

**Государственный энергетический институт Туркменистана
НПЦ «Возобновляемые источники энергии»**

**Возможность производства и промышленного использования
«Зеленого» водорода в климатических условиях
Туркменистана**

Докладчик: Матьякубов Амирхан Аллабергенович
*Аспирант специальности 05.14.08- «Энергоустановки
на основе возобновляемых источников энергии»*
amirhan31071989@mail.ru

Введение.

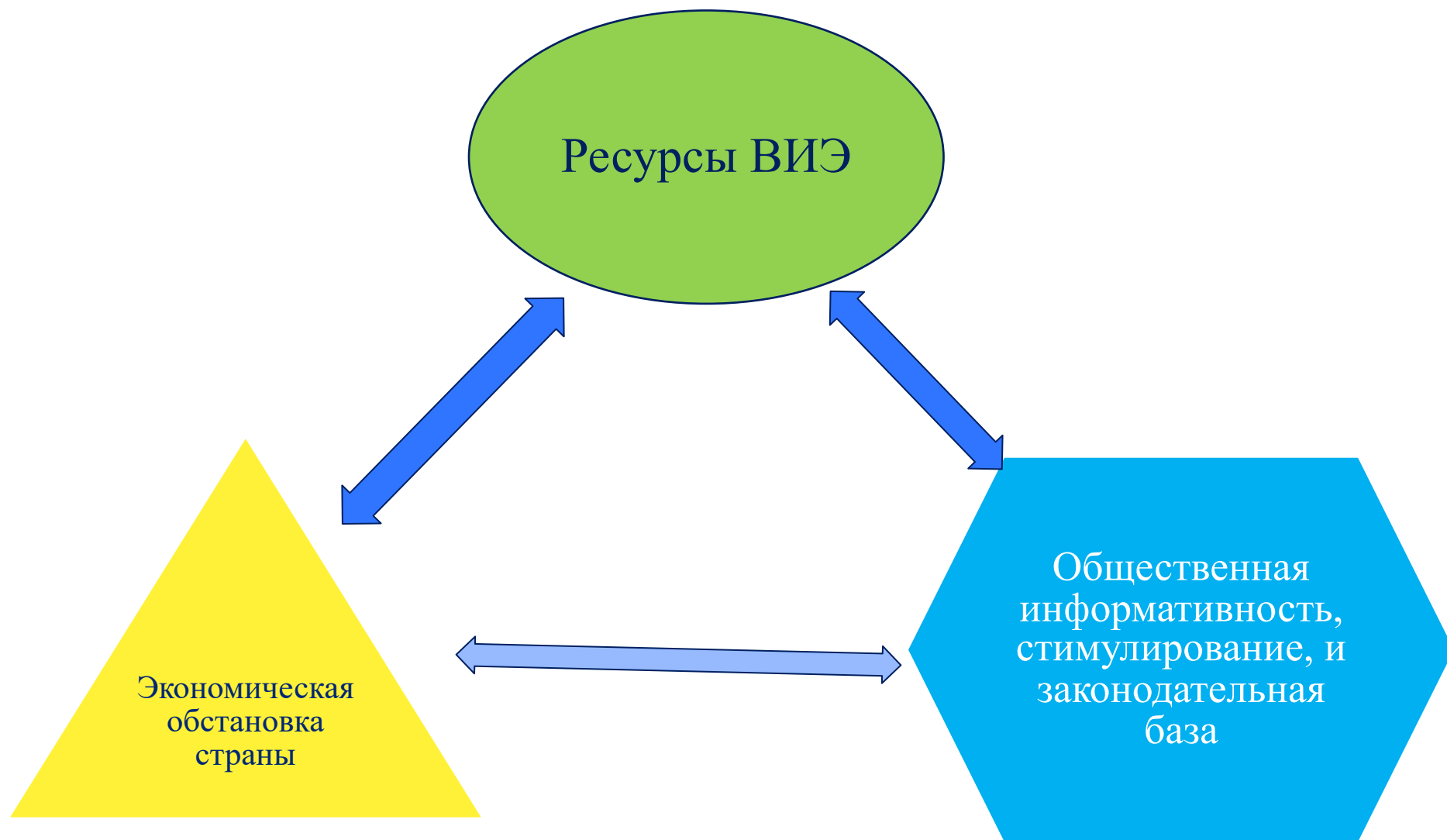
Актуальность задачи.

