭС суммарной установленной мощностью 638,48 МВт.

Важно отметить, что установленная мощность ГЭС, которые были введены в период с 2004 по 2019 год находится в диапазоне от 1,12 до 178,72 МВт. Всего за этот же период построено 6 средних и 24 малых ГЭС суммарной установленной мощностью 477,20 МВт и 161,28 МВт соответственно, дополнительно 10 из 12-ти малых ГЭС с установленной мощностью от 1 до 5 МВт и суммарной установленной мощностью 25,5 МВт, являются новейшими и введены в период с 2016 по 2019 годы.

Таким образом, в период новейшей истории Грузии, с 2004 года руководство страны сосредоточено на освоении гидроэнергетического потенциала путём строительства преимущественно малых ГЭС. Дополнительно при изысканиях, описанных в [5], было установлено что в Грузии в стадии строительства находятся ещё 46 ГЭС суммарной установленной мощностью 2147 МВт.

## VII. ЧИСЛЕННОСТЬ ГИДРОАГРЕГАТОВ НА ГЭС ГРУЗИИ

Как было отмечено в разделе III (табл. I), на технологических площадках 59 ГЭС Грузии установлено 142 гидроагрегата суммарной установленной мощностью 3398,6 МВт. Анализ данных [3, 4], [6–9] и [13–20] показал, что на ГЭС Грузии используется схема

установкой от 1 до 6 ГА, наиболее распространённой является схема с 2-я ГА. При этом шкала количества всех гидроагрегатов на площадках ГЭС выглядит следующим образом:

ТАБЛИЦА VII ЧИСЛЕННОСТЬ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ НА ПЛОЩАДКАХ ГЭС ГРУЗИИ

| №  | N <sub>ГА</sub> , ед. | N <sub>ГЭС</sub> , ед. | Диапазон P <sub>усть</sub> ГЭС | Область применения    |
|----|-----------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1. | 1 ГА                  | 7                      | 1,12 ÷ 2,50 МВт                | Только малые ГЭС      |
| 2. | 2 ГА                  | 33                     | 2,00 ÷ 178,72 МВт              | Малые и средние ГЭС   |
| 3. | 3 ГА                  | 7                      | 18,00 ÷ 220 МВт                | Малые и средние ГЭС   |
| 4. | 4 ГА                  | 7                      | 19,60 ÷ 130 МВт                | Малые и средние ГЭС   |
| 5. | 5 ГА                  | 2                      | 51,22 ÷ 1300 МВт               | Средние и крупные ГЭС |
| 6. | 6 ГА                  | 3                      | 37,00 ÷ 47,48 МВт              | Только средние ГЭС    |

Наименее распространённой схемой состава ГА на ГЭС Грузии является схема с установкой 5 и 6 ГА – всего 2 и 3 ГЭС соответственно. ГЭС с 5-ю ГА: Кирнати (1941 г., 51,22 МВт), Ингури (1978 г., 1300 МВт) и ГЭС с 6-ю ГА: Захеси (1927 г., 37,00 МВт) и Мцхета (1938 г., 42,8 МВт), являются старыми (без учёта реконструкции), в новейшей истории Грузии (с 1992 г.) при строительстве ГЭС такая схема установки ГА, не используется. Исключением является Хелвачаури ГЭС (5×9,1 + 1×1,98 = 47,48 МВт), которая была введена в работу в 2016 году.

Также является условно устаревшей схема с 4 ГА. Все 7 ГЭС, на которых установлено по 4 ГА были введены в работу в период с 1933 по 1958 годы: Сухуми (1948 г., 19,6 МВт), Дзеврули (1956 г., 80 МВт), Риони (1933 г., 48 МВт), Гумати-1 (1958 г., 40 МВт), Шаори (1955 г., 38 МВт) и Храми-1 (1947 г., 113 МВт).

Таким образом, с 1992 года на ГЭС Грузии используется в схема с установкой от 1 до 3-х ГА, при этом единичная мощность одного ГА находится в диапазоне от 1,0 до 89,36 МВт.

