

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный технологический университет»

На правах рукописи



Христофоров Михаил Сергеевич

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ
ДВУХВХОДОВОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
БИОФАБРИК АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Специальность

05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент,

Кашин Яков Михайлович

Краснодар – 2021

Оглавление

Введение	3
1 Состояние вопроса и постановка задачи исследования	12
1.1 Анализ электроснабжения предприятий по переработке продукции АПК Юга России.....	12
1.2 Анализ электроснабжения биофабрик	15
1.3 Резервные источники питания и конструкций преобразователей энергии ветра и Солнца в электроэнергию.....	21
1.4 Выводы по главе и постановка задачи исследования.....	32
2 Параметры и режимы работы двухвходовой генераторной установки	36
2.1 Математическое описание физических процессов двухвходовой генераторной установки.....	36
2.2 Реализация математической модели ДГУ в среде MathCAD и обоснование параметров и режимов работы	49
2.3 Разработка конструкции синхронизированной двухвходовой генераторной установки.....	61
2.4 Выводы по главе 2	66
3 Методика и результаты экспериментальных исследований	69
3.1 Программа и методика проводимых испытаний.....	69
3.2 Результаты экспериментальных исследований.....	81
Выводы по главе 3	88
4 Технико-экономическое обоснование использования синхронизированной двухвходовой генераторной установки.....	90
4.1 Анализ ущерба от прерываний электроснабжения и возможности наращивания объемов производства	90
4.2 Расчет экономической эффективности применения ГВСУ, ДЭС и разработанной СДГУ	92
4.3 Выводы по главе 4	97
Заключение	99
Список литературы.....	101
Приложения.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В последнее время сельское хозяйство в Российской Федерации развивается опережающими темпами. Растущий объем сельскохозяйственного сектора экономики требует увеличения перерабатывающих мощностей, а также смежных областей, обслуживающих сельское хозяйство – машиностроения, ветеринарии, медицины и т.п. Техническое перевооружение предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию, а также предприятий смежных областей, требует решения вопроса качественного электроснабжения. Не секрет, что в прошлые времена электроснабжение сельского хозяйства осуществлялось по остаточному принципу. В настоящее время существует ощутимый дефицит доступных электромощностей, изношенность распределительных электросетей и оборудования подстанций, что серьезно снижает возможности наращивания производства [59, 88]. Краснодарский край является энергодефицитным регионом и здесь эта проблема особенно выражена.

Современные предприятия АПК требуют качественного и бесперебойного электроснабжения. Низкое качество электроснабжения приводит зачастую к массовому браку и потерям продукции.

Ко всему в последнее время постоянно ужесточаются экологические требования и нормы для производителей, в том числе, и сельскохозяйственной продукции.

В частности, с подобными проблемами столкнулись ряд биофабрик, производящих продукцию для животноводства и находящихся вдали от генерирующих центров.

Актуальным экологически чистым методом решения проблем недостатка генерирующих мощностей является использование возобновляемых источников энергии. Это обусловлено рядом факторов. С одной стороны, есть понимание, что природные ресурсы неограниченны и ископаемые запа-

сы топлива рано или поздно закончатся. С другой стороны, использование традиционной (невозобновляемой) энергетики приводит к все более заметным экологическим последствиям (загрязнение окружающей среды, увеличение количества углекислого газа в атмосфере, глобальное потепление и т.п.). В научном сообществе давно ведутся споры о степени воздействия антропологических факторов на атмосферные процессы, но негативные воздействия на природу традиционной энергетики не отрицает никто.

В Кубанском государственном технологическом университете группой ученых под руководством д.т.н. профессора Б.Х. Гайтова была предложена технология комплексного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) без силовых преобразователей (в основном Солнца и ветра). Разработана генераторная установка на основе ветро-солнечного генератора (ВСГ), который названа авторами двухвходовой или двухмерной электрической машиной (ДЭМ). На уровне изобретений разработан ряд генераторов и генераторных установок [61, 62, 63, 64, 65, 66, 105], позволяющих суммировать энергию ветра и солнца с одновременным преобразованием полученной суммарной энергии в электроэнергию постоянного и переменного тока. Каждая такая конструкция, а также известные конструкции электромеханических и фотоэлектрических преобразователей из других источников [28, 49, 57] обладает своими достоинствами и недостатками. Однако, задачу работы генераторной установки на базе ветро-солнечного генератора (ВСГ) непосредственно параллельно с сетью трехфазного переменного тока разработанные конструкции напрямую не решают. В силу конструктивных особенностей частота переменного тока, вырабатываемого ВСГ, определяется частотой вращения ротора машины, который приводится во вращение ветроагрегатом. Соответственно стабилизация частоты переменного тока в подобных генераторных установках в соответствии с промышленными требованиями, а также синхронизация выходного напряжения с напряжением сети трехфазного переменного тока представляется практически невозможной без применения дополнительных устройств. Как правило, это ШИМ-модулированные

инверторы, ведомые сетью. Стоимость таких устройств довольно высока и тенденции ее снижения в последние годы не наблюдается. Кроме того, применение ШИМ-модулированных инверторов приводит к заметному снижению качества питающего напряжения [4]. Как результат, область применения подобных генераторных установок сужается, практически, до использования только в автономных системах, энергопотребители которых не слишком требовательны к качеству питающего напряжения, либо потребитель вынужден платить за сложную и дорогую систему согласования солнечной и ветровой генерации с сетью.

Анализ литературных источников, перечисленных ниже, и ряда других показал, что разработка и исследование, направленные на расширение области применения систем электроснабжения с фотоэлектрическими модулями, ветроэнергетической установкой и генераторной установкой, суммирующей энергию Солнца с энергией ветра с одновременным преобразованием полученной суммарной энергии в электрическую энергию, путем совершенствования этой установки и улучшения ее технических характеристик для обеспечения возможности параллельной работы с центральной электросетью трехфазного переменного тока, является актуальной задачей.

Тема диссертации связана с планом научной работы ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»: госбюджетная НИР № 2.1.1.1.16-20; 2.1.2.16-20 «Создание новых электротехнических комплексов на базе перспективных преобразователей энергии для электроснабжения локальных объектов. Моделирование электромагнитных, электромеханических и тепловых процессов в них», хоздоговорная НИР №2.45.05.01-16 «Разработка и исследование ветро-солнечного генератора», заказчик ООО «ДЕФОТЕК», хоздоговорной НИР №20а/21 заказчик ООО «БИОСТИМ» .

Степень разработанности темы.

Работы в области возобновляемой энергетики, ее использования в сельском хозяйстве в РФ вызывают значительный интерес, однако ведутся, в основном, группами ученых и инженеров-энтузиастов. Работы в области ис-

пользования ВИЭ для электрификации сельского хозяйства широко ведутся в аграрных университетах: Кубанском государственном аграрном университете имени И.Т. Трубилина под руководством Амерханова Р.А. [1, 2], Григораша О.В [26] и др.; Ставропольском государственном аграрном университете – Никитенко Г.В. [58], Коноплев Е.В. [57] и др.; Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» под руководством Воронина С.М. [10], Цыганова В.В. [88] и др.

Различными аспектами возобновляемой энергетики занимаются: Амерханов Р.А. [1, 2], Безруких П.П. [3], Богатырев Н.И. [5], Бутузов В.А. [7], Гайтов Б.Х. [15, 16, 17, 20], Гайтова Т.Б. [15, 21, 22, 23], Жогалев А.П. [28], Моренко К.С. [78], Потешин М.И. [70], Усков А.Е. [80], Степанчук Г.В. [78], Юдаев И.В. [93], Arnaltes S. [96], Auger F. [94], Burgos J.C. [96], Chinchilla M. [96], Dizqah A.M. [100], Hands S. [99] и другие отечественные и зарубежные ученые.

Анализ работ по данной тематике показывает, что в большинстве своем в этих работах рассматривается автономная система электроснабжения без синхронизации с центральной энергосистемой. Также в них рассматриваются алгоритмы работы инверторного и другого силового оборудования. Гибридные энергетические комплексы с использованием солнечной и ветровой энергии в этих работах созданы на основе существующих технических решений.

Одним из направлений совершенствования энергоустановок с использованием ВИЭ является разработка комбинированных (гибридных) электротехнических комплексов, в которых энергия Солнца и ветра преобразовывается в электрическую энергию.

На данный момент имеется большое количество исследований, посвященных теме развития возобновляемой энергетики [2, 3, 22, 78, 99, 100, 104]. Разработаны и существуют на рынке установки, преобразующие солнечную и ветровую энергии в электрическую. Общеизвестно, что наиболее эффективными являются гибридные солнечно-ветровые электростанции. Они позволяют добиться большей стабильности работы ввиду прерывистого и неуправляемого поступления ВИЭ.

Однако на сегодняшний день есть ряд нерешенных, или частично решенных проблем:

– наличие отключений электроэнергии, которое недопустимо при электроснабжении биофабрик, так как приводит к значительному экономическому ущербу;

– недостаток мощности (пик нагрузки приходится на 11.30, а дефицит мощности – с 6.00 до 16.30).

Сегодня в качестве систем резервного электропитания используются, в основном, дизель-генераторные, газопоршневые и газотурбинные генераторные установки. Однако применение этих установок в качестве дополнительного или, тем более, основного источника электропитания, связано с большими затратами на топливо, ГСМ и обслуживание. Эти затраты за несколько лет превышают затраты на создание генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии. Существующий дефицит мощности не покрывается имеющимися техническими средствами. Кроме того, имеют место отключения электроэнергии, которые приводят к значительному экономическому ущербу.

Существующие ВИЭ на основе дорогих инверторных преобразователей очень сложно синхронизируются с трехфазной сетью центрального электроснабжения, что приводит к технической возможности использования их либо только в автономных системах электроснабжения, либо к необходимости сложных технических решений по согласованию с сетью. Для повышения надежности электроснабжения применяют несколько разнородных ВИЭ. Однако система электроснабжения при этом становится более сложной (а, значит, менее надежной) и дорогой.

Таким образом, возникла объективная необходимость создания экономичной, экологичной генераторной установки для дополнительного и резервного электроснабжения потребителей АПК, которая имела бы возможность синхронизации с сетью центрального электроснабжения без применения дорогостоящих инверторов.

Научная проблема – существующая динамика роста потребления энергии биофабрик опережает рост развития электрических сетей, что приводит к дефициту мощности потребителя, периодическому отключению от электрической сети и нанесению технологического ущерба.

Научная гипотеза – применение двухвходовой генераторной установки с использованием ВИЭ, синхронизированной с трехфазной сетью центрального электроснабжения, может покрыть дефицит мощности биофабрик АПК.

Цель работы – обоснование параметров и режимов работы синхронизированной двухвходовой генераторной установки с использованием ВИЭ для покрытия дефицита мощности биофабрик.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Провести анализ источников и потребителей электроэнергии биофабрик АПК.
2. Разработать и реализовать математическую модель синхронизированной двухвходовой генераторной установки для обеспечения электроснабжения биофабрик.
3. Разработать и изготовить конструкцию двухвходовой генераторной установки, позволяющей одновременно преобразовывать световую энергию Солнца и кинетическую энергию ветра, синхронизированной с трехфазной сетью центрального электроснабжения.
4. Провести исследование синхронизированной двухвходовой генераторной установки (СДГУ) в различных режимах ее работы, используя ее математическую модель и программное обеспечение, сравнить с экспериментально полученными характеристиками.
5. Определить экономическую эффективность внедрения синхронизированной двухвходовой генераторной установки на биофабриках по производству ветеринарных препаратов.

Объект исследования – синхронизированная двухвходовая генераторная установка.

Предмет исследования – параметры и режимы работы синхронизированной двухвходовой генераторной установки, включая регулировочные, энергетические и рабочие, характеристики.

Методы исследования базируются на теоретических основах электротехники, законах электромеханики, теории планирования эксперимента, программное обеспечение: MATLAB Simulink, Mathcad.

Научная новизна работы.

1. Математическая модель функционирования синхронизированной двухвходовой генераторной установки с трехфазной сетью переменного тока центрального электроснабжения для обоснования параметров и режимов работы СДГУ.

2. Обоснованные параметры и режимы работы синхронизированной двухвходовой генераторной установки.

3. Внешние и регулировочные характеристики СДГУ для проектирования генераторных установок.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования составляют:

– разработанная на уровне изобретения СДГУ позволяет осуществлять резервное электроснабжение электрооборудования предприятий АПК, а также способна работать параллельно с внешней трехфазной сетью переменного тока, а следовательно, выступать дополнительным источником электроснабжения и поддерживать параметры выходного напряжения (амплитуду и частоту) при изменении внешних факторов (скорость ветра и интенсивность солнечного излучения) в заданных пределах;

– разработанная математическая модель СДГУ позволяет получить функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами разработанной СДГУ, которые позволяют получить регулировочные и

рабочие характеристики проектируемых СДГУ до их натурального изготовления;

– полученные рабочие характеристики СДГУ, дают возможность учитывать влияние параметров СДГУ и внешних факторов на параметры выходного напряжения установки, а также их можно использовать при проектировании генераторных установок синхронизированных с трехфазной сетью;

– полученные рабочие характеристики позволяют оценивать энергетические показатели генераторной установки при различных значениях нагрузки;

– полученные регулировочные характеристики позволяют разработать алгоритмы регулирования параметров выходного напряжения СДГУ.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Математическая модель функционирования синхронизированной двухвходовой генераторной установки с трехфазной сетью переменного тока центрального электроснабжения.

2. Экспериментально полученные внешние и регулировочные характеристики СДГУ и результаты сопоставления натурального и вычислительного экспериментов с теоретическими исследованиями.

3. Техничко-экономическое обоснование эффективности применения СДГУ для покрытия дефицита мощности биофабрики.

Реализация и внедрение результатов исследования. Результаты исследований внедрены в ООО «ДЕФОТЕК» (акт производственных испытаний от 11.05.2018 г., акт реализации от 31.05.2018 г.), заключено лицензионное соглашение с ООО «Дефотек» на продажу лицензии на изобретение (пат. РФ. № 2647708) «Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка» (договор № 12/2018 от 20.09.2018 г.), результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический процесс» в институте нефти, газа и энергетики (акт об использовании в учебном процессе результатов научно-исследовательской работы от 27.04.2021 г.).