Почему возобновляемые источники энергии и «Зелёный» водород?

55% мировых запасов газа, 25% всех разведанных запасов нефти и 18% мировых запасов угля расположены на территории Содружестве независимых государств.



При нынешних темпах потребления нефти, газа и угля к 2030 году в распоряжении человечества останется лишь 20% доступного для использования ископаемого топлива.



1. Ресурсы ВИЭ

- Ресурсы энергии Солнца, ветра, геотермальных и др.источников;
- Пустые земляные участки без соленных мест;
- Лёгкий доступ к чистой воде;
- Расположение линий высокого напряжения для подсоединения;
- Стабильный климат (отсутствие наводнений, землетрясений и д.р.).

2. Экономическая обстановка страны

- Количество и мощность потребителей;
- ВВП на душу населения;
- Экономическая стабильность в соседних странах;
- Беженцы.

3. Общественная информативность, стимулирование, и законодательная база

- С помощью СМИ быть в курсе всех событий по использованию ВИЭ в стране и по всему миру;
- Предоставление льгот на покупку и продажу электрической энергии малым и крупным предпринимателям со стороны государства ;
- Международные конференции и проведение научно-исследовательских работ;
- Пилотные проекты;

Законодательная база в Туркменистане

Для развития возобновляемой энергетики (в том числе «зелёному» водороду) в Туркменистане были приняты:

1. Государственная программа по энергосбережению на 2018-2024 годы (2018 год).
2. Национальная стратегия по развитию возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года (2020 год)
3. Программа развития Энергетической дипломатии Туркменистана на 2021-2025 годы (2020 год).
4. Закон Туркменистана **О возобновляемых источниках энергии** (14.03.2021 год).
5. **ДОРОЖНАЯ КАРТА** развития международного сотрудничества в сфере водородной энергетики Туркменистана на 2022-2023 годы // Утверждена Постановлением Президента Туркменистана № 2581 от 28 января 2022 года.

Вся история с водородом очень проста: если вы сжигаете водород, то вы получаете в качестве выхлопа воду ($2H_2 + O_2 = 2H_2O$) и тепло от сгорания.

В чем плюсы:

- Нет выхлопа углекислого газа и любых других вредных газов.
- Выделяется много тепла на единицу массы. Удельная теплота сгорания примерно 140 Мдж на кг (у бензина около 40-45 МДж на кг).
- Водород хорошо распространен в природе в форме соединений (в углеводородах и воде, например).

В чем минусы:

- Водород занимает очень большой объем при комнатной температуре и атмосферном давлении, из-за этого на единицу объёма у него очень маленькая энергоёмкость. При комнатных условиях в 1 литре водорода всего 0.08 грамм. Для практического применения его надо сжижать (-252 градуса), тогда его плотность увеличивается до примерно 70 грамм на литр. Сравните с 780 граммами на литр для бензина. В итоге бак на 100 литров водорода в криогенном состоянии (под -252 градусами) будет содержать примерно в 3 раза меньше энергии, чем бензиновый.
- Криогеника означает усложнение хранения и транспортировке и затраты за сжижение (довольно сложное сжижение до низких температур), а так же контроль за давлением.
- Водород является самым маленьким атомом и в газообразном виде имеет тенденцию проникать сквозь любые стенки, он пролезает через другие молекулы. Те водород медленно утекает даже из закрытого баллона через стенки.
- Водород горит и образует взрывоопасную смесь с воздухом.

Существует 3 основных промышленных способа производства водорода:

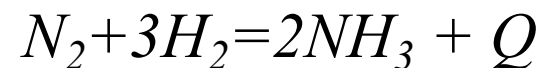
- Метановая конверсия паром подразумевает “обработку” метана в парах воды под высокой температурой и давлением;
- Продувка водяного пара над раскалённым коксом;
- Электролиз.

При чем же тут аммиак

Аммиак это соединение 3 атомов водорода и азота. Особенность в том, что в таком виде водород “плотнее” упакован. Аммиак проще сжижается (при -36 градусах) и имеет более высокую плотность как газ (20 грамм на литр) и особенно как жидкость (680 грамм на литр, почти как бензин). А значит его проще сжижать и проще прокачивать в трубопроводах.