## VIII. ПАРК ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС ГРУЗИИ

Всего по состоянию на 01.11.2021 на площадках ГЭС Грузии функционируют 142 гидроагрегата суммарной установленной мощностью 3398,6 МВт, их единичная установленная мощность находится в диапазоне от 0,16 до 260 МВт.

**Самые маломощные ГА** Грузии установленной мощностью **1,0 МВт** в количестве 4 ед. установлены на Хадори ГЭС-1 (Кахетия, 2004 г., 2×12,0 + 2×1,0 = 26,0 МВт) и Набеглави ГЭС (Гурия, 2017 г., 2×1,0 = 2,0 МВт).

**Самые крупные ГА** Грузии в количестве 5 ед. и установленной мощностью **260 МВт**, установлены на Ингури ГЭС (Абхазия, 1978 г., 5×260 = 1300 МВт).

Весь парк 142 ГА ГЭС Грузии с указанием их численного состава и единичной установленной мощности, приведён на рис. 6 и в табл. VIII:

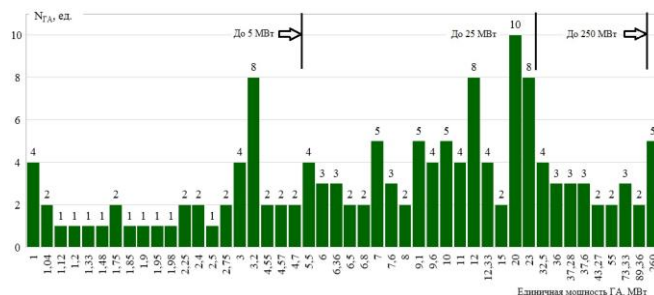


Рис. 6. Парк гидроагрегатов ГЭС Грузии по состоянию на 01.11.2021

ТАБЛИЦА VIII ПАРК ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС ГРУЗИИ

| №  | Гидроагрегаты ГЭС           | №ГА,<br>ед. | P <sub>уст.</sub> ,<br>МВт | Вес           |
|----|-----------------------------|-------------|----------------------------|---------------|
|    | <b>ГА ГЭС Грузии, итого</b> | <b>142</b>  | <b>*3 398,6</b>            | <b>100,0%</b> |
| 1. | ГА от 1,0 до 4,99 МВт       | 41          | 104,93                     | 3,1%          |
| 2. | ГА от 5,0 до 24,99 МВт      | 74          | *896,70                    | 27,3%         |
| 3. | ГА от 25,0 до 249,99 МВт    | 22          | 1 057,89                   | 31,3%         |
| 4. | ГА более 250 МВт            | 5           | 1 300,00                   | 38,3%         |

\*По 3-м МГЭС с 5-ю ГА, установленная мощность ГА, не определена

Как видно, основу парка ГА ГЭС Грузии по численности составляют небольшие ГА с единичной установленной мощностью до 25 МВт – 115 ГА (81%), их суммарная установленная мощность составляет 1001,63 МВт (29,5%). Распределение ГА по мощности выглядит достаточно равномерным – 31% – ГА средние по мощности (22 ед.) и 38,3% – крупные ГА (ключевая Ингури ГЭС с генераторами  $5 \times 260 = 1300$  МВт).

#### IX. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЭС ГРУЗИИ

Согласно [4], по состоянию на 01.01.2017 установленная мощность всех ГЭС Грузии составляла 3160 МВт, гидроэнергетический потенциал был освоен на 20%. Осваиваемый гидроэнергетический потенциал Грузии составляет 15 555 МВт. При этом 3421 МВт установленной мощности ГЭС будут введены в работу до 2027 года. Следующие 8974 МВт потенциала ГЭС будут освоены в период с 2027 по 2050 годы.

