

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ И ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ САМООБЕСПЕЧЕННОСТИ

Удалов С.Н., Щегельский В.В.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Отсутствие выработки солнечной энергии в ночной период покрывается накопленной энергией в, как правило, аккумуляторных батареях. Однако, гелиевые аккумуляторы имеют низкий срок эксплуатации, порядка 4-х лет, а Li-ion аккумуляторы высокую стоимость и плохо держат заряд из-за явления саморазряда, создавая дополнительные потери электроэнергии. Помимо аккумуляторных батарей для хранения энергии можно использовать водородную систему хранения. Она состоит из: электролизёра, бака для хранения водорода и топливного элемента. У такой системы более низкая эффективность зарядо-разрядного процесса, однако, сохранять энергию в виде водорода она может практически без потерь, что делает выгодным для накопления энергии в одном сезоне и использования её в другом.

В данной статье представлено исследование, в котором выполнено сравнение между водородной системой хранения энергии и аккумуляторными батареями с различными мощностями фотоэлектрических панелей, входящих в систему электроснабжения кластера. Целью этого сопоставления является решение проблемы достижения высокого коэффициента самообеспеченности (SSR) и высокого дохода (NPV). Так же рассмотрено влияние изменения цен устройств на систему отношения SSR-NPV, и предложен гибридный аккумуляторной батареи и водородной системы хранения.

Схематическая диаграмма исследуемой системы показана на (рис. 1). В качестве накопителя энергии будет использоваться либо аккумуляторная батарея, либо водородная система.

Составим баланс мощности для данной схемы [1]:

$$P_{\text{ф.п.}} + P_{\text{т.э.}} \pm P_{\text{Li-ion}} \pm P_{\text{сеть}} - P_{\text{эл.}} - P_{\text{н}} = 0, \quad (1)$$

где $P_{\text{ф.п.}}$ – мощность, генерируемая фотоэлектрическими панелями; $P_{\text{т.э.}}$ – мощность, генерируемая топливным элементом; $P_{\text{Li-ion}}$ – мощность заряда или разряда аккумуляторных батарей; $P_{\text{сеть}}$ – мощность, потребляемая из сети или генерируемая автономной системой в сеть; $P_{\text{эл.}}$ – мощность, потребляемая электролизёром; $P_{\text{н}}$ – мощность нагрузки.

SSR и NPV рассчитываются по формулам (2) и (3), соответственно [2].

$$SSR = \left(1 - \frac{\int_{t_1}^{t_2} \pm P_{\text{сеть}}}{\int_{t_1}^{t_2} P_{\text{н}}} \right) \times 100\%. \quad (2)$$

$$NPV = \sum_{N=1}^{25} \frac{(D_N - I_{\text{эксп}} - I_{\text{зам}})}{(1+d)^{N-1}} - K, \quad (3)$$

где D_N – доход, $I_{\text{эксп}}$, $I_{\text{зам}}$ – издержки на эксплуатацию и на замену в год N , соответственно; K – капитальные вложения; d – ставка дисконтирования или учётная ставка (2%). Доход представляет собой суммарные продажи электроэнергии в сеть по оптовому тарифу и покупку электроэнергии по розничному тарифу от сети. Информация о стоимости компонентов представлена в (табл. 1).

