

УДК 621.548

UDC 621.548

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И АККУМУЛЯТОРНОГО ПЕРИОДОВ ВЕТРА ДЛЯ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ

FINDING FUNCTIONS OF ENERGY AND ACCUMULATION WIND PERIODS FOR THE SPECIFIED SPEED

Закиров Илья Валерьевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код = 1417-6637
zakirov.ilya@yandex.ru

Zakirov Ilya Valeryevich
Postgraduate student
SPIN-code = 1417-6637
zakirov.ilya@yandex.ru

*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО ДГАУ в г. Зернограде, г.Зерноград,
Ростовская область, Россия*

*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI HPE
Don State Agrarian University in Zernograd, Zernograd, the Rostov region, Russia*

Описан способ получения функций энергетических и аккумуляторных периодов ветра, с применением программы Microsoft Office Excel. Показаны алгоритмы программ, которые были разработаны для сокращения времени обработки большого количества данных. Полученные функции рекомендуется использовать для определения оптимальных параметров автономной ветроэлектростанции с аккумуляторным резервом

The article describes a method for obtaining the functions of energy and accumulation wind periods, using the program Microsoft Office Excel. We have showed the algorithm of the programs that had been developed to reduce the processing time for large quantities of data. Obtained functions are recommended for determining the optimal parameters of autonomous wind-power stations with accumulated reserve

Ключевые слова: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД, АККУМУЛЯТОРНЫЙ ПЕРИОД, СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА, АВТОНОМНЫЕ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ, СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, СКОРОСТЬ ВЕТРА, ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Keywords: ENERGY PERIOD, ACCUMULATION PERIOD, RANDOM VARIABLE, AUTONOMOUS WINDFARMS, FREQUENCY OF OCCURRENCE, STATISTICAL MANIPULATION, WIND SPEED, PARTITION LAW

Для электроснабжения небольших сельскохозяйственных объектов удаленных от централизованной энергосистемы на значительные расстояния, очень часто используются автономные ветроэнергетические установки. Это обусловлено, прежде всего, такими достоинствами этих установок как:

- экологичность;
- возобновляемость;
- небольшая занимаемая площадь;
- автономность;
- простое обслуживание и низкие затраты на эксплуатацию.

Так как ветер является случайной величиной, то и поступление электроэнергии от ветроустановки носит случайный характер. Следовательно,

для того чтобы обеспечить необходимый уровень надежности электро-снабжения, необходимо предусмотреть резервирование ветроустановки другим источником электроэнергии. Это могут быть топливные или солнечные электростанции, аккумуляторные батареи и др.

Однако, на фоне того, что график потребления электроэнергии не-большими сельскохозяйственными потребителями довольно неравномер-ный, а выработка электроэнергии ветроустановкой, как уже было упомяну-то выше, носит случайный характер, довольно часто возникают режимы, когда ветрогенератор генерирует электроэнергию, а потребителю она не требуется. Избыточную (невостребованную) электроэнергию можно акку-мулировать с последующим использованием в период потребности. По-этому для увеличения эффективности ветроустановки и обеспечения тре-буемого уровня надежности электроснабжения, целесообразно применять такой тип резервирования как аккумулярование электроэнергии.

Для оптимального формирования автономной ветроэлектростанции с аккумуляторным резервом необходимо располагать информацией о таких характеристиках ветра, как продолжительность непрерывных энергетиче-ских и аккумуляторных периодов (энергетические периоды – это периоды со скоростью ветра большей либо равной рабочей скорости ветроустанов-ки, а аккумуляторные – со скоростью ветра меньше рабочей скорости). Однако, такая информация отсутствует в метеорологических справочни-ках, но есть данные, позволяющие найти интересующие нас величины, в частности в [1, 2].

В научных работах [3] описан способ получения графиков распре-деления непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов, исполь-зуя статистические данные Государственных метеорологических observa-торий. Применяемая методика предполагает моделирование графиков по методу Монте-Карло. Это связано с отсутствием данных о продолжитель-ности периодов с определенной скоростью ветра.

