

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ ЗАРЯДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Б. Құттыбай[✉], О.Б. Байболов^{id}

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: nurjigit.10.93@gmail.com

В работе проводится исследование эффективности контроллеров отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) и широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в фиксированных фотоэлектрических системах и системах с солнечными трекерами. Основное внимание уделено возможности снижения финансовых затрат за счет замены более дорогих контроллеров ОТММ на ШИМ контроллеры без потери общей эффективности генерации энергии. Для проверки гипотезы о различной эффективности контроллеров были использованы т-критерий Стьюдента и критерий Колмогорова-Смирнова (КС). Результаты для фиксированных фотоэлектрических систем показали отсутствие значительных различий в выработке энергии между двумя типами контроллеров ($t=0,935$, $p=0,20$; КС-тест: $p=0,1963$). Однако для систем с одноосными и двухосными солнечными трекерами преимущество контроллеров ОТММ было подтверждено значениями $t=2,203$ и $t=2,087$ при низких уровнях значимости ($p=0,01$ и $p=0,0025$). Эти результаты подчеркивают влияние выбора типа контроллера на производительность систем и дают возможность оптимизировать затраты при проектировании эффективных и экономически выгодных решений в области возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: т-критерий Стьюдента, критерий Колмогорова-Смирнова, солнечная энергетика, контроллер, солнечный трекер.

STATISTICAL ANALYSIS OF CHARGE CONTROLLERS FOR VARIOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

N.B. Kuttybay[✉], O.B. Baibolov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

✉ e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

The paper studies the efficiency of maximum power point tracking (MPPT) and pulse width modulation (PWM) controllers in fixed photovoltaic systems and systems with solar trackers. The main attention is paid to the possibility of reducing financial costs by replacing more expensive MPT controllers with PWM controllers without losing the overall efficiency of energy generation. To test the hypothesis about different efficiency of the controllers, Student's t-test and Kolmogorov-Smirnov (KS) test were used. The results for fixed photovoltaic systems showed no significant differences in energy generation between the two types of controllers ($t=0.935$, $p=0.20$; KS test: $p=0.1963$). However, for systems with single-axis and dual-axis solar trackers, the advantage of MPT controllers was confirmed by the values $t=2.203$ and $t=2.087$ at low significance levels ($p=0.01$ and $p=0.0025$). These results highlight the impact of controller type selection on system performance and provide an opportunity to optimize costs when designing efficient and cost-effective renewable energy solutions.

Keywords: Student's t-test, Kolmogorov-Smirnov test, solar energy, controller, solar tracker.

ЗАРЯД КОНТРОЛЛЕРІН ӘР ТҮРЛІ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН СТАТИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

Н.Б. Құттыбай[✉], О.Б. Байболов

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

✉ e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

Жұмыста максималды қуат нүктесін бақылау (МҚНБ) және ендік импульстік модуляциясы (ЕИМ) контроллерлерінің стационарлы күн панелдерімен және күн трекерлерімен тиімділігі зерттеледі.

Мұндағы басты назар аударатын мәселе қымбатырақ МҚНБ контроллерлерін ЕИМ контроллерлерімен алмастыру арқылы энергия түрлендіруінің жалпы тиімділігін жоғалтпай қаржылық шығындарды азайту мүмкіндігіне ие болу. Контроллерлердің тиімділігінің айырмашылығына қатысты гипотезаны тексеру үшін Стюденттің t-критерийі және Колмогоров-Смирнов (КС) критерийі қолданылды. Стационарлы фотоэлектрлік жүйелер үшін алынған нәтижелер екі түрлі контроллер арасындағы энергия өндіруде елеулі айырмашылықтардың жоқтығын көрсетті ($t=0,935$, $p=0,20$; КС-тест: $p=0,1963$). Алайда, бір осьті және екі осьті күн трекерлері үшін МҚНБ контроллерлерінің артықшылығы $t=2,203$ және $t=2,087$ мәндерімен төмен мәнділік деңгейлерінде ($p=0,01$ және $p=0,0025$) расталды. Бұл нәтижелер контроллер түрін таңдау арқылы жүйелердің өнімділігіне әсерін көрсетеді және жаңартылатын энергетика саласында тиімді, экономикалық жағынан үнемді шешімдерді жобалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Стюдент t-критерийі, Колмогоров-Смирнов критерийі, күн энергетикасы, контроллер, күн трекері.

Введение. Увеличение потребления энергии ставит новые вызовы для энергетической отрасли, и солнечная энергия становится важным источником альтернативной энергии для промышленности и частного сектора. Современные солнечные панели, особенно кремниевые, имеют низкий коэффициент полезного действия из-за особенностей структуры и внешних факторов [1]. Для повышения эффективности работы фотоэлектрических систем применяются различные методы и технологии. Одним из решений являются солнечные трекары, которые бывают одноосными и двухосными. Также для повышения эффективности используются контроллеры постоянного тока, такие как контроллеры отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) и контроллеры широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Контроллеры ОТММ позволяют оптимально подбирать нагрузку в изменяющихся условиях, что увеличивает эффективность панелей и способствует более корректной зарядке аккумуляторов, продлевая их срок службы [2].

Системы ОТММ можно разделить на оффлайн и онлайн методы [3, 4]. Оффлайн методы, такие как дробное напряжение холостого хода и дробный ток короткого замыкания, основаны на заранее установленных математических зависимостях и параметрах, таких как ток короткого замыкания и напряжение холостого хода, однако они не адаптируются к изменениям погодных условий, что ограничивает точность ОТММ при из-

менении освещённости и температуры, а также требуют дорогостоящего оборудования для измерения параметров, что снижает их практическую применимость [5]. В отличие от них, онлайн методы, такие как возмущение и наблюдение и метод приращения проводимости, обеспечивают точное ОТММ в любых погодных условиях и характеризуются высокой универсальностью, так как подходят для любых типов солнечных панелей и не требуют предварительных данных о характеристиках модуля. Эти методы отличает простота реализации, низкая стоимость и способность продлить срок службы солнечных батарей, а также увеличить количество циклов зарядки и разрядки аккумуляторов [6].

Одно из исследований анализировало работу двухосного солнечного трекера с контроллером ОТММ, который обеспечил увеличение эффективности на 16,46% по сравнению с фиксированной установкой [7]. Другое исследование показало рост производительности на 47% при использовании контроллера ОТММ по сравнению с фиксированной системой [8]. В статье [9] была разработана одноосная система слежения за солнцем с контроллером ОТММ, которая оказалась на 43% эффективнее фиксированной фотоэлектрической системы с контроллером ШИМ. Также изучалось использование контроллера ОТММ как в одноосной системе слежения, так и в фиксированной системе. Результаты показали, что одноосная система превосходит фиксированную по производительности на 12–20% [10].

Однако, несмотря на преимущества, большинство солнечных электростанций в мире по-прежнему используют фиксированные фотоэлектрические установки [11]. Применение контроллеров ОТММ в таких системах может существенно повысить их эффективность. В связи с недостатком информации по этой теме, целью данной работы является анализ целесообразности использования контроллеров ОТММ с фиксированными фотоэлектрическими установками и солнечными трекерами в долгосрочной перспективе. Кроме того, исследуется возможность снижения финансовых затрат за счёт замены контроллеров ОТММ на контроллеры ШИМ без потерь в производительности фотоэлектрических систем.

В данном исследовании использованы критерий Стюдента и критерий Колмогорова-Смирнова для оценки эффективности контроллеров заряда аккумуляторов, что позволило сравнить выборки по средним значениям и оценить соответствие распределений [12, 13]. Анализ проводился на основе данных о глобальной горизонтальной радиации (ГГР) в Алматы и выходных мощностях фотоэлектрических систем с контроллерами ОТММ и ШИМ, применённых как в фиксированных установках, так и в солнечных трекерах. Мы разработали контроллер ОТММ на базе микроконтроллера Atmega328 с алгоритмом возмущение и наблюдение, что обеспечило простоту и доступность системы. Экспериментальные результаты подтвердили высокую эффективность контроллера ОТММ, а их сопоставление с расчетными данными продемонстрировало его явные преимущества. Новизна работы заключается в применении статистических методов для сравнительного анализа эффективности контроллеров на основе реальных данных ГГР, что способствует более глубокому пониманию влияния различных контроллеров на производительность фотоэлектрических систем и может послужить основой для выбора оптимальных решений при их проектировании и эксплуатации.

В работе представлены исследования производительности фотоэлектрических систем с контроллерами ОТММ и ШИМ, включая расчёт их

эффективности и статистический анализ полученных данных. Описан процесс разработки экспериментальной установки и блоков управления солнечным трекером. Включены результаты экспериментов, экспериментальные данные и их статистический анализ.

Материалы и методы. В рамках исследования был выполнен теоретический расчет вырабатываемой мощности для фиксированных фотоэлектрических систем, а также одноосных и двухосных трекеров, с учетом солнечной радиации, поступающей в течение года в Алматы. Были использованы данные солнечного излучения за 2024 год, включающие показатели ГГР, прямой нормальной радиации (ПНР) и рассеянного излучения (РИ). Расчет количества солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность земли, осуществлялся по следующей формуле:

$$\text{ГГР} = \text{ПНР} * \cos\theta_{\text{сол}} + \text{РИ} \quad (1)$$

где $\theta_{\text{сол}}$ — это угол высоты солнца над горизонтом.

Мощность, вырабатываемая фотоэлектрической системой, зависит от ее конструктивных особенностей. Расчет солнечной радиации для фиксированных ($G_{\text{ф}}$) панелей, одноосных ($G_{\text{о}}$) и двухосных ($G_{\text{д}}$) солнечных трекеров выполнен с использованием уравнений (2-4).

$$G_{\text{д}} = \text{ПНР} + \text{РИ} \quad (2)$$

$$G_{\text{о}} = \text{ПНР} * \cos(\Delta\theta) + \text{РИ} \quad (3)$$

$$G_{\text{ф}} = \text{ПНР} * \cos(\Delta\theta) * \cos(\Delta\gamma) + \text{РИ} \quad (4)$$

где $\delta\theta$ — это угол между нормалью к поверхности солнечной панели и направлением на Солнце в вертикальной плоскости, а $\Delta\gamma$ — угол между нормалью к поверхности панели и направлением на Солнце в горизонтальной плоскости.

