



УДК 621.311.001.57

**О.А. Бурмакин**, доцент, к.т.н., кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**Ю.С. Малышев**, доцент, к.т.н., кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**С.В. Попов**, доцент, к.т.н., кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**Зобов Л.В.**, студент, кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603951, г Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СРЕДЕ МАТЛАВ

*Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, имитационная модель, солнечная батарея, ветрогенератор.*

*В статье выполнено обоснование целесообразности применения возобновляемых источников на судах. Разработаны и описаны имитационные модели солнечного модуля и ветрогенератора. Приведены характеристики работы предложенных моделей. Выполнено сравнение характеристик модели с существующими солнечными модулями.*

Применение возобновляемых источников солнечной и ветровой энергии во всех отраслях промышленности является экологически безопасным, в том числе и на флоте. Особенно эффективно применение солнечных батарей (СБ) на судах, имеющих возможность их размещения, например, танкерах или в некоторых случаях сухогрузах. Существуют варианты вертикального расположения солнечных панелей на конструкциях, которые могут ориентироваться на солнце, используя датчики освещенности. Однако отечественные разработки и тем более реализация проектов в этом направлении носят частный характер. Поэтому для проектирования и исследования переходных процессов, происходящих в возобновляемых источниках, целесообразно использовать имитационные модели.

Имитационная модель солнечного фотоэлектрического модуля разработана в программной среде Matlab Simulink. Такая Simulink модель, позволяющая регистрировать основные характеристики солнечного фотоэлектрического модуля, представлена на рис. 1.

Модель имеет два основных блока: «Constant», который задает значение интенсивности солнечного излучения  $G$ , ( $Вт/м^2$ ) и подсистемы «TSM-200M», представляющей солнечный модуль. Развернутая структура предлагаемой подсистемы «TSM-200M» солнечного модуля представлена на рис. 2.

В подсистеме солнечного модуля введены данные, которые соответствуют параметрам реального поликристаллического солнечного модуля TSM-200M [1] при освещенности  $1000 \text{ Вт/м}^2$ :  $P=200 \text{ Вт}$ ;  $U=36 \text{ В}$ ;  $I=5,56 \text{ А}$ ;  $U_{xx}=43,2 \text{ В}$ ;  $I_{кз}=6,22 \text{ А}$ .

В качестве солнечного элемента был использован универсальный блок «SolarCell» библиотеки Simscape. Блоки солнечных элементов соединяются в подсистемы (рис. 2) для получения требуемой мощности батареи.

Для изменения нагрузки солнечной батареи в схему введен элемент переменного сопротивления «Variable resistor». Регулирование значения сопротивления выполняется сигналом, поступающим с блока «Simulink-PSConverter», на вход которого поступает

сигнал, изменяющийся по линейному закону. Результаты моделирования отображают блоки «XYGraph1» и «XYGraph», выполняющие построение графиков вольт-амперной и внешней характеристик соответственно [2].