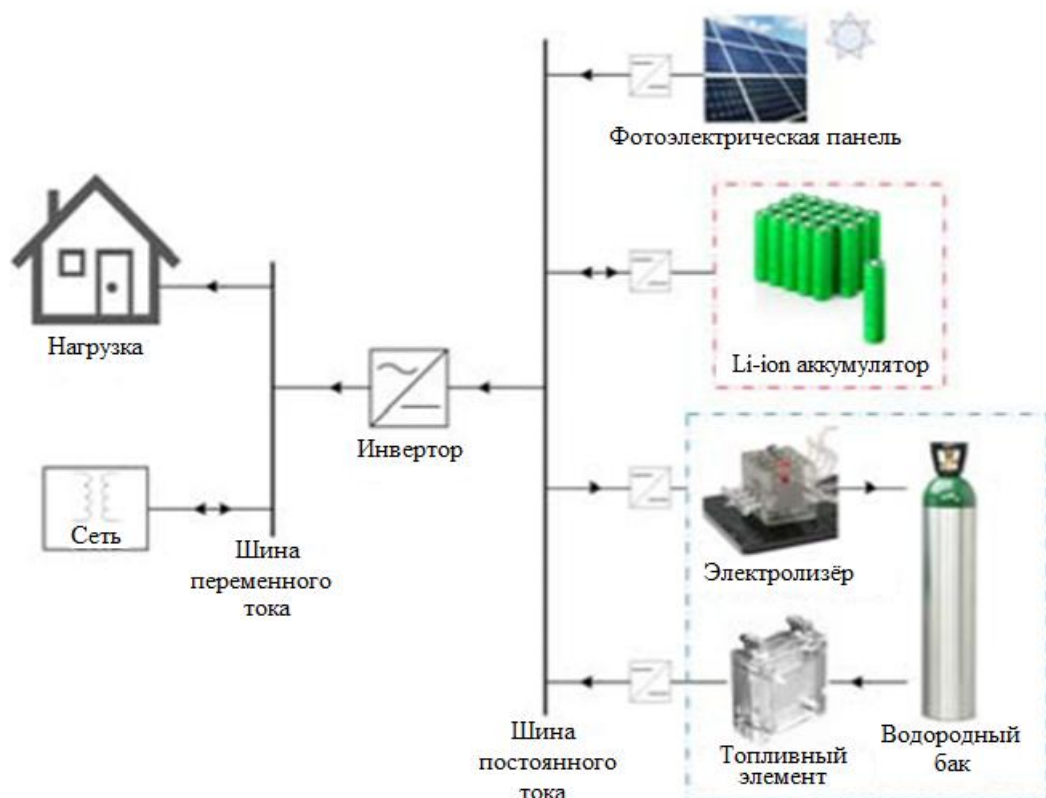


Рис. 1. Схематическая диаграмма

Таблица 1 – Затраты на компоненты, сроки службы и затраты на эксплуатацию

Компонент	Цена	Срок службы	$I_{\text{эксп}}$
Фотоэлектрическая панель	84500 руб/кВт	25 лет	1%
Топливный элемент	221700 руб/кВт	30000 рабочих часов	0,5%
Электролизёр	277100 руб/кВт	15 лет	0,5%
Водородный бак	31600 руб/кВт	15 лет	0,5%
Li-ion аккумулятор	26000 руб/кВт	746 циклов	0,5%

В исследовании используется фотоэлектрическая панель SUNTECH STP255-20/Wd, её вольт-амперная характеристика описывается уравнением (4). Панель направлена на север и установлена под углом 45° . Такое расположение гарантирует максимальное ежегодное производство. Данные о погоде взяты из отчётов метеослужбы.

$$I = I_L - I_D \left[e^{\frac{QU_{OC}}{AKT}} - 1 \right] - \frac{U_{OC}}{R_{sh}}, \quad (4)$$

где I_L - ток, сгенерированный световым потоком; I_D - ток насыщения диода; Q - заряд электрона $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; A - постоянная сглаженного графика модуля; $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана; T - температура; U_{OC} - напряжение холостого хода; R_{sh} - сопротивление току утечки в землю.

Срок службы аккумулятора зависит от условий работы и количества циклов заряд-разряд.

Электролизёр с твёрдым полимерным электролитом производит водород под давлением 20 МПа (встроен компрессор), потребляя электрический ток. Зависимость $P(I)$ с учётом мощности компрессора представлена на (рис. 2). Полимерная электролитическая мембрана топливного элемента вырабатывает электроэнергию, используя водород в качестве энергоносителя. Его характеристика $P(I)$ изображена на (рис. 2) и получена из данных о топливном элементе.

