Научная статья
Original article
УДК 68

# ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ПЕРЕМЕННЫХ ВИЭ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ АЗЕРБАЙДЖАНА

PROBLEMS OF INTEQRATIONOF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ENERGY SYSTEM OF AZERBAIJAN

**Гамидов Мустафа Гамид оглу**, к.т.н., доцент, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности
**Эфендиев Салех Эфенди оглу**, к.т.н., доцент , Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики
**Исмаилов Рауф Сахиб оглу**, диссертант, Министерство Энергетики Азербайджанской Республики

**Hamidov Mustafa Hamid oqlu**, Ph.D, associate professor , Azerbaijan State University of Oil and İndustry
**Afandiyev Saleh Afandi oqlu**, Ph.D, associate professor, Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Power Engineering İnstitute
**İsmailov Rauf Sahib oqlu** , doktoral studies, Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы интеграции переменных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистему Азербайджана. В связи с тем, что Азербайджан является страной с огромным потенциалом для развития ВИЭ, страна поставила цель достичь 30% мощности ВИЭ (включая гидроэнергетику) к 2030 году. На сегодняшний день основное внимание в

области ВИЭ уделяется солнечной энергетике и ветроэнергетике, при планировании, разработке и введении в эксплуатацию в период 2022-2024 годы (без учета гидроэнергетики) около 470 МВт ВИЭ - 230 МВт по солнечной, 240 МВт по ветровой энергетике. В работе рассмотрены также организационные, технические, режимные и экономические вопросы интеграции этих ВИЭ в в энергосистему Азербайджана.

**Abstract.** The article deals with the integration of variable renewable energy sources (RES) into the energy system of Azerbaijan. Due to the fact that Azerbaijan is a country with a huge potential for the development of renewable energy, the country has set a goal of reaching 30% of the renewable energy capacity (including hydropower) by 2030. Up to date, the main focus in the field of renewable energy is on solar energy and wind energy, with planning, development and commissioning in the period 2022-2024 (excluding hydropower) about 470 MW of renewable energy - 230 MW for solar, 240 MW for wind energy. The paper also considers the organizational, technical, regime and economic issues of integrating these renewable energy sources into the energy system of Azerbaijan.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии (ВИЭ), ветровая электростанция (ВЭС), солнечная электростанция (СЭС), интеграция, энергосистема.

**Keys words:** renewable energy sources (RES), wind power plant (WPP), solar power plant (SPP), bioenergy station, integration, energy system.

Быстро развивающаяся экономика Азербайджана хотя исторически была основана преимущественно на нефти и природном газе, в настоящее время существует реальная необходимость в модернизации, о чем свидетельствует в последние годы существенное падение цен на нефть и общая неустойчивость цен. Переходу к модернизированной энергетической сис-теме способствует тот факт, что Азербайджан является страной с огромным потенциалом для развития возобновляемых источников энергии. По предварительным расчетам общий потен-циал Республики по использованию ВИЭ с точки зрения экономической

эффективности и технической доступности оценивается около 26 940 МВт, в том числе по ветроэнергетики 3000 МВт, по солнечной энергетики 23040 МВт, по биоэнергии 380 МВт, по малой гидроэнергетики 520 МВт [1]. Таким образом, страна поставила цель достичь 30% мощности возобновляемых источников энергии (включая гидроэнергетику) к 2030 году. Кроме того, согласно Парижского соглашения, страна взяла на себя обязательство по сокращению выбросов парниковых газов.

Общая установленная мощность Азербайджана составляет более 7,5 ГВт: 6,5 ГВт электроэнергии, работающей на нефти и газе, и 1,1 ГВт - гидроэнергетики. Страна ежегодно вырабатывает 26 ТВт-ч электроэнергии, в основном из природного газа и нефти (12 и 11 ТВт-ч соответственно). По сравнению с возобновляемыми источниками энергии (включая гидроэнергетику), на долю которых в 2021 г. пришлось 2 ТВт-ч (8%).

На сегодняшний день основное внимание в области возобновляемых источников энергии уделяется солнечной энергетике и ветроэнергетике, при планировании, разработке и введении в эксплуатацию в период 2022-2024 годы (без учета гидроэнергетики) около 470 МВт новых возобновляемых электростанций. Таким образом, очевидно, что солнечная электростанция мощностью 230 МВт «Алят» и ветровая электростанция 240 МВт «Пирекешкуль - Хызы» потенциально знаменует собой значительный шаг к достижению целей страны в области возобновляемых источников энергии (рис.1).