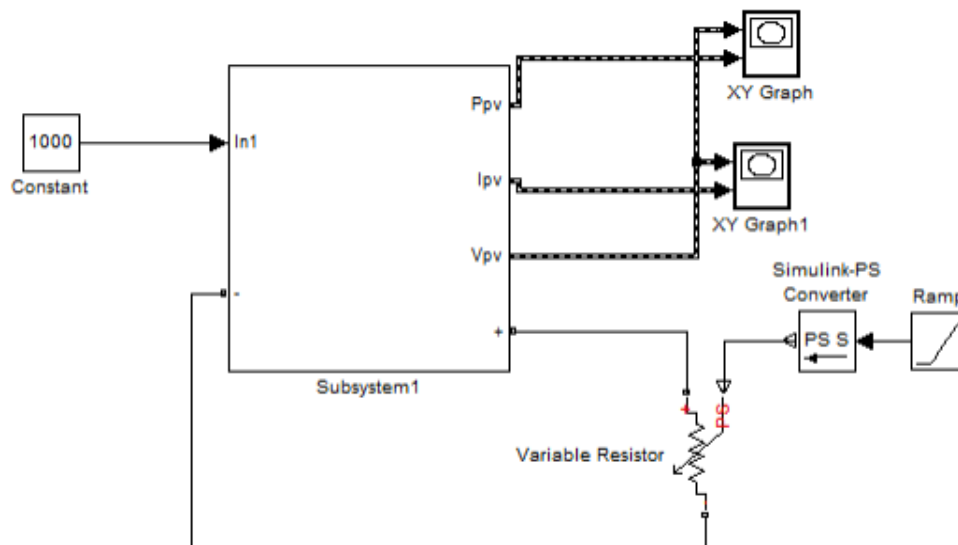


Рис. 1. Модель измерения характеристик солнечного модуля

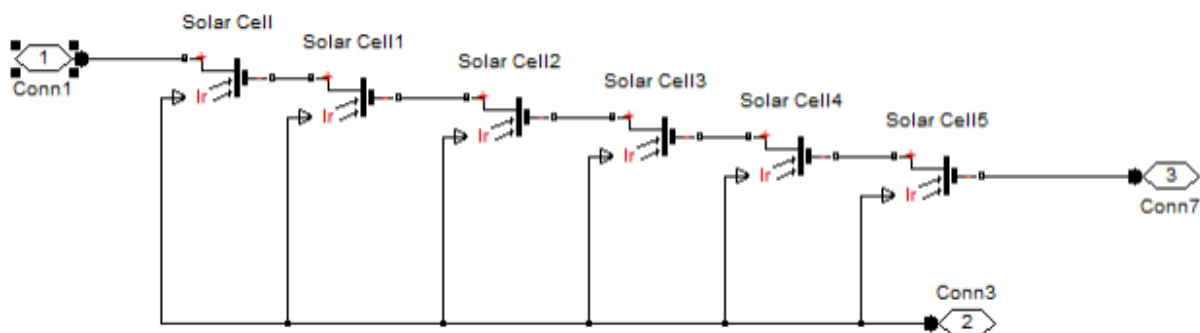


Рис. 2. Модель подсистемы состоящей из 6 элементов «SolarCell»

Моделирование проводилось без учета частичного затенения воспринимающей поверхности фотоэлектрических панелей (ФЭП). Данное допущение дает возможность применять классические аналитические выражения для моделирования характеристик ФЭП. Важно отметить, что результаты моделирования могут отличаться от характеристик физической установки, ввиду разброса параметров каждого элемента в некотором диапазоне. Для сравнительной оценки на рис. 3 представлены результаты моделирования, где указаны точки максимальной мощности (ТММ) и вольт-амперные характеристики монокристаллического солнечного модуля TSM-200M [1]. Вольт-амперные характеристики были получены при температуре 25°C и уровнях освещенности: 200; 400; 600; 800; 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

При сравнении диаграмм наблюдается расхождение (не более 10%) полученных при моделировании вольт-амперных характеристик с экспериментальными. Основной причиной несовпадения является трудность точного измерения последовательного и шунтирующего сопротивлений солнечных элементов. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что представленная модель СБ является адекватной.