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены на IX

Международной научной конференции «Технические и технологические системы ТТС-17» (22-24.11.2017, г. Краснодар), Международной конференция по актуальным вопросам машиностроения (Engineering Research / International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017)), I Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения» (31.03.2017 г. Краснодар), II Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения» (31.03.2018, г. Краснодар), Международной конференция по актуальным вопросам машиностроения International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2018 г.), X Международной научной конференции «Технические и технологические системы ТТС-19» (7.02.2019, г. Краснодар), Международной научно-технической конференции «Пром. Инжиниринг» (International Conference on Industrial Engineering Applikation and Manufacturing, ICIEAM 2019» 25-29.03.2019, г. Сочи). Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка отмечена золотой медалью XIV Международного Салона изобретений и новых технологий «Новое время», Призом Правительства (Золотым кубком) г. Севастополя (27-29.09.2018, г. Севастополь), дипломом Федеральной службы России по интеллектуальной собственности (г. Москва), золотой медалью Международной Варшавской выставки изобретений «IWIS 2018» (15-17.10.2018 г. Варшава, Польша), золотой медалью Международного конкурса инноваций и изобретений «ПИС 2018» (08.11.2018 , о. Тайвань).

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ электроснабжения предприятий по переработке продукции АПК Юга России

Распределительные электрические сети напряжением 0,4-110 кВ по месту расположения и характеру потребителей считаются сельскими и осуществляют электроснабжение объектов сельской инфраструктуры и сельскохозяйственного производства. Они находятся на более низком иерархическом уровне управления и располагаются ближе к потребителям. Проблемы систем электроснабжения сельских потребителей, исходя из причинно-следственных критериев, можно разделить на две группы. Первая – это низкое техническое состояние распределительных сетей, питающих сельхозпотребителей, следствием которого является отсутствие гарантированного электроснабжения сельскохозяйственных объектов, в том числе биофабрик, и низкое качество электроэнергии, от которых страдают все потребители электроэнергии, и в большей степени сельскохозяйственные предприятия.

Отключения электроэнергии связаны с значительной изношенностью сельских сетей напряжением 0,4-110 кВ и низким качеством поставляемой электрической энергии. По мнению специалистов, техническое состояние половины сельских сетей считается неудовлетворительным [89], отключения воздушных линий 0,4-110 кВ составляют от 40 до 90 % от общего количества аварийных отключений. В опубликованном «Положении ОАО «РОССЕТИ» о единой технической политике в электросетевом комплексе» приведен анализ специалистов о техническом состоянии электроустановок, который показал, что есть необходимость в замене большинства силовых трансформаторов всего электросетевого комплекса. На сегодняшний день изношенность электрических сетей и электрооборудования в Краснодарском крае составляет более 60 % [71].

В приложении А приведена статистика отказов по видам повреждаемого оборудования по ПАО «Кубаньэнерго» за период 2015-2020 г. На рис. А.1 и А.2 приведены графики потоков отказов по годам Заветинского и Зерноградского РЭС. За 2001-2011 гг. наблюдается рост потоков отказов, а с 2011 по 2014 года показатель остается на высоком уровне [47], что может быть вызвано устареванием электроустановок, значительным увеличением износа линий, нехваткой материальных средств и т.д.

По данным Минэнерго России [92], при благоприятных условиях развития электроэнергетики рекомендуемый масштаб вывода мощностей генерации составит 26,1 ГВт в до 2020 года. Установленная мощность объектов для производства электроэнергии в России неуклонно растет. В период с 2000 по 2017 год, общая установленная электрогенерирующая мощность выросла на 28% с 212.8 ГВт до 272.4 ГВт. Отсюда следует, что производство электроэнергии не успевает покрывать требуемый спрос необходимой мощности.

Энергосистема Краснодарского края является одной из самых дефицитных по электрической энергии среди энергосистем Южного федерального округа Российской Федерации – около 66 % электроэнергии поступает из соседних регионов [70].

К перечисленным проблемам добавляется нехватка свободных мощностей. Система электроснабжения проектировалась много лет назад, рассчитывалась под определенные установленные мощности того времени. Сегодня сельскохозяйственные предприятия активно развиваются, существующие предприятия расширяются, что приводит к росту потребления электроэнергии, а также возникают новые предприятия, которые также нуждаются в электроснабжении. Зачастую существующие сети и подстанции просто не могут обеспечить повышенный спрос на электроэнергию, особенно во время пиковых нагрузок. По оценке респондентов из ежегодного доклада Министерства экономики Краснодарского края, одной из наиболее острых проблем

является технологическое присоединении к объектам электросетевого хозяйства.

Существующие технологические мощности биофабрик Краснодарского края позволяют нарастить объем производства практически в два раза, а в случае увеличения доступности генерируемой мощности, соответственно кратно увеличивается и чистая прибыль. На сегодняшний день лимит разрешенной мощности выбран полностью. Ко всему необходимо добавить, что при превышении лимита потребляемой мощности стоимость каждого потребленного кВт·ч увеличивается в сотни раз по сравнению с базовым тарифом. Как результат имеем острую необходимость создания генераторной установки для обеспечения бесперебойным электроснабжением ответственных потребителей, во-первых, для обеспечения дополнительной генерируемой мощности в целях стопроцентного обеспечения потребностей биофабрики в электроэнергии, во-вторых, для покрытия дефицита мощности биофабрики.

Так на рис 1.1 приведен типичный почасовой график потребления электроэнергии Армавирской биофабрики. Из графика видно, что в часы пиковых нагрузок потребность в электроэнергии значительно превышает лимит разрешенной мощности.

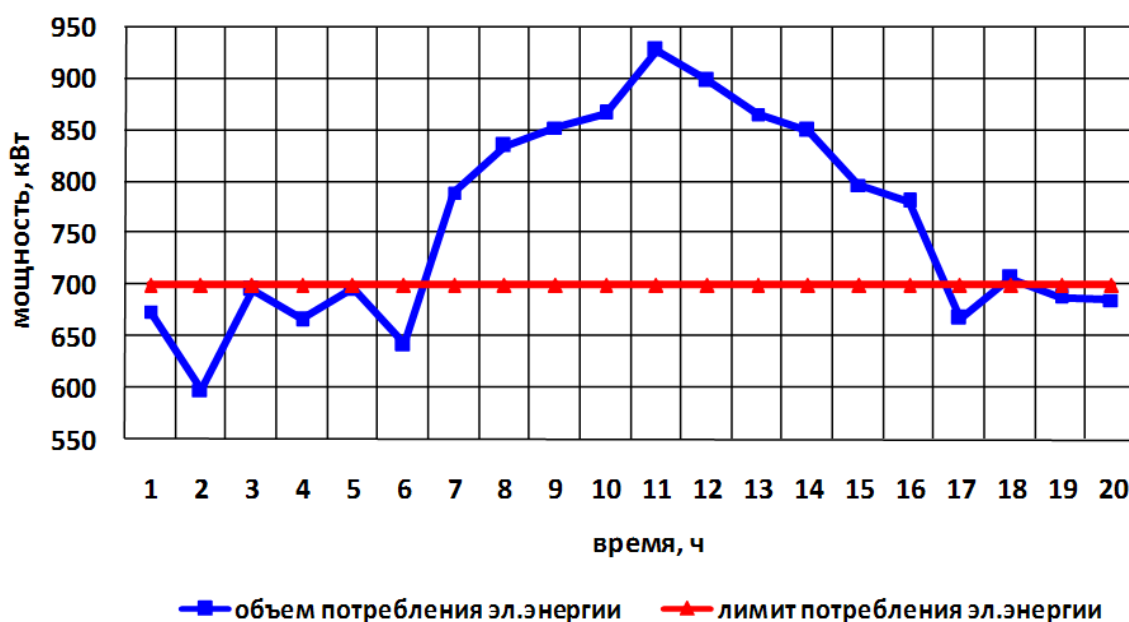


Рисунок 1.1 – Почасовой график потребления Армавирской биофабрики

Подобную проблему решал в своих работах Потешин М.И. [70] путем использования мини ГЭС и доказал существенную экономическую эффективность применения ВИЭ для снижения дефицита мощности предприятия на примере хлебзавода. К этому нужно добавить, что в настоящий момент биофабрика расширяет выпуск и ассортимент продукции, монтируется новое оборудование. Это приведет в ближайшее время к еще большей потребности биофабрики в электроэнергии.

Использование потенциала ВИЭ для наращивания производительности предприятия согласуется с одним из приоритетных направлений «Энергетической стратегии России до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 года № 1234-р. А распоряжение Правительства РФ от 8 января 2009 г. №1-р диктует необходимость наращивания объема генерации электрической энергии на базе ВИЭ – 4,5 % в 2020 г.

1.2 Анализ электроснабжения биофабрик

Биофабрики являются важным элементом АПК. На подобных предприятиях налажено производство вакцин и лекарственных препаратов для животноводства и птицеводства, производятся функциональные и биологические добавки к кормам и другая различная продукция для животноводства.

Стратегической задачей ряда биофабрик РФ является увеличение доли сухих вакцин, так как нативные влекут за собой дополнительные затраты при транспортировке и хранении, увеличивается срок хранения в 1,5 раза, гарантированно сохраняется активность. Одним из этапов производства сухих вакцин является их асептический розлив в помещениях чистоты класса А, сушка в сублимационных установках, укупорка пробкой и обкатка алюминиевым колпачком. Решение этих задач затрудняется рядом проблем, из которых нехватка генерирующих мощностей и надежность электроснабжения находятся не на последних местах.

Анализ ущерба от прерываний электроснабжения и возможности наращивания объемов производства разберем на примере Армавирской биофабрики как типовой.

На предприятии для сушки лекарственных препаратов используются две лиофильные установки LYO-5, в которых производится лиофильная сушка разлитого во флаконы или ампулы исходного сырья. Важным моментом в процессе лиофилизации является соблюдение регламента сушки, в котором важную роль играет работа технологического оборудования, бесперебойное снабжение электроэнергией без скачков напряжения и отключения даже на короткое время, так как в этом случае вся продукция, находящаяся на лиофилизации, забраковывается, что ведет к значительным материальным потерям, потому что это конечная стадия перехода из сырья в полуфабрикат.

Если обеспечить гарантированное электропитание этих технологических установок, получаем уменьшение экономического ущерба порядка 2,5 млн руб. в год.

Согласно технологическому циклу при приготовлении и розливе препарата «Пропофод-Бинергия» (приложение Б): в процессе гомогенизации при отключении питания оборудование поточной линии выходит из строя, гомогенизируемый продукт становится непригодным к дальнейшему использованию. Потери – стоимость одной серии продукта 250 тыс. руб. (при выходе из строя гомогенизатора портится 2 серии продукта, т.е. ущерб 500 тыс. руб.) стоимость оборудования – (гомогенизатор – 998 тыс. руб. в ценах 2019 г.).

Биофабрики вместе с другими объектами для федеральных государственных нужд на основании постановления Правительства РФ от 27 октября 2007 года № 791 финансируются за счет средств Федерального бюджета. Средства поступают в соответствии с целевой программой «Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009 - 2013 гг.)». Цель программы – обеспечение деятельности предприятия в режиме достижения безопасной работы всех цехов и участков фабрики в

соответствии с санитарно-эпидемиологическими, экологическими, противопожарными нормами и повышенными требованиями биологической безопасности с предупреждением техногенных ситуаций.

Существующий лимит электроэнергии не позволяет увеличить выпуск продукции. Анализ состояния вопроса показывает, что при достаточном уровне электроснабжения на существующих мощностях биофабрики возможно увеличить выпуск готовой продукции практически вдвое (Приложение Е).

Типичным примером современной российской биофабрики является ФКП «Армавирская биофабрика» со всеми присущими на настоящий момент проблемами. Произведенный анализ потребления энергоресурсов предприятием за последние годы (рис. 1.2–1.5) показал следующее:

За 12 месяцев 2017 года было потреблено электроэнергии 7346 тыс. кВт·ч, что на 10,04% больше, чем в 2016 году (6675,4 тыс. кВт·ч), в физическом выражении увеличение составило 670,6 тыс. кВт·ч, в денежном выражении 6789,3 тыс. рублей (увеличение на 18,2%, при росте цены на 7,3%). В это же время увеличение выпуска продукции произошло на 13,5%, в физическом выражении – 126,4 т. [14]. Итого: обоснованное увеличение составило порядка 662,34 тыс. кВт·ч

Удельный расход электроэнергии за 2017 год составил 6,9 кВт/л, что на 3,1 % (0,22 кВт/л.) меньше, чем за 2016 год – 7,12 кВт/л. На предприятии проведен комплекс мероприятий по энергосбережению. Дальнейшее уменьшение удельного расхода электроэнергии за счет оборудования сублимационной сушки практически невозможно. Это приводит к пониманию, что без дополнительных генерирующих мощностей увеличение выпуска продукции предприятием невозможно, так как разрешенная мощность предприятием выбрана полностью. Существующие электросети не обладают достаточной пропускной способностью, а районная подстанция загружена полностью [13, 43, 85, 86].

Анализ состояния электроснабжения ряда подобных предприятий в РФ показывает, что подобные проблемы существуют практически на всех предприятиях. Анализ представлен в виде материала, представленного в виде рисунков 1.2-1.5.

Существующая система электроснабжения создана еще в СССР. Ее возможности во многих регионах выбраны практически полностью. Зачастую требуется ввод дополнительных генерирующих мощностей, монтаж новых или модернизация существующих электросетей, ввод новых подстанций 110/10 кВ. Своими силами предприятия такие инфраструктурные проекты осуществлять не могут. Проблема усугубляется тем, что зачастую биофабрики находятся далеко от центров. Потребность в генерируемых мощностях составляет единицы мегаватт, а то и сотни тысяч киловатт. Строить ТЭС такой небольшой мощности экономически нецелесообразно, а возводить более мощные нет смысла в силу отсутствия рядом других крупных потребителей, которым можно было бы продавать излишнюю электроэнергию.

Возможности увеличения производства ряда биофабрик, в случае увеличения доступных генерирующих мощностей приведены на рисунках 1.2-1.5. Из них видно, что все биофабрики вынуждены занижать выпуск продукции в силу ограничения разрешенной мощности.