Одноосные солнечные трекеры ориентируются на Солнце по азимуту в течение дня, при этом угол наклона панели в вертикальной плоскости

остаётся фиксированным и определяется географической широтой, на которой расположена фотоэлектрическая система. Для Алматы оптимальный угол наклона солнечной панели составляет 45 градусов. В этом положении устанавливаются как фиксированные панели, так и одноосные трекеры.

Расчет выработки электроэнергии (E) осуществляется в соответствии с уравнением (5).

$$E = G * \eta_{\text{п}} * \eta_{\text{к}} * A \quad (5)$$

где g — мощность солнечного излучения, рас-

считанная по уравнениям (2-4) для трех типов фотоэлектрических систем, η — КПД солнечной панели, η — КПД контроллера, A — площадь поверхности солнечной панели. Для расчетов использовалась солнечная панель номинальной мощностью 60 Вт. В качестве контроллеров рассматривались ОТММ и ШИМ. КПД контроллера ОТММ принят в диапазоне 97,5–80%, а ШИМ — в диапазоне 85–75%. На рисунке 1 представлены результаты расчетов выходной мощности фотоэлектрических систем по месяцам в течение года с учетом уравнений (1–5).

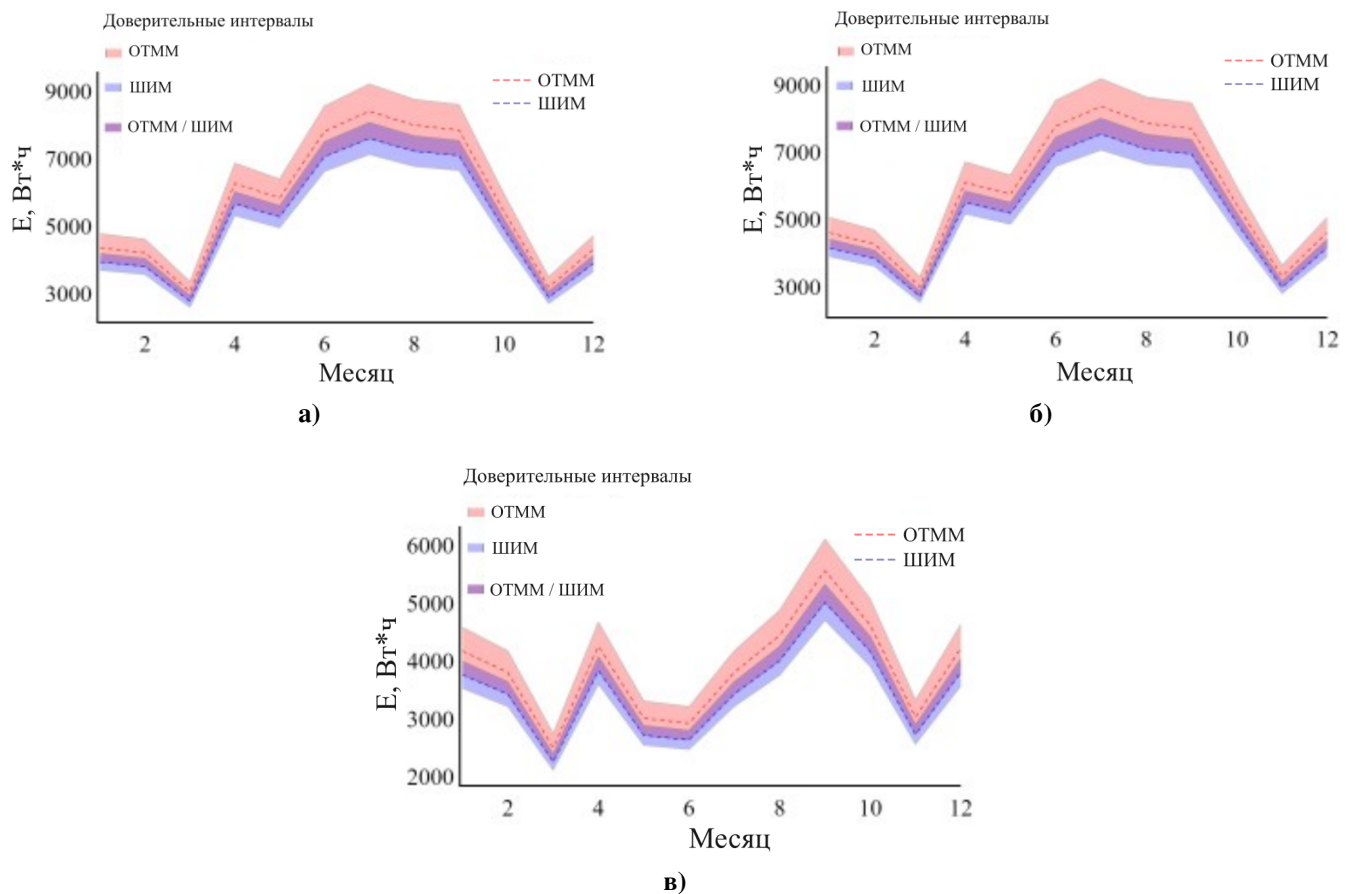


Рис.1 - Диаграммы с ошибками выходной мощности, выработанной каждой фотоэлектрической системой за 1 год: одноосный солнечный трекер (а), двухосный солнечный трекер (б), фиксированная фотоэлектрическая система (в)

Как видно из графиков на рисунке 1, выходная мощность систем с одноосным и двухосным трекерами имеет схожую форму, однако одноосный трекер генерирует меньше энергии. График

для фиксированной фотоэлектрической установки значительно отличается от первых двух как по форме, так и по величине мощности. При этом наблюдается область пересечения довери-

тельных интервалов выходной мощности для систем с контроллерами ОТММ и ШИМ. Минимальная мощность фиксированной системы составляет 2,6 кВт·ч, а для одноосного и двухосного трекеров она почти одинакова — 3,8 кВт·ч.

Входная мощность преобразуется с использованием контроллеров ОТММ и ШИМ для каждой из фотоэлектрических систем, как описано выше. При анализе системы предполагалось, что средняя выходная мощность при использовании РВМ-контроллера ниже, чем у ОТММ. Однако было выявлено значительное отклонение в распределении данных для ШИМ, что существенно влияет на его эффективность. Это можно объяснить более высокой скоростью принятия решений, присущей контроллеру ОТММ.

Для оценки эффективности работы рассматриваемых контроллеров в сочетании с различными фотоэлектрическими системами был проведен анализ с применением двух методов: критерия Стьюдента и критерия Колмогорова-Смирнова. Критерий Стьюдента представляет собой метод проверки статистических гипотез, предназначенный для определения значимости различий между двумя группами данных. В рамках данного анализа гипотеза H_a заключалась в том, что существует разница в эффективности работы контроллеров в каждой из рассматриваемых фотоэлектрических систем. Иными словами, эффективность ОТММ отличается от эффективности ШИМ. Если гипотеза верна, то выходная мощность одной и той же системы с разными контроллерами отличается ($p > \alpha$), в противном случае — идентична ($p < \alpha$). Уровень значимости был установлен как $\alpha = 0.05$.

$$H_a = \overline{Eff}_{\text{ОТММ}} \neq \overline{Eff}_{\text{ШИМ}} \quad (6)$$

$$\overline{Eff} = \frac{\sum Eff_i}{n} \quad (7)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Eff_i - \overline{Eff})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

$$m_r = \frac{Sd}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

$$t = \frac{Eff_{\text{MPPT}} - Eff_{\text{РВМ}}}{\sqrt{m_{\text{ОТММ}}^2 + m_{\text{ШИМ}}^2}} \quad (10)$$

где \overline{Eff} — среднее значение показателей эффективности контроллера, Sd — стандартное отклонение, m_r — ошибка репрезентативности.

Критерий Колмогорова-Смирнова, в свою очередь, является непараметрическим методом для проверки гипотезы о совпадении распределений двух выборок. Он широко используется для оценки соответствия эмпирических данных теоретическому распределению или для сравнения двух эмпирических распределений. В нашем исследовании этот тест был использован для дополнительной проверки различий между контроллерами в каждой фотоэлектрической системе.

Критерий Колмогорова-Смирнова определяется следующим образом:

$$K_n = \sqrt{n} * \sup_x |F_0(x) - \widehat{F}_n(x)| \quad (11)$$

Различие между методами t-критерия Стьюдента и критерия Колмогорова-Смирнова связано с типами информации, которую они обрабатывают. t-критерий Стьюдента предполагает нормальное и взаимно независимое распределение данных, в то время как критерий Колмогорова-Смирнова применяется в случае ненормального распределения данных. В рамках данного исследования оба метода были использованы для более полного анализа и проверки гипотезы, что позволило получить более надежные результаты.

Так как значения выходной мощности сильно зависят от эффективности контроллеров, были определены максимальные и минимальные пределы эффективности, как показано на рисунке 1. Для применения статистического анализа значения эффективности задавались случайным образом в пределах соответствующего диапазона. Для повышения точности статистического анализа вычисления повторялись 5000 раз. Результаты анализа каждой фотоэлектрической системы, работающей с контроллерами ОТММ и ШИМ, были получены с использованием методов теста Колмогорова-Смирнова и t-критерия. Для

проверки вышеупомянутой гипотезы p -значение должно быть меньше $\alpha=0,05$. Из результатов t -критерия, представленных на рисунке 2, видно, что для одноосного и двухосного трекера p -значение значительно меньше 0,05 при 5000 повторениях. Следовательно, мы принимаем гипотезу H_a и делаем вывод, что выходная мощность солнечных трекеров при использовании различных контроллеров существенно различается. В случае фиксированной фотоэлектрической системы наблюдаются p -значения в пределах от 0,046 до 0,27. Среднее p -значение для этой выборки составляет 0,12, что указывает на меньшую вероятность подтверждения гипотезы по сравнению с солнечными трекерами.

Результаты теста Колмогорова-Смирнова представлены на рисунке 3. Для одноосного и двухосного трекера p -значение находится на уровне 10^{-32} , что значительно меньше 0,05 при 5000 повторениях. Следовательно, мы также принимаем выдвинутую гипотезу H_a и делаем вывод, что выходная мощность солнечных трекеров при использовании различных контроллеров значительно различается. Для фиксированной фотоэлектрической системы наблюдаются p -значения в пределах от 0,1 до 0,85. Среднее p -значение для этой выборки составляет 0,4, что указывает на меньшую вероятность подтверждения гипотезы по сравнению с трекерами.

