

УДК 621.31:620.91

Ә.Х. Дуйсенбек

Академии Логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

[alisher98\\_2010@mail.ru](mailto:alisher98_2010@mail.ru)

## АНАЛИЗ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАКОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

**Аннотация.** Один из будущих систем электроснабжения - это интеграция возобновляемых источников энергии производимой с помощью технологий распределенной генерации. В большинстве своём к таким когенерационным установкам относятся: ветровые и солнечные. Использование предлагаемой нами энергосистемы, состоящей из солнечной фотоэлектрической (PV), ветровой энергии и накопителя. Из-за прерывистого характера солнечной энергии и энергии ветра, а также из-за внезапного изменения мощности, производимой прерывистыми источниками, накопитель является основным компонентом. В целях системного моделирования солнечная фотоэлектрическая система моделируется на основе эмпирической модели с учётом использования мини-сетки, и рабочая кривая энергии ветра моделируется с помощью Распределение Вейбулла и использование техники Монте-Карло.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; Накопительные устройства;

Системное моделирование; Батарея; Модель.

**Андатпа.** Болашақ электрмен жабдықтау жүйелерінің бірі-таратылған генерациялау технологиялары арқылы өндірілетін жаңартылатын энергия көздерін интеграциялау. Көп жағдайда мұндай когенерациялық қондырғыларға мыналар жатады: жел және күн. Күн фотоэлектрлік (PV), жел энергиясы мен дискіден тұратын энергия жүйесін пайдалану. Күн энергиясы мен жел энергиясының үзіліссіз сипатына, сондай-ақ үзіліссіз көздер шығаратын қуаттың кенеттен өзгеруіне байланысты диск негізгі компонент болып табылады. Жүйелік модельдеу үшін күн фотовольтаикалық жүйе мини-торды қолдануды ескере отырып, эмпирикалық модель негізінде модельденеді, ал жел энергиясының жұмыс қисығы вейбулдың таралуы және Монте-Карло техникасын қолдану арқылы модельденеді.

**Түйінді сөздер:** жаңартылатын энергия көздері; жинақтаушы құрылғылар;

Жүйелік модельдеу; Батарея; Модель.

**Abstract.** One of the future power supply systems is the integration of renewable energy sources produced using distributed generation technologies. For the most part, such cogeneration plants include: wind and solar. The use of the proposed energy system, consisting of solar photovoltaic (PV), wind energy and storage. Due to the intermittent nature of solar and wind energy, as well as due to the sudden change in power produced by intermittent sources, the storage is the main component. For the purposes of system modeling, the solar photovoltaic system is modeled based on an empirical model taking into account the use of a mini-grid, and the working curve of wind energy is modeled using the Weibull Distribution and the use of Monte Carlo technique.

**Keywords:** renewable energy sources, Storage devices; System Modeling, Battery; Model.

Идея интеграции непостоянных источников энергии, таких как солнце и ветер, с накоплением энергии имеет несколько преимуществ для электросети. Первое преимущество заключается в том, что накопление энергии может помочь сети в периоды, когда сеть сталкивается с высоким пиковым спросом. Второе преимущество заключается

в том, что использование накопителя энергии поможет переключить нагрузку на сеть с пикового времени и времени занятости на время с меньшей нагрузкой. И третье преимущество заключается в том, что использование накопителей энергии поможет сгладить колебания выработки электроэнергии, поступающей в сеть с помощью переменных и прерывистых возобновляемых источников. Третье преимущество особенно важно, поскольку в будущем в мировую электросеть будет интегрировано больше возобновляемых источников энергии. Цель этой статьи - представить результаты исследования, проведенного для изучения потенциальной роли и потенциальных преимуществ накопления энергии, интегрированного в прерывистые источники. Использование накопителей энергии даст возможность создать устойчивое энергоснабжение и сделать электрическую сеть более надежной, особенно с большой долей возобновляемых источников, подключенных к сети.