Кроме того, для предприятий АПК остро встает вопрос обеспечения экологичности производства. Экологические нормы все время ужесточаются, а дизель-генераторные установки (Д-ГУ) и газотурбинные установки (ГТУ) не лучшим образом влияют на экологию. Непосредственно для биофабрик этот вопрос еще более актуален. Производство вакцин требует абсолютной стерильности воздуха. При наличии вблизи биофабрики выхлопных газов придется устанавливать более совершенные установки фильтрации воздуха, чаще менять фильтры, а это дополнительные расходы и, как следствие, повышение себестоимости продукции.

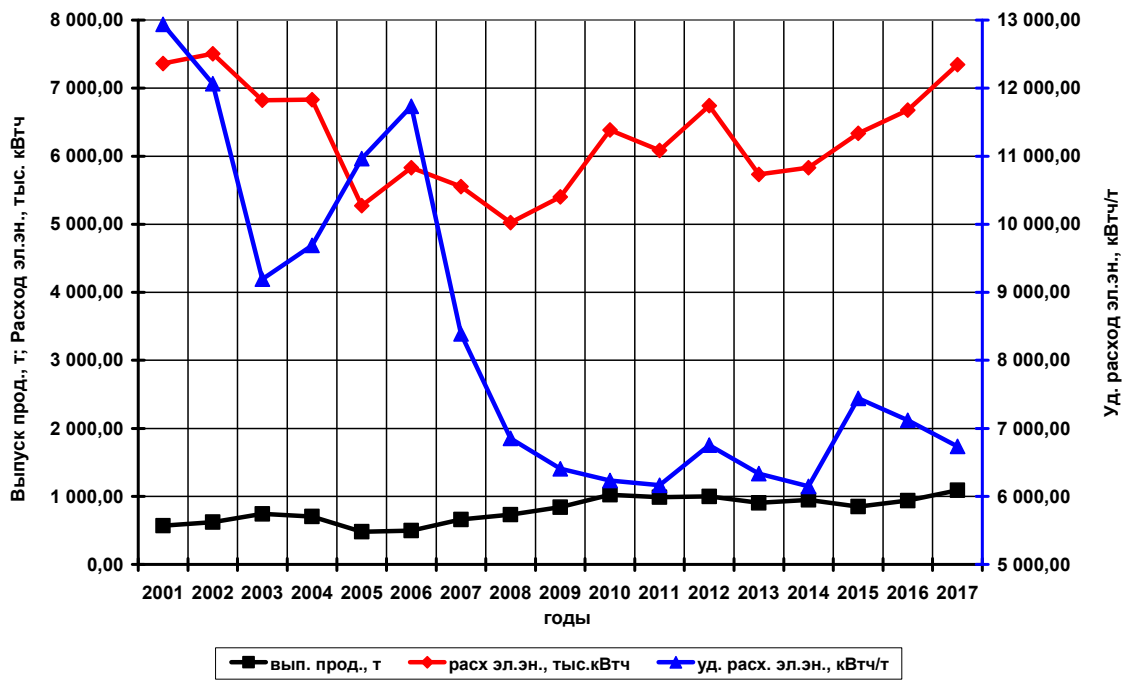


Рисунок 1.2 – График расхода электроэнергии по отношению к выпущенной продукции за период 2001 - 2016 гг.

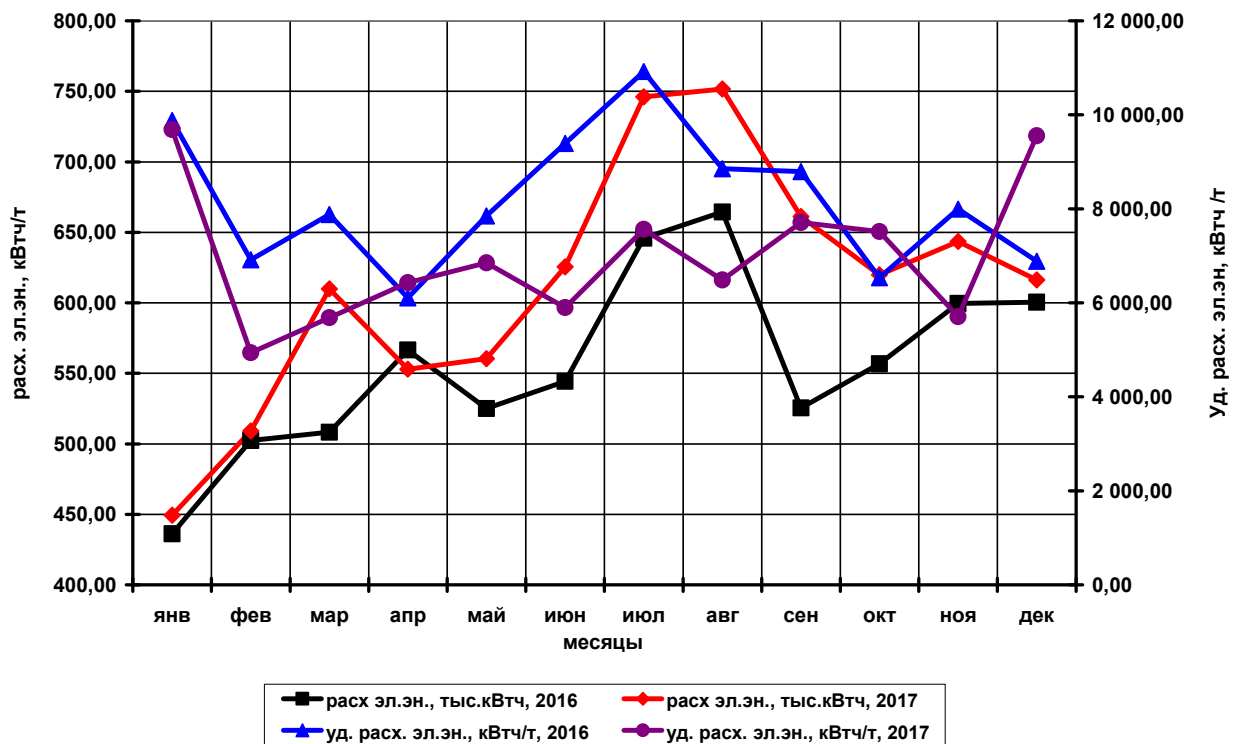


Рисунок 1.3 – График расхода электроэнергии и удельного расхода электроэнергии за 12 месяцев 2016–2017гг.

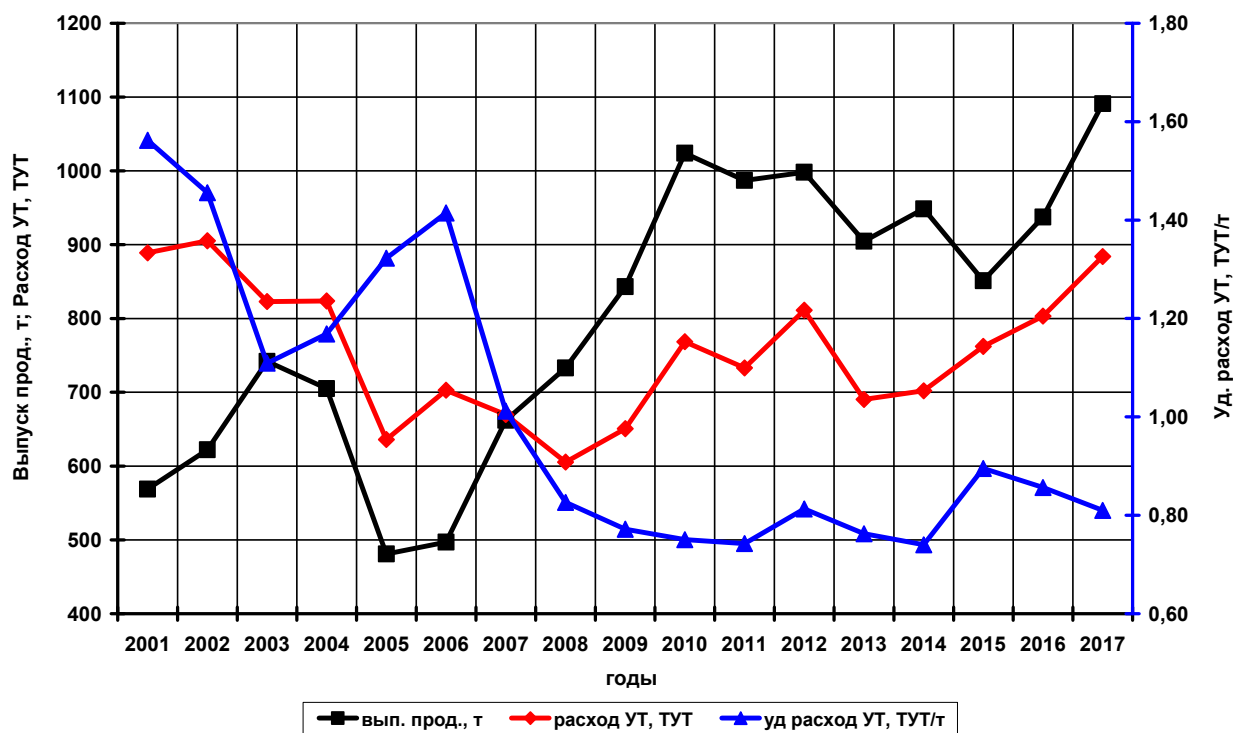


Рисунок 1.4 – График потребления условного топлива и удельного расхода условного топлива за период 2001 - 2016 гг.

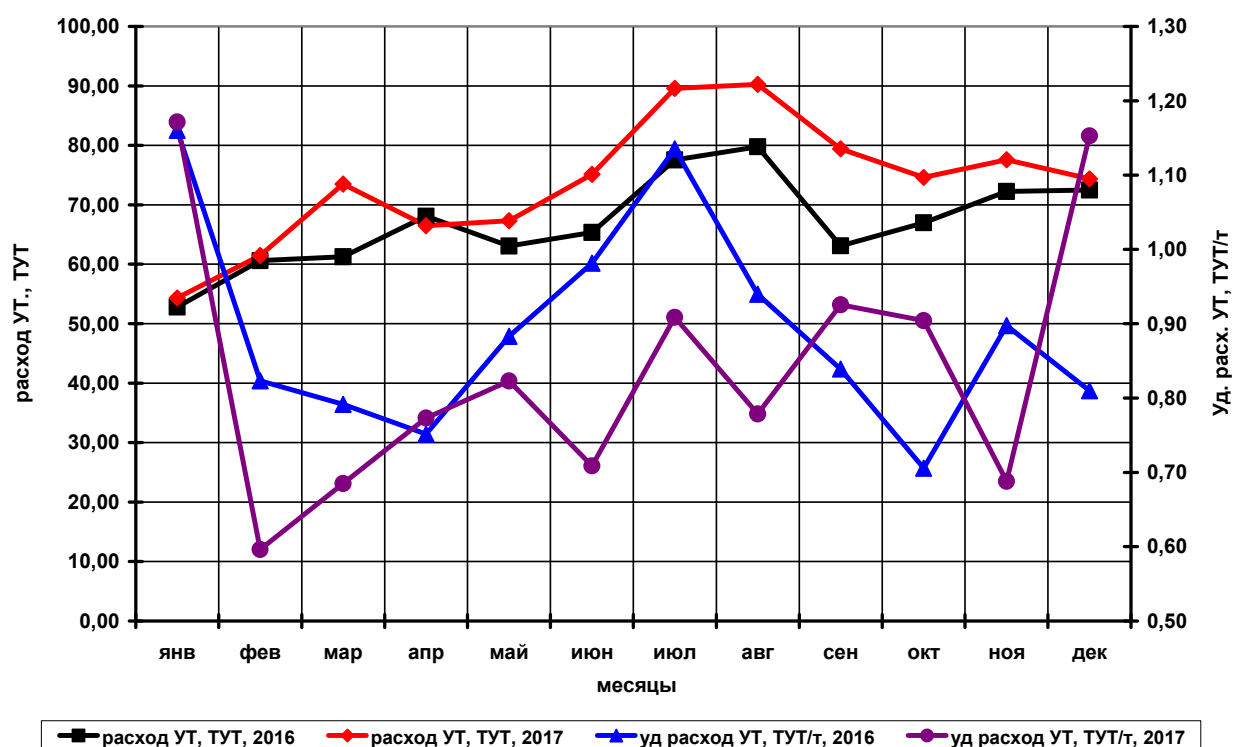


Рисунок 1.5 – График потребления условного топлива и удельного расхода условного топлива за 12 месяцев 2016 - 2017 гг.

Из вышесказанного следует, что весьма актуальным является решение задачи снижения прямых экономических потерь от перерывов в электроснабжении путем повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей биофабрики, а также увеличения выпуска готовой продукции благодаря установке дополнительных генерирующих мощностей непосредственно на самих биофабриках.

Таким образом, наблюдается отчетливая тенденция к увеличению потребления энергоресурсов. Удельный расход электрической энергии при этом практически не изменяется. Снизить удельный расход при существующей технологии не представляется возможным.

Технологические установки сублимационной сушки обладают значительной установленной электрической мощностью, что зачастую приводит к невозможности их параллельной работы. Чтобы запустить одну установку зачастую необходимо остановить другую.

К тому же необходимо заметить, что в настоящий момент стоит задача технического перевооружения и увеличения выпуска продукции, что ведет к соответствующему увеличению потребности в доступной электроэнергии.

1.3 Резервные источники питания и конструкций преобразователей энергии ветра и Солнца в электроэнергию

В настоящее время в качестве резервных и дополнительных источников питания на предприятиях АПК используются, в основном, дизель-генераторные, газопоршневые и газотурбинные генераторные установки. В качестве резервного источника питания они неплохо себя зарекомендовали. Главное их достоинство – относительно низкая цена. Но, если рассматривать их в качестве дополнительного или, тем более, основного источника электрогенерации, то преимущество низкой стоимости нивелируется затратами на топливо и обслуживание. Так как все эти генераторные установки работают

на углеводородном топливе, затраты на которое за несколько лет превышают затраты на создание генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии. Поэтому считаем целесообразным для дополнительной генерации электроэнергии эксплуатировать установки на базе ВИЭ. Для Юга России перспективными источниками возобновляемой энергии являются Солнце и ветер. [1, 22, 26, 37].