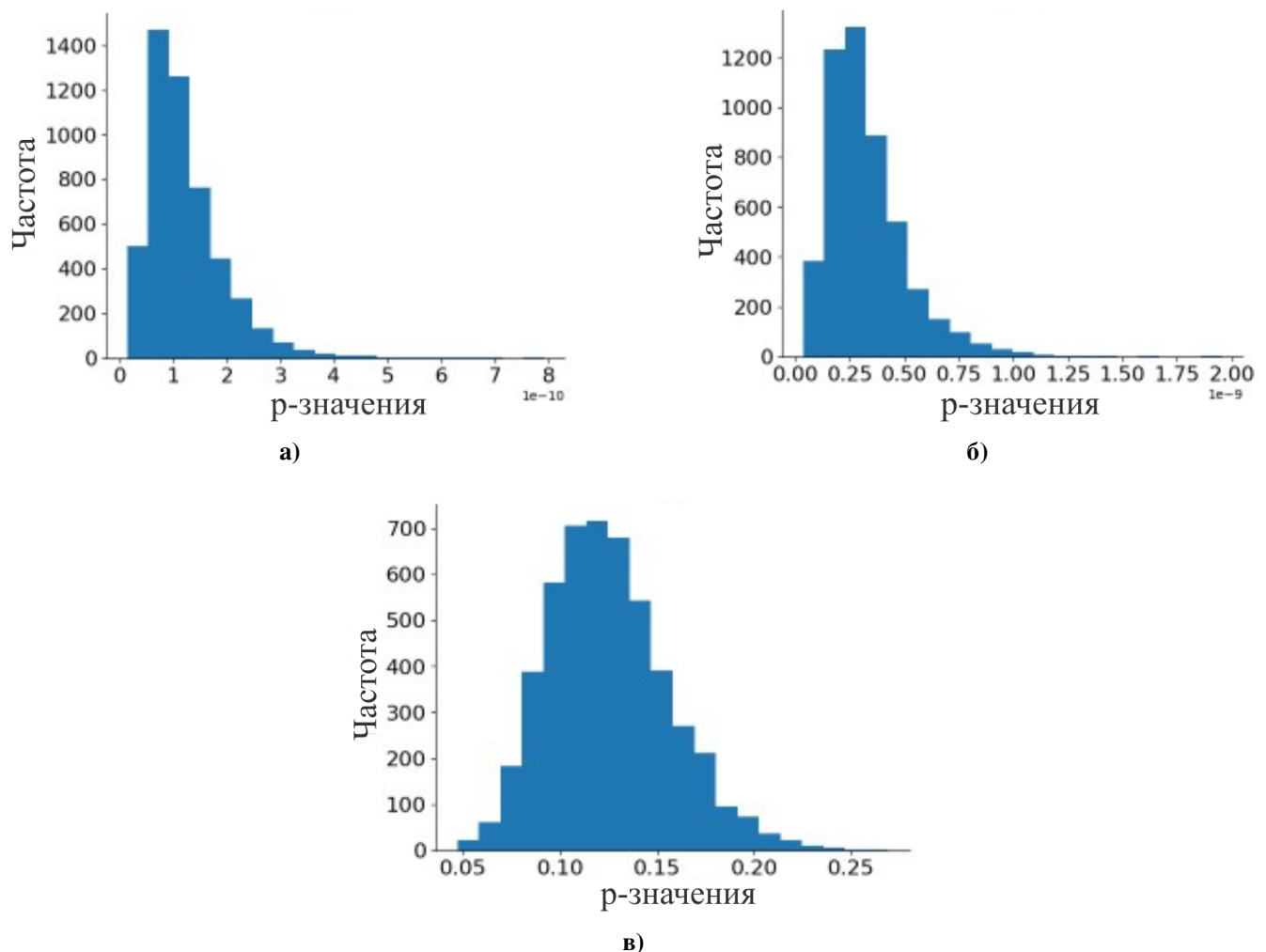


Рис.2 - Результаты t -теста: двухосный солнечный трекер (а), одноосный солнечный трекер (б), фиксированная система (в)

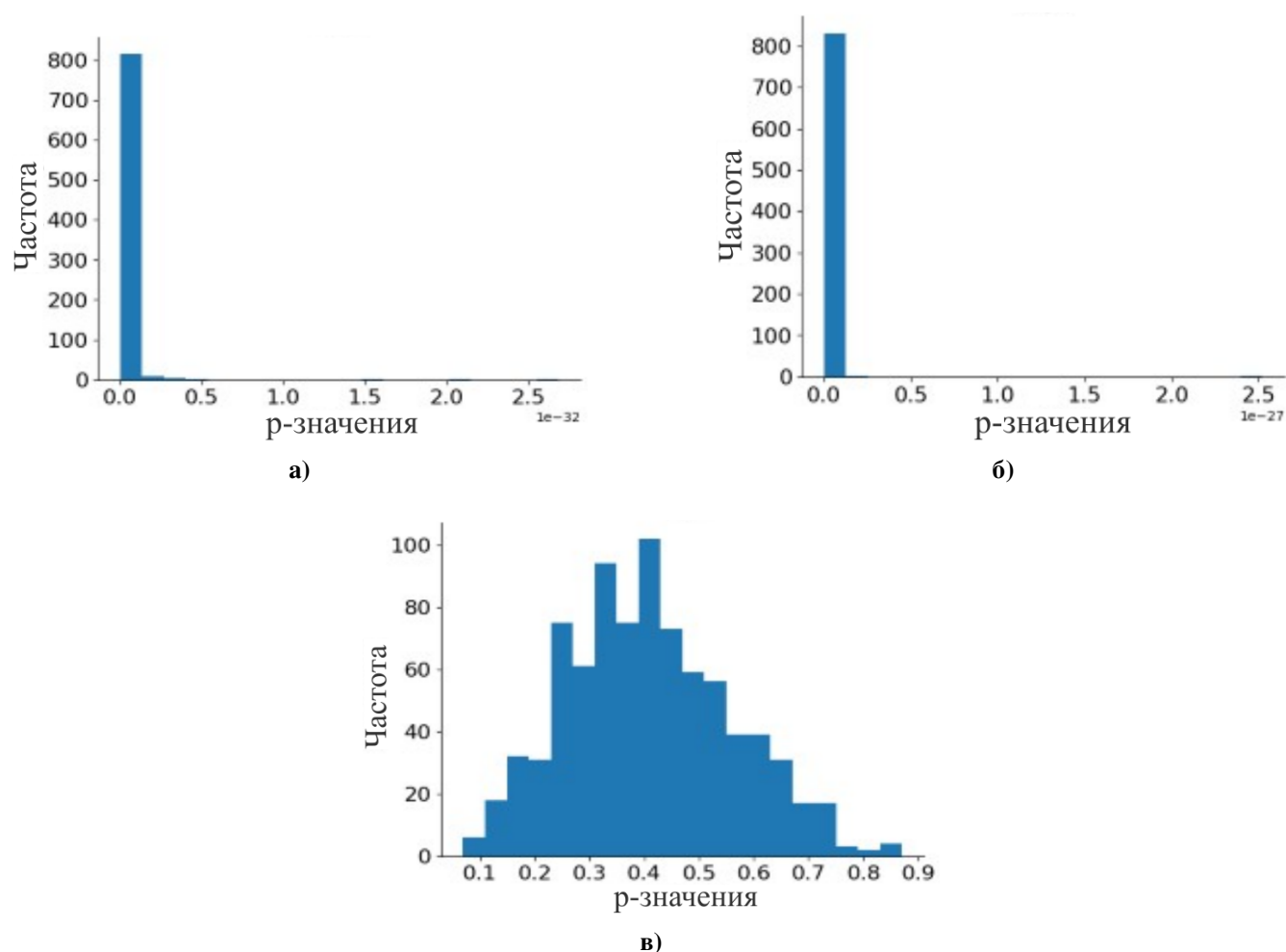


Рис.3 - Результаты теста Колмогорова-Смирнова: двухосный солнечный трекер (а), одноосный солнечный трекер (б), фиксированная система (в)

Таким образом, проведенный статистический анализ с использованием т-критерия Стьюдента и теста Колмогорова-Смирнова позволяет сделать одинаковый вывод: для фиксированных фотоэлектрических систем использование контроллеров ОТММ или ШИМ не имеет статистически значимого влияния.

Результаты и обсуждения. Цель исследования заключалась в сравнении эффективности разработанного контроллера зарядки аккумуляторов с ОТММ и контроллера зарядки аккумуляторов с ШИМ для различных типов солнечных трекеров в разных погодных условиях. Рисунок 4 показывает исследуемую экспериментальную установку. На схеме: (1) фиксированная фотоэлектрическая установка, (2) двухосный солнечный трекер, (3) одноосный солнечный трекер,

(4) электронный блок управления и аккумуляторы, подключенные к выходу контроллеров зарядки аккумуляторов в качестве нагрузки, (5) контроллеры ОТММ и ШИМ.

Экспериментальные работы проводились в ясную и частично облачную погоду. На рисунке 5 представлены графики выходной мощности фиксированной солнечной панели, одноосного и двухосного трекеров при использовании контроллера ОТММ. Средняя выходная мощность одноосного трекера с контроллером ОТММ на 12,8% и 12,5% выше, чем у фиксированной системы с аналогичным контроллером. Выходная мощность двухосного трекера с контроллером ОТММ на 15% и 13,4% выше, чем у фиксированной системы с тем же контроллером.