При сжигании аммиака в идеале можно получить только воду и азот. Правда сжигать аммиак довольно не просто, это требует специального механизма смешения с воздухом, присутствия катализаторов и контроля за образованием оксидов азота, которые ядовиты для людей. При этом аммиак выделяет не слишком много тепла на кг (18 Мдж на кг). Тогда в нашем сравнении с бензином аммиак лучше чистого водорода на 25-30%.

Получение аммиака:



Эта реакция является экзотермической: для образования 2 молекул аммиака требуется 3 молекулы водорода и 1 молекула азота.

Молекулярная масса искомого вещества равна:

$$m = \frac{\mu}{N_A}$$

где m – молекулярная масса вещества, μ – молярная масса молекулы вещества, N_A – константа Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$, Количество сырья, необходимого для промышленного производства 1 тонны аммиака, можно рассчитать по уравнениям (1) и (2). Найдя молярную массу соответствующих веществ по химической таблице Менделеева, рассчитав количество веществ, необходимых для производства аммиака, по формулам 1-2, результаты представлены в таблице 1.

Материал	Требуемая масса, кг	
Аммиак	$5,65 \cdot 10^{-26}$	1000
Водород	$1 \cdot 10^{-26}$	177
Азот	$4,65 \cdot 10^{-26}$	823,05

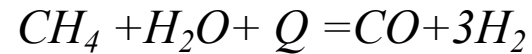
Как показано в таблице, для производства 1 тонны аммиака требуется 177 кг водорода.

Водород – один из самых распространённых элементов на Земле. Но хранится он в виде соединений, а не в привычном виде. Поэтому разработано несколько методов получения чистого водорода. В зависимости от этих типов принято различать производимый водород по условным цветам. До сих пор необходимый для производства аммиака в промышленности водород получают методом паровой конверсии метана (ПВР), который называют «серым» водородом. «Серый» водород широко используется во всем мире не только для производства аммиака, но и на нефтеперерабатывающих заводах и в производстве метанола.

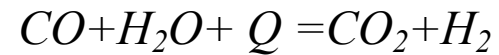
Паровая конверсия метана состоит из нескольких этапов:

1-этап, Печь, для производство пара,

2-этап. Реакция реформирования



3-этап. Реактор конверсии водяного газа (реактор WGS)

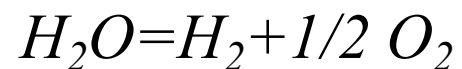


4-этап. Очистка газа – абсорбция при переменном давлении (PSA)

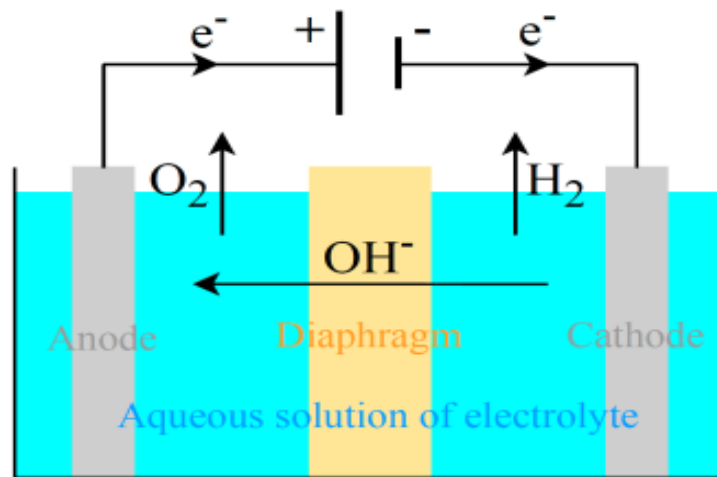
Также стоит понимать, что для производства 1 кг водорода методом ПКМ используется 4,5 кг воды, но вода необходима и для охлаждения оборудования на установках ПКМ . При этом на каждый дополнительный 1 кг водорода требуется от 6,4 до 32,2 кг воды. В целом для получения 1 кг водорода с использованием природного газа в среднем расходуется 22 кг воды.

2. Метод электролиза

«Зеленый» водородом будет водород, полученный электролизом с использованием электроэнергии, производимой из возобновляемых источников энергии (ВИЭ)



(данная реакция происходит, когда в воду добавляются специальные электролитные соединения и на производство 1 м³ водорода расходуется 4,4 кВт·ч электроэнергии)



Реакция на аноде: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ с выделением кислорода;

Реакция на катоде: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ выделение водорода.