Одним из аспектов будущей системы электроснабжения является интеграция возобновляемых источников и более эффективное использование энергии, производимой с помощью технологий распределенной генерации, таких как солнечные, ветровые, когенерационные установки и т. Д.

Из-за непостоянного характера солнечной энергии и энергии ветра, а также из-за внезапных колебаний мощности, производимой этими прерывистыми источниками, использование накопительных устройств является важным. В этом исследовании предлагается энергосистема, состоящая из солнечной фотоэлектрической (PV), ветровой энергии и системы хранения для создания мини-сети. Система должна обеспечивать устойчивую электроэнергию для потребителей, подключенных к мини-сети.

Для целей системного моделирования солнечная фотоэлектрическая система моделируется на основе эмпирической модели, а рабочая кривая энергии ветра моделируется с помощью распределения Вейбулла и с использованием метода Монте-Карло. Оба генератора работают с прерывистым режимом работы, поэтому включена технология накопления энергии, чтобы помочь процессу сглаживания мощности в сети.

Подход к моделированию, использованный в данном исследовании.

В этом исследовании исследуется энергосистема, состоящая из генератора основной нагрузки, солнечной фотоэлектрической (PV) и ветряной генерации. График работы солнечных фотоэлектрических систем строится на основе математической модели. Для целей моделирования рабочая кривая энергии ветра моделируется с помощью распределения Вейбулла. Эти два энергоблока (солнечная и ветровая) должны обеспечивать типичную нагрузку в пиковый период времени. Поскольку оба генератора имеют прерывистый характер, в этом исследовании будет изучена потенциальная роль батарей в обеспечении энергосистемы. Количество электроэнергии, поставляемой батареями, зависит от количества батарей, уровня заряда и емкости каждой батареи.

Общее предложение электроэнергии от солнечной фотоэлектрической энергии и энергии ветра должно уравнивать общий спрос на электроэнергию, поэтому для оценки баланса между спросом и предложением потребуется соответствующая операционная модель нагрузки, солнечной фотоэлектрической энергии и ветряных генераторов. В следующем разделе описывается основная концепция каждой операции.

Операционная модель базовой нагрузки.

Базовая нагрузка включает электроснабжение от угольной электростанции, поддерживаемое тепловыми электростанциями и газовыми турбинами для средних нагрузок. При моделировании работа с базовой нагрузкой моделировалась как постоянная.

Модель кривой работы PV.

Фотоэлектрическая мощность сильно зависит от времени суток, уровня солнечной радиации и погодных условий. В этом исследовании была разработана следующая

эмпирическая модель, основанная на реальной работе солнечных фотоэлектрических систем:

$$P_{PV} = a R^5 + b R^4 + c R^3 + d R^2 + e R^1 + f$$

R представляет собой солнечное излучение

На рисунке 1 показана модель работы солнечных фотоэлектрических систем в местах с ясным небом. На рисунке 2 показана модель работы солнечных фотоэлектрических модулей с быстро движущимися облаками.