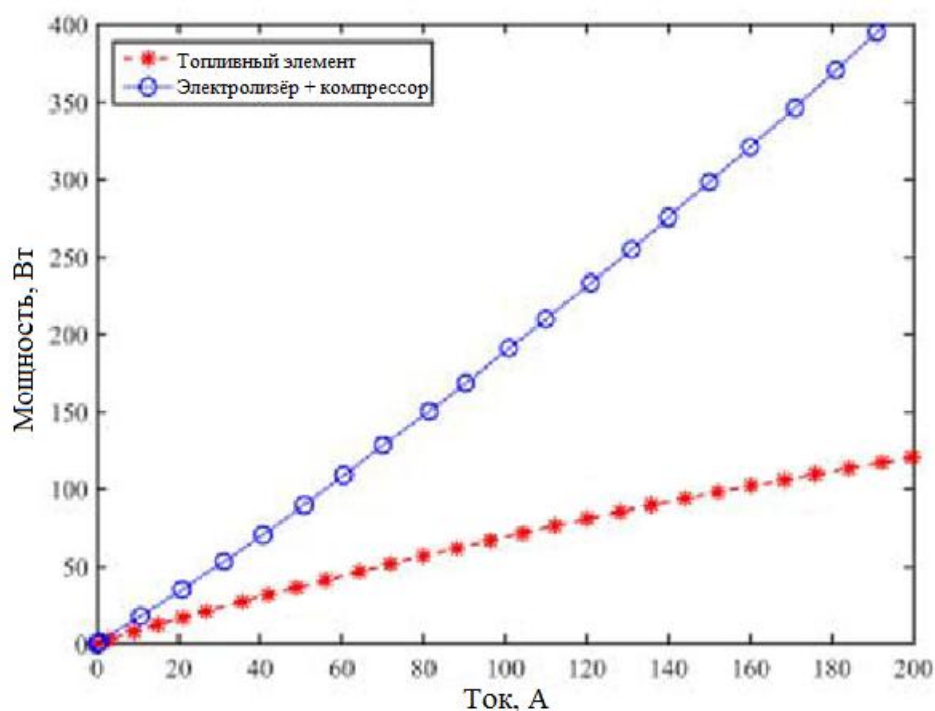


Рис. 2. Кривые $P(I)$ одной ячейки топливного элемента и электролизёра.

Сравнение аккумуляторной батареи и водородной системы хранения энергии осуществляется при установленной мощности солнечных батарей 100, 200 и 300 кВт. Энергия, запасённая в аккумуляторной батарее, увеличивается от 50 кВт*ч до 800 кВт*ч с дискретным шагом в 50 кВт*ч. Отношение NPV и SSR показано на (рис. 3). Оптимальный выбор размеров компонентов в водородной системе достигается в ходе многокритериального алгоритма оптимизации, который представляет соотношение между NPV и SSR в виде фронта Парето (рис. 3). Диапазон значений оптимальных по Парето решений в области допустимых значений дает полезную информацию об исследуемой задаче, если целевые функции ограничены областью определения. Нижние границы оптимального по Парето множества представлены в «идеальном целевом векторе». Его компоненты получены путём минимализации каждой целевой функции в пределах области определения. Множество оптимальных по Парето решений также называют Парето-фронтom.

Так же на (рис. 3) самые нижние точки указывают на соотношение между NPV и SSR для системы без аккумулялирования энергии.