При проведении изысканий, описанных в [5], установлено, что среди находящихся в стадии строительства дополнительных 46 ГЭС, суммарной установленной мощностью 2147 МВт – 23 ГЭС являются средними ГЭС с установленной мощностью в диапазоне  $30 \div 280$  МВт, их суммарная установленная мощность составляет 1851 МВт. Ещё 23 ГЭС являются малыми с мощностью в диапазоне  $2 \div 24$  МВт и суммарной установленной мощностью 296 МВт. По окончании строительства указанных объектов до 2027 года, в энергосистеме Грузии будут функционировать 105 ГЭС суммарной установленной мощностью 5545,6 МВт.

#### X. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Одной из главных технологических особенностей энергосистемы Грузии является большое количество средних малых ГЭС, которые обеспечивают более 80% необходимой стране выработки электроэнергии. Опыт Грузии интересен для освоения гидроэнергетических ресурсов в регионах России.

2. В составе энергосистемы Грузии, по состоянию на 01.06.2021 функционировали 53 электростанции трёх типов (ВЭС, ГЭС, ТЭС), их суммарная установленная мощность составляла 20, 3282 и 1190 МВт соответственно.

3. В составе энергосистемы Грузии, по состоянию на 01.11.2021 функционируют **59 ГЭС** суммарной установленной мощностью **3398,6 МВт**, на их площадках размещено всего **142 гидроагрегата**.

4. Из числа 59 ГЭС Грузии: 1 является крупной (Ингури ГЭС), 26 ГЭС являются средними и имеют установленную мощность в диапазоне от 26 до 220 МВт и 32 ГЭС являются малыми с установленной мощностью в диапазоне от 1,12 до 21 МВт.

5. В энергосистеме Грузии на 1 самую мощную Ингури ГЭС с установленной мощностью 1300 МВт приходится 38,3% от всей установленной мощности

ГЭС, на средние ГЭС приходится 1828,2 МВт (53,8%) и на малые ГЭС – 270,4 МВт (7,9%).

6. При выработке электроэнергии на ГЭС в 2020-м году в объёме ~8,8 млрд кВт·ч, одна самая мощная Ингури ГЭС обеспечила выработку электроэнергии в объёме 3,5 млрд кВт·ч (39%), средние ГЭС выработали 4,8 млрд кВт·ч (54%) и малые ГЭС – 0,6 млрд кВт·ч (7%).

7. В двух регионах Грузии (Кахетия и Гурия) 12 малых ГЭС суммарной установленной мощностью 78 МВт обеспечивают выработку 140 млн кВт·ч в год с КИУМ 20% и имеют решающее значение для электроснабжения потребителей, т.к. обеспечивают до 100% потребностей региона в выработке электроэнергии.

8. На ГЭС Грузии используется схема с установкой от 1 до 6 гидроагрегатов. С 2004 года в Грузии строятся только средние и малые ГЭС, на их площадках устанавливаются от 1 до 3 гидроагрегатов с единичной установленной мощностью в диапазоне от 1 до 89,36 МВт.

9. На крупнейшей ГЭС Грузии – Ингури ГЭС (1978 г.) с установленной мощностью 1300 МВт установлены самые мощные гидроагрегаты Грузии с единичной установленной мощностью 260 МВт в количестве 5 ед., на них приходится 38,3% всей установленной мощности гидроагрегатов ГЭС Грузии.

10. В составе 142 гидроагрегатов ГЭС Грузии, большую часть парка составляют гидроагрегаты с единичной установленной мощностью от 1 до 25 МВт – 115 ед. суммарной мощностью 1001,63 МВт (28,5%). Также установлены 22 гидроагрегата с единичной установленной мощностью от 25 до 250 МВт, их суммарная установленная мощность составляет 1057,89 МВт (31,3%).