Из экономических расчетов капиталовложения на 100 кВт дополнительной генерации на базе серийных комбинированных ВИЭ составляют около 20 млн. руб.

Большую часть инвестиций на установку комбинированных ВИЭ составляют затраты на аккумуляторы, инверторы и контроллеры. Это обусловлено тем, что при традиционной схеме использования ВИЭ осуществляется двойным преобразование возобновляемой энергии (световой энергии Солнца, кинетической энергии ветра). Ситуация осложняется еще тем, что при этом используются традиционно ШИМ инверторы, которые негативно влияют на питающую электросеть. Это, в свою очередь, приводит к необходимости применения дорогостоящих фильтров и преобразователей электрической энергии. При электромеханическом способе преобразования и сложения энергии [39, 74] от разнородных ВИЭ, суммарная энергия преобразуется непосредственно в энергию трехфазного переменного тока. Это, с одной стороны, упрощает и удешевляет систему преобразования энергии, с другой, ставит проблему синхронизации электромеханического преобразователя (ЭМПЭ), преобразующего ВИЭ в электрическую, с системой централизованного электроснабжения (если ЭМПЭ не является единственным источником автономной системы электроснабжения).

Анализ затрат на эксплуатацию газотурбинных установок (ГТУ) и дизель-генераторных (ДГУ) показал, что по объемам капиталовложений заметно эффективнее применение последних. Так ДГУ, мощностью 100 кВт, стоит от 1-2 млн. руб. в зависимости от производителя. Но при этом прихо-

даться учитывать стоимость эксплуатации. Расходы на содержание, ГСМ, амортизацию и т.д.

Средний расход топлива Д-ГУ составляет 0.25 л на кВт·ч выработанной электроэнергии. При годовом потреблении около 500 тыс. кВт·ч и стоимости дизтоплива около 40 руб., получаем годовые затраты только на топливо до 5 млн. руб. К этому нужно прибавить стоимость обслуживания Д-ГУ. ГТУ по капитальным затратам и стоимости топлива чуть выигрывают у Д-ГУ, но порядок цифр сохраняется (расчеты приведены в главе 4.2).

При работе Д-ГУ в качестве дополнительного источника питания ресурс дизельной части вырабатывается практически за 3-4 года. После этого необходим капитальный ремонт цилиндро-поршневой группы или полная замена дизеля. Это, соответственно, приводит к удорожанию стоимости владения установкой и вынужденному простоя на время капитального ремонта. Вынужденные простои также будут при регулярном техническом обслуживании дизеля, если нет резервной Д-ГУ, а если она есть, то это повышение стоимости оборудования.

Наиболее актуальным направлением в энергетике, как утверждает многими исследователями, является развитие альтернативной энергетики (ветровая и солнечная энергетика) [68, 69]. Согласно ежегодному отчету Renewables 2018 Global Status Report [114] с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ) было выработано примерно 26,5% мировой электроэнергии за год. Правительство РФ для повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии определило политику на период до 2035 г. [107].

Наиболее мощными и имеющими достаточную удельную плотность являются энергии ветра и Солнца. Следовательно, необходимо продолжать разработку именно таких ВИЭ, так как они широко исследованы и распространены и оказывают минимальное воздействие на влияние на экологию [22].

Чаще на практике потребителем используется один вид ВИЭ, что приводит к снижению эффективности электроснабжения [6, 36]. Потребитель вынужден производить мероприятия по резервированию электропитания или подключению накопителей большой мощности в связи с природными особенностями ВИЭ. Все эти особенности приводят к срывам электроснабжения, увеличению затрат на ВИЭ и усложнению системы электроснабжения (СЭС) в целом, для потребителя в конечном итоге это приводит к повышению себестоимости генерируемой электроэнергии резервного источника.

Использование двух или более ВИЭ позволяет уменьшить часть проблем связанных с экономической и технической неэффективностью системы электроснабжения.

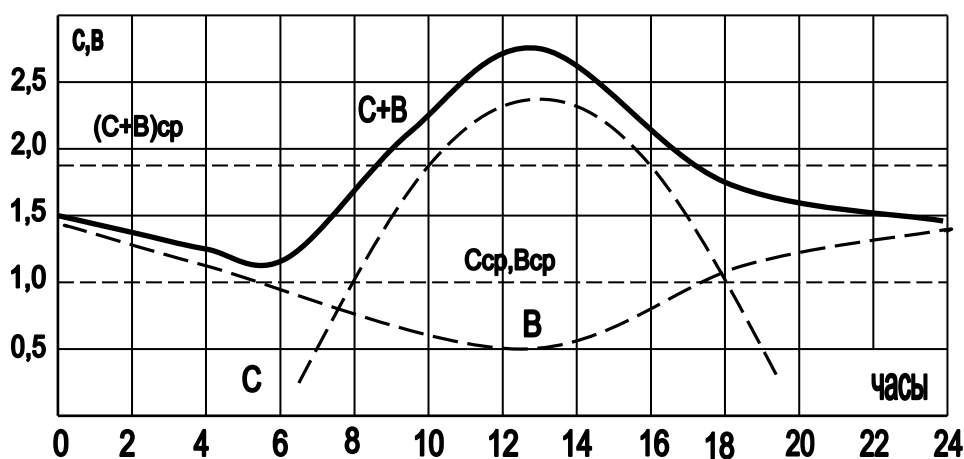


Рисунок 1.6 – Интенсивность солнечной (C) и ветровой (B) энергии в течение суток

Из графика (рис. 1.6-1.7) видно, что поступление энергии Солнца (C) и энергии ветра (B) в течение суток крайне неравномерно, причем интенсивности этих энергий колеблются в противофазе: днем основной поставщик энергии – Солнце, вечером, ночью и утром – ветер [22, 74].

Таким образом, наиболее целесообразным вариантом применения ВИЭ является одновременное использование нескольких ВИЭ в одной системе электроснабжения. В этом случае осуществляется выравнивание естественных колебаний поступления энергии от ВИЭ и появляется возможность большего количества кинетической и световой энергии для преобразования суммарной энергии в электроэнергию.

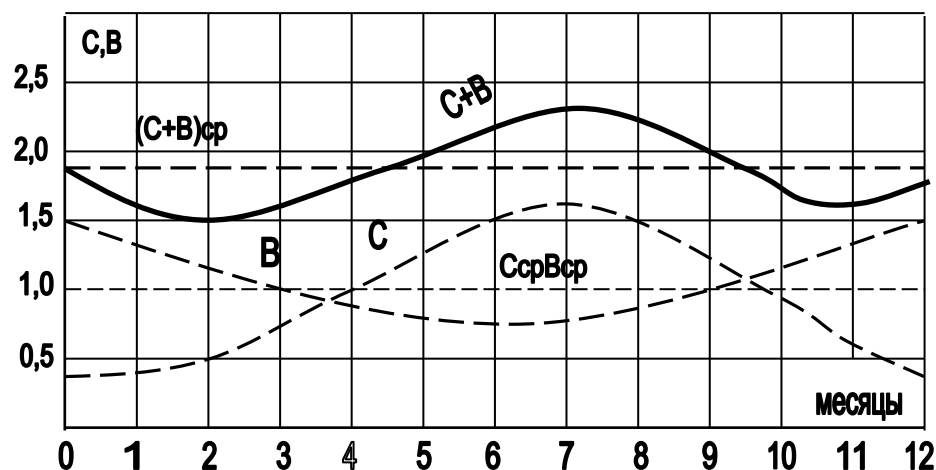


Рисунок 1.7 – Интенсивность энергии Солнца (C) и энергии ветра (B) в течение года

Комбинированные электростанции на базе традиционных схем преобразования энергии являются простой комбинацией энергоустановок, каждая из которых построена на базе одного ВИЭ. Последующее суммирование вырабатываемой этими энергоустановками по отдельности энергии осуществляется в отдельном дополнительном преобразователе. Такие комбинированные электростанции очень сложны. Они ненадежны, чаще выходят из строя, экономически не выгодны из-за высоких затрат на строительство и амортизацию. Кроме того, суммирование средних энергий Солнца и ветра по отдельности (рис. 1.8 и 1.9) даст суммарную энергию будет почти в два раза меньше, чем суммарная энергия обоих источников преобразуемая в одной энергоустановке одновременно.

Ряд ученых в своих работах [22, 24] уже доказали, что комбинирование двух видов энергии ВИЭ (Солнца и ветра) в одной энергоустановке экономически эффективно. Таким образом, с учетом всех вышеперечисленных факторов экономически более выгодно применять вариант комплексного использования ВИЭ. Поэтому разработка установки, которая одновременно преобразует энергию ветра и Солнца одновременно актуальна.

В настоящее время известен ряд конструкций электромеханических преобразователей энергии, преобразующих энергию ветра и Солнца в электрическую энергию (далее по тексту ЭМПЭ) [32, 49, 83].

Фирмой «Fortis Wind Energy» (Нидерланды) изготовлена ветроэлектрическая установка FortisAlize [49], содержащая обтекатель, лопасти, синхронный генератор с внутренним неподвижным статором с магнитопроводом якоря и наружным вращающимся ротором с магнитопроводом индуктора с постоянными магнитами, имеющими радиальную форму, несущий вал, опорно-поворотное устройство, демпфер, токосъемное устройство. Лопасти ветроэлектрической установки жестко закреплены на переднем диске ротора.

Ветроэлектрическая установка FortisAlize не требует систематического обслуживания, так как не имеет редуктора и штуцеров для пополнения смазки, а все ее подшипники рассчитаны на длительную работу. Пусковая скорость ветра такой установки составляет 3,1-4 м/с, номинальная мощность установки (10 кВт) достигается при скорости ветра 11-15 м/с. [49].

В такой установке идет преобразование энергии ветра, но отсутствует преобразователь энергии Солнца в электроэнергию

Одновременное преобразование механической энергии вращения (например, энергии ветра) и электроэнергии постоянного тока (например, световой энергии Солнца, преобразованной фотоэлектрическими преобразователями в электроэнергию постоянного тока) осуществляется в двухмерной аксиальной электрической машине-генераторе (рис. 1.8) [61].

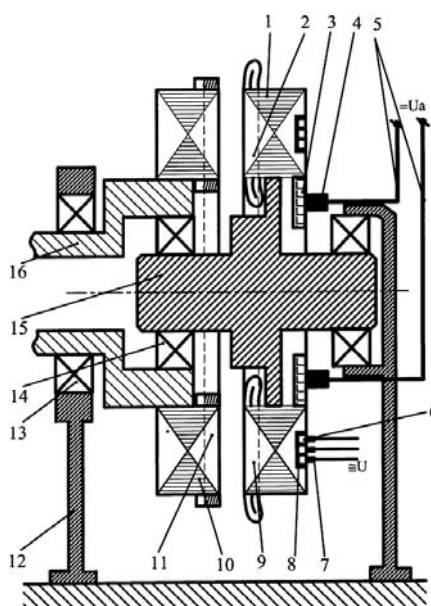


Рисунок 1.8 – Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор (Пат. RU 2349014)

В такой машине-генераторе [61] может осуществляться суммирование и преобразование кинетической энергии ветра и энергии Солнца, преобразованной фотоэлектрическими преобразователями в электроэнергию постоянного тока в электроэнергию трех- (или более) фазного переменного тока с более стабильными параметрами электроэнергии на выходе, чем в случае применения традиционных электромеханических преобразователей энергии.

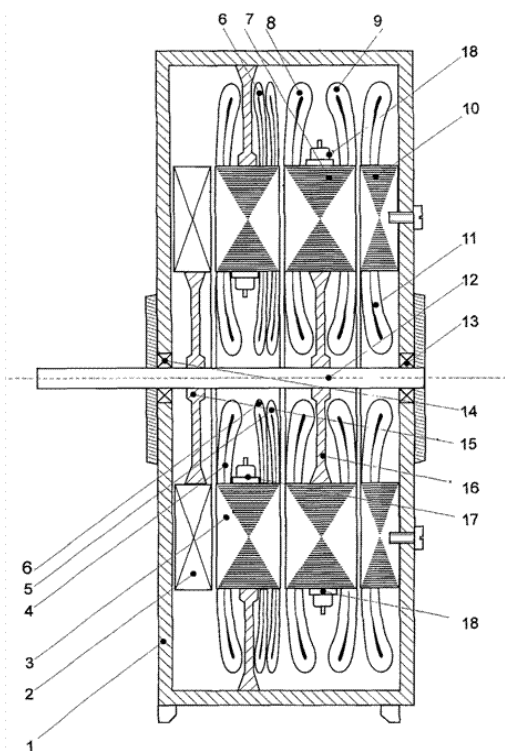
Проведенные экспериментальные исследования [22] показали перспективность применения машин-генераторов подобного типа в автономной системе электроснабжения, основанной на комплексном использовании возобновляемых источников энергии, например, Солнца и ветра в рамках одной энергосистемы.

Недостатком ветроэлектрической установки FortisAlize и двухмерной аксиальной электрической машины-генератора является низкая надёжность из-за наличия токосъёмного устройства с подвижными контактами [49] и щеточно-коллекторного аппарата [61].

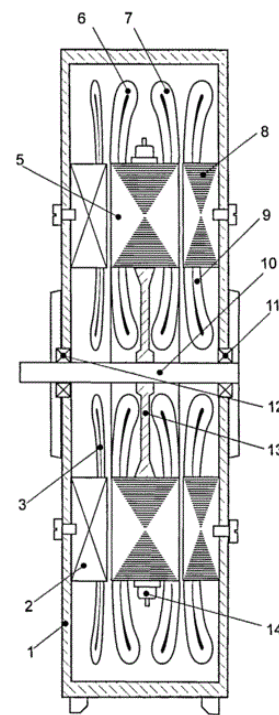
Этого недостатка лишена аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор (АДБЭМГ) [62], которая также используется для преобразования энергии ветра и Солнца в электрическую энергию (рис. 1.9, а).

Существенным преимуществом такой аксиальной бесконтактной электрической машины-генератора является также существенное снижение ее стоимости по сравнению с традиционными радиальными электрическими машинами за счет упрощения технологии изготовления магнитопроводов, упрощения технологии выполнения обмоточных работ и уменьшения расхода электротехнической стали на изготовление магнитопроводов [23, 37, 98].