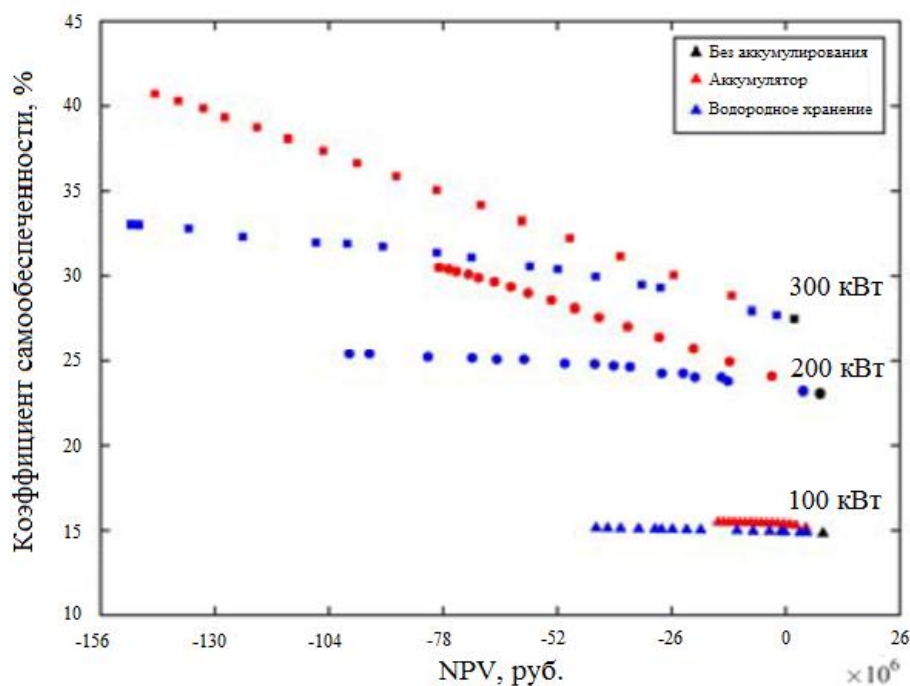
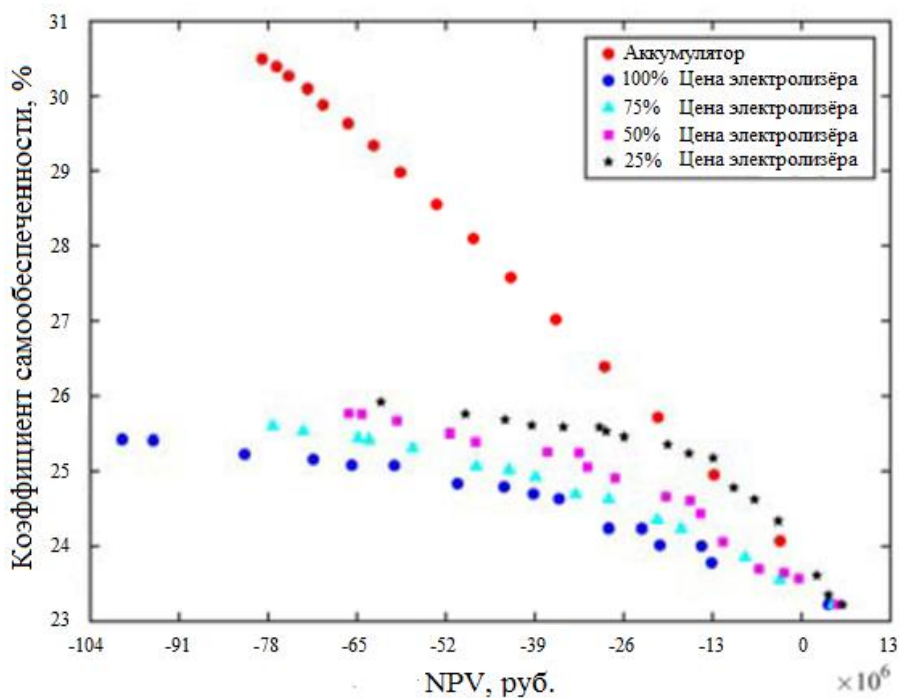


Рис. 3. Сравнение NPV–SSR характеристик аккумулятора и водородной системы

Предположим, что цены на топливный элемент, электролизёр и водородный бак упали до 75%, 50% и 25% от текущей цены. Парето фронт каждого случая для фотоэлектрической панели 200 кВт представлен на (рис. 4).

Фронты Парето при уменьшении цены на топливный элемент и водородный бак несколько искривляются, по отношению к фронту Парето текущих цен. Отмечено, что цены топливного элемента и водородного бака не влияют на улучшение производительности системы относительно NPV и SSR. Уменьшение цены на электролизёр заметно улучшает SSR при постоянном NPV. Так же замечено, что, когда цена достигает 25% от текущей стоимости, водородная система хранения может составить конкуренцию аккумуляторной батарее, достигая такого же SSR при высоком NPV.



