

ственной продукции, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, Чебоксары (NovikovaGalinaV@yandex.ru).

NOVIKOVA GALINA – doctor of technical sciences, professor, head of Chair of the Electric Equipments and Mechanization of Processing of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, Russia, Cheboksary.

ДК621.3

К 31.2740

Р.В. КОЛОСОВ, Л.С. ТИТОВ, Г.М. МИРЯСОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНОВКОВ

*Ключевые слова:* ветроэнергетические установки, моделирование, возобновляемая энергетика, эффективность

*Рассмотрены способы моделирования ветроэнергетических установок с учетом сложности процессов. Получены модели, позволяющие оценить влияние колебаний ветра на выходные параметры системы. С помощью рассмотренных моделей возможна оценка аварийных процессов.*

R. KOLOSOV, V. TITOV, G. MIRYASOV

### MODELING OF WIND POWER INSTALLATIONS

**Key words:** wind power installations, modeling, renewable power, energy efficiency.

*In article ways of modeling of wind power installations taking into account complexity of processes occurring in them are considered. The models are received, allowing to estimate influence of fluctuations of a wind on target parameters of system. With the help of the considered models the estimation of emergency processes is possible.*

Для сложного нелинейного объекта таким является ветроэнергетическая установка (ВЭС), при детальном исследовании требуется создать математическую модель, достаточно сложную и требующую разбиения на более мелкие и удобные для исследования части. Каждая модель при определенных допущениях с различной степенью детализации позволяет достаточно точно описать отдельные аспекты работы исследуемого объекта.

Создана модель ветроэнергетической установки (рис. 1), включающая в себя модели: 1) ветродвигателя крыльчатого типа; 2) синхронного генератора с постоянными магнитами; 3) мостового неуправляемого выпрямителя. Модель преобразует скорость ветряных потоков  $V_B$  с помощью ветроколеса и через ротор вращает электрогенератор, который, в свою очередь, через преобразователь питает нагрузку и производит заряд АКБ. Управление преобразователем происходит через САР и ПИД, учитывающий параметры нагрузки и скорости ветра.

**Модель ветродвигателя крыльчатого типа.** Аэродинамические характеристики вычисляются для каждого элемента лопасти, и они зависят от примененного в лопасти профиля и угла атаки, под которым поток ударяет в лопасть [1].

Ввиду сложности данного расчета для создания модели ветроколеса воспользуемся экспериментальными аэродинамическими характеристиками профиля «сперо» [2].

Наилучшие аэродинамические характеристики ветроколеса имеет, когда угол установки лопасти равен нулю, однако на практике для обеспечения механической прочности ветроколеса лопасти устанавливают под углом 10–15°.

Как в диапазоне скоростей  $V_{\min} - V_{\max}$  предусматривается работа с переменной скоростью вращения (максимальное использование энергии ветра)

и угол установки лопасти при этом остается постоянным, принимаем угол установки лопасти равным десяти.

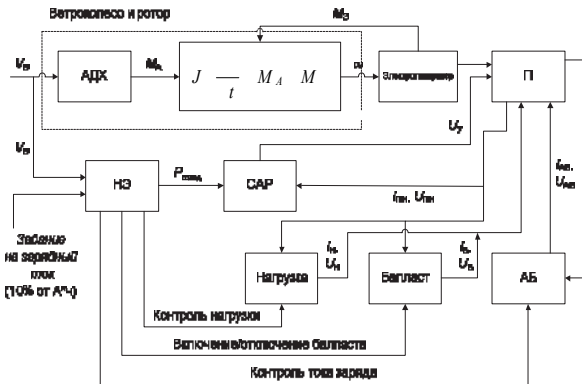


Рис. 1. Структурная схема моделируемой В :

САР – система автоматического регулирования; Н – нелинейный элемент;  $M_A$  – аэродинамический момент;  $M_э$  – электромагнитный момент;  $\omega$  – угловая скорость ротора;  $V_в$  – скорость ветра;  $I_{нн}, U_{нн}$  – ток и напряжение преобразователя;  $I_н, U_н$  – ток и напряжение нагрузки;  $I_б, U_б$  – ток и напряжение балласта;  $I_{аб}, U_{аб}$  – ток и напряжение аккумуляторной батареи;  $P_{зад}$  – задание на максимальную мощность;  $U_y$  – сигнал управления преобразователем

По полученным данным строим модель, представленную на рис. 2.