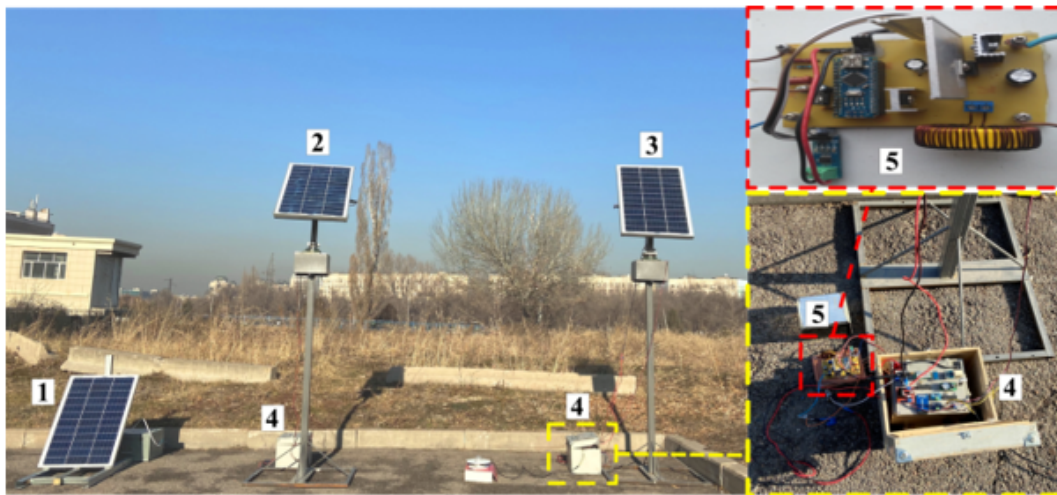


Рис.4 - Экспериментальная установка

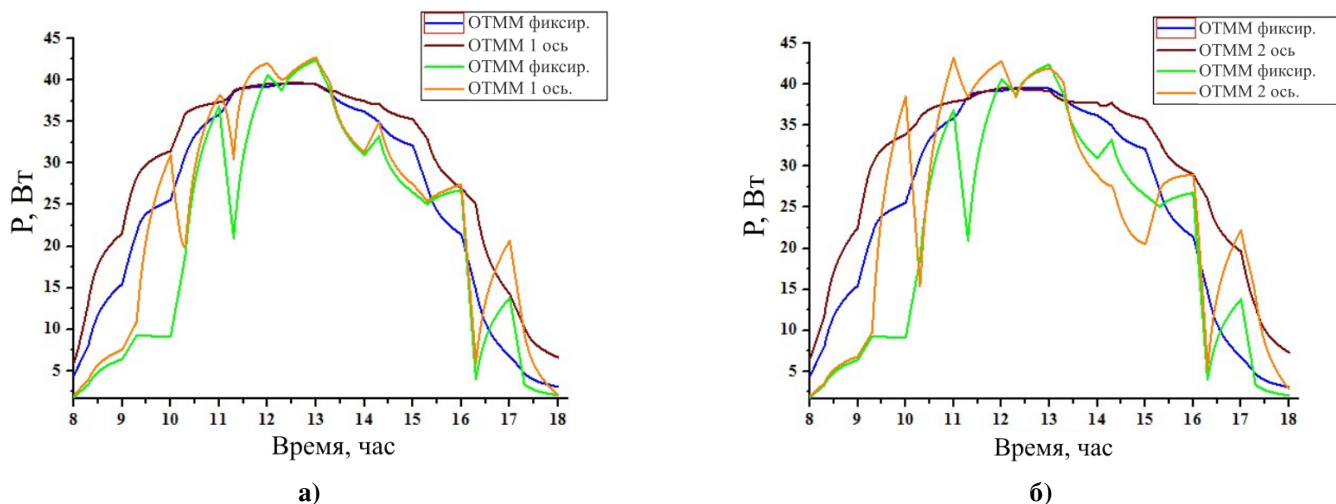


Рис.5 - Сравнение выходной мощности фиксированной солнечной панели с одноосным трекером (а) и двухосным трекером (б) с контроллерами ОТММ

Рисунок 6 показывает графики выходной мощности фиксированных панелей, одноосных и двухосных солнечных трекеров с контроллерами ОТММ и ШИМ. Эффективность одноосного трекера с контроллером ОТММ на 9,4% и 10,9% выше, чем у системы с контроллером ШИМ. Двухосный солнечный трекер с контроллером ОТММ преобразует мощность на 10,3% и 14,2% эффективнее, чем с контроллером ШИМ. Фиксированная установка с контроллером ОТММ на 9,5% и 16,5% более эффективна, чем фиксированная фотоэлектрическая установка с контроллером ШИМ.

Максимальная эффективность преобразования мощности соответствует контроллеру ОТММ с показателем 96%, в то время как максимальная эффективность преобразования мощности для контроллера ШИМ достигает 90%. В то же время минимальный показатель эффективности преобразования энергии для ОТММ составляет 80%, а для контроллера ШИМ этот показатель снижается до 70%. Эффективность преобразования мощности каждым контроллером в каждой фотоэлектрической системе показывает различные результаты

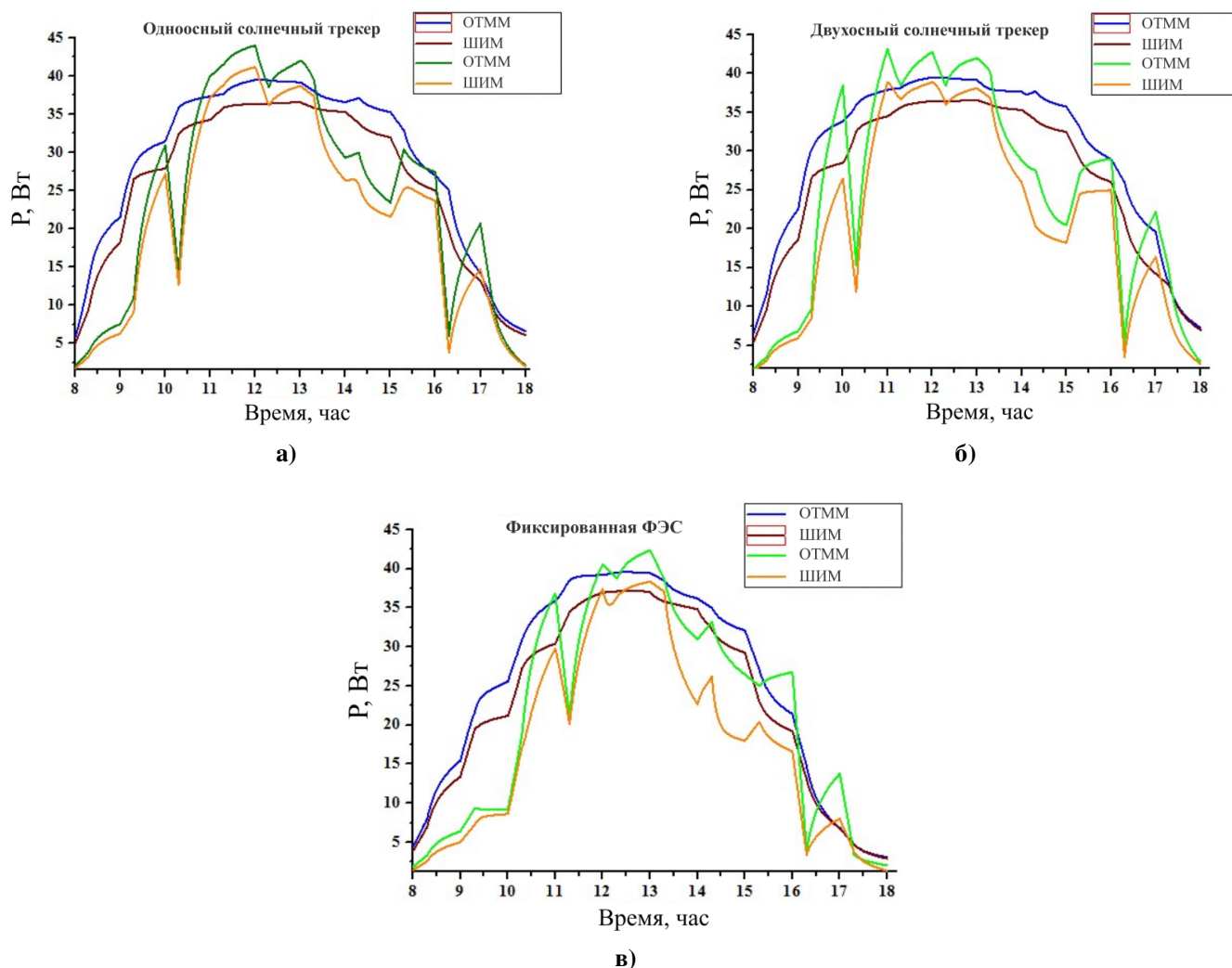


Рис.6 - Графики выходной мощности одноосных (а) и двухосных (б) солнечных трекеров, а также фиксированной системы (в) с контроллерами ОТММ и ШИМ

В таблице 1 приведены сравнительные результаты анализа работы контроллеров ШИМ и ОТММ в сравнении с использованием фиксированной солнечной панели, одноосного и двухосного солнечных трекеров с применением методов т-критерия Стьюдента и теста Колмогорова-Смирнова, а также соответствующие значения вероятности.

Таблица 1 - Результаты тестирования статистических гипотез.

	<u>Eff</u>	σ	m_r	т	р	КС	р	Достоверность
Фиксированная ФЭ система								
ШИМ	87.9	4.022	0.8776	0.935	0.20	0.3333	0.1963	60%
ОТММ	89.14	4.556	0.9942					
Одноосный солнечный трекер								
ШИМ	86.24	4.9398	1.0779	2.203	0.01	0.4285	0.0410	90%
ОТММ	89.15	3.4990	0.7635					

Двухосный солнечный трекер								
ШИМ	86.17	4.9917	1.0892	2.087	0.0025	0.4761	0.0159	95%
ОТММ	89.06	3.9194	0.8552					

Результаты статистического анализа экспериментальных данных, представленные в таблице 1, показывают, что для фиксированной системы p -значение больше 0,05 как для t -теста, так и для теста Колмогорова-Смирнова, что указывает на неверность гипотезы H_a для фиксированной системы. В то время как для одноосного и двухосного солнечных трекеров в обоих тестах p -значения меньше 0,05, что позволяет заключить, что гипотеза H_a верна для этих солнечных энергетических систем.