Однако, на сегодняшний день, в открытом доступе находятся архивы погоды [1, 2], содержащие, в том числе и информацию о скорости ветра за последние несколько лет. Эти архивы дают возможность определить продолжительности периодов с той или иной скоростью ветра, а их статистическая обработка позволит получить графики распределения непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов, не используя моделирование по методу Монте-Карло. Использование статистических данных вместо моделирования совершенно очевидно повысит адекватность результатов.

Для обработки был выбран архив погоды в городе Ростов-на-Дону с 1999 г. по 2013 г. [2] В выбранном архиве информация о скорости ветра представлена через каждые три часа, т.е. восемь измерений в сутки. Однако, иногда, отсутствует информация о погоде за периоды от шести часов до двух дней, поэтому было принято решение исключить эти периоды из общего массива данных, и считать, что периоды с известной скоростью ветра следовали непрерывно. Результатом этой первичной обработки стали таблицы приложения Microsoft Excel, показывающие изменение скорости ветра через каждые три часа.

Полученные результаты обработки позволили определить продолжительности периодов с той или иной скоростью ветра. Для уменьшения трудоемкости расчетов, ввиду большого объема данных, было принято решение написать макросы на языке VBA (Visual Basic for Applications), которые рассчитывали бы количество непрерывно идущих интервалов с определенными параметрами (скорость ветра больше либо равна заданной или меньше заданной) и переводили это количество в часы.

Разработанный макрос работает с таблицей, в столбцах которой, находятся данные, о скорости ветра через трехчасовые интервалы по месяцам. Обработка каждого столбца таблицы происходит по определенному алгоритму (рисунок 1). Представленный алгоритм используется для опре-

<http://ej.kubagro.ru/2016/03/pdf/72.pdf>

деления энергетических периодов. Для нахождения аккумуляторных периодов используется аналогичный алгоритм, с измененным знаком в элементе сравнения (\geq изменяется на $<$). В результате выполнения макроса были получены таблицы, в которых содержится информация о продолжительности энергетических и аккумуляторных периодов ветра для каждого года по месяцам.

Следующий этап исследования предполагал определение законов распределения энергетических и аккумуляторных периодов. Для этого необходимо найти частоту появления одинаковых по продолжительности периодов. С этой целью был написан макрос, который работает с выбранным набором таблиц и подсчитывает количество одинаковых по продолжительности периодов (энергетических или аккумуляторных). Блок-схема алгоритма этого макроса представлена на рисунке 2.

Подготовка данных к работе с макросом включала в себя создание сводной таблицы, в которой содержалась информация о продолжительности энергетических или аккумуляторных периодов за все пятнадцать лет наблюдений, для разных рабочих скоростей ветра (2, 4, ... м/с). В результате выполнения макроса были получены таблицы приложения Microsoft Excel, содержащие данные о частоте появления одинаковых по продолжительности энергетических и аккумуляторных периодов.

При помощи инструментов приложения Microsoft Excel на основе данных из полученных таблиц, были построены графики частоты непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов. Анализ и обработка полученных графиков стандартными функциями Excel позволили установить, что наиболее точно данные случайные величины описываются степенным законом распределения. Полученные алгебраические выражения законов распределения энергетических и аккумуляторных периодов, а также коэффициенты детерминации для различных рабочих скоростей ветра представлены в таблице 1.