11. По состоянию на 01.01.2021 в Грузии в стадии строительства находились дополнительно 46 новых ГЭС суммарной установленной мощностью 2147 МВт. В их числе 23 ГЭС – средние с суммарной установленной мощностью 1851 МВт. Ещё 23 ГЭС – малые с суммарной установленной мощностью 296 МВт. На период до 2027 года в Грузии будут построены более 50-ти новых средних и малых ГЭС, к 2027 суммарная мощность всех ГЭС Грузии должна составить 6419 МВт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Country development cooperation strategy (CDCS). USAID. Georgia. Tbilisi. July 11, 2012 – December 31, 2020.
- [2] Georgia and the world: a vision and strategy for the future [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.allgeo.org/Irakli/PDF/Georgia\\_and\\_the\\_World.pdf](https://www.allgeo.org/Irakli/PDF/Georgia_and_the_World.pdf)
- [3] Annual Reports of Transmissin System Operator JSC “Georgian State Electrosystem”. Till 2020. Tbilisi. Georgia. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gse.com.ge/communication/reports/annual-reports>
- [4] Ten Year Network Development Plan of Georgia for 2017-2027. Transmissin System Operator JSC “Georgian State Electrosystem” Tbilisi. Georgia. 09 December 2019.
- [5] Alexander Egorov, Olga Pichugova. The Georgian power system hydro power plants install capacity review // Procceedngs of Ural-Siberian Smart Energy Conference (USSE). 13-15 November 2021. Novosibirsk. Russia.
- [6] ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.entsoe.eu>
- [7] Reports of ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity [Электронный ресурс]. – URL [www.entsoe.eu/data](http://www.entsoe.eu/data).
- [8] EES EAES. World Energy Energy Economic Model of Georgia [Электронный ресурс]. – URL [www.eeseaec.org](http://www.eeseaec.org)

- [9] Georgia 2020. Energy policy review. International Energy Agency. EU4Energy Report. IEA Publications. June 2020.
- [10] Гидроэлектростанции. Нормы технологического проектирования. СТО ПАО «РусГидро» 01.01.78-2012. Москва. 2012. 296 с.
- [11] Постановление Правительства России от 17.10.2009, №823 «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики». Москва. 2009.
- [12] Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09 июня 2020 г. №1523-р.
- [13] Martin Wieland, Norihiso Matsumoto, Ian Landon-Jones, Donald Babbitt. Inspection of Dams after Earthquakes. // *Yantu Gongcheng Xuebao / Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. Volume 30. №11. November 2008. pp.1661 – 1668.
- [14] I. K. Noniev, G. K. Helidze and G. A. Shainyan. Assessment of accidents at storage hydro power plants in Georgia // Translated from *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, No. 5, May 2020, pp. 36 – 42. DOI: 10.1007/s10749-020-01234-7.
- [15] P. De Goumoens, B. Quigley. Rehabilitation and improvement to the monitoring equipment and data processing for the 272 m high Enguri arch dam in Georgia (CIS). // 2nd International Congress on Dam Maintenance and Rehabilitation. Switzerland, Renens, Stucky Ltd. 23-25 November 2010. pp.93-100.
- [16] N. Okreshidze, H.U. Meinecke. Big boost for Georgia's small hydro. // *International Water and Dam Construction*. USAID/Georgia. Volume 61. №9. September 2009. pp.21-22.
- [17] Epp C. Small hydro power plants revival in the Caucasus and Carpathian region // *International Journal on Hydropower and Dams*. Volume 14. №3. Munich. Germany. 2007. pp. 112-114.
- [18] A.G. Tvalchrelidze, P.J. Kervalishvili. Energy security of the Southern Caucasus: opportunities and challenges. Georgian Academy of Natural Sciences. Tbilisi, Georgia. *Nanotechnology Perceptions*. Volume 11, №2, pp.88-105. DOI: 10.4024/N07TV15A.ntp.011.02.
- [19] Fecho Thomas R., Howell Brooks M., Kreczko Adam, Margvelashvili Murman, Tuckhorn Douglas D. Planning the reconstruction of the electric power system in the Republic of Georgia // *Proceedings of the American Power Conference*. Volume 61. Columbus. USA. 1999.
- [20] Wu M. Building hydro plants on irrigation canals in the Georgia Soviet Socialist Republic, USSR. *Water power*. №7. July 1987. p.58.