Выводы. В данной работе была оценена целесообразность использования контроллеров ОТММ и ШИМ для солнечных энергетических систем. Было выдвинуто предположение, что эффективность ОТММ не равна эффективности ШИМ, что было проверено с помощью статистических методов: t -теста Стьюдента и теста Колмогорова-Смирнова. Статистические тесты проводились на оценочных выходах солнечных панелей, использующих одноосный, двухосный солнечные трекеры и фиксированную систему в течение года. Расчеты проводились для контроллеров ОТММ и ШИМ при различных значениях

эффективности. Статистические тесты были выполнены на основе данных экспериментальных исследований. Результаты тестов как для расчетных данных, так и для экспериментальных позволяют сделать следующий вывод: выходная мощность фотоэлектрической системы при использовании одноосный и двухосный солнечные трекеры сильно зависит от типа контроллера, в то время как при использовании фиксированной системы зависимость от типа контроллера минимальна. Таким образом, в долгосрочной перспективе для фиксированных солнечных установок имеет смысл устанавливать контроллеры ШИМ для снижения финансовых затрат, тогда как для солнечных трекеров необходимо использовать контроллеры ОТММ для максимизации выходной мощности.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP23487428 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан и выполнена в Казахском Национальном Университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

Литература

1. Maka A. O. M., Alabid J. M. Solar energy technology and its roles in sustainable development //Clean Energy. – 2022. – Т.6. – №.3. – С.476-483.
2. Rajesh T. et al. Design and implementation of an automatic solar tracking system for a monocrystalline silicon material panel using MPPT algorithm //Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т.45. – С.1783-1789.
3. Rizzo S. A., Scelba G. A hybrid global MPPT searching method for fast variable shading conditions //Journal of Cleaner Production. – 2021. – Т.298. – С.126775.
4. Bhukya L., Kedika N. R., Salkuti S. R. Enhanced maximum power point techniques for solar photovoltaic system under uniform insolation and partial shading conditions: a review //Algorithms. – 2022. – Т.15. – №.10. – С.365.
5. Ibrahim N. F. et al. A new adaptive MPPT technique using an improved INC algorithm supported by fuzzy self-tuning controller for a grid-linked photovoltaic system //Plos one. – 2023. – Т.18. – №. 61. – С. e0293613.

6. Bouguerra K., Latreche S., Khemliche M. Comparative Study between P&O, IncCond and MSC algorithms for MPPT Control of PV systems //2023 International Conference on Electrical Engineering and Advanced Technology (ICEEAT). – IEEE, 2023. – T.1. – C.1-6.
10.1109/ICEEAT60471.2023.10425855
7. Şenpınar A., Cebeci M. Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays //Applied Energy. – 2012. – T.92. – C. 677-685.
8. Abdulkadir M., Samosir A. S., Yatim A. H. M. Modelling and simulation of maximum power point tracking of photovoltaic system in Simulink model //2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon). – IEEE, 2012. – C.325-330.10.1109/PECon.2012.6450231
9. Mohapatra A. et al. A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – T.80. – C.854-867.
10. Lazaroiu G. C. et al. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption //Energy Conversion and Management. – 2015. – T.92. – C.143-148.
11. Pulido-Mancebo J. S. et al. Spatial distribution model of solar radiation for agrivoltaic land use in fixed PV plants //Agronomy. – 2022. – T.12. – №.11. – C.2799.
12. MacFarland T. W. et al. Student's t-test for independent samples //Using R for Biostatistics. – 2021. – C.141-240.
13. Zhang G. et al. Fast and robust spectrum sensing via Kolmogorov-Smirnov test //IEEE Transactions on Communications. – 2010. – T.58. – №.12. – C.3410-3416. 10.1109/TCOMM.2010.11.090209

References

1. Maka A. O. M., Alabid J. M. Solar energy technology and its roles in sustainable development //Clean Energy. – 2022. – Vol.6. – №.3. – pp.476-483. <https://doi.org>
2. Rajesh T. et al. Design and implementation of an automatic solar tracking system for a monocrystalline silicon material panel using MPPT algorithm //Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol.45. – pp.1783-1789. <https://doi.org>
3. Rizzo S. A., Scelba G. A hybrid global MPPT searching method for fast variable shading conditions //Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol.298. – pp.126775. <https://doi.org>
4. Bhukya L., Kedika N. R., Salkuti S. R. Enhanced maximum power point techniques for solar photovoltaic system under uniform insolation and partial shading conditions: a review //Algorithms. – 2022. – Vol. 15. – №.10. – pp.365. <https://doi.org>
5. Ibrahim N. F. et al. A new adaptive MPPT technique using an improved INC algorithm supported by fuzzy self-tuning controller for a grid-linked photovoltaic system //Plos one. – 2023. – Vol.18. – №. 11. – pp. e0293613. <https://doi.org>
6. Bouguerra K., Latreche S., Khemliche M. Comparative Study between P&O, IncCond and MSC algorithms for MPPT Control of PV systems //2023 International Conference on Electrical Engineering and Advanced Technology (ICEEAT). – IEEE, 2023. – Vol.1. – pp.1-6.
10.1109/ICEEAT60471.2023.10425855
7. Şenpınar A., Cebeci M. Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays //Applied Energy. – 2012. – Vol.92. – pp.677-685. <https://doi.org>
8. Abdulkadir M., Samosir A. S., Yatim A. H. M. Modelling and simulation of maximum power point tracking of photovoltaic system in Simulink model //2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon). – IEEE, 2012. – pp.325-330.10.1109/PECon.2012.6450231

9. Mohapatra A. et al. A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol.80. – pp.854-867. <https://doi.org>
10. Lazaroiu G. C. et al. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption //Energy Conversion and Management. – 2015. – Vol.92. – pp.143-148.
11. <https://doi.org> Pulido-Mancebo J. S. et al. Spatial distribution model of solar radiation for agrivoltaic land use in fixed PV plants //Agronomy. – 2022. – Vol.12. – №.11. – pp.2799. <https://doi.org>
12. MacFarland T. W. et al. Student's t-test for independent samples //Using R for Biostatistics. – 2021. – C.141-240. <https://doi.org>
13. Zhang G. et al. Fast and robust spectrum sensing via Kolmogorov-Smirnov test //IEEE Transactions on Communications. – 2010. – Vol.58. – №.12. – pp.3410-3416. 10.1109/TCOMM.2010.11.090209

Сведения об авторах

Құттыбай Нұржігіт Бақытұлы, и.о. доцент, PhD, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, физико - технический факультет, кафедра физики твердого тела и нелинейной физики, Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: Nurjigit.10.93@gmail.com;

Байболов Олжас Бауыржанович, магистрант, 1 курс, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, 050038, Республика Казахстан, e-mail: baibolov_olzhas2@kaznu.kz;


Information about the authors

Kuttybay Nurzhigit, acting associate professor, PhD, Kazakh National University named after al-Farabi, Faculty of Physics and Technology, Department of Solid State and Nonlinear Physics, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: Nurjigit.10.93@gmail.com;

Baibolov Olzhas, Master' s student, 1st year, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050038, Republic of Kazakhstan, e-mail: baibolov_olzhas2@kaznu.kz.

МРНТИ 06.52.13

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ВНЕШНЕГО ДОЛГА КАЗАХСТАНА

¹А.Б. Мухамедханова, ²Н.Н. Жанакова , ³М.Р. Сергазиева, ⁴Е.К. Молдакенова, ⁴Г.К. Амренова¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,²Институт экономических исследований, Астана, Казахстан,³Университет дружбы народов им. Академика А. Куатбекова, Шымкент, Казахстан,⁴Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан Корреспондент-автор: nazikzhan291178@gmail.com

В статье проведен комплексный анализ структуры, динамики и рисков внешнего долга Казахстана, а также дана оценка ключевых факторов, определяющих рост внешней задолженности. Исследование охватывает как государственный, так и частный сектор, включая межфирменную задолженность и обязательства квазигосударственного сектора.

Изучены секторальные особенности внешнего долга, включая обязательства органов государственного управления, Национального банка, банковского сектора и предприятий реального сектора экономики. Выявлено, что наибольшую долю в структуре долга занимают «другие сектора», к которым относятся нефинансовые организации и квазигосударственные компании. Проанализированы также финансовые инструменты привлечения внешнего долга, среди которых преобладают кредиты и займы.

Особое внимание уделено рискам, связанным с государственными гарантиями по обязательствам частных и квазигосударственных компаний, а также с колебаниями курса национальной валюты, которые могут увеличить стоимость обслуживания долга. Отмечено, что рост гарантированного государством внешнего долга создает дополнительные фискальные риски.

На основе проведенного анализа предложены рекомендации по усилению контроля за заимствованиями, повышению прозрачности корпоративной отчетности, диверсификации источников финансирования и разработке механизмов хеджирования валютных и сырьевых рисков. Подчеркнута необходимость укрепления фискальной дисциплины и развития внутреннего рынка капитала для обеспечения долгосрочной финансовой устойчивости и макроэкономической стабильности Казахстана.

Ключевые слова: внешний долг, долговые обязательства, долговая устойчивость, фискальные риски, внешние займы, долговая политика, бюджетные правила.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СЫРТҚЫ БОРШЫНЫҢ ТАЛДАУЫ ЖӘНЕ БАҒАЛАУЫ

¹А.Б. Мухамедханова, ²Н.Н. Жанакова , ³М.Р. Сергазиева, ⁴Е.К. Молдакенова, ⁴Г.К. Амренова¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент, Қазақстан,²Экономика зерттеулер институты, Астана, Қазақстан,³Академик Ә.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан,⁴Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: nazikzhan291178@gmail.com

Мақалада Қазақстанның сыртқы қарыздың құрылымы, динамикасы және тәуекелдері кешенді талданып, сыртқы қарыздың өсуін анықтайтын негізгі факторлар бағаланған. Зерттеу мемлекеттік және жеке секторды, соның ішінде фирмааралық қарыздар мен квазимемлекеттік компаниялардың міндеттемелерін қамтиды.

Мемлекеттік басқару органдарының, Ұлттық банктің, банк секторының және нақты сектор кәсіпорындарының міндеттемелерін қоса алғанда, сыртқы қарыздың секторлық ерекшеліктері зерттелген.

Қарыз құрылымында ең үлкен үлесті қаржылық емес ұйымдар мен квазимемлекеттік компанияларды қамтитын «басқа секторлар» алатыны анықталды. Сондай-ақ, сыртқы қарызды тартудың қаржылық құралдары талданды, олардың ішінде несиелер мен қарыздар басым болатыны атап өтілді.