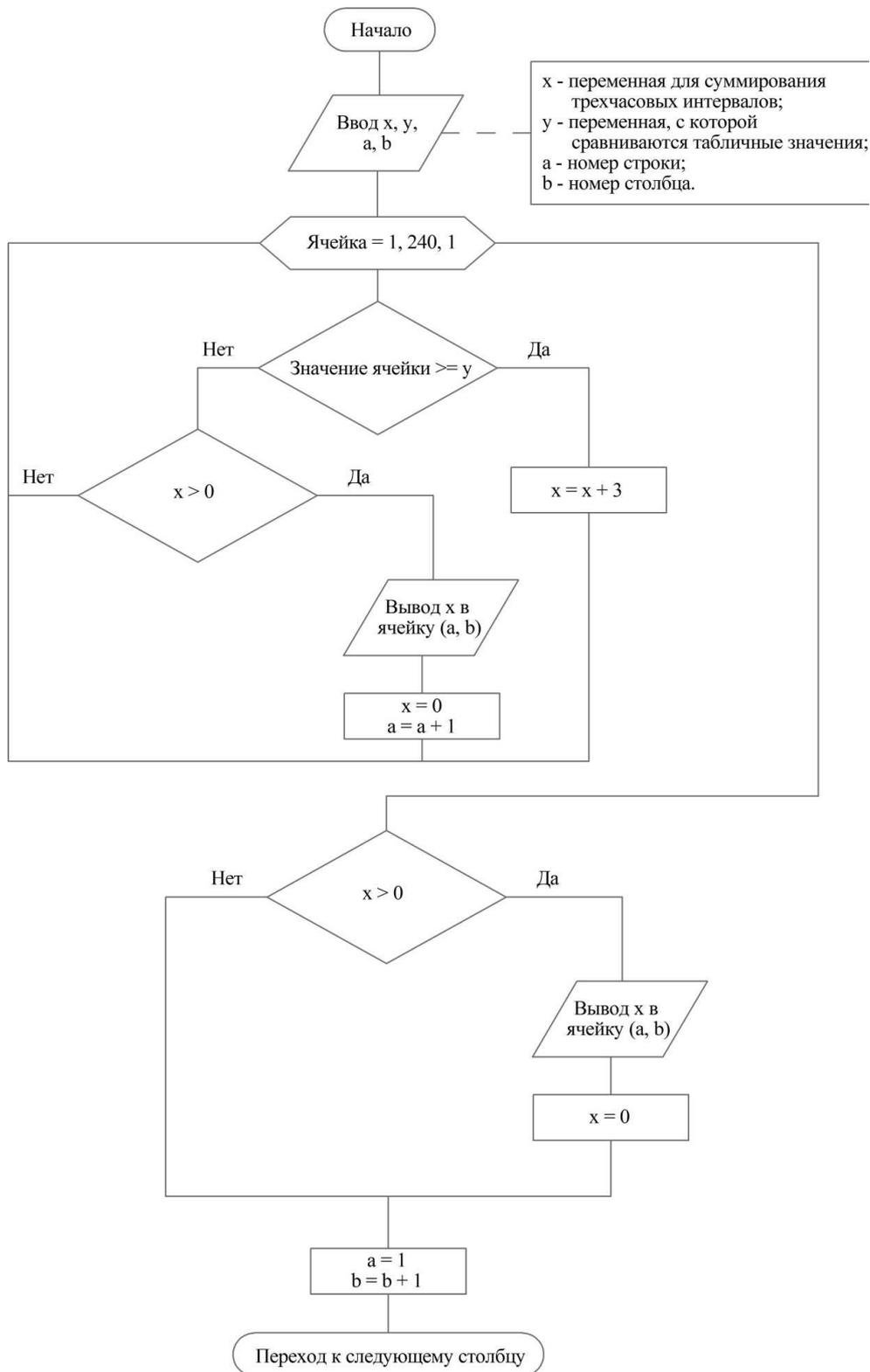


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма работы макроса со столбцом таблицы