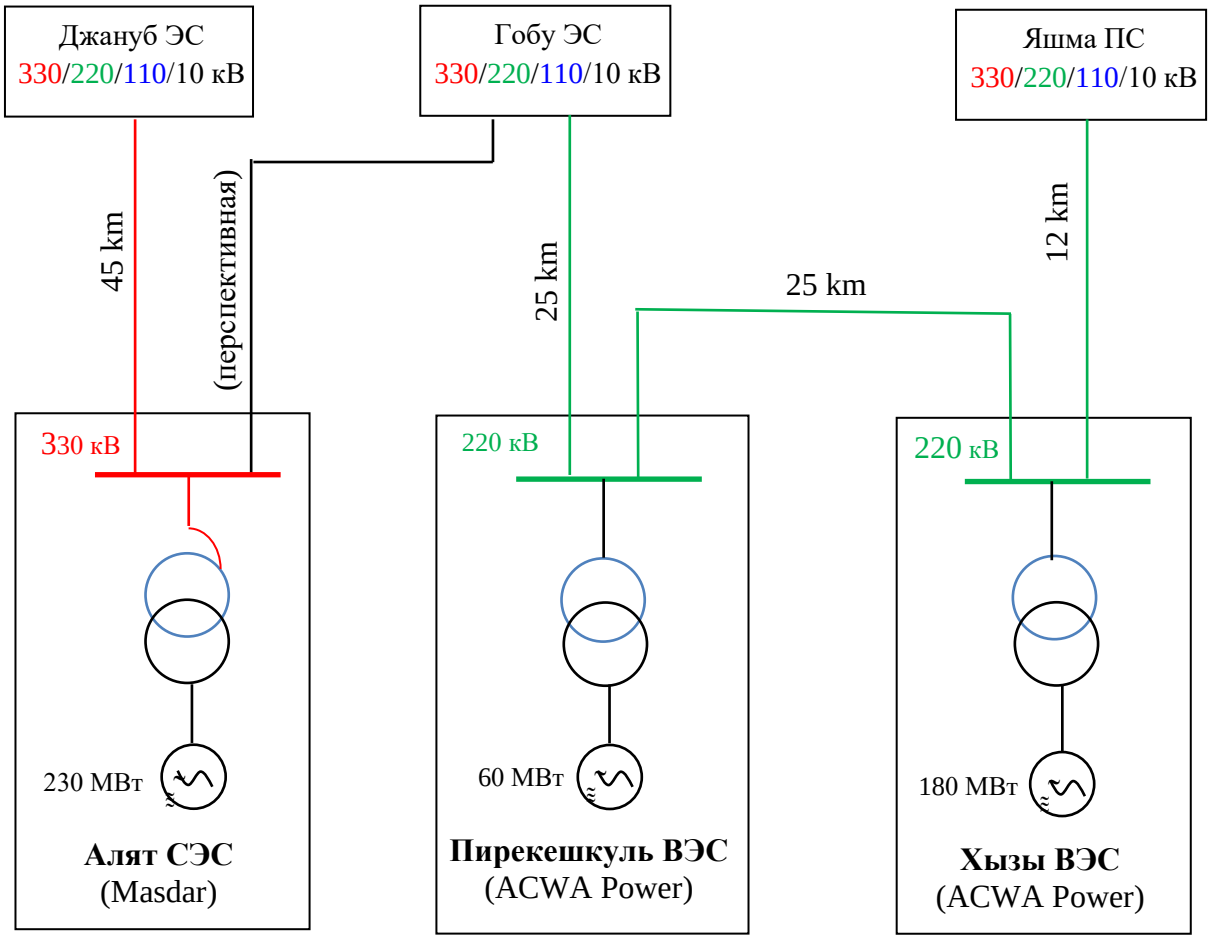



*Рис. 1.1. Схема соединения Алят СЭС, Пирекешкуль и Хызы ВЭС в Энергосистему*

Эти проекты осуществляются компанией «ACWA Power» Саудовской Арабии и компанией «Masdar» Объединенные Арабские Амириаты совместно с национальной электроэнергетической компанией «Azerenerji». Эти ВИЭ будут присоединятся к энергосистемы Азербайджана через ЛЭП 220-330 кВ. Проектирование связывающих ЛЭП 220-330 кВ уже завершено и продолжается работа по их строительству.