Другой электрической машиной, которая также не имеет подвижных контактов и может использоваться в системах электроснабжения, преобразующих энергию ветра и Солнца в электрическую энергию, является аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор (АДБВСГ) (рис 1.9, б) [63].



а) Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор (Пат. RU 2450411)



б) Аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор (Пат. RU 2561504)

Рисунок 1.9 – Двухвходовые бесконтактные ветро-солнечные генераторы

В таком ветро-солнечном генераторе потери энергии по сравнению с предыдущей машиной снижены за счет уменьшения количества промежуточных электромеханических устройств для преобразования энергии.

Существенным недостатком описанных выше конструкций [49, 61, 62, 63], а также ряда других ЭМПЭ, преобразующих энергию ветра и Солнца в электрическую [84], является то, что частота генерируемого ими напряжения зависит от скорости вращения элементов магнитных систем подвозбудителя (при наличии), возбудителя и основного генератора, установленных на роторе, относительно элементов магнитных систем подвозбудителя (при наличии), возбудителя и основного генератора, установленных в неподвижном корпусе.

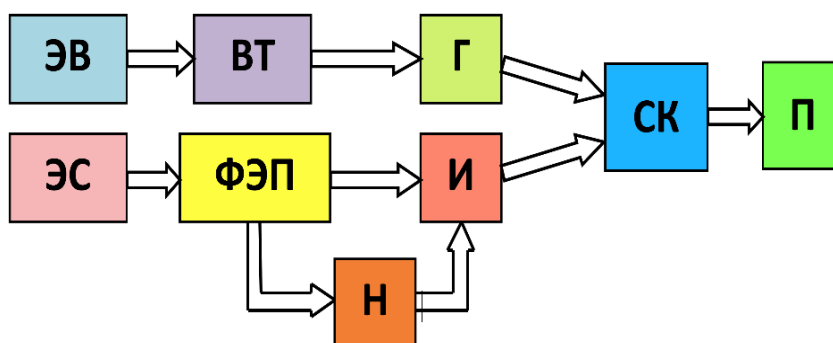
Скорость вращения ротора в свою очередь является функцией момента, создаваемого на валу известных ветрогенераторов [35, 109] источником механической энергии вращения, в частности, ветром, при этом момент на валу

генератора в этом случае в свою очередь зависит от силы ветра, являющейся функцией скорости ветра.

Таким образом, рассмотренные выше и ряд других ветрогенераторных установок [106] не могут работать параллельно с внешней трехфазной системой переменного тока.

На рис. 1.10 приведена структурная схема классической электростанции, преобразующей энергию Солнца и ветра в электроэнергию.

Как видно из рис. 1.10 возможное объединение преобразования энергии ветра и энергии Солнца в энергию переменного тока предусматривает девять ступеней преобразование энергии, каждая из которых снижает КПД всей электростанции на базе ВИЭ. При указанной схеме преобразования энергии потребитель получает энергию переменного тока, которая может не соответствовать стандартам (по амплитуде и частоте напряжения) [40].



ЭВ – кинетическая энергия ветра, ЭС – энергия Солнца, ВТ – ветротурбина, Г – генератор, ФЭП – фотоэлектрический преобразователь, Н – накопитель, И – инвертор, СК – сумматор-контроллер, П – потребитель

Рисунок 1.10 – Структурная схема классической электростанции, преобразующей энергию Солнца и ветра в электроэнергию

Расширенное использование ВИЭ предполагает параллельную работу преобразователей возобновляемой энергии с внешней трехфазной сетью, что, в свою очередь, требует синхронизацию выходных параметров этих устройств с параметрами внешней сети [101].

Суммирование энергии от нескольких ВИЭ в одной установке энергетически выгоднее, чем суммирование энергии от нескольких установок, каж-

дая из которых получает энергию от одного из ВИЭ [42]. В силу повсеместной доступности энергий Солнца и ветра целесообразно создавать двухвходовые электрические генераторы (установки), т.е. генераторы (установки), имеющие световой и механический входы: на световой вход подается электроэнергия постоянного тока, полученная путем преобразования световой энергии фотоэлектрическими преобразователями, а на механический (вал ротора) – механическая энергия вращения, полученная путем преобразования кинетической энергии ветра ветроколесом [62-64, 72].

Однако синхронизация таких установок параллельно с сетью является в настоящее время технически сложной задачей и потребитель вынужден использовать их автономно. С развитием микроэлектроники появились инверторы, способные синхронизировать выходное трехфазное напряжение с напряжением внешней сети, но в основе их работы используется ШИМ, что приводит к снижению качества электроэнергии. Более перспективным с точки зрения качества электроэнергии выглядит использование АИМ, но такие устройства на сегодняшний день мало проработаны [73]. АИМ и СМ инверторы заметно дороже ШИМ модулированных, что, в свою очередь, так же удорожает установки ВИЭ.

В связи с вышеизложенным представляется целесообразных реализовать электромеханический и электромагнитный способ преобразования двух видов энергии (световой энергии Солнца и кинетической энергии ветра) в электрическую энергию переменного тока на базе двухвходовых генераторных установок с электромеханической синхронизацией выходных параметров установки с параметрами сети трехфазного тока.

В этом случае решаются несколько проблем:

- отпадает необходимость применения дорогой силовой электроники благодаря использованию электромеханического синхронизатора;
- уменьшаются суммарные потери за счет упрощения структуры СЭС по преобразованию двух видов энергии в электрическую энергию, а именно

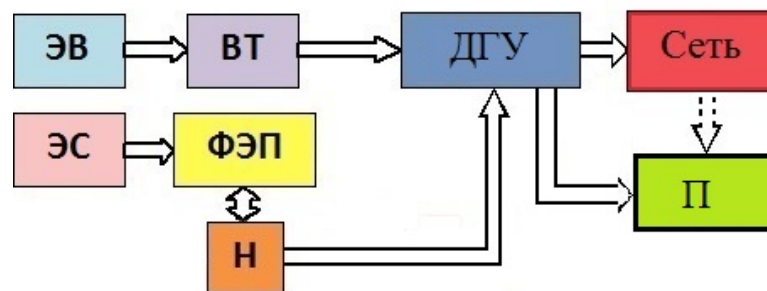
за счет отсутствия в таких установках электронных силовых преобразователей;

- улучшается качество вырабатываемой электроэнергии, за счет исключения промежуточного ШИМ или СМ инвертора

- появляется возможность преобразователь энергии, у которого выходные параметры близки к параметрам внешней сети, использовать в качестве резервного источника энергии.

Таким образом, можно констатировать необходимость создания резервной системы электроснабжения, преобразующей световую энергию Солнца и кинетическую энергию ветра в электроэнергию заданных параметров, на базе электромеханического преобразователя энергии, представляющего из себя двухвходовую генераторную установку (ДГУ), способную синхронизироваться с внешней трехфазной сетью электромеханическим способом.

На рис. 1.11 приведена структурная схема системы электроснабжения на базе двухвходовой генераторной установки (ДГУ), преобразующей механическую энергию вращения (полученную путем преобразования кинетической энергии ветра ветротурбиной ВТ в механическую энергию вращения) и электрическую энергию постоянного тока (полученную путем преобразования световой энергии Солнца в ФЭП) в электрическую энергию переменного тока.



ЭВ – кинетическая энергия ветра, ЭС – энергия Солнца, ВТ – ветротурбина, ФЭП – фотоэлектрический преобразователь, Н – накопитель энергии, ДГУ – двухвходовая генераторная установка, Сеть – внешняя трехфазная сеть переменного тока, П – потребитель

Рисунок 1.11 – Структурная схема системы электроснабжения на базе ДГУ

Стремление суммировать энергию постоянного и переменного токов приводит к созданию неоправданно сложной преобразовательной установки. Большинство электростанций, использующие ВИЭ, работают на автономную нагрузку. Подключение данных устройств на параллельную работу с внешней сетью связано со сложностью синхронизации их выходных параметров этих устройств с параметрами внешней сети. Такая схема (рис. 1.11) является перспективной с точки зрения рассматриваемых потребителей электроэнергии и даёт возможность наращивания мощности биофабрики с помощью автономного ВИЭ без синхронизации с сетью, но это ведет к дополнительным затратам на электрооборудование, систему автоматического резервирования и ведет к снижению надежности системы электроснабжения.

1.4 Выводы по главе и постановка задачи исследования

Таким образом, проанализировав существующие преобразователи, преобразующие энергию ветра и Солнца в электроэнергию следует, что их общим недостатком является зависимость частоты генерируемого ими напряжения от скорости вращения вала ротора. Это ограничивает область их применения: они могут быть использованы только для питания локальных объектов с невысокими требованиями к частоте питающего их напряжения и без параллельного подключения к внешним трехфазным системам переменного тока.

К тому же анализ потребления энергоресурсов показал, что наблюдается отчетливая тенденция к увеличению потребления предприятиями АПК энергии. Биофабрики имеют необходимость в наращивании объемов производства продукции. Однако лимит разрешенной мощности многими предприятиями выбран полностью. Это ограничивает возможности расширения производства ввиду недостатка генерирующих мощностей и пропускной

способности существующих электросетей и их силового оборудования. При этом в условиях дефицита генерирующих мощностей, капитальные вложения в инфраструктуру централизованного электроснабжения сопоставимы с вложениями в возобновляемую энергетику, что делает рентабельными решения на основе ВИЭ.

Несмотря на то, что количество отказов в системе электроснабжения с годами уменьшается, аварийные отключения периодически имеют место. Отключения электроснабжения приводят к экономическому ущербу порядка 2,5 млн. руб. в год только на одной фабрике (Армавирской биофабрике). Также это может привести к поломкам дорогостоящего технологического оборудования. Например, для технологических процессов сушки вакцин перерыв в электроснабжении более 5-10 мин. приводит к потере всей партии вакцин, а по отдельному технологическому оборудованию приводит к потере и самого оборудования, что приводит к значительному экономическому ущербу порядка 2,5 млн. руб. в год только на одной биофабрике. Это обстоятельство вынуждает предприятия АПК иметь резервные источники электроснабжения.

Используемые в сельскохозяйственном производстве в настоящее время в качестве установок резервного питания, а также для дополнительной генерации дизель-генераторные установки обладают рядом недостатков, а именно необходимость потребления большого объема топлива (при работе в постоянном режиме), ухудшение экологической обстановки на биофабрике, где загрязнения воздуха недопустимы.

Строить ТЭС небольшой мощности экономически нецелесообразно для электроснабжения биофабрик, а возводить более мощные нет смысла, в силу отсутствия рядом других крупных потребителей. Актуальным экологически чистым методом решения проблем недостатка генерирующих мощностей является использование возобновляемых источников энергии. Так как использование одного вида ВИЭ приводит к перебоям снабжения электроэнергией и, соответственно, к экономической неэффективности такой систе-

мы, повышению себестоимости генерируемой ею электроэнергии, вследствие чего необходимо сооружать накопители большой мощности.

Синхронизация генераторных установок и станций, преобразующих энергию ветра и Солнца в электроэнергию, в настоящее время решается с помощью устройств силовой электроники – ШИМ-инверторов ведомых сетью. Эти устройства имеют высокую стоимость и негативно влияют на качество электрической энергии в сети, что приводит к целесообразности разработки устройств синхронизации без указанных недостатков

При электромеханическом способе сложения ВИЭ остро встает вопрос о синхронизации генераторной установки, преобразующей энергию ВИЭ в электрическую с системой централизованного электроснабжения без использования дорогостоящих ШИМ-инверторов, ведомых сетью.

Исходя из вышеизложенного:

Научная проблема – существующая динамика роста потребления энергии биофабрик опережает рост развития электрических сетей, что приводит к дефициту мощности потребителя, периодическому отключению от электрической сети и нанесению технологического ущерба.

Научная гипотеза – применение двухвходовой генераторной установки с использованием ВИЭ, синхронизированной с трехфазной сетью центрального электроснабжения, может покрыть дефицит мощности биофабрик АПК.

Цель работы – обоснование параметров и режимов работы синхронизированной двухвходовой генераторной установки с использованием ВИЭ для покрытия дефицита мощности биофабрик.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать и реализовать математическую модель синхронизированной двухвходовой генераторной установки для обеспечения электроснабжения биофабрик.

2. Разработать и изготовить конструкцию двухвходовой генераторной установки, позволяющей одновременно преобразовывать энергию Солнца и кинетическую энергию ветра, синхронизированной с трехфазной сетью центрального электроснабжения.

3. Провести исследование синхронизированной двухвходовой генераторной установки в различных режимах ее работы, используя ее математическую модель и программное обеспечение, сравнить с экспериментально полученными характеристиками.

4. Определить экономическую эффективность внедрения синхронизированной двухвходовой генераторной установки на биофабриках по производству ветеринарных препаратов.

2 ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВУХВХОДОВОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

2.1 Математическое описание физических процессов двухвходовой генераторной установки

Математическое моделирование в сочетании с вычислительным экспериментом позволяет получить полное представление об исследуемом объекте. Это особенно эффективно для разработки и оптимизации сложных многопараметрических линейных и нелинейных процессов, исследование которых путем проведения физического эксперимента затруднено или вообще невозможно [44, 45, 46].

Представляется целесообразным первоначально на основе структурной схемы СЭС разработать электрическую схему ДГУ, создать ее математическую модель, с помощью модели провести исследования электрической схемы ДГУ, получить характеристики установки, разработать конструкцию ДГУ и ее экспериментальный образец.

Задачей математического моделирования ДГУ является получение ее динамических характеристик и на базе этих характеристик – получение регулировочных характеристик как зависимостей напряжения и частоты от внешних факторов и параметров ДГУ. К внешним факторам, влияющим на работу ДГУ, относятся: частота вращения ветроагрегата, зависящая от скорости ветра, и напряжение на выходе ФЭП, зависящее от интенсивности солнечного излучения. Параметрами ДГУ, оказывающие влияние на работу установки, являются параметры обмоток отдельных частей ДГУ, например, известной из [15] (многофазной обмотки якоря, основной однофазной обмотки возбуждения возбуждителя, дополнительной однофазной обмотки возбуждения возбуждителя, многофазной обмотки якоря возбуждителя, однофазной обмотки возбуждения основного генератора).