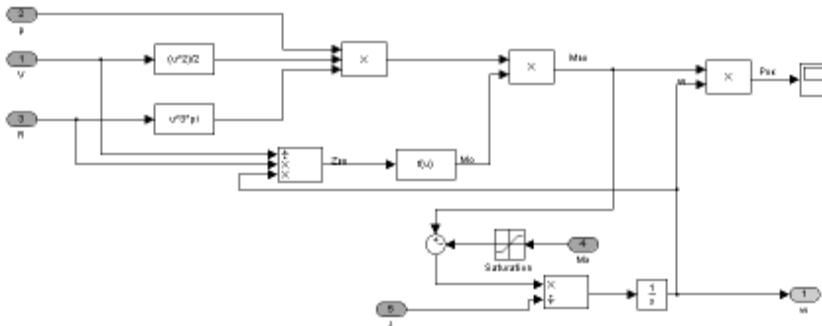


Рис. 2. Модель ветродвигателя в пакете MATLAB Simulink

**Модель синхронного генератора.** В основу построения структурной схемы синхронного генератора положена система уравнений Парка – Горева. Структурная схема генератора представлена на рис. 3.

триховыми линиями отмечены нелинейная часть и блоки сопряжения ее с моделью идеализированной синхронной машины.

На данной структурной схеме входные и выходные переменные, описанные в относительных единицах, будут изображены с индексами о.е. ( $U_{f.o.e.}$ )

Входными сигналами являются момент приводного двигателя  $m_{o.e.}$ , а также напряжения  $U_{kd.o.e.}, U_{kq.o.e.}$ . В рассматриваемом варианте  $U_{kd.o.e.} = U_{kq.o.e.} = 0$ . Выходной сигнал генератора представляет собой огибающую фазного напряжения.

В состав электроэнергетической системы (С) входят синхронные генераторы, регуляторы напряжения, нагрузка и т.д. Эти элементы могут быть описаны уравнениями в абсолютных единицах в трехкоординатной системе  $A, B, C$ , поэтому встает необходимость в блоке, который будет произво-

доть переход переменных величин из одной координатной системы в другую, от относительных единиц к абсолютным и обратно.

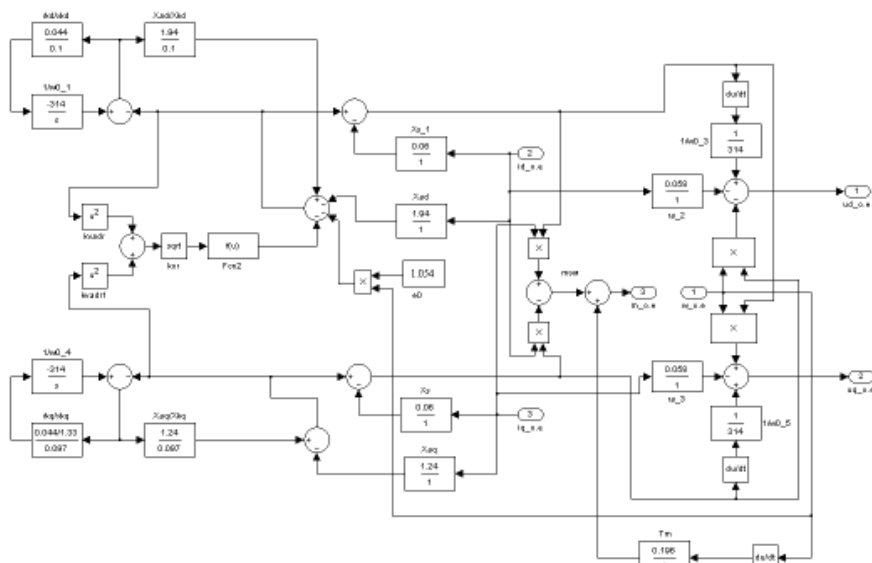


Рис. 3. локинхронного генератора в пакете MatLab Simulink (в относительных единицах двух координатной  $d,q$  системы)

локсинхронного генератора в относительных единицах двухкоординатной  $d,q$  системы и блок преобразования координат имеют вид, изображенный на рис. 4.