В связи со строительством и введением в эксплуатацию вышеуказанных возобновляемых электростанций, в настоящее время проводятся исследования в отношении интеграции ВИЭ в энегосистемы Азербайджана с целью изучения влияния их в режимы работы функционирования энергосистемы республики.

Обычно в глобальном масштабе условно выделяют четыре этапа (фазы) интеграции переменных ВИЭ и связанные с ними ключевые проблемы,

дифференцированные по возрастающему воздействию растущей доли генерации ВИЭ на энергетические системы (Таблица 1), которые могут быть полезными и для энергосистемы Азербайджана. Очевидно, что эти четыре фазы для различных стран и регионов в зависимости от местных условий и потенциалов по ВИЭ будут отличаться друг от друга как в отношении продолжительности этих этапов, так и в отношении применения инновационных техники и технологии.

На первом этапе, когда доля ВИЭ в годовой выработке не превышает 3%, специальных мер для ее интеграции обычно не требуется, если только ВИЭ не являются сильно локализованными в энергосистеме. На втором этапе, когда доля ВИЭ составляет 3-15%, необходима адаптация имеющихся ресурсов регулирования, технологий и способов управления энергосистемой. На третьем этапе, когда доля ВИЭ превышает 15% от годовой выработки, а также дальнейших стадиях уже требуется глубокая перестройка работы энергосистемы и внедрение новых средств и инструментов поддержания работы энергосистемы. Четвертая стадия - более 50% годовой выработки ВИЭ-генерации.

Для успешной интеграции такого объема ВИЭ-генерации в энергосистему необходимо, прежде всего, решить вопросы стандартизации технических требований к вводимому оборудованию ВИЭ. Автоматика ограничения снижения и повышения напряжения и частоты должна соответствовать параметрам системы. Также необходимо учитывать, что в разных странах нормативы отклонения частоты электрического тока отличаются, соответственно, у генерирующего оборудования разных производителей реакция на изменение частоты тоже может быть разной. Если ВИЭ не будут соответствовать необходимым техническим требованиям, они могут стать потенциальным источником аварий. То же самое относится к работе релейной защиты этих объектов. Все эти технические требования могут и должны быть установлены на уровне документов регуляторов

В настоящее время фаза 4 является самой высокой фазой интеграции ВИЭ, которая была достигнута на практике. Небольшое число стран и регионов (например, Дания, Ирландия и Южная Австралия) достигли фазы 4, но многие другие энергосистемы все еще находятся на фазах 1 и 2 и имеют 5-10% долей ВИЭ в годовом производстве электроэнергии. Однако общее направление этого перехода уже ясно: для большинства стран ожидаются более высокие этапы системной интеграции, что отражается в увеличении уровней развертывания ВИЭ. На четвертой стадии развитие не останавливается и можно выделить пятую и шестую фазы. Переход между фазами не происходит внезапно от одной к другой. Вопросы, относящиеся к гибкости, будут постепенно появляться на втором этапе, прежде чем стать отличительной чертой третьего этапа. В свою очередь, некоторые проблемы, связанные со стабильностью системы, могут стать очевидными уже на третьем этапе.

Основные фазы (этапы) интеграции переменных ВИЭ [2].

Таблица 1

| | Признаки | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Фаза 1 | Фаза 2 | Фаза 3 | Фаза 4 |
| Характеристика системных позиций | Переменные ВИЭ на системном уровне рассматривается как ненаблюдаеая нагрузка | Переменные ВИЭ становятся наблюдаемы на системном уровне системным оператором | Гибкость становится существенной с большими колебаниями в балансе генерации/ потребления | Устойчивость становится существенной. ВИЭ покрывают значительную долю спроса в определенные моменти времени |
| Воздейсвие на существующие генераторы | Не наблюдается разница между полной и полезной нагрузками электростанции | Нет значительного увеличения неопределенности, но имеются небольшие изменения в графиках работы существующих генераторов | Большие изменения в графиках работы. Сокращение числа генераторов, работающих по заданному графику | Небольшое число ЭС ра ботают по графику; все ЭС должны подстраивать производство электроэнергии в соответствии с ВИЭ |
| Воздейсвие на сеть | Условия локальной сети вблизи точек присоединения | Очень вероятно воздействие на условия местных сетей; возможны сетевые ограничения, обусловленные изменением потоков мощности в передающей сети | Значительные изменения в потоках мощности передающей сети, увеличение потоков мощности между сетями разных классов наприжения | Способность сети противостоять возмущениям снижается |
| Проблемы зависят в основном от: | Локальных условий в сети | Соответствия спроса и производства электроенергии ВИЭ | Наличия «гибких» источников | Способность системы противостоять возмущениям |