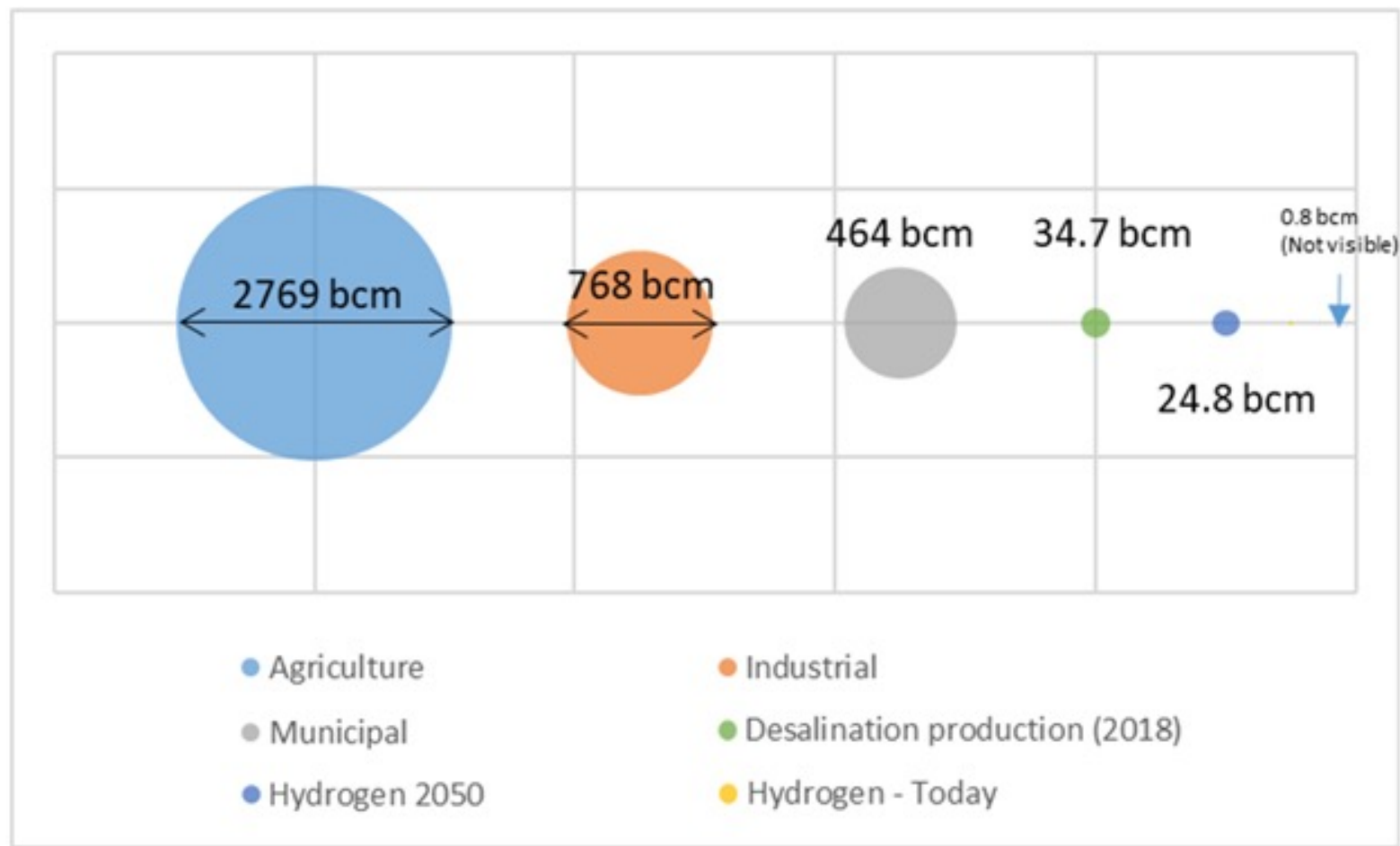


Рисунок- 2. Потребление воды по отраслям экономики

На основе уравнений можно рассчитать количество веществ, необходимое для получения 177 кг «зеленого» и «серого» водорода, а также количество вредных газов, выделившихся в результате в атмосферу.