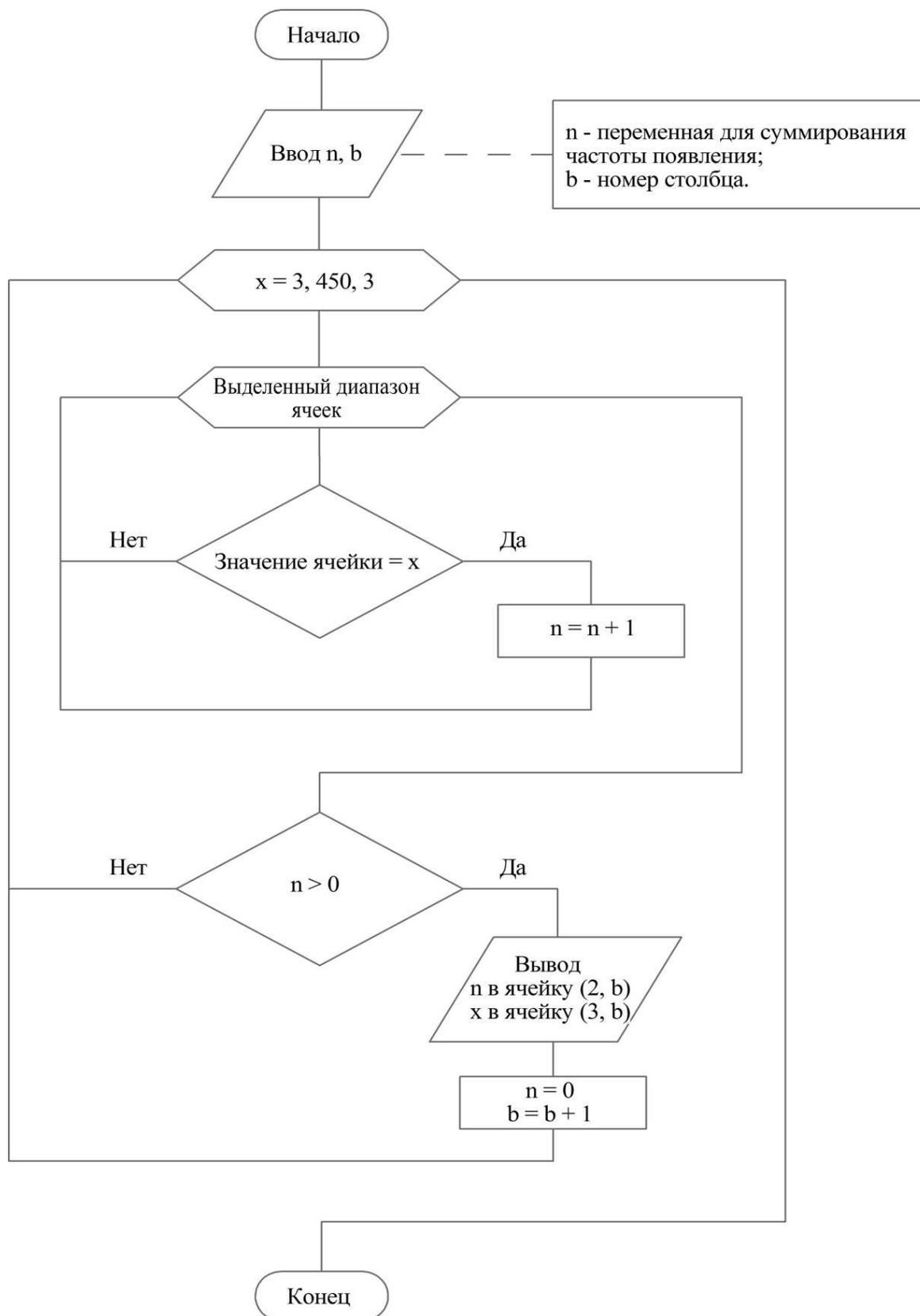


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы макроса со сводной таблицей

Таблица 1 – Алгебраические выражения законов распределения энергетических и аккумуляторных периодов

Рабочая скорость ветра, м/с	Математическое выражение закона распределения энергетического периода	Коэффициент детерминации (энергетический период)	Математическое выражение закона распределения аккумуляторного периода	Коэффициент детерминации (аккумуляторный период)
2	$12932x^{-1,625}$	0,920	$45837x^{-2,205}$	0,941
4	$18540x^{-1,862}$	0,931	$7079,4x^{-1,515}$	0,911
6	$5458x^{-1,764}$	0,917	$1502,9x^{-1,174}$	0,819
8	$1890,7x^{-1,621}$	0,865	$229,38x^{-0,822}$	0,675
10	$765,37x^{-1,555}$	0,895	$33,671x^{-0,498}$	0,449
12	$387,99x^{-1,566}$	0,843	$4,5231x^{-0,172}$	0,082
14	$262,86x^{-1,959}$	0,932	$0,8613x^{0,1214}$	0,039