Зерттеу барысында жеке және квазимемлекеттік компаниялардың міндеттемелері бойынша мемлекеттің кепілдіктерімен, сондай-ақ ұлттық валюта бағамының өзгеруімен байланысты тәуекелдерге ерекше назар аударылды. Мемлекет кепілдік берген сыртқы қарыздың өсуі қосымша бюджеттік тәуекелдер тудыратыны атап өтілді.

Жүргізілген талдау негізінде қарыз алуды бақылауды нығайту, корпоративтік есептіліктің ашықтығын арттыру, қаржыландыру көздерін әртараптандыру және валюталық және шикізаттық тәуекелдерді хеджирлеу механизмдерін әзірлеу бойынша ұсыныстар көрсетілді. Қазақстанның ұзақ мерзімді қаржылық тұрақтылығын және макроэкономикалық тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін бюджеттік тәртіпті нығайту мен ішкі капитал нарығын дамыту қажеттілігі атап өтілді.

Түйін сөздер: сыртқы қарыз, қарыздық міндеттемелер, қарыздық тұрақтылық, бюджеттік тәуекелдер, сыртқы несиелер, қарыздық саясат, бюджеттік ережелер.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF KAZAKHSTAN' S EXTERNAL DEBT

¹A.B. Mukhamedkhanova, ²N.N. Zhanakova, ³M.R. Sergaziyeva, ⁴Y.K. Moldakenova, ⁴G.K. Amrenova

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

²Economic Research Institute, Astana, Kazakhstan,

³Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Kazakhstan,

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: nazikzhan291178@gmail.com

The article provides a comprehensive analysis of the structure, dynamics, and risks of Kazakhstan's external debt, as well as an assessment of the key factors driving the growth of external liabilities. The study covers both the public and private sectors, including intercompany debt and obligations of the quasi-public sector.

The sectoral features of external debt are examined, encompassing the liabilities of government bodies, the National Bank, the banking sector, and enterprises in the real sector of the economy. It is revealed that the largest share of the debt structure belongs to "other sectors," which include non-financial organizations and public companies. The financial instruments used to attract external debt are also analyzed, with loans and borrowings being the predominant forms.

Special attention is given to the risks associated with state guarantees for the obligations of private and public companies, as well as to fluctuations in the national currency exchange rate, which may increase the cost of debt servicing. It is noted that the growth of state-guaranteed external debt creates additional fiscal risks.

Based on the analysis, recommendations are proposed to strengthen borrowing controls, enhance corporate reporting transparency, diversify funding sources, and develop mechanisms for hedging currency and commodity risks. The need to strengthen fiscal discipline and develop the domestic capital market to ensure long-term financial stability and macroeconomic stability in Kazakhstan is emphasized.

Keywords: external debt, debt obligations, debt sustainability, fiscal risks, external borrowing, debt policy, fiscal rules.

Введение. Внешний долг является важным экономическим индикатором, который отражает финансовую устойчивость страны и её способность обслуживать обязательства перед внешними кредиторами. Он играет значительную роль в экономике, обеспечивая приток внешних ресурсов, необходимых для финансирования бюджетного дефицита, развития инфраструктуры и ре-

ализации стратегических проектов. Однако высокий уровень внешнего долга может создавать определенные риски, связанные с его обслуживанием, зависимостью от внешних заимствований и изменениями в глобальной финансовой среде.

Для Казахстана, как для развивающейся страны с экономикой, ориентированной на экспорт природных ресурсов, эффективное управление внешним долгом является ключом к поддержанию макроэкономической стабильности и обеспечению роста в долгосрочной перспективе. В последние годы структура внешнего долга Казахстана претерпела значительные изменения, что требует детального анализа и оценки для понимания текущих рисков и перспектив.

В этой связи, целью исследования является анализ структуры и динамики внешнего долга Казахстана, а также оценка ключевых факторов, определяющих рост задолженности. Исследование направлено на выявление пределов роста внешнего долга согласно ковенантам внешнего долга, утвержденным в Концепции управления государственными финансами.

Гипотеза исследования заключается в том, что внешний долг Казахстана сохраняет управляемость благодаря диверсификации источников финансирования, росту ненефтяного сектора и стратегическому накоплению валютных резервов, несмотря на рост абсолютных показателей долга и уязвимость к колебаниям сырьевых цен. Ключевым риском остается высокая доля обязательств в иностранной валюте, которая при девальвации тенге может увеличить нагрузку на бюджет и корпоративный сектор.

Материалы и методы. Данное исследование основано на применении широкого спектра научных методов, обеспечивающих аналитическое сопровождение внешнего долга и структурных его элементов, позволивших провести его оценку согласно утвержденным ковенантам внешнего долга.

Для комплексного анализа и оценки внешнего долга Казахстана использованы следующие методы:

- системно-библиографический анализ, прове-

денного на основе изучения существующих научных публикаций и методологических подходов, касающихся анализа и оценки внешнего долга страны;

- институциональный анализ, позволивший изучить нормативно-правовые документы, регулирующие государственные заимствования, в том числе займы квазигосударственного сектора;

- методы сравнения и сопоставления на основе ключевых статистических показателей, позволивших выявить структурные особенности внешнего долга Казахстана, определить его позицию, а также оценить соответствие долговой нагрузки установленным критериям долговой устойчивости;

- экспертная оценка позволила верифицировать количественные данные, выявить ненаблюдаемые факторы риска и получить качественные инсайды о долгосрочных последствиях текущей долговой политики Казахстана.

Источниками данных явились официальные данные Бюро национальной статистики АСПР, Национального банка РК, Всемирного банка, а также аналитические отчеты и информация из интернет-ресурсов.

Исследованию вопросов внешнего долга посвящено множество научных трудов, каждый из которых подходит к изучению данного вопроса через призму влияния внешнего долга на различные макроэкономические ситуации при разных условиях.

Выявлено, что более высокий уровень внешнего долга связан с повышенной экономической уязвимостью за счет увеличения масштабов и вероятности внешних шоков, особенно в долгосрочном периоде, в то время, как краткосрочный внешний шок, напротив, снижает экономическую уязвимость. Определено, что государственный внешний долг оказывает более негативное влияние на экономическую стабильность, тогда как частный внешний долг не имеет явного эффекта [1]. При этом, экономический рост и инвестиции способствуют снижению внешнего долга [2], в том числе через трансмиссионные макроэкономические каналы [3], [4] тогда как обменный курс, объем торговли, государственные

расходы [5], а также международные резервы [6] приводят к его увеличению.

Исследования показывают, что в долгосрочной перспективе внешний долг оказывает положительное влияние на безработицу и ожидаемую продолжительность жизни, в то время как он оказывает негативное влияние на чистый национальный доход [7].

В целом, влияние внешнего долга на экономический рост подтверждает тезис о важности взвешенного управления долгом особенно для развивающихся экономик, уязвимых к внешним шокам [8] с качественной институциональной средой [9].

Несмотря на ряд проведенных исследований, возникает необходимость в углубленном изучении структурных аспектов внешнего долга и его динамики, а также влияния различных факторов и форм, влияющих на рост заимствований с целью их оценки в рамках установленных пределов роста в контексте эффективного управления государственными финансами.

Обсуждение и результаты. Внешний долг представляет собой совокупность финансовых обязательств государства и частного сектора перед иностранными кредиторами, выраженных в иностранной валюте. Он включает займы международных организаций, правительств других стран, коммерческих банков и институциональ-

ных инвесторов.

Внешний долг играет двойственную роль в экономике: с одной стороны, он служит инструментом привлечения ресурсов для финансирования дефицита бюджета, развития инфраструктуры и поддержки ключевых отраслей, с другой - создаёт риски макроэкономической нестабильности, особенно при неэффективном управлении долговой нагрузкой. В этой связи вопрос долговой устойчивости страны приобретает особое значение на фоне глобальной нестабильности, внешних шоков и ужесточения монетарной политики ведущих центральных банков, поскольку внешний долг страны, его объемы, структура и динамика оказывают влияние на платежный баланс, курс национальной валюты, уровень инфляции и способность выполнять свои обязательства перед кредиторами.

Внешний долг РК, включая межфирменную задолженность, за период 2014-2023 годы в абсолютном выражении вырос со 157,1 млрд тенге в 2014 году до 163,6 млрд тенге в 2023 году (рост 4,1%). В то время как его доля в ВВП уменьшилась с 71,0% в 2014 году до 62,7% в 2023 году (рисунок 1). Хотя это не критичный уровень по международным стандартам, рост внешнего долга в номинальном выражении вызывает опасения для структуры экономики с сырьевой направленностью, зависящей от волатильности цен на сырье.

Рис.1 - Внешний долг РК, включая межфирменную задолженность, в 2014-2023 годы, млрд долл. США / % от ВВП

Примечание - Составлено по источнику [10]

Внешний долг без межфирменной задолженности в абсолютном выражении сократился с 78,0 млрд долл. в 2014 году до 70,5 млрд долл. в 2023 году (снижение на 9,6%). Доля в ВВП так же сократилась с 35,2% в 2014 году до 27,0% в 2023

году (на 8,2 п.п.) (рисунок 2).

При этом, важно отметить рост внешнего долга в кризисные 2016 и 2020 годы (рисунок 1), (рисунок 2).

Рис.2 - Внешний долг РК, исключая межфирменную задолженность, в 2014-2023 годы, млрд долл. США / % от ВВП

Примечание - Составлено по источнику [10]

Как видно из рисунков 1 и 2, большую часть внешнего долга занимает межфирменная задолженность казахстанских резидентов перед аффилированными нерезидентами (например, материнскими компаниями, дочерними предприятиями или партнерами за границей). То есть, это накопленные прямые иностранные инвестиции без учета реинвестированной прибыли. Речь идет о тех инвестициях, которые были привлечены в Казахстан в виде долговых инструментов (например, займов, кредитов внутри группы компаний), а не о прибыли, которую иностранные инвесторы заработали и оставили в стране. Это важно, так как межфирменная задолженность в рамках транснациональных корпораций, хотя может не всегда нести такие же риски, как обычные внешние долги, но все же остается значимой частью финансовых обязательств страны. Риски здесь могут возникнуть в случае внезапных требований к выплатам при кризисах у иностранных партнеров, формируя скрытые обязательства.

В секторальном разрезе к резидентам, имеющим внешний долг, относят:

- а) органы государственного управления;
- б) Национальный банк РК;
- в) банки;
- г) а также другие сектора.