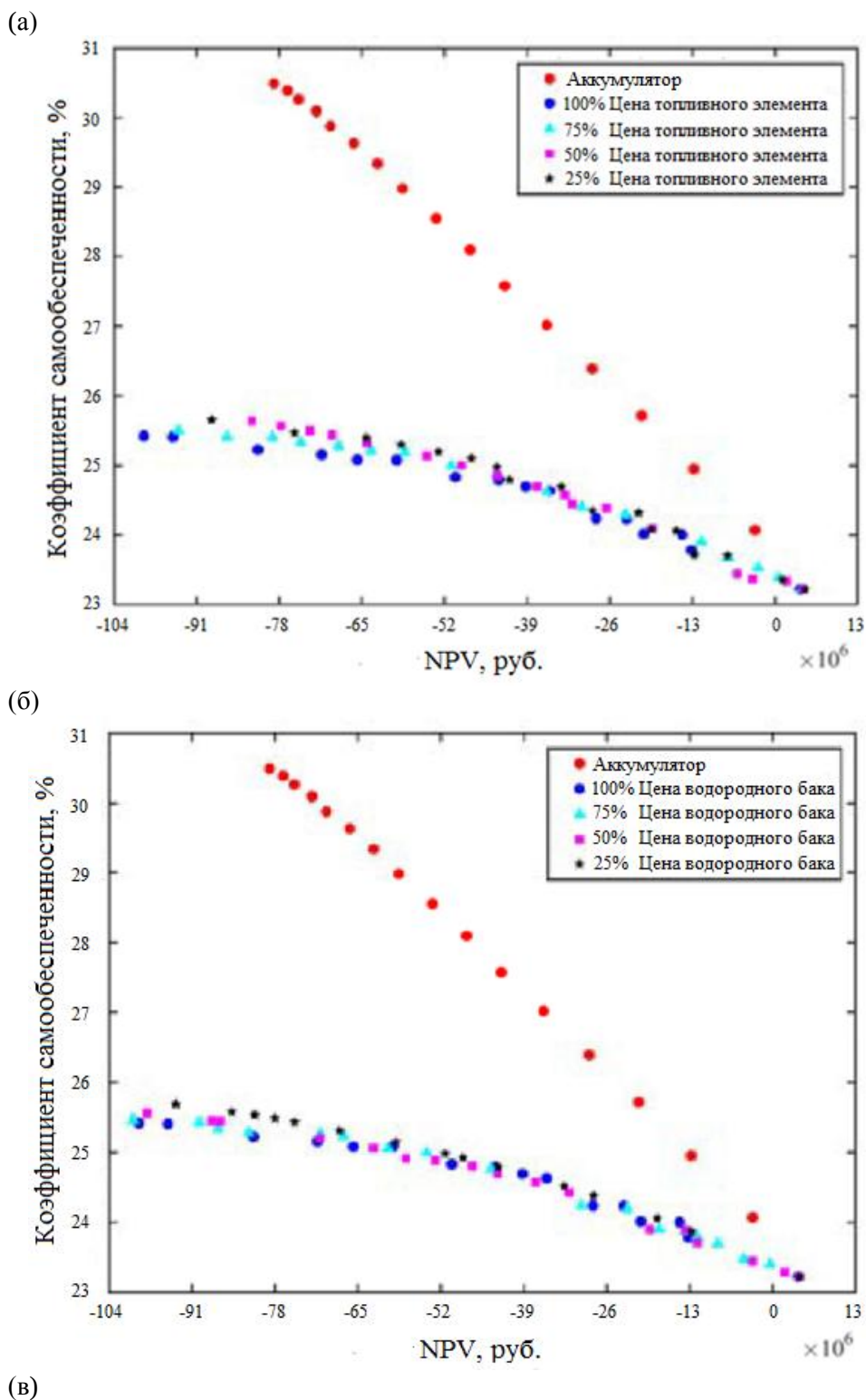


Рис. 4. Исследование чувствительности стоимости компонентов на SSR-NPV отношении.

(а) Электролизёр; (б) Топливный элемент; (в) Водородный бак.