Таблица 2.

	Паровая конверсия метана	Электролиз
Масса метана, кг	353,1	-
Масса реактивной воды, кг	793,85	1587,7
Средняя масса общей необходимой воды, кг	3894	3717
Масса выделяемого углекислого газа, кг	970	-

В данном исследовании область Туркменистана обрабатывалась на основе данных, полученных для центра Мары (координаты: 37° 6' северной широты и 61° 8' восточной долготы). Расчёт фотоэлектрической солнечной установки в научной работе проводился с использованием национального программного обеспечения «Цифровая система разработки солнечного кадастра», разработанного в Научно-производственном центре «Возобновляемые энергоресурсы» Государственного энергетического института Туркменистана. В расчётах рассматривалось использование электролизёра мощностью 1 МВт в системе 2G, соответствующие расчёты были проведены с использованием его технических характеристик, результаты представлены в табл. 3.

Технические характеристики электролизёра мощностью 1 МВт

Таблица 3

Технические характеристики	Значение и единица измерения
Номинальная мощность	1 МВт
Производительность по водороду	300 Нм ³ /ч
Регулирование производительности по водороду	15–100 %
Удельный расход электроэнергии	4,4 кВт · ч/Нм ³
Давление водорода на выходе	30–200 кгс/см ²
Удельная плотность водорода	0,08988 кг/Нм ³
Нижняя теплотворная способность	119,96 МДж/кг (т. е. 33,32 кВт · ч/кг или 3,00 кВт · ч/Нм ³)

Используя таблицу 3, можно рассчитать следующие величины:

Максимальная стоимость производства водорода в сутки:

$0,08988 \text{ кг/Нм}^3 \times 300 \text{ Нм}^3/\text{ч} = 27 \text{ кг/ч}$ или 647 кг водорода, производимого в день
(0,08988 кг/Нм³ — нормальная плотность водорода).

Количество электроэнергии, потребляемой в день при пиковом производстве водорода, составляет: $4,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/Нм}^3 \cdot 300 \text{ Нм}^3/\text{ч} / 27 \text{ кг/ч} = 48,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$.

Используя информацию, приведённую в таблице 3, можно определить полезный коэффициент полезного действия системы 2G, то есть он равен отношению внутренней энергии, вырабатываемой водородом, к энергии, затраченной на производство водорода:

$\eta_{2G} = \text{энергия водорода (кВт}\cdot\text{ч/кг)} / \text{энергия, затраченная на производство водорода (кВт}\cdot\text{ч/кг)}$.

Если взять минимальную теплообменную мощность вырабатываемого водорода и максимальное энергопотребление электролизера (48,9 кВт·ч/кг), то КПД системы 2G, т.е. ПТК:

$$\eta_{2G} = (33,32 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг} / 48,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}) \cdot 100\% = 68,1\%.$$

Количество электрической энергии или мощности, необходимое для производства водорода при полной производительности (300 Нм³/ч) электролизёра 2G, составляет:

$$P = 300 \text{ Нм}^3/\text{ч} \cdot 4,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{Нм}^3 = 1320 \text{ кВт} = 1,32 \text{ МВт}$$

На основании приведённых расчётов в данной научной работе предлагается проект фотоэлектрической солнечной электростанции (ФСС) с использованием национального программного обеспечения, которая обеспечит электроэнергией, необходимой для электролизёра, способного производить не менее 177 килограммов водорода в сутки в среднем в течение года. Результаты этого ФСС и итоговое состояние производительности электролизёра можно увидеть на рисунках 3 и 4.