Для математического описания свойств ДГУ в динамических режимах целесообразно воспользоваться моделью обобщенного электромеханическо-

го преобразователя энергии (ОЭМПЭ). Разработанная А.В. Ивановым-Смоленским, И.П. Копыловым, Г. Кроном, Г.А. Сипайловым [29, 44, 50, 77] и другими отечественными и зарубежными [81, 82] учеными теория ОЭМПЭ которая позволяет проводить исследования динамических характеристик электрических машин при различных режимах его работы.

Система уравнений ОЭМПЭ является нелинейной даже при простых коэффициентах [30]. Такое непостоянство имеет место в ДГУ, так как параметры ВИЭ (скорость ветра и интенсивность светового излучения Солнца), которые являются входными для ДГУ, постоянно меняющиеся, недетерминированы.

Для реализации задач по преобразованию (суммированию) двух видов энергии (механической энергии и электрической энергии постоянного тока) в электрическую энергию переменного тока, разработана электрическая схема ДГУ, представленная на рис. 2.1.

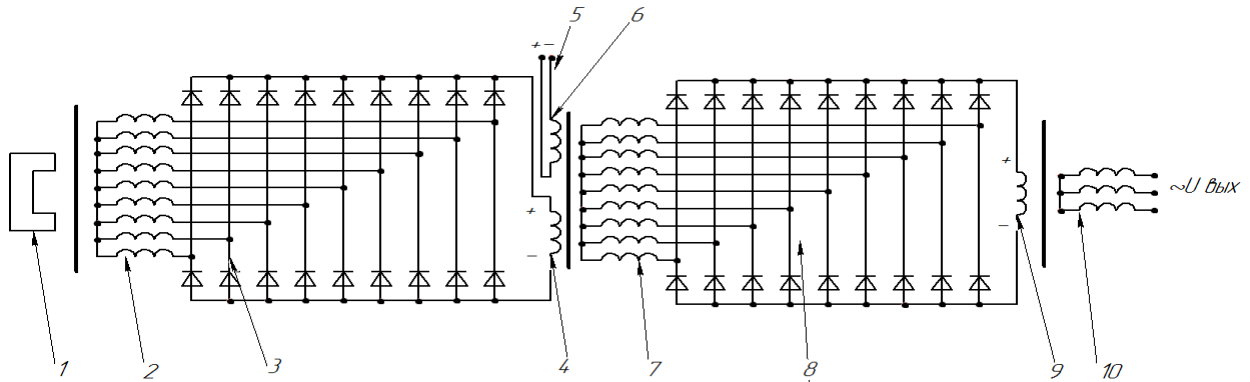


Рисунок 2.1 – Электрическая схема двухвходовой генераторной установки (без синхронизатора)

К ДГУ должны быть предъявлены следующие требования: механическая энергия вращения (полученная путем преобразования кинетической энергии ветра) должна поступать на вал установки, электрическая энергия (энергия от ФЭП, преобразующих световую энергию Солнца в электрическую энергию постоянного тока) должна поступать на одну из обмоток установки, уложенную в пазы магнитопровода, размещенного на корпусе (для обеспечения бесконтактности, т.е. отсутствия скользящих контактов, снижа-

ющих надежность) при вращении электротехнических элементов устройства установка должна быть выполнена многокаскадной, для снижения пульсаций при выпрямлении переменного тока необходимо использовать девятифазную обмотку якоря и девятифазный выпрямитель.

На рис. 2.1 приняты следующие обозначения: 1 – постоянный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя; 2 – многофазная (девятифазная) обмотка якоря подвозбудителя; 3 – первый многофазный (девятифазный) двухполупериодный выпрямитель; 4 – основная однофазная обмотка возбуждения возбудителя; 5 – контакты для подключения к внешнему ФЭП (солнечным панелям); 6 – дополнительная однофазная обмотка возбуждения возбудителя; 7 – многофазная обмотка якоря возбудителя, 8 – второй многофазный (девятифазный) двухполупериодный выпрямитель; 9 – однофазная обмотка возбуждения основного генератора, 10 – трехфазная обмотка якоря основного генератора [101]. Принцип работы ДГУ, электрическая схема которой приведена на рис. 2.1, состоит в следующем. Вращающий момент, создаваемый ветротурбиной, вызывает вращение постоянного многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя, жестко закрепленного на валу установки. При вращении постоянного многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя магнитный поток постоянного многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя взаимодействует с многофазной обмоткой 2 якоря подвозбудителя, уложенной в пазы неподвижного магнитопровода, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая выпрямляется первым многофазным двухполупериодным выпрямителем 3 и подается на основную однофазную обмотку 4 возбуждения возбудителя, уложенную в пазы неподвижного магнитопровода. При этом в основной однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя создается магнитный поток [66].

Одновременно на входные зажимы 5 дополнительной однофазной обмотки 6 возбуждения возбудителя подается напряжение постоянного тока (преобразованная в ФЭП световая энергия Солнца). Протекающий по дополнительной однофазной обмотке 6 возбуждения возбудителя, постоянный ток

создаёт магнитный поток, сонаправленный с магнитным потоком, создаваемым основной однофазной обмоткой 4 возбуждения возбuditеля.

Созданный основной 4 и дополнительной 6 однофазными обмотками возбуждения возбuditеля суммарный магнитный поток взаимодействует с многофазной обмоткой 7 якоря возбuditеля, уложенной в пазы вращающегося магнитопровода, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая выпрямляется вторым многофазным двухполупериодным выпрямителем 8 и подается на однофазную обмотку 9 возбуждения основного генератора, уложенную в пазы вращающегося магнитопровода.

Магнитный поток однофазной обмотки 9 возбуждения основного генератора взаимодействует с трехфазной обмоткой 10 якоря основного генератора, уложенной в пазы неподвижного магнитопровода, и наводит в ней трехфазную систему ЭДС, которая подается потребителям.

На рис. 2.2 представлена функциональная схема ДГУ. При составлении математической модели преобразование энергии в составляющих «В», «С», «D», «E» ДГУ объединено в единое целое с учетом потокосцеплений. Преобразование энергии в составляющей «А» ДГУ будет учтено в едином уравнении моментов математической модели. Преобразование энергии в составляющей «С» ДГУ в математической модели будет учтено в величине напряжения, подаваемого на обмотку 6. На рисунке 2.3 изображена принципиальная схема двухвходовой генераторной установки для общего представления основных составляющих ДГУ (полное описание блоков приведено в приложение Г).

Математическая модель ДГУ будет построена при следующих допущениях: каждая из частей ДГУ (подвозбудитель, возбuditель, основной генератор) геометрически симметрична, то есть обмотки расположены равномерно по зубцовой зоне магнитопровода; каждая из частей ДГУ (подвозбудитель, возбuditель, основной генератор) электрически симметрична, то есть активные сопротивления и индуктивности каждой из обмоток по осям d и q одинаковы; каждая из частей ДГУ (подвозбудитель, возбuditель, основной генератор) имеет синусные обмотки; коэффициент взаимной индуктивности

между обмотками на статоре и роторе в ДГУ для всех обмоток одинаков и равен M ; в листах стали магнитопровода ДГУ нет разъемов и стыков; при составлении математической модели ДГУ не учитывались переходные процессы при разряде-заряде аккумулятора.

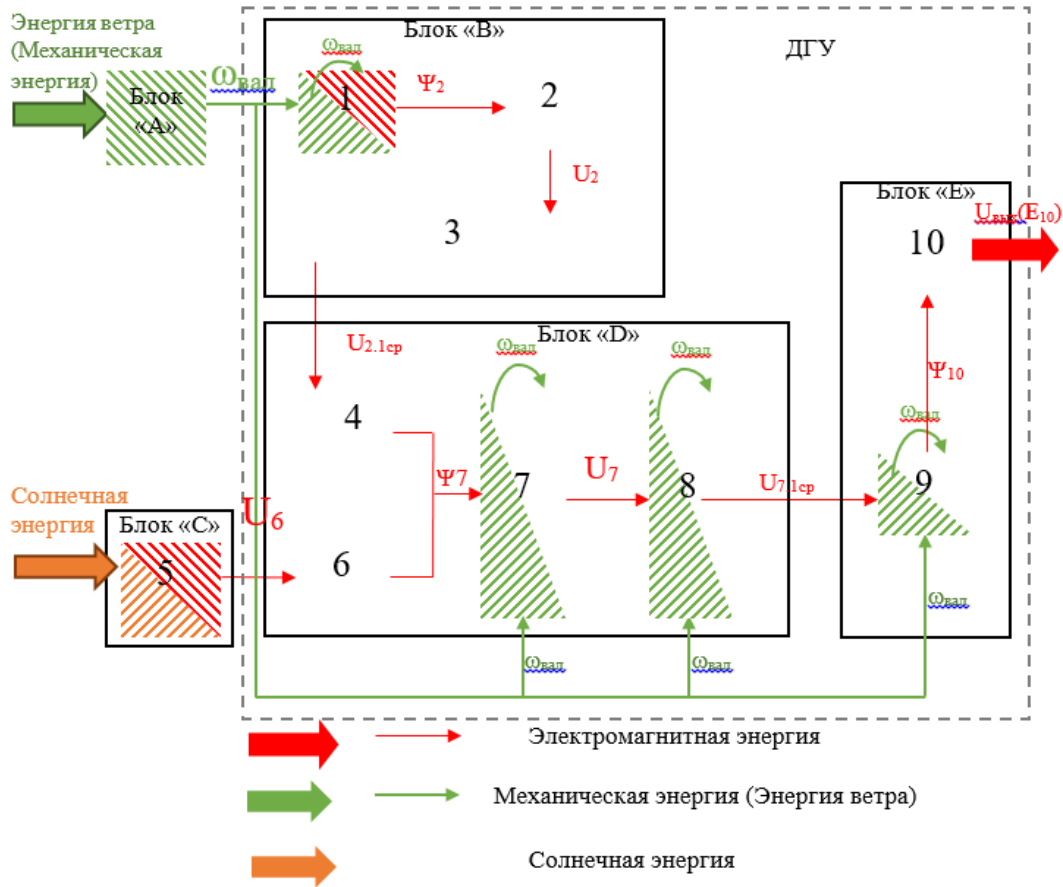


Рисунок 2.2 – Функциональная схема двухвходовой генераторной установки (без синхронизатора)

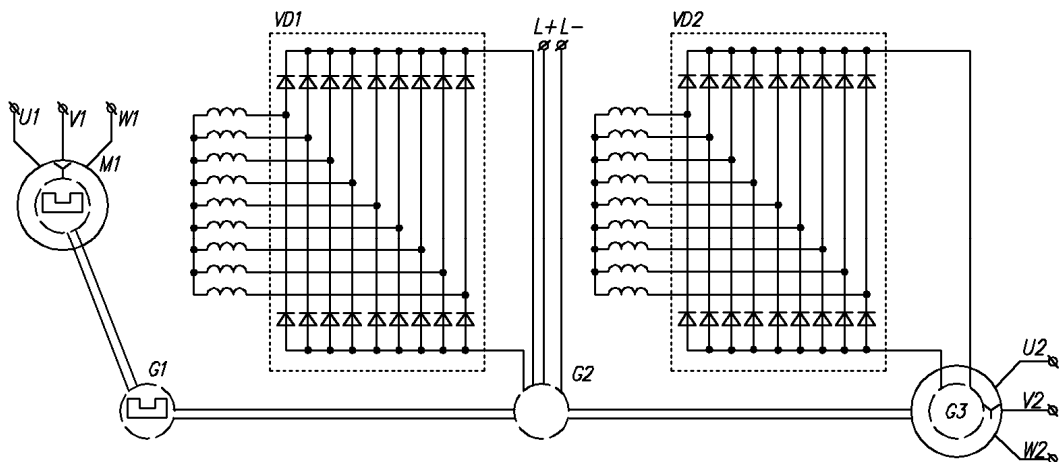


Рисунок 2.3 - Принципиальная электрическая схема двухвходовой генераторной установки

На рис. 2.4 приведена пространственная модель ДГУ по осям d, q [44]. Приняты следующие обозначения обмоток: первая индексная цифра указывает на принадлежность указанной обмотки к той или иной части ДГУ по рис. 2.1, а вторая индексная цифра указывает на проекцию параметра указанной обмотки (число витков W , напряжение U , ток i) на ось d или q (цифра 1 – ось q , цифра 2 – ось d); обмотки, подключенные к источнику постоянного тока или обмотки, по которым протекает постоянный ток, на оси q и d не проецируются или не раскладываются и расположены на одной оси, соответственно, обозначения приведены в приложении Г [17, 44].

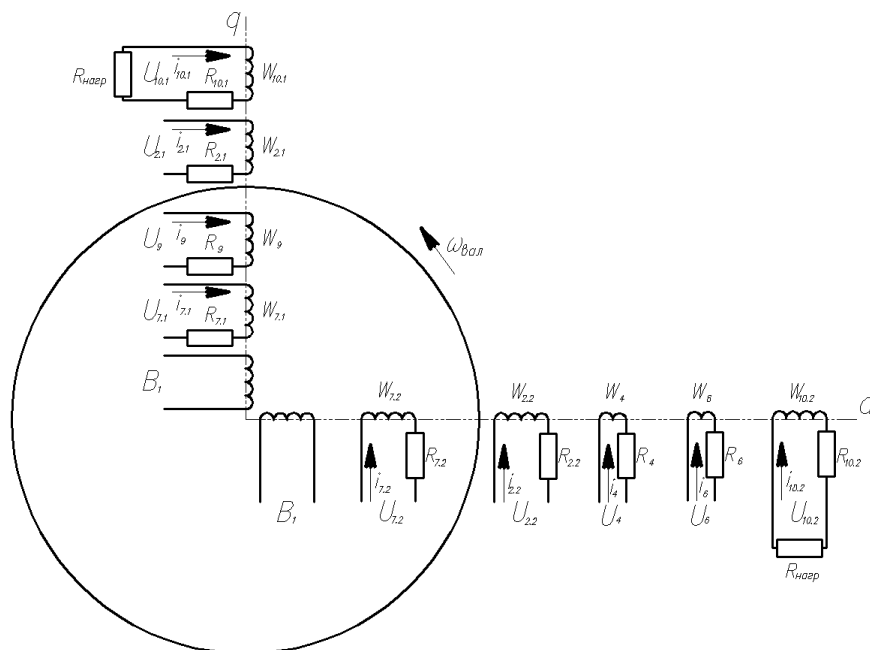


Рисунок 2.4 – Пространственная модель ДГУ по осям d, q

В связи с тем, что ДГУ является симметричной многофазной электрической машиной с синусоидальным напряжением на ее обмотках, то математическую модель ДГУ целесообразно строить как систему дифференциальных уравнений, приведя ее к двухфазной модели [33].