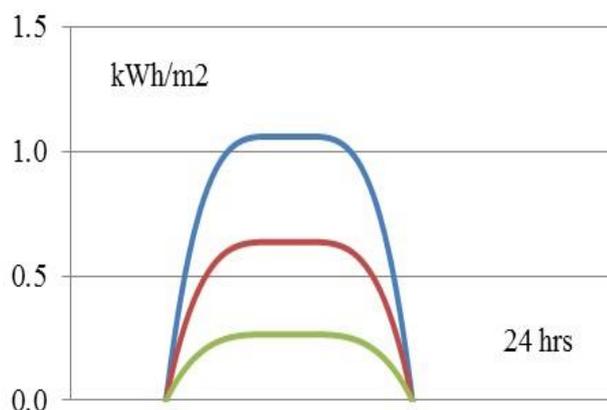


Рисунок 1 - Рабочая кривая PV с учетом погодных условий

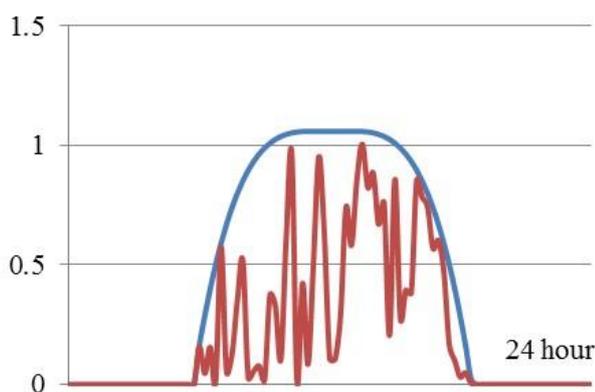


Рисунок 2 - Рабочие кривые PV для быстро движущихся облаков

Модель скорости ветра.

Тот факт, что мощность ветра варьируется, на самом деле не является проблемой, если заранее доступна достаточно точная информация для прогнозирования того, сколько энергии ветряная турбина или ветряная электростанция будет вырабатывать в любой момент времени. Точное прогнозирование - важный фактор для успешной интеграции энергии ветра в электрическую сеть.

Точное оперативное моделирование и оценка выходной мощности обычно выполняются до установки ветряной турбины. Конечно, между прогнозом и фактической информацией будут различия. На любую энергосистему влияет большое количество запланированных и незапланированных факторов, но они были разработаны, чтобы эффективно справляться с этими изменениями.

Другой важный фактор - это расположение ветряной электростанции, что означает наличие хороших ветровых ресурсов.

В отличие от крупных гидро- и геотермальных электростанций, которые имеют небольшую гибкость при размещении из-за характера ресурса, ветровая энергия может развиваться в очень широком диапазоне местоположений и во многих масштабах, от одной до нескольких сотен ветряных турбин.

Выбор хорошего места может иметь большое значение для выходной мощности ветряной турбины, и это значительно увеличивается в течение срока службы турбины.

Если данные участка полностью доступны, то, используя почасовые данные за часы в году при каждой скорости ветра, мы можем оценить мощность ветра и мощность, выдаваемую с помощью уравнения 1.

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_{p1} \cdot C_{p2} \quad (1)$$

Где  $A$  - площадь поперечного сечения отдельной ветряной турбины,  $\rho$  - плотность воздуха,  $C_{p1}$  - коэффициент преобразования энергии ветра (максимум 59%),  $C_{p2}$  - коэффициент полезного действия устройства, а  $V$  - скорость ветра. Предполагается, что доступна почасовая скорость ветра в течение года.

Если доступна только среднегодовая скорость ветра, то мы используем уравнение 2 для оценки мощности ветра и мощности ветряной турбины.

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \frac{6}{\lambda} \cdot \rho A (V_{Ave})^3 C_{p1} \cdot C_{p2} \quad (2)$$

Оценка производительности также может быть оценена с использованием кривой мощности ветровой турбины, предоставленной производителем турбины, при наличии данных о ветре. В этом случае для скоростей ветра в диапазоне  $V_{CI}$  и  $V_R$  энергия ветра определяется уравнением 3.

$$P_{Wind} = P_R \frac{(V^3 - (V_{CI})^3)}{(V_r^3 - (V_{CI})^3)} \quad (3)$$

$V_{CI}$ : скорость ветра при включении

$V_R$ : номинальная скорость ветра

$V_{CO}$ : предельная скорость ветра

Скорость ветра, превышающая мощность отключения, будет равна нулю.

Таблица 1 показывает выходную мощность ветряной турбины с точки зрения скорости ветра.

Таблица 1

ветровая энергия	скорость ветра
$P_{Wind}=0$	$0 < V < V_{CI}$
$P_{Wind} = P_{Rated} \frac{(V^3 - V_{3CI})}{(V_{3r} - V_{3CI})}$	$V_{CI} < V < V_r$
$P_{Wind} = P_R$	$V_r < V < V_{CO}$
$P_{Wind} = 0$	$V_{CO} < V$

При отсутствии данных о ветре оценка эффективности может быть проведена с использованием функции плотности вероятности Вейбулла или метода Монте-Карло.