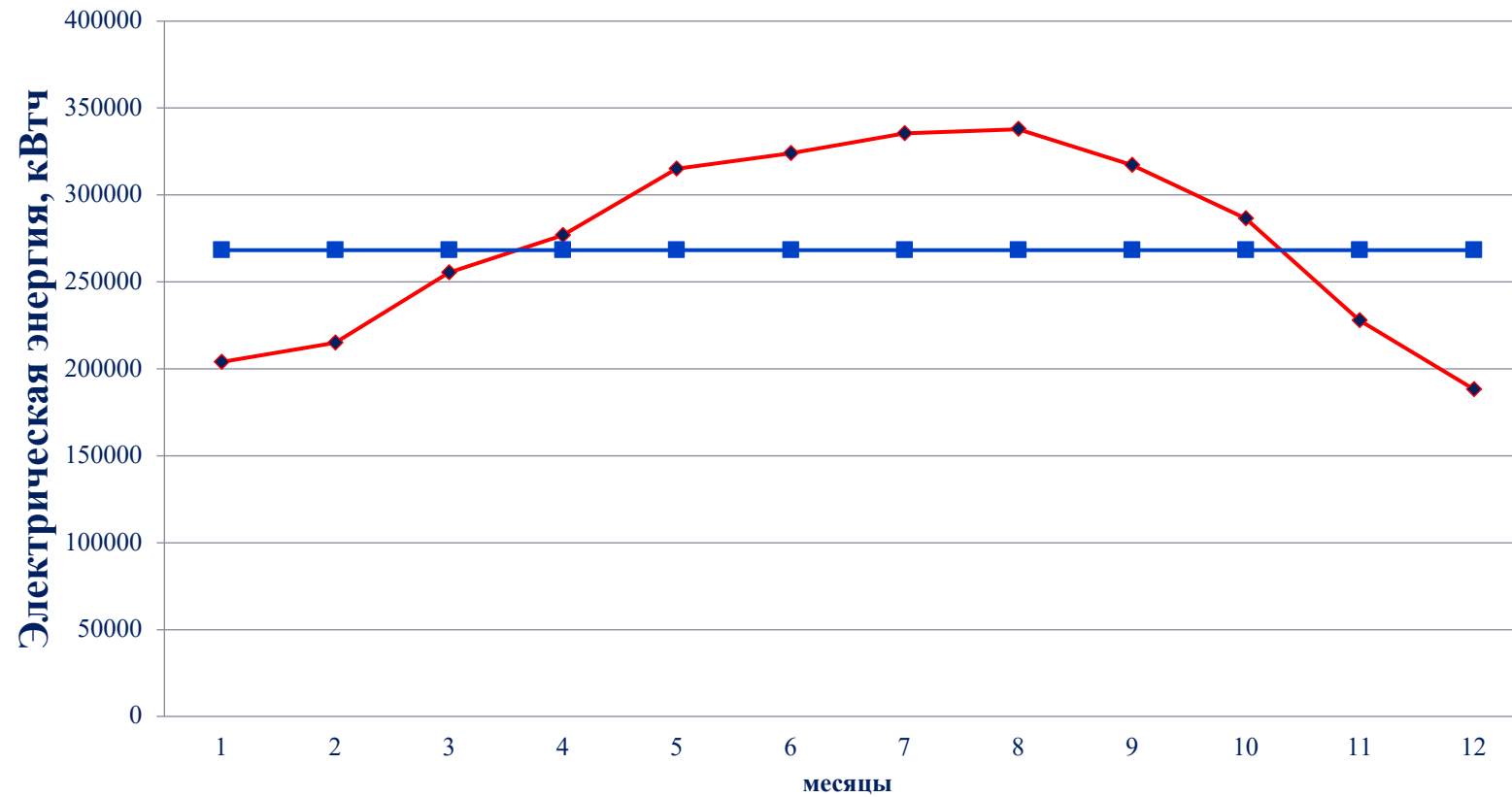


Рисунок 3. Ежедневная выработка ФСС по месяцам и необходимая электролизёру электроэнергия для производства 177 кг водорода.

Как видно из рисунка-3, производительность солнечных панелей с января по март, и с ноября по декабря меньше чем необходимое для электролизера (в сумме не хватка энергии 250819 кВт·часов), но с марта по октября производительность больше чем необходимо (в сумме избыточное количество энергии составляет (239295 кВт·часов), т.е. это говорит о том, что избыточное количество электрической энергии можно запасти в виде водорода, и использовать его в сезоны с не хваткой энергии, также возникает возможность использовать 11524 кВт·часов электрической энергии для собственных нужд при необходимости.