Как у аккумуляторной батареи, так и водородной системы имеются свои плюсы и минусы в эксплуатации, и если использовать их вместе, то плюсы одного покрывают минусы другого, что повышает эффективность хранения. Например, свойство саморазряда аккумуляторной батареи не позволяет с её помощью держать в запасе резервный объём энергии на экстренный случай. Водородная система хранения не обладает таким свойством и может накапливать энергию, грубо говоря, в неограниченных количествах

(накопленный водород храниться в специальных баках, которые при надобности можно докупить, что увеличит объём хранения) и удерживать её длительное время.

Летом, когда нагрузка имеет минимальные значения, вполне достаточно фотоэлектрических панелей и заряда Li-ion аккумулятора. В солнечное время суток, которое занимает большую часть суток, энергия вырабатывается солнечными батареями. Излишки энергии идут на заряд аккумулятора и в сеть, и на работу электролизёра, для выработки водорода. В бессолнечное время нагрузка питается от аккумуляторной батареи. При необходимости, недостающая энергия берётся из сети, либо запускается дизельный генератор. Зимой нагрузка возрастает, по известным причинам и в работу вступает топливный элемент, расходуя водород, который накапливался всё лето, дополняя общую генерацию системы.

Эффективность такой системы возрастает на ~15-20%, что видно из (рис. 5).

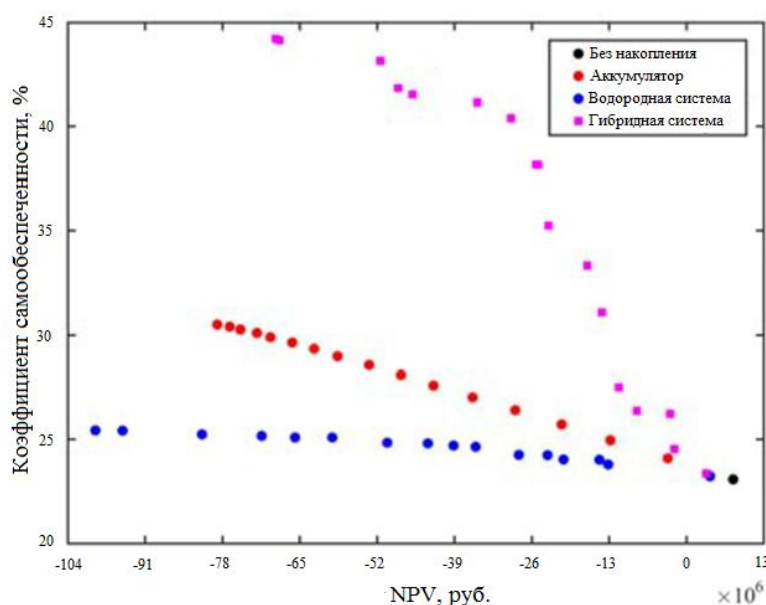


Рис. 5. Сравнение между гибридной системой хранения с одним аккумулятором или водородной системой хранения.

Из сравнения аккумуляторной батареи и водородной системы видно, что аккумуляторная батарея превосходит водородную систему в отношении SSR и NPV, т.к. у аккумуляторной батареи достигается больший SSR при равном NPV и при уменьшении NPV разница между SSR растёт. Так же установлено, что уменьшение цены на электролизёр делает водородную систему более выгодной и при достижении 25% цены электролизёра, водородная система может конкурировать с аккумуляторами при около нулевом NPV. Рассмотренная гибридная система показала, что использование аккумулятора и водородной системы вместе даёт большую выгоду, чем использование их по отдельности.

Литература

1. Удалов С.Н. Возобновляемая энергетика: Учебник/ С.Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 2016. – 607 С.
2. Yang Zhanga,b, Anders Lundblada, Pietro Elia Campanab, Jinyue Yana. Comparative Study of Battery Storage and Hydrogen Storage to Increase Photovoltaic Self-sufficiency in a Residential Building of Sweden/ Applied Energy Symposium and Forum, REM2016: Renewable Energy Integration with Mini/Microgrid, 19–21 April 2016, Energy Procedia 103, 268 – 273 p.