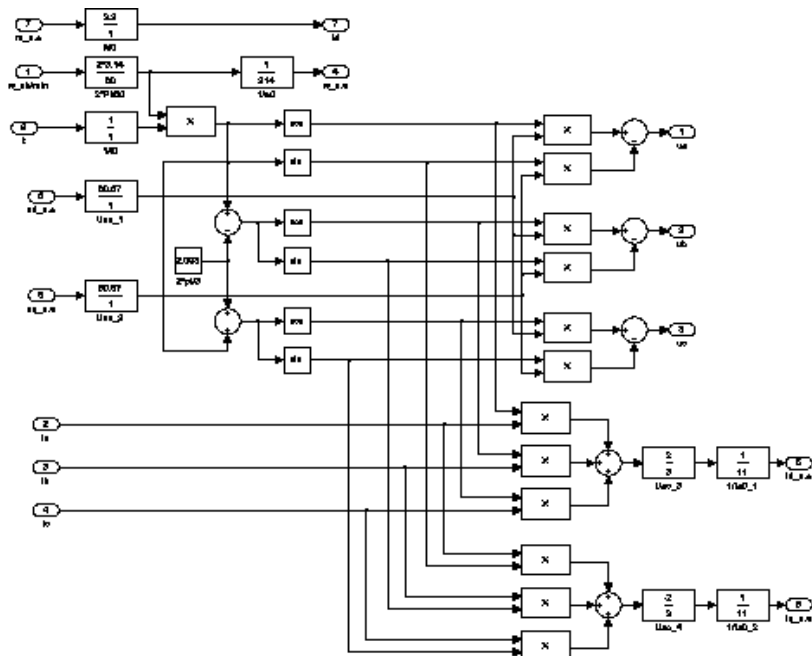


Рис. 4. лопреобразования координат в пакете MATLAB Simulink

**Модель мостового выпрямителя.** На основе принципа работы мостового неуправляемого полупроводникового выпрямителя можно составить следующую схему данного выпрямителя в пакете MatLab Simulink.

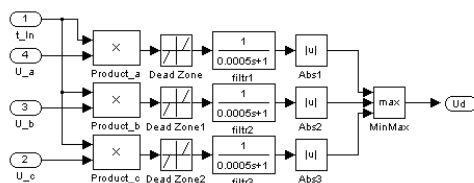


Рис. 5. локмостового неуправляемого полупроводникового выпрямителя в пакете MatLab Simulink

**четколебания скорости ветра.** Возмущающим сигналом в данной системе является скорость ветра. Как следует из анализа существующих работ, для исследования поведения  $V$  в динамических режимах используют несколько моделей динамики изменения скорости ветра: 1) скачкообразное изменение мгновенной скорости ветра от одного установившегося значения к другому; 2) изменение мгновенной скорости ветра в виде косинусной полуволны.

На практике работа  $V$  происходит в условиях турбулентности воздушного потока. Поэтому важное значение имеет исследование влияния турбулентностей воздушного потока на устойчивость работы  $V$ . Многие авторы турбулентные флуктуации скорости ветра моделируют как одномерный случайный процесс.

Для того, чтобы данные, полученные в результате расчетов модели, соответствовали реальным характеристикам скорости ветра в районе предполагаемого размещения  $V$ , необходимо проводить моделирование на основе спектральной плотности распределения скорости ветра, характерной для данного района.

В рамках обозначенной задачи изменение скорости ветра можно моделировать так:

$$V = V_{cp} + V_{пер} \sin(\omega \cdot t),$$

где  $V_{пер}$  – амплитуда колебаний скорости ветра;  $V_{cp}$  – среднее значение скорости ветра.

Рассмотрим модель  $V$  без системы автоматического регулирования с преобразователем напряжения на основе неуправляемого выпрямителя.