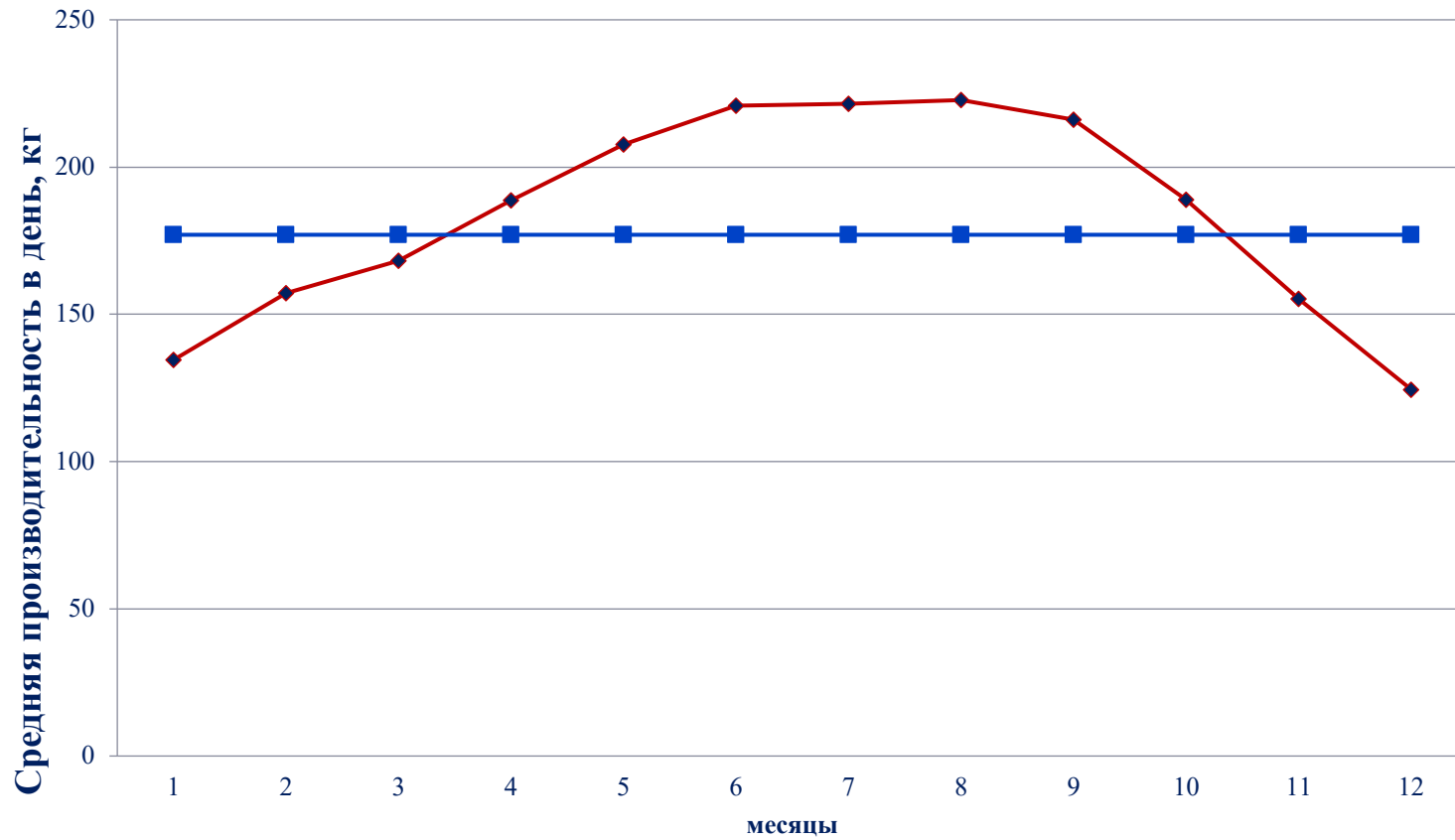


Рисунок 4. Суточная выработка водорода электролизером по месяцам и количество водорода, необходимое для производства 1 тонны аммиака в сутки.

Как видно из рисунка-4, интенсивность производительности выработки водорода электролизёром на прямую зависит от производительности фотоэлектрической солнечной станции, и мы наблюдаем что с января по март и с ноября по декабрь месяцы возникает не хватка водорода (145,47 кг), а с марта месяца по октябрь мы наблюдаем избыточное количество произведённого водорода (227,37 кг), которую можем хранить в специальных системах для использования в месяцы, когда у нас не хватает водорода, даже у нас остается избыточное количество водорода (81,9 кг), которую можно использовать или же хранить для собственных нужд при необходимости.

Спасибо за внимание