Органы государственного управления во внешнем долге страны занимают определенную долю. Их доля составляет в среднем 19% за последние десять лет от всего внешнего долга РК, что указывает на активное привлечение внешних заимствований для финансирования бюджетных расходов. В ВВП их доля составила 4,5% в 2023 году. Хотя данный показатель не критичен, важно учитывать возможные риски увеличения долговой нагрузки в случае ухудшения экономической конъюнктуры.

Внешний долг Национального банка РК в структуре внешнего долга составил 2% или 0,9% от ВВП в 2023 году, оставаясь в целом незначительным, что указывает на относительно консервативную политику привлечения внешних средств и наличие достаточных резервов для выполнения обязательств.

Банковский сектор за последние десять лет занимает лишь 11% в структуре внешнего долга. В ВВП их доля составила 4,3% в 2023 году. Это свидетельствует о снижении притока внешнего финансирования в банковскую систему, что вызвано как ужесточением регуляторных требований, так и ограниченным доступом казахстанских банков к международным кредитным ресурсам.

Значительную часть внешнего долга в общей структуре занимают «Другие сектора». Их доля составила 67% за последние десять лет или 17,4% от ВВП в 2023 году. К их числу относятся нефинансовые организации, то есть предприятия реального сектора экономики, привлекающие внешние кредиты и займы, а также квазигосударственные компании, такие как «Самрук Казына», «КазМунайгаз», и др., и частные корпорации, к числу которых относятся крупные предприятия, использующие внешнее финансирование. Эти сектора вносят значительный вклад в общий объем внешнего долга страны, особенно в части корпоративного заимствования.

По срокам до погашения внешний долг подразделяется на: а) краткосрочный; б) долгосрочный. Преобладающую долю занимает долгосрочный внешний долг (94%). 6% принадлежит краткосрочному внешнему долгу.

Структура внешнего долга с точки зрения участия государства подразделяется на: а) государственный внешний долг; б) внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, в том числе: в) гарантированный государством внешний долг. Структура внешнего долга с точки зрения участия государства позволяет оценить степень ответственности правительства за внешний долг и возможные бюджетные риски.

За десятилетний период государственный внешний долг вырос в абсолютном выражении с 8,3 млрд долл. в 2014 году до 14,0 млрд долл. в 2023 году (рост в 1,7 раза). Доля государственного внешнего долга в ВВП также выросла с 3,7% в 2014 году до 5,4% в 2023 году (рост на 1,6 п.п.) (рисунок 3). То есть это означает, что обязательства правительства перед международными кредиторами выросли.

Внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, имея значительно большую долю в общей структуре, тем не менее, согласно рисунку 3, в абсолютном выражении снизился с 28,0 млрд долл. в 2014 году до 15,6 млрд долл. в 2023 году (снижение в 1,8 раза). Их доля ВВП так же снизилась (в 2 раза) с 12,6% в 2014 году до 6,0% в 2023 году (рисунок 3). Внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, охватывает долговые обязательства государственных предприятий и финансовых ин-

ститутов, находящихся под контролем государства. Такие организации могут привлекать внешнее финансирование на льготных условиях, однако высокий уровень их задолженности несет потенциальные бюджетные риски в случае необходимости поддержки со стороны государства. К числу таких организаций относятся квазигосударственные компании, национальные управляющие холдинги, такие как АО «Банк Развития Казахстана», АО «НУХ «Байтерек», «АО Самрук-Казына» и др.

Рис.3 - Государственный внешний долг и внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, млрд долл. / % от ВВП

Примечание - Составлено по источнику [10]

Зачастую за обязательства частных или государственных компаний поручителем выступает правительство, и в случае дефолта заемщика эти обязательства ложатся на бюджет, что создает потенциальные фискальные риски. И обеспокоенность вызывает то, что гарантированный государством внешний долг за десятилетний период вырос в 6,7 раза – с 0,4 млрд долл. в 2014 году до 2,8 млрд долл. в 2023 году.

Государственный внешний долг сформировался за счет привлечения кредитов у международных финансовых организаций и двусторонних займов. За десятилетний период основная часть долга приходится на Еврооблигации (52,4% от всего внешнего долга), что указывает на зависимость от глобальных рынков капитала.

Международный банк реконструкции и развития, на которого приходится 26,1% от всего внешнего долга, является стабильным многосторонним кредитором с льготными условиями.

На Азиатский банк развития приходится 14,6% от всего внешнего долга, который финансирует инфраструктурные проекты в Центральной Азии.

К числу кредиторов входят также и Японский банк международного сотрудничества, на долю которого приходится за последние десять лет около 3,1% от всего внешнего долга, Европейский банк реконструкции и развития (1,3%), Исламский банк развития (0,9%), и другие.

В целом, внешний долг государственного сектора в расширенном определении, который включает в себя государственный внешний долг и внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, снижается в абсолютном выражении с 36,2 млрд долл. в 2014 году до 29,7 млрд долл. в 2023 году (снижение на 18,1%). В отношении к ВВП данный показатель так же снижается с 16,4% в 2014 году до 11,4% в 2023 году, комплексно показывая долговую устойчивость на удовлетворительном уровне.

Для эффективного управления бюджетными ресурсами, государственным долгом, доходами и расходами страны на долгосрочную перспективу в 2022 году принята Концепция управления государственными финансами до 2030 года [11].

Согласно данной Концепции политика управления долгом стала осуществляться в рамках следующих основных ограничений:

1. Внешний долг Правительства (с учетом внешнего гарантированного государством долга) и внешний долг субъектов КГС не должен превышать 75% валютных активов Национального фонда РК.
2. Совокупный государственный долг и долг квазигосударственного сектора не должен превышать лимит 53,2% к ВВП.
3. Долг квазигосударственного сектора не должен превышать 21,2% к ВВП.

Из представленных ограничений оценку внешнего долга, в нашем случае, возможно провести согласно первому пункту ограничений касательно внешнего долга. Второй и третий пункты ограничений охватывают весь государственный долг и долг квазигосударственного сектора, включающий внутренний и внешний долг.

Согласно Концепции управления государственными финансами до 2030 года, лимит внешнего долга Правительства (с учетом внешнего

гарантированного государством долга) и внешнего долга субъектов квазигосударственного сектора не должен превышать 75% валютных активов Национального фонда РК [11]. По расчетам авторов, за анализируемый период внешний долг государственного сектора в расширенном определении, который охватывает государственный внешний долг и внешний долг банков и организаций, контролируемых государством, не превысил установленный лимит в 75% к валютным активам Национального Фонда РК (рисунок 4).

Рис.4 - Государственный внешний долг и внешний долг банков и организаций, контролируемых государством к валютным активам Национального Фонда РК, млрд долл. / %

Примечание - Составлено по источнику [10].

Согласно данным рисунка 4, следует отметить рост данного показателя к установленному лимиту в 75% в 2017 году (69%) и 2021 году (72%), объясняемый посткризисным восстановлением экономики, когда государство брало на себя как прямые, так и условные обязательства после кризисных годов.

Отдельное внимание необходимо уделить внешнему долгу частного сектора, который включает обязательства независимых от государства компаний и организаций перед иностранными кредиторами. Важно отметить их преобладающую долю в общей структуре долга и рост с 120,9 млрд долл. в 2014 году до 133,9 млрд долл. в 2023 году (рост на 10,8%). В процентном отношении к ВВП внешний долг частного сектора сократился с 54,6% в 2014 году до 51,3% в 2023 году. Хотя данный вид долга напрямую не связан с государственными финансами, кризисные ситуации могут потребовать косвенной поддержки со стороны правительства, например, в случае банкротства системообразующих предприятий. Поэтому необходимо тщательно отслеживать динамику задолженности, уровень валютных рисков и способность заемщиков обслуживать свои обязательства, чтобы минимизировать потенциальные фискальные и макроэкономические риски.

Внешний долг Казахстана классифицируется по финансовым инструментам, что позволяет детально анализировать структуру обязательств пе-

ред иностранными кредиторами. По финансовым инструментам внешний долг осуществляется через:

- а) специальные права заимствования;
- б) наличные деньги и депозиты;
- в) долговые ценные бумаги;
- г) кредиты и займы;
- д) торговые кредиты и авансы;
- е) прочие обязательства.

Среди всех финансовых инструментов основную долю занимают кредиты и займы (70,2%), динамика которых выросла за последние десять лет на 3,6%, что свидетельствует о значительной зависимости страны от международных заимствований (рисунок 5).

Долговые ценные бумаги в общей классификации финансовых инструментов внешнего долга занимают 11%, динамика которых за десять лет сократилась в 1,6 раза, что указывает на изменение предпочтений в способах привлечения капитала через кредиты и займы, а не путем выпуска облигаций.

Торговые кредиты и авансы, хотя и занимают небольшую долю в структуре применяемых финансовых инструментов (6,3%), динамика их роста увеличивается на 21,9% за десять лет, что свидетельствует об усилении внешнеэкономической деятельности.

Наличные деньги и депозиты занимают лишь 1,3%, но динамика их также значительно выросла и составила 3,5 раза за 2014-2023 годы, что свидетельствует о росте ликвидности внешних активов Казахстана.

Специальные права заимствования занимают 0,5%, но их рост составил 3,9 раза, что связано с перераспределением резервов МВФ в рамках глобальных антикризисных мер.

Рис.5 - Внешний долг РК в классификации по финансовым инструментам за 2014-2023 годы, млрд долл.

Примечание - Составлено по источнику [10]

Проведенный анализ показывает, что внешний долг Казахстана сохраняет устойчивость благодаря снижению доли в ВВП, а также соблюдению лимитов согласно Концепции управления государственными финансами до 2030 года. Однако рост номинального долга с преобладающей долей межфирменной задолженности, зависимость от сырьевых доходов и скрытые фискальные риски (гарантии государства) требуют усиления системы управления внешним долгом.