При составлении системы дифференциальных уравнений обмотки 2, 7, 10 ДГУ представлены уравнениями по двум осям d - q с последующим преобразованием в 9-ти фазную систему, с учетом вышеизложенной индексации.

При составлении математической модели ДГУ электромагнитное взаимодействие между различными составляющими установки (подвозбудитель,

возбудитель, основной генератор) будет описано электромагнитными уравнениями в осях q и d с учетом питания одной из обмоток (дополнительной однофазной обмотки 6 возбуждения возбудителя) напряжением, снимаемым с зажимов 5 ФЭП (преобразованная световая энергия Солнца). Изменяющиеся энергия ветра, поступающая на ДГУ, учитывалась в уравнениях движения.

Скорость ветра в функции времени $V_D(t)$ описывается линейным уравнением:

$$V_D(t) = A_0 + A_1 \cdot \sin(n_1 \cdot \omega_{вет} \cdot t) + \dots + A_n \cdot \sin(n_n \cdot \omega_{вет} \cdot t) \quad (2.1)$$

где A_0 – постоянная составляющая, не допускающая отрицательного значения функции $V_D(t)$, A_1, A_2, A_n – амплитудные значения 1-ой, 2-ой и последующих гармоник, $\omega_{вет}$ – угловая скорость ветроколеса, $n_1 \dots n_n$ – номер с 1-ой по n-ую гармонику.

ЭДС, индуцируемые в обмотке 2 постоянным многополюсным магнитом 1 зависят согласно закону электромагнитной индукции от магнитной индукции B_1 , длины проводника обмотки 2 якоря подвозбудителя $l_{кат2}$ и скорость ветра. ЭДС и напряжения на выводах многофазной обмотки якоря подвозбудителя и средневывпрямленное значение напряжения на однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя определяются из следующей системы уравнения

$$\begin{cases} e_{2.1}(t) = B_1 \cdot l_{кат2} \cdot V_D(t) \cdot \sin(\omega_{вал}(t) \cdot t); \\ e_{2.2}(t) = B_1 \cdot l_{кат2} \cdot V_D(t) \cdot \sin(\omega_{вал}(t) \cdot t + 90^\circ); \\ e_{2.1}(t) = (R_{2.1} + R_{3.1}) \cdot i_{2.1}(t) + \frac{d\Psi_{2.1}(t)}{dt}; \\ e_{2.2}(t) = (R_{2.2} + R_{3.2}) \cdot i_{2.2}(t) + \frac{d\Psi_{2.2}(t)}{dt}; \\ U_{2.1}(t) = R_{2.1} \cdot i_{2.1}(t) + \frac{d\Psi_{2.1}(t)}{dt}; \\ U_{2.1cp}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T |U_{2.1}(t)| dt. \end{cases} \quad (2.2)$$

где $e_{2.1}(t), e_{2.2}(t)$ – ЭДС, индуцируемые в обмотке 2 постоянным многополюсным магнитом 1 (рис. 2.4), по осям d и q; $l_{кат2}$ – длина проводника обмотки 2 якоря подвозбудителя (рис. 2.4); $\omega_{вет}(t) = V_{вет}(t)/r_{ветр.кол}$ – угловая скорость вет-

роколеса; $r_{\text{ветр.кол}}$ – радиус ветроколеса; $V_{\text{вет}}(t) = \omega_{\text{вал}}(t) \cdot r_{\text{д}}$ – линейная скорость крайней наружной точки ветроколеса; $r_{\text{д}}$ – радиус ветроколеса; $\omega_{\text{вал}}$ – угловая скорость вала ДГУ; $R_{3.1}, R_{3.2}$ – сопротивление первого многофазного выпрямителя 3 (рис. 2.4) по осям d и q; $\psi_{2.1}(t), \psi_{2.2}(t)$ – потокосцепление многофазной обмотки 2 якоря подвозбудителя (рис. 2.4) по осям d и q; $U_{2.1cp}(t)$ – средневывпрямленное значение напряжения на однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя (рис. 2.4); M – коэффициент взаимной индуктивности; $T = 2\pi/\omega_{\text{вет}}$ – период функции $v_{\text{вет}}(t)$.

Напряжение на основной однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя $U_4(t)$ определяется величиной выпрямленного напряжения на обмотке якоря подвозбудителя. Токи, протекающие в по основной обмотке 4 и дополнительной однофазной обмотке 6 возбуждения возбудителя согласно закону Ома. Напряжения и токи можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} U_4(t) = \frac{K_B \cdot U_{2.1cp}(t)}{1 + K_{II}}; \\ i_4(t) = \frac{U_4(t)}{R_4}; \\ U_6(t) = C_0 + C_1 \cdot \sin(n_1 \cdot \omega_c \cdot t) + \dots + C_7 \cdot \sin(n_7 \cdot \omega_c \cdot t); \\ i_6(t) = \frac{U_6(t)}{R_6}. \end{cases} \quad (2.3)$$

где K_B, K_{II} – коэффициенты выпрямления и пульсации, соответственно [9]; C_0 – постоянная составляющая, не допускающая отрицательного значения функции $U_6(t)$; C_1, C_2, C_n – амплитудные значение 1-й, 2-й и последующих гармоник; ω_c – угловая частота изменения напряжения, поступающего от ФЭП.

ЭДС многофазной обмотки 7 якоря возбудителя определяется суммарным магнитным потоком, который наводится токами основной 4 и дополнительной 6 однофазной обмотками возбуждения возбудителя. Также ЭДС многофазной обмотки 7 якоря возбудителя можно определить через токи, протекающие по многофазной обмотке 7 якоря возбудителя. Таким образом

получаем систему уравнений для определения наводимых ЭДС и напряжений на выводах многофазной обмотки 7 якоря возбuditеля:

$$\left\{ \begin{array}{l} e_{7.1}(t) = k_{\mu} \cdot \frac{W_7}{l_{\text{серд}7}} \cdot l_{\text{кам}7} \cdot (i_4(t) + i_6(t)) \cdot V_D(t) \cdot \sin(\omega_{\text{вал}}(t) \cdot t); \\ e_{7.2}(t) = k_{\mu} \cdot \frac{W_7}{l_{\text{серд}7}} \cdot l_{\text{кам}7} \cdot (i_4(t) + i_6(t)) \cdot V_D(t) \cdot \sin(\omega_{\text{вал}}(t) \cdot t + 90^{\circ}); \\ e_{7.1}(t) = (R_{7.1} + R_{8.1}) \cdot i_{7.1}(t) + \frac{d\Psi_{7.1}(t)}{dt}; \\ e_{7.2}(t) = (R_{7.2} + R_{8.2}) \cdot i_{7.2}(t) + \frac{d\Psi_{7.2}(t)}{dt}; \\ U_{7.1}(t) = R_{7.1} \cdot i_{7.1}(t) + \frac{d\Psi_{7.1}(t)}{dt}; \\ U_{7.1\text{cp}}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T |U_{7.1}(t)| dt. \end{array} \right. \quad (2.4)$$

где – $e_{7.1}(t)$, $e_{7.2}(t)$ – ЭДС, индуцируемые суммарным магнитным потоком основной 4 и дополнительной 6 однофазной обмотками возбуждения возбuditеля (рис.2.4) по осям d и q; K_{μ} – коэффициент магнитной проницаемости; $l_{\text{кам}7}$ – длина проводника многофазной обмотки 7 якоря возбuditеля (рис. 2.4); $l_{\text{серд}7}$ – длина средней линии сердечника якоря возбuditеля; $R_{8.1}$, $R_{8.2}$ – сопротивление второго многофазного двухполупериодного выпрямителя (рис. 2.4) по осям d и q; $\Psi_{7.1}(t)$, $\Psi_{7.2}(t)$ – потокосцепление, создаваемое обмотками 7 по осям d и q; $U_{7.1\text{cp}}(t)$ – средневывпрямленное значение напряжения на однофазной обмотке 9 возбуждения основного генератора (рис. 2.4).

Напряжение и ток однофазной обмотки 9 возбуждения основного генератора определяется аналогично системе уравнений 2.3

$$\left\{ \begin{array}{l} U_9(t) = \frac{K_B \cdot U_{7.1\text{cp}}(t)}{1 + K_H}; \\ i_9(t) = \frac{U_9(t)}{R_9}. \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Система уравнений для расчета ЭДС, индуцируемое магнитным потоком, создаваемым обмоткой 9 возбуждения основного генератора в трехфазной обмотке 10 якоря основного генератора составлена аналогично системе уравнений 2.4

$$\left\{ \begin{array}{l} e_{10.1}(t) = k_{\mu} \cdot \frac{W_{10}}{l_{\text{серд}10}} \cdot l_{\text{кам}10} \cdot i_9(t) \cdot V_{\text{д}}(t) \cdot \sin(\omega_{\text{вал}}(t) \cdot t); \\ e_{10.2}(t) = k_{\mu} \cdot \frac{W_{10}}{l_{\text{серд}10}} \cdot l_{\text{кам}10} \cdot i_9(t) \cdot V_{\text{д}}(t) \cdot \sin(\omega_{\text{вал}}(t) \cdot t + 90^{\circ}); \\ e_{10.1}(t) = (R_{10.1} + R_{\text{нагр}}) \cdot i_{10.1}(t) + \frac{d\Psi_{10.1}(t)}{dt}; \\ e_{10.2}(t) = (R_{10.2} + R_{\text{нагр}}) \cdot i_{10.2}(t) + \frac{d\Psi_{10.2}(t)}{dt}. \end{array} \right. \quad (2.6)$$

где – $e_{10.1}(t)$, $e_{10.2}(t)$ – ЭДС, индуцируемое магнитным потоком, создаваемым обмоткой 9 возбуждения основного генератора в трехфазной обмотке 10 якоря основного генератора (рис. 2.4) по осям d и q; E_{10} – действующее значение напряжения на выходе ДГУ; $l_{\text{серд}10}$ – длина средней линии сердечника катушки якоря основного генератора; $\Psi_{10.1}(t)$, $\Psi_{10.2}(t)$ – потокосцепления, создаваемые обмотками 9 и 10 по осям d и q.

Потокосцепления, описанные в системах уравнений 2.1-2.7 формируются токами обмотки якоря подвозбудителя, обмоток якоря возбуждителя и обмоток якоря основного генератора определяются с помощью системы уравнений потокосцеплений

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_{2.1} = L_2 \cdot i_{2.1} + M \cdot i_{7.1} + M \cdot i_9 + M \cdot i_{10.1} + B_1 \cdot S_1; \\ \Psi_{2.2} = L_2 \cdot i_{2.2} + M \cdot i_4 + M \cdot i_6 + M \cdot i_{7.2} + M \cdot i_{10.2} + B_1 \cdot S_1; \\ \Psi_{7.1} = L_7 \cdot i_{7.1} + M \cdot i_{2.1} + M \cdot i_9 + M \cdot i_{10.1} + B_1 \cdot S_1; \\ \Psi_{7.2} = L_7 \cdot i_{7.2} + M \cdot i_{2.2} + M \cdot i_4 + M \cdot i_6 + M \cdot i_{10.2} + B_1 \cdot S_1; \\ \Psi_{10.1} = L_{10} \cdot i_{10.1} + M \cdot i_{10.1} + M \cdot i_{7.1} + M \cdot i_9 + B_1 \cdot S_1; \\ \Psi_{10.2} = L_{10} \cdot i_{10.2} + M \cdot i_{2.2} + M \cdot i_4 + M \cdot i_6 + M \cdot i_{2.2} + B_1 \cdot S_1. \end{array} \right. \quad (2.7)$$

где L_2 , L_7 , L_{10} – индуктивности обмотки якоря подвозбудителя, обмоток якоря возбуждителя и обмоток якоря основного генератора; S_1 – площадь сечения постоянного многополюсного магнита индуктора подвозбудителя 1.