Доля ВИЭ во многих странах выросла за последние несколько лет[3]. В 2015 году насчитывалось чуть более 30 стран с ежегодной долей генерации ВИЭ более 5%; к 2018 году это число возросло почти до 50 стран. Ожидается, что доли ВИЭ во многих странах и / или регионах вырастут с 5-10% до 10-20% в течение следующих пяти лет (IEA, 2018) [4].

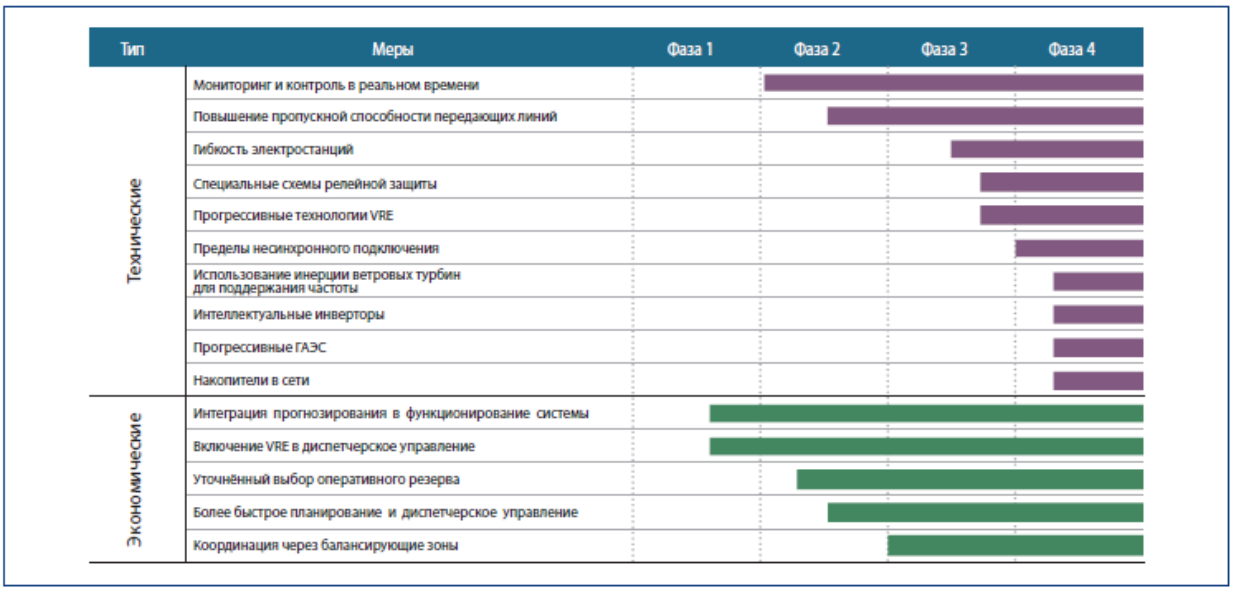



*Рис.2. Технологии и эксплуатационные практики для различных фаз развития VRE ( переменные ВИЭ)*

Для решения проблем интеграции актуальным является рассмотрение ряда технических и экономических мер, дифференцированных по этапам развертывания переменных ВИЭ, которые представлены на рис. [2].

Ветровая и солнечная энергетика может «безболезненно» интегрироваться в систему с помощью соответствующих стратегий интеграции, в том числе:

* Оказание солнечными и ветровыми электростанциями системных услуг, для которого необходимы соответствующие изменения в нормативной базе.

* Развертывание объектов ВИЭ генерации в тех районах, где они могут обеспечивать большую системную ценность (например, ближе к местам наивысшего спроса).

* Диверсификация источников энергии – взаимное дополнение солнечной и ветровой генерации с параллельным развитием гидроэнергетики.