Так как энергетические и аккумуляторные периоды имеют вероятностный характер, возникла необходимость определения их статистических параметров, описывающих законы изменения этих случайных величин. Так как математические ожидания энергетического и аккумуляторного периодов определяются рабочей скоростью ветра, то для каждой выбранной или заданной скорости они будут иметь определенные значения (Таблица 2).

Таблица 2 – Значения математического ожидания непрерывных энергетических и аккумуляторных периодов для различных рабочих скоростей ветра

Скорость ветра, м/с	Математическое ожидание непрерывного энергетического периода, ч	Скорость ветра, м/с	Математическое ожидание непрерывного аккумуляторного периода, ч
2	27,5	2	10,78
4	13,6	4	23,49
6	9,9	6	55,35
8	9,55	8	117,75
10	8,2	10	209,3
12	7,1	12	339,99
14	4,7	14	512,57
16	4,4	16	612,46
18	3	18	651,79

Для того чтобы применять полученные функции изменения математического ожидания для оптимизации параметров автономной системы электроснабжения на основе ветроэнергетической установки с аккумуляторным резервом, необходимо располагать аналитическими выражениями данных зависимостей. Поэтому графики (рисунки 3 и 4) были аппроксимированы полиномами.

- для аккумуляторного периода

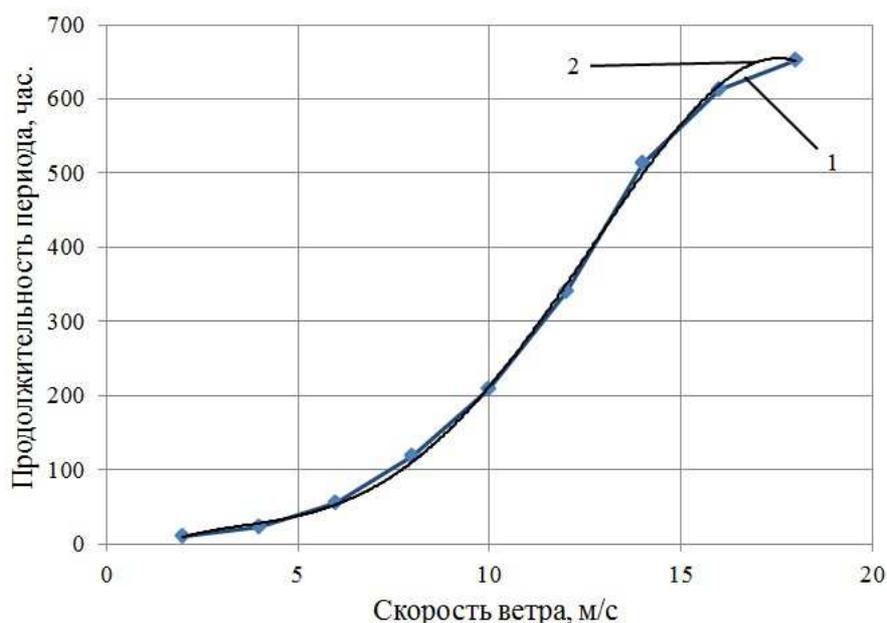
$$t_A = -47,717 - 0,0444v^4 + 1,4513v^3 - 12,213v^2 + 47,459v \quad (1)$$

- для энергетического периода

$$t_{\text{Э}} = 65,454 - 0,0004v^5 + 0,0232v^4 - 0,5197v^3 + 5,5091v^2 - 28,088v \quad (2)$$