Определение скорости ветра с помощью Weibull

Для описания частотного распределения скорости ветра доступно несколько функций плотности вероятности. Функции плотности вероятности определяют частотное распределение скорости ветра и количество часов в году, в течение которых ветряная турбина работает при определенной скорости ветра. Чаще всего используются две функции плотности вероятности. Это Вейбулл и Рэлей.

Если данные объекта доступны не полностью (а только среднегодовые), мы можем использовать статистику Вейбулла с соответствующим параметром формы и параметром масштаба для оценки поставленной энергии.

Общее выражение, которое часто используется для характеристики статистики скорости ветра, - это функция плотности вероятности Вейбулла, выраженная в математической форме, как показано в уравнении 4.

$$f(v) = (k/c) (v/c)^{(k-1)} \cdot \exp(-(v/c)^k) \quad (4)$$

Где  $k$  называется параметром формы, а  $c$  называется параметром масштаба. Используя данные об объекте и допуская статистику Вейбулла, с соответствующей формой и масштабным коэффициентом, мы можем оценить поставленную мощность. Это показано на рисунке 3.

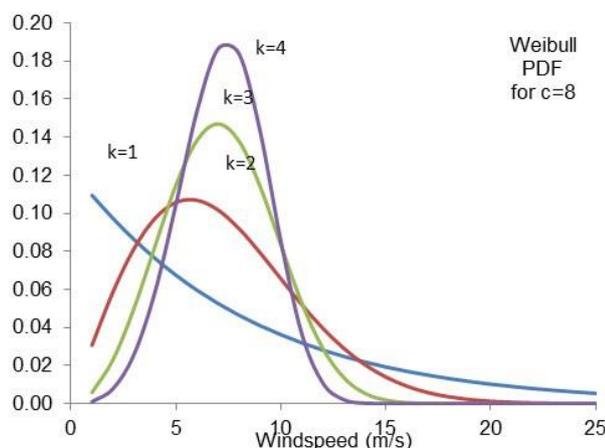


Рисунок 3 - Вейбулла для  $c = 8$  и  $k = 1, 2, 3$  и  $4$

Другой альтернативой для оценки мощности, отдаваемой ветряной турбиной, является статистика Рэля.

Параметр Вейбулла для параметра формы  $k = 2$  известен как Рэлей, показанный в уравнении 5. Если доступна только средняя скорость ветра, то, используя статистику Рэля, мы можем оценить передаваемую мощность.

$$f(v) = (2v/c^2) \cdot \exp(-(v/c)^2) \quad (5)$$

Средняя скорость ветра

Определение скорости ветра методом Монте-Карло.

Если данные сайта не полностью доступны (но доступна только среднегодовая скорость ветра), мы можем использовать статистику Вейбулла, показанную в уравнении 8, где  $X$  - случайное число от нуля до единицы.

$$V = 2 \cdot (V_{ave}) / (\lambda)^{1/2} (-\ln(1-X))^{1/2} \quad (8)$$

На рисунке 4 показана смоделированная скорость ветра, а на рисунке 5 показано распределение скорости ветра за один год.