* Локальная интеграция с другими ресурсами. Речь идет о повышении доли собственного (локального) потребления энергии, производимой на месте, благодаря использованию комплекса (пакета) решений. Например, комбинация солнечных электростанций с накопителями энергии и использование механизмов по управлению спросом. Это снижает потребность в инвестициях в распределительные сети.

* Оптимизация периода генерации. Конструкция ветровых и солнечных установок может быть оптимизирована для облегчения их интеграции в сеть. Например, использование больших лопастей на ветряной турбине с той же мощностью уменьшает интеграционные вызовы, поскольку они производят электричество с большей стабильностью. Детальное моделирование в рамках проекта МЭА показало, что такая конструкция производит электричество с более высокой ценностью для системы.

* Комплексное планирование, мониторинг и контроль. Стоимость разных технологий генерации и производимая ими электроэнергия динамично меняются. Следовательно, оптимальная структура генерации также меняется со временем, что требует регулярной корректировки стратегий.

Для обеспечения согласованной работы различных типов генерирующих источников, систем передачи и распределения энергии, систем управления спросом, накопителей энергии и других систем ключевое значение имеет интегральное планирование, которое в новых условиях должно включать в себя решение следующих актуальных вопросов:

- учет стохастичности выработки электроэнергии ветровыми и солнечными электростанциями;

- управление со стороны спроса;

- интегральное планирование системы генерации, передачи и распределения электроэнергии;

- планирование и функционирование сетей низкого и среднего напряжения с учётом развития распределённой генерации;

- межотраслевое планирование между электроэнергетикой и другими секторами, в том числе теплоснабжения, охлаждения, транспорта.

В работе [5] проведено исследование энергосистемы, необходимого для проверки возможности строительства двух новых ветряных электростанций для обеспечения безопасной и стабильной работы энергосистемы Азербайджана. Это исследование основано на техническом анализе сети, который учитывает системные ограничения, такие как перегрузка линии электропередачи, рабочие уровни напряжения системы и стабильность системы, когда генерация подключена к энергосистеме в точке соединения (ТС) и определяет совместимость системы ВЭС с выбранной точкой подключения к сети в энергосистеме. Он показывает жизнеспособность присоединения и определяет необходимые изменения в сетевой инфраструктуре, если они требуются.

Таким образом, с точки зрения электрической функциональности системы, интеграция ветряных электростанций в Хызы и Пирекешкуль на подстанциях Хызы 220 кВ и Пирекешкуль 220 кВ технически осуществима и не повлияет отрицательно на передающую сеть Азербайджана.

Согласно результатам анализа устойчивого состояния в этом отчете, ветряные электростанции не оказывают отрицательного воздействия на систему, а в некоторых случаях фактически помогают поддерживать систему с существующими нарушениями в некоторых чрезвычайных ситуациях. Также анализируются в аварийных условиях непредвиденных обстоятельств (N-1), которые представляет собой потерю одной единицы оборудования из всей сети, например, линии передачи, трансформатора или генератора. В ходе анализа рассчитывается загрузка ЛЭП возле ВЭС и сравнивается с максимальной пропускной способностью линий.

Доказано, что реактивная мощность ВЭС достаточна для выполнения соответствующих требований. Реактивная мощность, соответствующая коэффициенту мощности 0,95 (опережающий и запаздывающий), может передаваться ветряными электростанциями для самых экстремальных напряжений, обнаруживаемых при нормальной работе (0,90 и 1,10 о.е.).

Также был проведен анализ короткого замыкания (КЗ), и результаты показывают уровни тока КЗ, которые можно ожидать в пределах ВЭС для всех соответствующих уровней напряжения. Было также доказано, что добавление ветряных электростанций не приводит к значительному повышению уровней КЗ в системе.

В рамках анализа КЗ был включен расчет прочности системы в точке соединения. Расчетное значение коэффициента КЗ составило 55,5 и 16,9 для ПС Хызы и ПС Пирекешкуль соответственно, что выше значения 5, указанного CIGRE (Международного совета по большим электрическим сетям) в качестве индикатора надежности системы. указывает на то, что система сильна в этой области и более устойчива к изменениям активной и реактивной мощности.

Внезапные колебания напряжения, связанные с внезапной потерей любой ветряной электростанции, по расчетам составили 0,4 и 0,3 для ПС Хызы и ПС Пирекешкуль. Эти значения находятся в допустимом диапазоне (<1%).

Анализ переходных процессов показал, что значения напряжения, углы, частота и результаты расчетов напряжения находятся в пределах требований норм электросети.