Результаты моделирования процессов в  $V$  мощностью 1 кВт, полученные при скоростях ветра  $V_{cp1} = 7$  м/с, представлены на рис. 6–9. Амплитуду колебаний скорости ветра примем равной 1 м/с, частоту колебаний – 0,5 Гц [2].

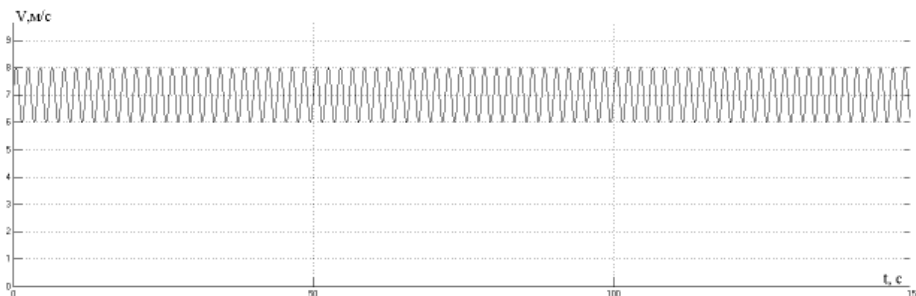


Рис. 6. Мгновенные значения скорости ветра

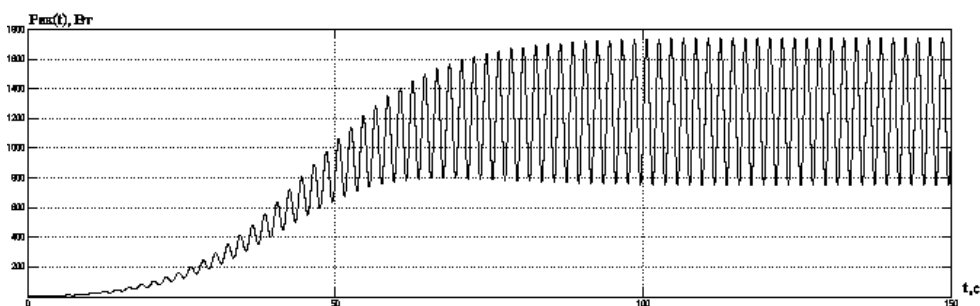


Рис. 7. Мгновенные значения мощности ветроколеса



Рис. 8. Мгновенные значения напряжения на выходе выпрямителя

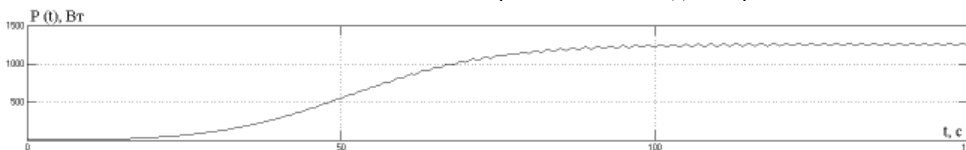


Рис. 9. Мгновенные значения мощности на выходе выпрямителя

Как видно из полученных результатов, с увеличением скорости ветра мощность ветродвигателя увеличивается пропорционально скорости ветра в кубе.

Необходимо оценить влияние колебания порывов ветра на ток и напряжение на выходе машинно-вентильной системы.

Для этого, задаваясь частотой пульсаций ветра в пределах от 0,05 Гц до 1 Гц, измерим амплитуды колебаний выпрямленного тока и напряжения в установившемся режиме. Полученные данные занесем в таблицу.

**Выводы.** Получены модели, позволяющие оценить влияние колебаний ветра на выходные параметры системы. С помощью рассмотренных моделей возможна оценка аварийных процессов.

**Результаты эксперимента**

$f_z$ , Гц	$\Delta U_{m2}$ , В	$\Delta I_{m2}$ , А
0,05	2,5	1,535
0,1	1,35	0,75
0,3	0,45	0,24
0,6	0,25	0,101
0,9	0,145	0,815
1	0,125	0,08

**Литература**

1. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. М.: Госэнергоиздат, 1960. 319 с.
2. Колосов Р.В., Титов В.Г., Мирясов Г.М. Моделирование ветроэнергетических установок // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы науч.-техн. конф. / Нижегородский гос. техн. ун-т. Н. Новгород, 2012. С. 103–111.