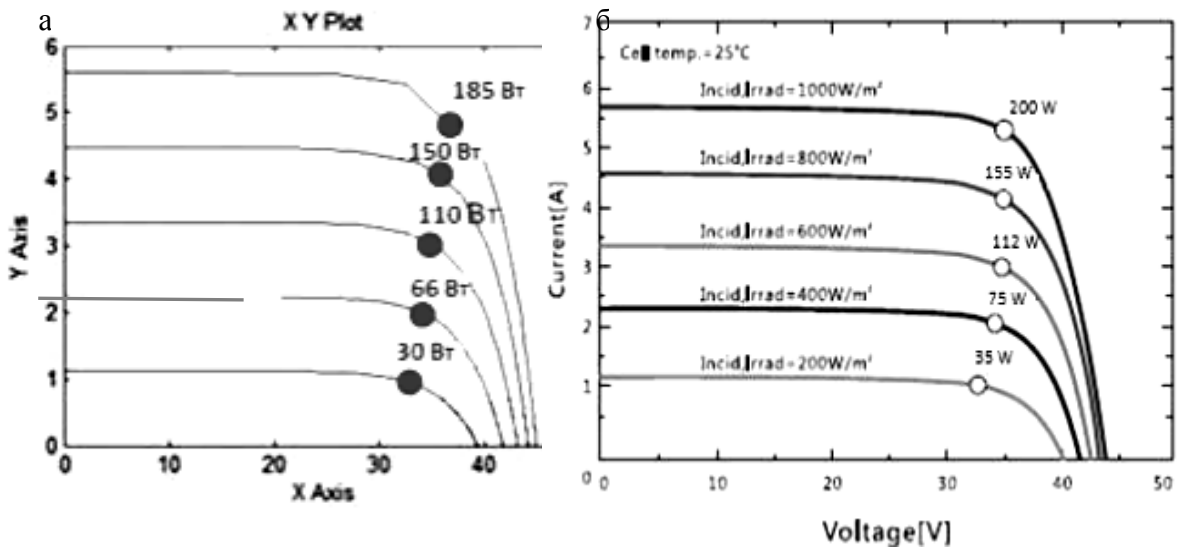


Рис. 3 Результаты моделирования ВАХ (а) и ВАХ солнечного модуля TSM-200M (б)

Наряду с моделью СБ была разработана имитационная модель ветрогенератора, показанная на рис. 4. За основу модели взят стандартный блок асинхронной машины, работающий в генераторном режиме (АГ). В качестве привода АГ используется блок «Signal designer», который имитирует ветро-турбину с номинальной частотой вращения.

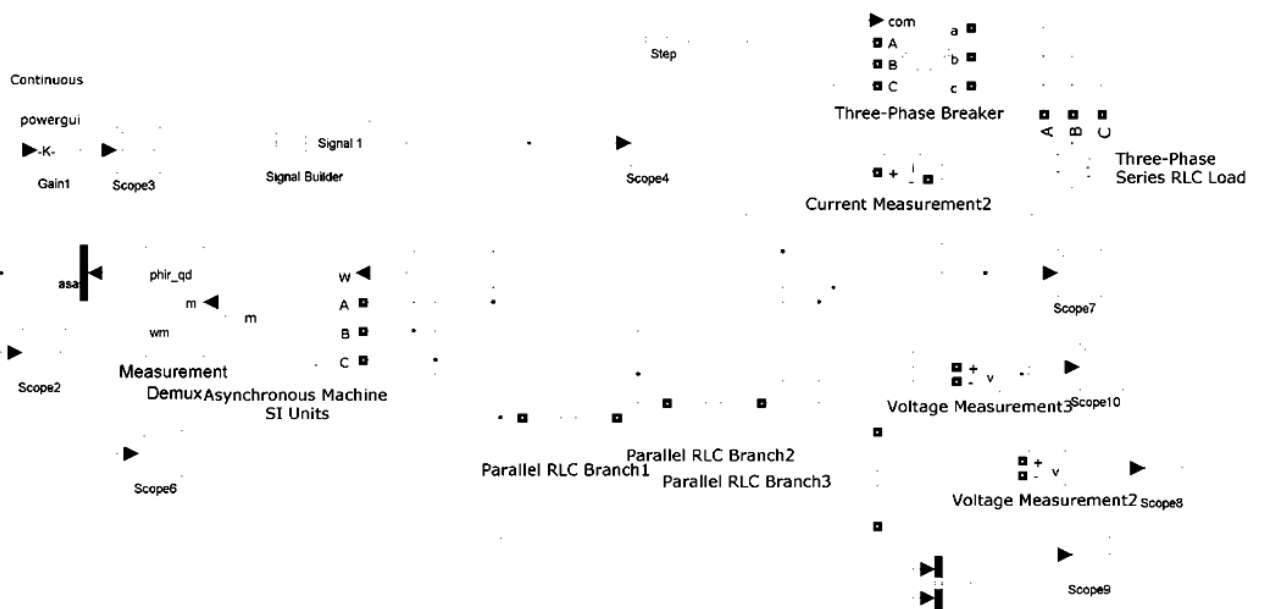


Рис. 4. Имитационная модель ветрогенератора

К выходу асинхронного генератора мощностью 37 кВА подключена система самовозбуждения, состоящая из трех конденсаторов (400 мкФ каждый), соединенных в треугольник [3]. Она позволяет достичь номинального напряжения за 3,5 секунды, что соответствует времени разгона турбины до номинальной частоты вращения. Результаты моделирования возбуждения генератора, наброса и сброса нагрузки показаны на рис. 5. Здесь на 4 секунде происходит подключение активной нагрузки мощностью 10 кВт, при этом наблюдается бросок тока в сети и провал напряжения генератора на 1% от номинального значения. После 8 секунды показан процесс снижения напряжения АГ при его остановке.