Результаты динамического анализа показывают, что для данного небольшого изменения нагрузки (с и без подключенных ветряных электростанций) коэффициенты демпфирования равны $\xi$ = -34% и $\xi$ = -34%, соответственно. Поэтому система очень демпфированная.

Гармонический анализ обнаружил необходимость установки пассивных фильтров для гармоник порядков 8, 9 и 13. Также было показано, что установка таких фильтров дает THD (общее гармоническое искажение тока ) менее 1,5%.

В настоящее время продолжается исследование также в отношении влияния интеграции солнечной электростанции «Алят» на режимы работы функционирования энергосистемы Азербайджана. В рамках этих исследований с учетом международного опыта рассматриваются вопросы, характерные различным уровням интеграции в энергосиситему, в том числе: проблемы возникновения перенапряжений в результате влияния напряжения и реактивной мощности

системы СЭС; возникновение в периоде течения переходного процесса (особенно в случае интеграции более 20%) лавины напряжения; проверка устойчивости энергосистемы по частоте и напряжению; изменения демпфирующей способности системы в результате влияния уровня интеграции СЭС на ее инерционность; влияние на гибкость энергосистемы и т.д.

Нами в [6] рассматривался экологический аспект данного вопроса, в результате которого установлено, что в ближающие 2 года ввод в энергосистему Азербайджана СЭС мощностью 230 МВт «Алят» и ВЭС мощностью 240 МВт «Пирекешкуль - Хызы» с ежегодным производством около 1,4 млрд кВт электроэнергии позволит сэкономить 300 млн кубических метров сжигаемого природного газа, что приводит с одной стороны к улучшению экологического состояния, а с другой стороны – увеличению объема экспорта природного газа республики в другие страны.

**Литература:**

1. Эфендиев С.Э., Гамидов М.Г., Исмаилов Р.С. Современное состояние применения ВИЭ в Азербайджане и приоритеты перспективного развития. – в журнале « Вестник ВТУЗ Азербайджана» том 12, вып. 01 2022.- стр 73-82 – https: // scia.website/index.php/pahtei/.
2. Расширение трансграничного энергетического сотрудничества посредством внедрения солнечной и ветровой энергии в энерго системы стран СНГ для поддержки достижения ЦУР7- проект Отдела устойчивой энергетики ЕЭК ООН. 2020.
3. https://www.iea.org/reports/stus-of-power-system-transformation-2019.
4. “WindEurope – history”, https://windeurope.org/about-wind/history, (accessed 10 September 2019.
5. Исследование воздействия на сеть. Финальный отчет. – Mercados-Aries İnternational. 2021.-93 стр.
6. Эфендиев С.Э, Гамидов М.Г., Исмаилов Р.С. Экологические проблемы применения ВИЭ и новые технологические подходы. II международная

конференция « Реконструкция и восстановление в постконфиликтных ситуациях».- Азербайджан, Баку, феврал 24-25, 2022. Стр.73-83.

**References**

1. Efendiev S.E., Gamidov M.G., Ismailov R.S. The current state of the use of renewable energy in Azerbaijan and the priorities of long-term development. - in the journal "Vestnik VTUZ of Azerbaijan" volume 12, no. 01 2022.- pp. 73-82 – https: // scia.website/index.php/pahtei/.
2. Expansion of cross-border energy cooperation through the introduction of solar and wind energy into the energy systems of the CIS countries to support the achievement of SDG7 - a project of the UNECE Sustainable Energy Division. 2020.
3. https://www.iea.org/reports/stus-of-power-system-transformation-2019.
4. “WindEurope – history”, https://windeurope.org/about-wind/history, (accessed 10 September 2019.
5. Study of the impact on the network. Final report. – Mercados-Aries International. 2021.-93 pp.
6. Efendiev S.E., Gamidov M.G., Ismailov R.S. Environmental problems of RES application and new technological approaches. II International Conference "Reconstruction and Recovery in Post-Conflict Situations" - Azerbaijan, Baku, February 24-25, 2022. Pp.73-83.

*© Гамидов М.Г., Эфендиев С.Э., Исмаилов Р.С., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.*

**Для цитирования:** Гамидов М.Г., Эфендиев С.Э., Исмаилов Р.С. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ПЕРЕМЕННЫХ ВИЭ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ АЗЕРБАЙДЖАНА // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.