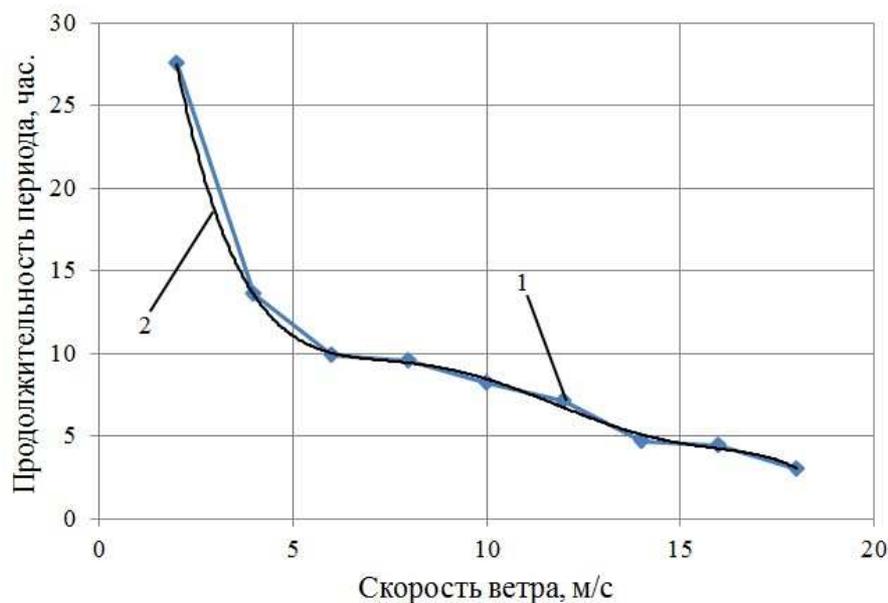
Здесь t_A , $t_{\text{Э}}$ – математическое ожидание аккумуляторного и энергетического периода соответственно.

Коэффициент детерминации для обоих уравнений не ниже 0,999.



1 – экспериментальная зависимость; 2 – полиномиальная аппроксимация

Рисунок 3 – Зависимость продолжительности (математического ожидания) аккумуляторного периода



1 – экспериментальная зависимость; 2 – полиномиальная аппроксимация
 Рисунок 4 – Зависимость продолжительности (математического ожидания) энергетического периода

Таким образом, представленная здесь методика позволяет получить функции изменения математического ожидания энергетического и аккумуляторного периодов в зависимости от скорости ветра. Использование табличного процессора Microsoft Excel позволило не только ускорить и автоматизировать обработку большого количества статистических данных, но и получить аналитические выражения для искомых функций, что, в свою очередь, обеспечивает возможность оптимизации параметров автономной системы электроснабжения на основе ветроэнергетической установки с аккумуляторным резервом.

Литература

1. Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс] // rp5.ru Расписание погоды [Сайт]. – Режим доступа: <http://rp5.ru>.
2. Архив погоды в Ростове-на-Дону с 1999 года [Электронный ресурс] // RostovMeteo.ru [Сайт]. – Режим доступа: <http://www.rostovmeteo.ru/archive.php>.
3. Воронин С.М. Формирование автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов на основе возобновляемых источников энергии [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.20.02 : защищена 20.03.09 / Воронин Сергей Михайлович. — Зерноград., 2009. — 338 с.

References

1. Pogoda v 243 stranah mira [Jelektronnyj resurs] // rp5.ru Raspisanie pogody [Sajt]. – Rezhim dostupa: <http://rp5.ru>.
2. Arhiv pogody v Rostove-na-Donu s 1999 goda [Jelektronnyj resurs] // RostovMeteo.ru [Sajt]. – Rezhim dostupa: <http://www.rostovmeteo.ru/archive.php>.
3. Voronin S.M. Formirovanie avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija sel'skohozjajstvennyh ob'ektov na osnove vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии [Tekst] : dis. ... dokt. tehn. nauk : 05.20.02 : zashhishhena 20.03.09 / Voronin Sergej Mihajlovich. — Zernograd., 2009. — 338 s.