Прежде всего, основные вызовы связаны с доминированием межфирменных и частных обязательств, номинированные в иностранной валюте (доллар, евро). Эти обязательства зачастую не отражаются в публичной отчетности компаний, что затрудняет оценку реальной долговой нагрузки и создает дополнительные риски для экономики. Проблема усугубляется отсутствием жестких лимитов на соотношение заёмных и собственных средств в рамках внутригруппового финансирования, что может приводить к накоплению долгов. В случае ослабления курса национальной валюты стоимость обслуживания долга для резидентов существенно возрастает, что негативно сказывается на их финансовой устойчивости. Ухудшение финансового состояния компаний-заемщиков может привести к сокращению инвестиционной активности, снижению темпов экономического роста и уменьшению занятости населения. В долгосрочной перспективе это создает угрозу для стабильности всей экономической системы.

Для минимизации данных рисков необходимы меры по повышению прозрачности корпоративной отчетности, введению более жестких регуляторных требований к заемной деятельности ком-

паний, а также разработка механизмов, способствующих снижению зависимости от иностранной валюты.

Кроме того, вызывают особую тревогу скрытые фискальные обязательства государства, которое выступает поручителем по займам тех системообразующих предприятий (например, в нефтегазовом секторе), неспособных покрыть долговые обязательства, трансформируемые в бюджетные расходы. В результате создается давление на платежный баланс, поскольку резкий отток валюты для погашения долгов ухудшает текущий счет и снижает золотовалютные резервы.

Такая ситуация не только подрывает финансовую стабильность, но и ограничивает возможности государства для реализации стратегических программ и поддержки экономики в периоды кризисов. Для предотвращения подобных сценариев необходимы меры по повышению прозрачности финансовой деятельности системообразующих компаний, а также разработка механизмов, минимизирующих риски переложения долговых обязательств на государственный бюджет.

Такие вызовы в комплексе формируют систему взаимоусиливающихся рисков, образуя «эффект домино», когда проблемы у одного крупного заёмщика (например, в сырьевом секторе) могут спровоцировать цепную реакцию в связанных отраслях.

Без глубоких реформ ужесточения контроля за заимствованиями частного и квазигосударственного сектора, стимулирования несырьевого экспорта, создания механизмов хеджирования валютных и сырьевых рисков, страна рискует столкнуться с долговым кризисом, аналогичным кризисам таких развивающихся стран, как Аргенти-

на, Турция в 1990-х гг. Текущие показатели, хотя и находятся в «зелёной зоне» по международным стандартам, маскируют накопленные структурные дисбалансы, которые могут проявиться при следующем глобальном шоке.

Выводы. Анализ структуры государственного долга Казахстана показывает, что страна демонстрирует относительно успешное управление государственным долгом, однако для обеспечения долгосрочной финансовой устойчивости и макроэкономической стабильности требуется дальнейшее совершенствование подходов к заимствованиям и снижение внешних рисков. Ключевыми вызовами остаются зависимость от колебаний курса тенге, глобальные изменения в финансовых условиях, а также необходимость финансирования дефицита бюджета, что создает дополнительную нагрузку на государственные ресурсы.

Для минимизации рисков важно продолжить

диверсификацию источников финансирования, укрепить внутренний рынок капитала и усилить контроль за заимствованиями квазигосударственных и частных компаний. Особое внимание следует уделить повышению прозрачности корпоративной отчетности и разработке механизмов хеджирования валютных и сырьевых рисков, а также созданию резервов для покрытия потенциальных обязательств.

Кроме того, необходимо внедрять более строгие нормативы для внутригрупповых займов, стимулировать реинвестирование прибыли и повышать прозрачность корпоративной отчетности. Укрепление фискальной дисциплины, оптимизация структуры долга и развитие системы эффективного управления государственными финансами будут способствовать снижению долговой нагрузки, повышению доверия инвесторов и обеспечению устойчивого экономического роста в долгосрочной перспективе.

Литература

1. Dau N.H., Pham T., Luu H.N. & Nguyen D.T. External Debt and Economic Vulnerability: An International Evidence//Journal of Economic Integration.-2024.- Vol.39(4). - P.969-990. DOI 10.11130/jei.2024023.
2. Abdelaziz H., Rim B. & Majdi K. External Debt, Investment, and Economic Growth // Journal of Economic Integration. - 2019. – Vol.34(4). - P.725-745. DOI 10.11130/jei.2019.34.4.725.
3. Dawood M., Feng Z.R., Ilyas M. & Abbas G. External Debt, Transmission Channels, and Economic Growth: Evidence of Debt Overhang and Crowding-Out Effect // SAGE Open. - 2024. - 14(3). - P.1-20. DOI 10.1177/21582440241263626.
4. World Bank Group. Human Development Global Practice. External Debt, Fiscal Consolidation, and Government Expenditure on Education // Policy Research Working Paper. -2023. -10475. P.1-13. - URL: <https://worldbank.org> .- Date of address: 21.02.2025.
5. Dawood M., Baidoo S.T. & Raza Shah S.M. An empirical investigation into the determinants of external debt in Asian developing and transitioning economies // Development Studies Research. - 2021.- Vol.8(1). - P.253-263. DOI 10.1080/21665095.2021.1976658.
6. Mijiyawa A.G., Oloufade D.K. Effect of Remittance Inflows on External Debt in Developing Countries // Open Economic Review.- 2023. – Vol.34. - P.437-470. DOI 10.1007/s11079-022-09675-5
7. Ayoub A., Wani T.A. & Sultan A. External debt crisis & socio-economic fallout: Evidence from the BRICS nations // Regional Science Policy & Practice. - 2024. – Vol.16(6). - P.1-10. DOI 10.1016/j.rspp.2024.100029.
8. Elkhalfi O., Chaabita R., Benboubker M., Ghoujdam M., Zahraoui K., El Alaoui H., Laalam S., Belhaj I. & Hammouch H. The impact of external debt on economic growth: The case of emerging countries//Research in Globalization.-2024.- Vol.9.- P.1-10. DOI 10.1016/j.resglo.2024.100248.
9. Harsono E., Kusumawati A., Nirwana N. External Debt Determinants: Do Macroeconomic and Institutional Ones Matter for Selected ASEAN Developing Countries? // Economies. -2024. – Vol.12(1). - P.1-16. DOI

10.3390/economies12010007

10. Национальный банк РК. Статистика. Внешний долг. – URL: <https://www.nationalbank.kz> .- Дата обращения 21.02.2025. 11. Об утверждении Концепции управления государственными финансами Республики Казахстан до 2030 года. Указ Президента Республики Казахстан от 10 сентября 2022 года № 1005. // <https://adilet.zan.kz> .- Дата обращения 21.02.2025.

References

1. Dau N.H., Pham T., Luu H.N. & Nguyen D.T. External Debt and Economic Vulnerability: An International Evidence//Journal of Economic Integration.-2024.- Vol.39(4). - P.969-990. DOI 10.11130/jei.2024023.
2. Abdelaziz H., Rim B. & Majdi K. External Debt, Investment, and Economic Growth // Journal of Economic Integration. - 2019. – Vol.34(4). - P.725-745. DOI 10.11130/jei.2019.34.4.725.
3. Dawood M., Feng Z.R., Ilyas M. & Abbas G. External Debt, Transmission Channels, and Economic Growth: Evidence of Debt Overhang and Crowding-Out Effect // SAGE Open. - 2024. - 14(3). - P.1-20. DOI 10.1177/21582440241263626.
4. World Bank Group. Human Development Global Practice. External Debt, Fiscal Consolidation, and Government Expenditure on Education // Policy Research Working Paper. -2023. -10475. P.1-13. - URL: <https://worldbank.org> .- Date of address: 21.02.2025.
5. Dawood M., Baidoo S.T. & Raza Shah S.M. An empirical investigation into the determinants of external debt in Asian developing and transitioning economies // Development Studies Research. - 2021.- Vol.8(1). - P.253-263. DOI 10.1080/21665095.2021.1976658.
6. Mijiyawa A.G., Oloufadi D.K. Effect of Remittance Inflows on External Debt in Developing Countries // Open Economic Review.- 2023. – Vol.34. - P.437-470. DOI 10.1007/s11079-022-09675-5
7. Ayoub A., Wani T.A. & Sultan A. External debt crisis & socio-economic fallout: Evidence from the BRICS nations // Regional Science Policy & Practice. - 2024. – Vol.16(6). - P.1-10. DOI 10.1016/j.rspp.2024.100029.
8. Elkhalfi O., Chaabita R., Benboubker M., Ghoujdani M., Zahraoui K., El Alaoui H., Laalam S., Belhaj I. & Hammouch H. The impact of external debt on economic growth: The case of emerging countries//Research in Globalization.-2024.- Vol.9.- P.1-10. DOI 10.1016/j.resglo.2024.100248.
9. Harsono E., Kusumawati A., Nirwana N. External Debt Determinants: Do Macroeconomic and Institutional Ones Matter for Selected ASEAN Developing Countries? // Economies. -2024. – Vol.12(1). - P.1-16. DOI 10.3390/economies12010007
10. Nacional'nyj bank RK. Statistika. Vneshnij dolg. - URL: <https://www.nationalbank.kz> .- Data obrashhenija 21.02.2025.[in Russian]
11. Ob utverzhdenii Konceptii upravlenija gosudarstvennymi finansami Respubliki Kazahstan do 2030 goda. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan ot 10 sentjabrja 2022 goda № 1005. // <https://adilet.zan.kz> .- Data obrashhenija 21.02.2025. [in Russian]

Сведения об авторах

Мухамедханова А.Б. - PhD, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: Dia-2808@mail.ru;

Жанакова Н.Н. - кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Институт экономических исследований, Астана, Казахстан, e-mail: nazikzhan291178@gmail.com;

Сергазиева М.Р. – кандидат экономических наук, Университет дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан, e-mail: vipforever@mail.ru;

Молдакенова Е.К. - PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: erke_totai_77@mail.ru.

Амренова Г.К. - старший преподаватель кафедры «Менеджмент», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: amrenova1969@mail.ru

Infotmation about the authors

Mukhamedkhanova A. - PhD, South-Kazakhstan University named after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Dia-2808@mail.ru;

Zhanakova N. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Economic Research Institute, Astana, Kazakhstan, e-mail: nazikzhan291178@gmail.com;

Sergaziyeva M. – Candidate of Economic Sciences, Peoples' Friendship University named after Academician A. Khatbekov, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: vipforever@mail.ru;

Moldakenova Y.K. - Ph.D, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: erke_totai_77@mail.ru;

Amrenova G.K. - Senior Lecturer, Department of Management; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: amrenova1969@mail.ru