**КОЛОСОВ РОМАН ВАДИМОВИЧ** – аспирант кафедры электрооборудования судов, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева, Россия, Нижний Новгород (romio\_86@bk.ru).

**KOLOSOV ROMAN** – post-graduate student of Ships Electrical Equipment Chair, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod.

**ТИТОВ ВЛАДИМИР ГЕОРГИЕВИЧ** – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования судов, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева, Россия, Нижний Новгород (eos@nntu.nnov.ru).

**TITOV VLADIMIR** – doctor of technical sciences, professor of Ships Electrical Equipment Chair, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod.

**МИР СОВГЕОРГИ МИ А ЛОВИЧ** – доцент кафедры электрооборудования судов, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева, Россия, Нижний Новгород (eos@nntu.nnov.ru).

**MIRYASOV GEORGY** – associate professor of Ships Electrical Equipment Chair, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Russia, Nizhny Novgorod.

ДК621.314.015.32

К261.8

Г.М.М , Д.К.НС АН Н ВЛГ. Р М В

### АЛГОРИТМ СН ТИ КР ГОВО ДИАГРАММ Р Н ТИ АРНОА – 110/1000

*л е е л а а:* автотранс ор атор ре л ятор на ря яля одна р кой (РПН), ерекл ч и ее юр о й с т в о , к о н т а к т о р , а л о р и т с н я т и я к р а в д и а р а ы

*Р а с с о т р е ж ы е т о д и к а с н я т и я к р о в д и а р а р а я т о р а н а р я е н и я о д н а р к о й т и а P H 110/1000 и а л о р и т е ф а о т ы П о к а а н о , ч т о р а р а - о т а н н а я е т о д и к а с о с о с т в с а к р а е н и в р е м я д л я д о т о в к и о с с в е т л е н и я р о ц е с с а с н я т и я к р а в д и а р а , а в т о а т и а ц и я н р о н и ц и н н о й ц и р о в о й р е и с т р а ц и и о в и о в о р о т а в ы о д а в а л а р и в и д а и о е н т о в е р е к л ч е н и я к о н т а к т о в к о н т а к т о р а и е р е к л ч а т е л е Р П Н , а т а к е о в о л я е т в т о а т и и р о в а т о р а o т ы е р я е в e л и ч и н , р о т о к о л и р о в а н и ф е л т а т о в и е р и й с в ы в о д о н а е ч а т .*

#### G. MIKHEEV, D. KONSTANTINOV, L. EFREMOV THE ALGORITHM OF RNOA-110/1000 TAP-ON-LOAD RADIAL DIAGRAM MEASUREMENT

**Key words:** autotransformer, tap on-load, tap-changer, contactor, radial diagram measurement and the algorithm of its work.

*The method of RNOA-110/1000 tap-on-load radial diagram measurement and the algorithm of its work are considered in the article. It is shown that the technique developed decreases the time of the preparing and realization of radial diagram measurement process. The technique also facilitates the automatization of synchronized digital registration of the gear output shaft rotation angle and switching moments of the contactor contacts and tap-on-loads and allows to automatize the data processing, logging of measurements results with printout.*

В настоящее время для регулирования напряжения в системе энергетики России и в странах СНГ применяется множество разновидностей РПН типа РН А (см. таблицу).

тооднофазный РПН с токоограничивающими резисторами с изоляцией между фазами [1, 5]. В энергосистеме у а ш и и применяется только один тип – РН А 110/1000. н у с т а н о в л е н в н е й т р а л я х с и л о в ы х т р х ф а з н ы х а в т о т р а н с - ф о р м а т о р о в м о щ н о с т ь ю 125 М В А н а п о д с т а н ц и я х 220 к В «Канашская», « ю р л о в и н с к а я » , « В е н е ц » и н а а в т о т р а н с ф о р м а т о р а х 200 М В А - 2 , а т а к ж е н а е б о ж а р с к о й Г С Р 500 к В .

РПН типа РН А 110/1000 предназначен для регулирования напряжения на линейных выводах обмотки среднего напряжения 115 кВ и имеет номинальный ток 1000 А.