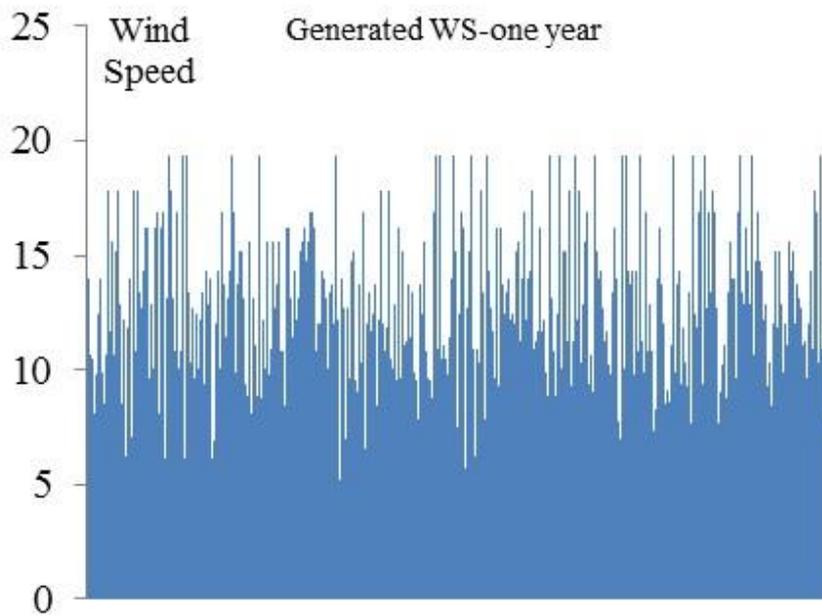


Рисунок 4 - Распределение скорости ветра, смоделированной с использованием метода Монте-Карло и Вейбулла

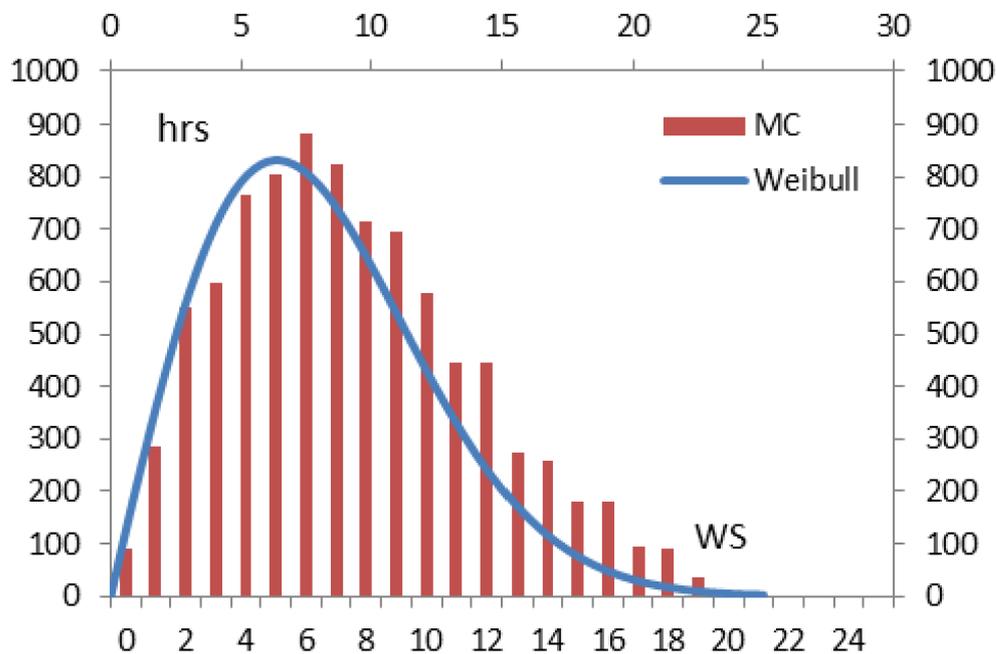


Рисунок 5 -Распределение смоделированной скорости ветра

Результаты моделирования.

Обычно энергопотребление значительно меняется в зависимости от времени суток и сезона. Структура производства электроэнергии в этом исследовании состоит из обычных генераторов для базовой нагрузки, а также из возобновляемых источников энергии. Базовая нагрузка работает при постоянной выходной мощности, в то время как переменные возобновляемые ресурсы, такие как энергия ветра и солнечная энергия, связаны с изменениями выходной мощности, связанными с погодными условиями. Результаты моделирования показаны на рисунке 6.