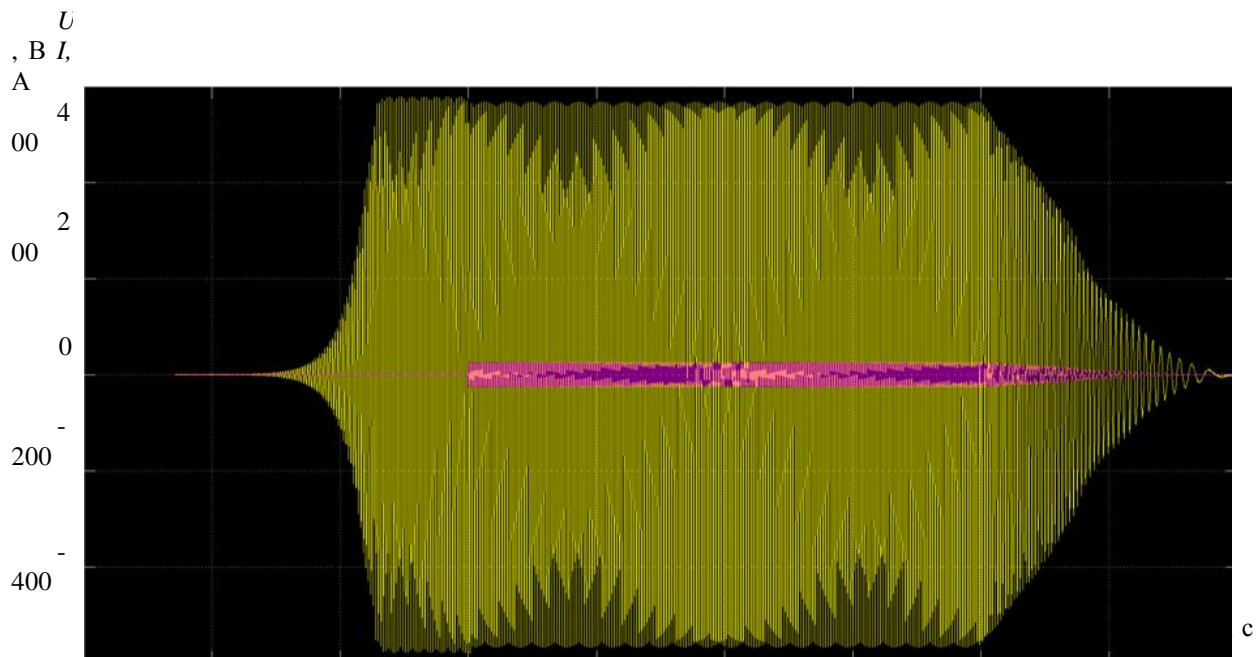


Рис. 5. Осциллограмма тока и напряжения на выходе АГ

В целом, реакция моделей схожа с поведением реальных объектов, а составленные модели могут быть применены при разработке комплексной имитационной модели СЭЭС [4] с возобновляемыми источниками энергии.

#### Список литературы:

- [1]. Каталог солнечных элементов. Режим доступа: [http://220-on.ru/catalog/solnechnye\\_elektrostantsii](http://220-on.ru/catalog/solnechnye_elektrostantsii).
- [2]. Лунин Л.С., Пащенко А.С. Моделирование и исследование характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе GaAs и GaSb. М.: Журнал технической физики, 2011.
- [3]. Иванчура В.И., Чубарь А.В., Пост С.С. Энергетические модели элементов автономных систем электропитания. М.: Журнал СФУ, 2012.
- [4]. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Варечкин Ю.В. Возобновляемые источники энергии в судовой электроэнергетической системе/ Вестник ВГАВТ.- Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО ВГАВТ, 2015.- 263-268 с.

### MODELING OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Burmakin O.A., Malyshev Y.S., Popov S.V., Zobov L.V.

*Keywords: renewable energy sources, imitation model, solar battery, wind generator.*

*The article substantiates the feasibility of using renewable sources on ships. Simulation models of the solar module and wind generator have been developed and described. The characteristics of the proposed models are given. Comparison of model characteristics with existing solar modules is performed.*