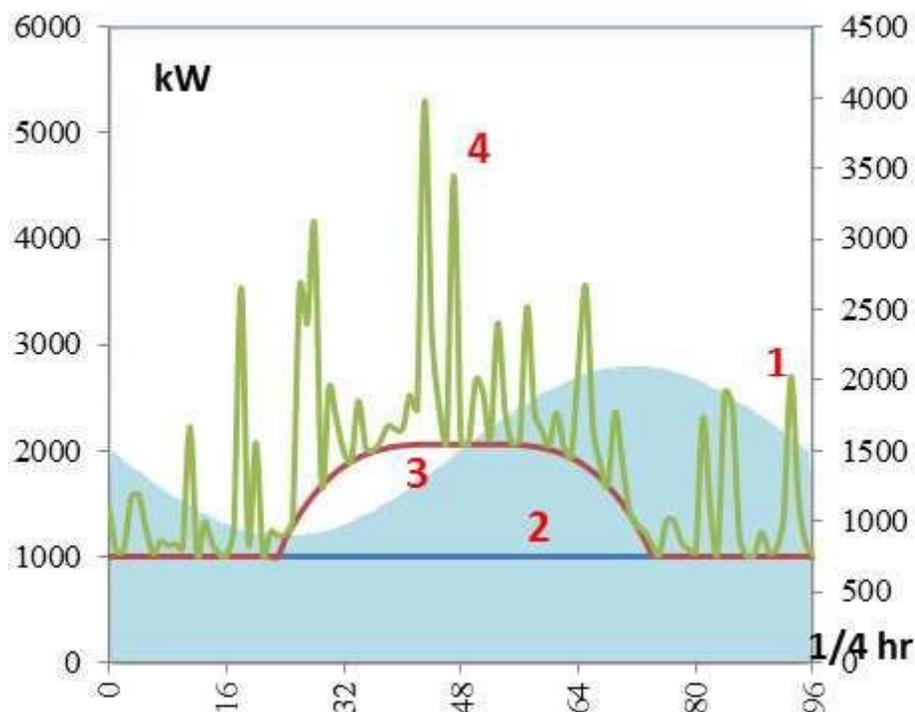


Рисунок 6 - Результаты моделирования

На рисунке 6 заштрихованная область (1) представляет нагрузку за 24 часа с 15-минутными интервалами времени. Синяя линия (2) показывает генератор постоянной базовой нагрузки. Линия красной кривой (3) показывает солнечный фотоэлектрический генератор, а зеленая линия (4) показывает ветрогенератор. Запоминающее устройство может поглощать избыточную мощность в период низкой нагрузки и высвобождать ее в периоды пиковой нагрузки. На рисунке 7 показан баланс мощности без хранилища, а на рисунке 8 показан баланс мощности с хранилищем.

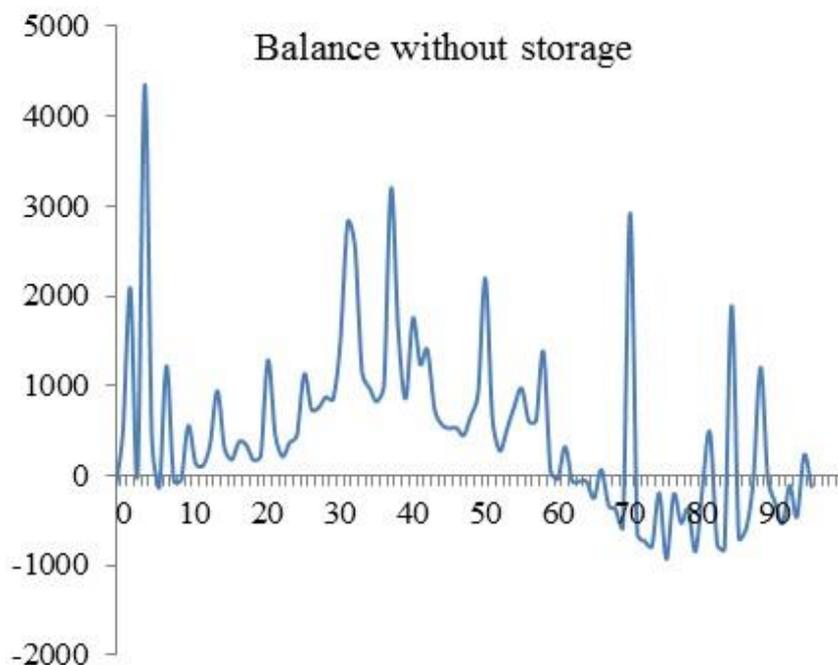


Рисунок 7 - Балансы спроса и предложения без хранения

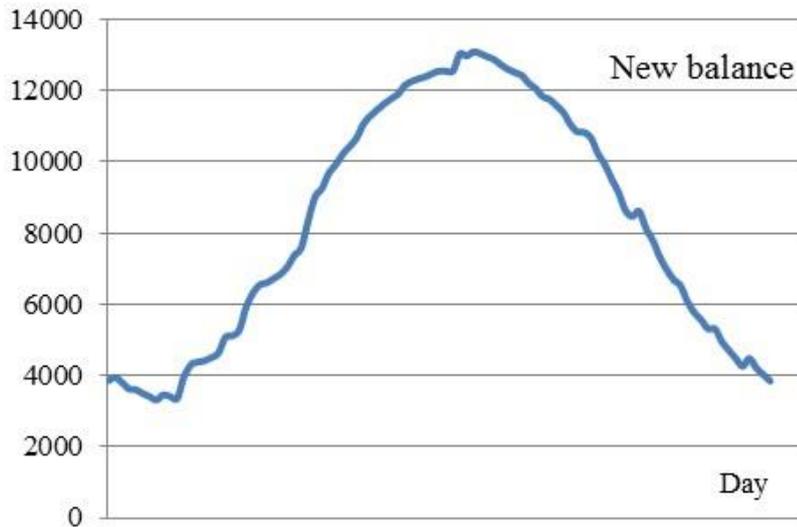


Рисунок 8 - Баланс спроса и предложения с хранилищем

Выводы. В этом документе представлены результаты исследования, проведенного для изучения потенциальной роли и потенциальных преимуществ накопления энергии, интегрированного в прерывистые источники. Использование накопителей энергии поможет улучшить баланс энергии и даст возможность создать устойчивое энергоснабжение и сделать электросеть более надежной, особенно с большой долей возобновляемых источников, подключенных к сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Моделирование переключения нагрузки с использованием электромобилей в среде интеллектуальной сети, Международное энергетическое агентство

[2] Концептуальная основа Smart Grid, IEEE Smart Grid, <http://smartgrid.ieee.org/smart-gridframework-diagram>

[3] Сеть будущего », IEEE Power & Energy Magazine, 2010 г.

#### УДК 621.3

А.А. Жакупов<sup>1</sup>, А.Б. Токмолдаев<sup>2</sup>, Т.Н. Шарипов<sup>3</sup>, Б. Сарсекулов<sup>3</sup>, А.А. Тленшиева<sup>2</sup>,  
Ж.Ә. Қуанышбек<sup>4</sup>, Р.Т. Қасым

<sup>1</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>ҚазҰАЗУ, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>С.Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>4</sup>Логистика және көлік академиясы

#### ҚОЙ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ФЕРМАЛАРЫН ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕТІН АВТОНОМДЫ ЖҮЙЕНІ ТАҢДАУ ЖӘНЕ ҚҰРАСТЫРУҒА ТЕХНИКАЛЫ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ БӘСЕКЕГЕ ҚАБЛЕТТІ НАРЫҚТА ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ «БАЛАНСТЫҚ» (ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ) СЕНІМДІЛІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ НЕГІЗДЕМЕСІ

**Андатпа.** Мақалада бәсекелестік нарық жағдайында энергия жүйелерінің "баланстық" сенімділігін қамтамасыз етудің әртүрлі әдістері, атап айтқанда, электр энергиясы нарықтарына қосымша белгіленген қуат нарықтарын енгізу қарастырылған.