Определяющие моменты элементов СДГУ сведены в систему уравнения, где крутящий момент СДГУ формирует ветер описываемый функцией $M_{\text{вет}}$ во времени, разница между мгновенным значением крутящего момента от ветра и его номинальным значением является момент синхронизирующий, который необходимо «подавить» или добавить с помощью синхронизатора

$$\left\{ \begin{array}{l}
M_{вет}(t) = \frac{\xi \cdot d_{вк}^3}{4,16} \cdot V_{вет}^2(t); \\
M_{вет.ном}(t) = \frac{\xi \cdot d_{вк}^3}{4,16} \cdot V_{вет.ном}^2; \\
M_{син}(t) = M_{возм}(t) = M_{вет}(t) - M_{вет.ном}; \\
M_{син.мах}(t); t \in (0; 5T); \\
M_{син.1}(t) = \frac{3 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{E_{ЭТК} \cdot U_c}{X_{ЭТК}} \cdot \cos(\theta(t)); \\
M_{син.1расч}(t) = \frac{3 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{E_{ЭТК} \cdot U_c}{X_{ЭТК}} \cdot \cos(60^\circ); \\
M_{син.М2расч} \geq M_{син.мах}(t) - M_{син.1расч}(t); \\
M_{ЭМ}(t) = \frac{m}{3} \cdot \left[M_2 \cdot i_{2,2}(t) \cdot B_1 \cdot \sin(\omega_{вал}(t) \cdot t) + M_7 \cdot (i_4(t) + \right. \\
\left. + i_6(t)) \cdot i_{7,2}(t) + M_{10} \cdot i_9 \cdot i_{10,2}(t) \right]; \\
M_{сопр}(t) = M_{сопр.Σ}(t); \\
M_{д}(t) = \frac{1}{p} \cdot j_{сист} \cdot \frac{d\omega_{вал}(t)}{dt}.
\end{array} \right. \quad (2.8)$$

где $M_{вет}(t)$ – крутящий момент ветра в функции времени; ξ – коэффициент использования энергии ветра; $d_{вк}$ – диаметр ветроколеса; $M_{вет.ном}$ – номинальный крутящий момента ветра (принятый при данных типоразмерах машины и $V_{вет.ном}=5,23$ м/с) [22, 95, 100]; $M_{сопрот}(t) = M_{сопротΣ}(t) - M_{сопр}(t)$ – момент сопротивления ДГУ, равный $M_{сопротΣ}(t)$, где $M_{сопротΣ}(t)$ – суммарный момент сопротивления, учитывающему момент сопротивления ДГУ, момент сопротивления синхронизатора и сил трения в движущих частях установки; $M_{син}(t)=M_{возм}(t)$ – момент «возмущения» от ветра (в функции времени) – разница между мгновенным значения крутящего момента от ветра и его номинальным значением, который необходимо «подавить» – синхронизировать; $\Theta(t)$ – угол нагрузки (при расчете принят равным 60°); U_c – напряжение внешней сети; $X_{ЭТК}$ – индуктивное сопротивление ДГУ; $M_{ЭМ}(t)$ – электромагнитный момент, учитывающий процессы электромагнитного взаимодействия, протекающие в подвозбудителе, возбудителе и основном генераторе; $M_{сопр}(t)$ – момент сопротивления установки, учитывающий момент сопротивления ДГУ, момент сопротивления M_2 (синхронизатора) и сил трения в дви-

жущих частях установки; $M_d(t)$ – динамический момент ДГУ; $J_{\text{сист.}}$ – момент инерции ДГУ.

Для получения в дальнейшем динамических характеристик ДГУ при составлении математической модели необходимо предусмотреть уравнение, позволяющее определить величину момента, который необходим СЭС для синхронизации ее с внешней сетью. Для формирования этого момента может быть необходимо дополнительное устройство (назовем его синхронизатор) [97, 101].

В свою очередь $M_{\text{син}}(t) = M_{\text{син.1}}(t) + M_{\text{син.2}}(t)$. Таким образом, $M_{\text{син.2}}$ – синхронизирующий момент, который «дополняет» синхронизирующий момент $M_{\text{син.1}}$. Как видно из (2.7) в уравнении моментов учтены $M_{\text{син.1}}$ и $M_{\text{син.2}}$, которые, соответственно, характеризуют синхронизирующие моменты собственно ДГУ и синхронизатора. Синхронизатор целесообразно ввести в ДГУ и назвать установку, включающую в себя ДГУ и синхронизатор, синхронизированной ДГУ (СДГУ).

Уравнения 2.1–2.8 в совокупности представляют собой математическое описание физических процессов синхронизированной двухвходовой генераторной установки.

Уравнение 2.1 описывает изменение линейной скорости ветра в функции времени.

Уравнения 2.2 описывают изменение индуцируемой ЭДС e_2 в обмотке 2 якоря подвозбудителя блока «В» (рис. 2.2), разложенную по осям d ($e_{2.1}(t)$) и q ($e_{2.2}(t)$), которая зависит от параметров обмотки (активного сопротивления R_2 и индуктивности L_2), скорости ветра V_d и величины магнитной индукции (B_1), создаваемой постоянным многополюсным магнитом индуктора подвозбудителя 1, и изменения средневыхрямленного значения напряжения на однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя ($U_{2.1cp}(t)$), зависящего от тока i_2 ($i_{2.1}(t)$, $i_{2.2}(t)$), протекающего по обмотке 2 и вызванного ЭДС e_2 , и потокосцепления ψ_2 ($\psi_{2.1}(t)$, $\psi_{2.2}(t)$) многофазной обмотки 2 якоря подвозбудителя, которые определяются индуктивностью L_2 обмотки, взаимной индук-

тивностью M , токами, протекающими по обмоткам, расположенных на соответствующих осях по рис. 2.4 (оси d и q). Формулы для определения потокосцеплений приведены в 2.7.

Уравнения 2.3 описывают изменения напряжения U_4 на основной однофазной обмотке 4 возбуждения возбудителя блока «D» (рис. 2.2), зависящего от $U_{2.1cp}$ и вызывающего ток i_4 в обмотке, и напряжения U_6 на дополнительной однофазной обмотке 6 возбуждения возбудителя в функции времени, зависящее от освещенности ФЭП и вызывающего ток i_6 в обмотке.

Уравнения 2.4 описывают изменение индуцируемой ЭДС e_7 в обмотке 7 многофазной обмотки якоря возбудителя блока «D» (рис. 2.2), разложенную по осям d ($e_{7.1}(t)$) и q ($e_{7.2}(t)$), которая зависит от параметров обмотки (активного сопротивления R_7 и индуктивности L_7), скорости ветра V_d и потокосцепления ψ_7 ($\psi_{7.1}(t)$, $\psi_{7.2}(t)$) многофазной обмотки якоря возбудителя, и средневывпрямленного значение напряжения на однофазной обмотке 9 возбуждения основного генератора ($U_{7.1cp}(t)$), зависящего от тока i_7 ($i_{7.1}(t)$, $i_{7.2}(t)$), протекающего по обмотке 7 и вызванного ЭДС e_7 .

Уравнения 2.5 описывают изменения напряжения U_9 на однофазной обмотке 9 возбуждения основного генератора блока «E» (рис. 2.2), зависящего от $U_{7.1cp}$ и вызывающего ток i_9 в обмотке.

Уравнения 2.6 описывают изменение индуцируемой ЭДС e_{10} в обмотке 10 якоря основного генератора блока «E» (рис. 2.2), разложенную по осям d ($e_{10.1}(t)$) и q ($e_{10.2}(t)$), которая зависит от параметров обмотки (активного сопротивления R_{10} и индуктивности L_{10}), скорости ветра V_d и потокосцепления ψ_{10} ($\psi_{10.1}(t)$, $\psi_{10.2}(t)$) обмотки якоря основного генератора.

Уравнения 2.7 описывают изменения моментов (электромагнитного, сопротивления, синхронизирующих), зависящих от размеров механической части СДГУ, параметров сети, токов, протекающих по обмоткам СДГУ.

Уравнения 2.8 описывают изменения потокосцеплений обмоток 2, 7, 10.

2.2 Реализация математической модели ДГУ в среде MathCAD и обоснование параметров и режимов работы

Система уравнений 2.1-2.8 является полным математическим описанием физических процессов СДГУ. Для получения математической модели необходимо учесть особенности конструкции СДГУ и определить необходимые допущения. Решение системы уравнений должно описывать электромагнитные и электромеханические переходные процессы в ДГУ с учетом изменения формы задающего вращательного движения и величины напряжения, поступающего от ФЭП, особенностей многократного преобразования энергии.

Целью вычислительного эксперимента является:

- получение картины электромагнитных и электромеханических переходных процессов в ДГУ с учетом изменяющейся формы зависимости скорости вращения вала установки от времени и величины напряжения, поступающего от ФЭП;
- оценка формы кривой выходного напряжения ДГУ в функции параметров обмоток ДГУ, скорости ветра в функции времени и величины напряжения, поступающего от ФЭП;
- нахождения функциональных зависимостей между выходными параметрами ДГУ и его параметрами.

Численное решение данной задачи представляет значительные вычислительные сложности. Задача состоит из плохо стыкуемых подзадач:

- токи в проводниках описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений во времени, когда в некоторых уравнениях имеют место нелинейные коэффициенты. Уравнения не могут быть разрешены относительно неизвестных токов и даны в неявном виде;
- уравнения движения связаны с электромагнитными уравнениями через неявно выраженные токи, и постоянная времени электромеханических

величин отличается на несколько порядков от постоянной времени электромагнитных величин.

Общей сложностью, независимо от метода, является неявный вид обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) относительно i_k/dt (где i_k – токи, протекающие по обмоткам ДГУ, $k=1, \dots, n$ – номер обмотки по рис. 2.1, а также то обстоятельство, что на каждом шаге интегрирования необходимо решать линейную систему уравнений относительно искомых токов:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{di_1}{dt} \\ \dots \\ \frac{di_n}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_n \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

где матрица $|a_{ij}|$ находится на каждом шаге интегрирования с учетом значений матрицы $|f_i|$ правых частей.

Известны следующие методы решения ОДУ:

- методы интегрирования ОДУ (явная схема);
- конечно-разностные методы решения (неявная схема).

Метод интегрирования ОДУ наиболее экономичен во времени и легко программируется для постоянного шага по времени. Шаг во времени, как показывают предварительные грубые прикидки, может меняться до 100 раз. Возникают сложности программирования переменного шага [31];

Конечно-разностные методы решения:

- методы типа Адамса (многоточечные методы). Возможен автоматический выбор шага, однако метод может дать плохие результаты при очень сильном дроблении шага. При изменении шага «начальные значения» приходится считать по совершенно другому алгоритму. Это является следствием того, что метод многоточечный [81, 82];

- явные методы типа Рунге-Кутта с автоматическим выбором шага. Метод является одноточечным и дробление шага не отражается «болезненно» на всем алгоритме. Более того, существуют разновидности метода, поз-

воляющие увеличивать шаг, если это не отражается на заданной точности. Существуют явные методы Рунге-Кутты, позволяющие интегрировать слабо-жесткие системы [81]. Метод требует большего машинного времени, чем первые два. Метод условно устойчив;

- неявные методы Рунге-Кутты или методы Гирре [78, 81, 82]; методы имеют преимущество перед методом Рунге-Кутты и являются, безусловно, устойчивыми, что позволяет, в частности, производить существенное увеличение шага интегрирования по сравнению с явным методом Рунге-Кутты. Метод обычно применяется для решения сильно жестких систем ОДУ, применение к нежесткой или слабо жесткой системе может привести к существенной потере точности;

- методы математического моделирования, разработанные в системах компьютерной математики (Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, VisSim...).

С учетом критериев и анализа методов по [78, 81, 82] алгоритм реализован с использованием среды «Mathcad». Программа расчета, разработанная в среде «Mathcad, позволяет рассчитать переходные процессы в ДГУ с получением картины этих процессов, определить функциональные зависимости между выходными параметрами ДГУ и внешними факторами, а также функциональные зависимости между выходными параметрами ДГУ и параметрами ДГУ [19]. Причем, при исследовании рассмотрены режимы работы установки без синхронизатора и с синхронизатором.

На рис. 2.5 представлена электрическая схема синхронизированной ДГУ (ДГУ с синхронизатором напряжения, выполненного в виде дополнительной обмотки 12 и постоянного магнита 11). Цифровые обозначения элементов электрической схемы (1-10), приведенные на рис. 2.5, соответствуют цифровым обозначениям элементов электрической схемы, изображенной на рис. 2.1. На рис 2.5 введены дополнительные цифровые обозначения: 11 – постоянный многополюсный магнит синхронизатора, 12 – трехфазная обмотка синхронизатора [65].

Необходимая мощность синхронизатора напряжения может быть определена по результатам численного эксперимента, как

$$P_c = M_n \omega_n, \quad (2.10)$$

где M_n – вращающий номинальный момент СДГУ; ω_n – номинальная угловая скорость вала СДГУ, соответствующая скорости ветра $V_{в.ном} = 5,23$ м/с.

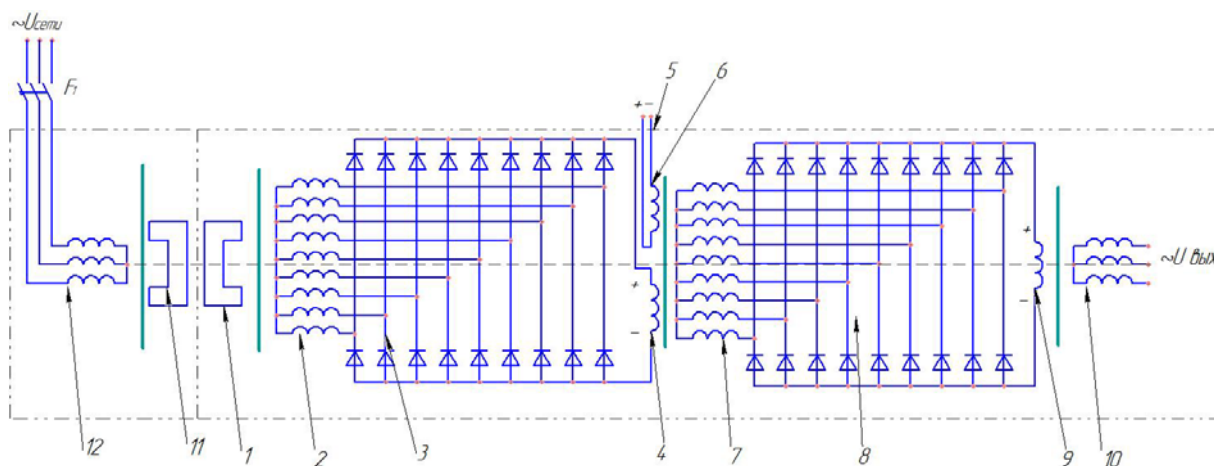


Рисунок 2.5 – Электрическая схема синхронизированной двухвходовой генераторной установки

Скриншоты программы расчета математической модели СДГУ приведены в приложение В. Исследование характеристик СДГУ было разбито на два этапа: исследование ДГУ (без учета синхронизатора напряжения) и исследование СДГУ (с учетом синхронизатора напряжения).

Для оценки влияния изменения электромагнитных параметров ДГУ (без учета синхронизатора напряжения) на показатели, которые характеризуют электромагнитный и электромеханический процессы в СДГУ (I_i , f) и отыскания функциональных зависимостей между ними в диапазоне изменения параметров был применен метод планирования эксперимента [45, 67]. Расчет и построение функциональных зависимостей с применением метода планирования эксперимента рассмотрен в главе 3.

На рис. 2.6– 2.9 приведены кривые, характеризующие переходный процесс и функциональную связь между различными факторами, определяющие этот процесс в СДГУ без учета и с учетом синхронизатора напряжения.

Анализ кривых, приведенных на рис. 2.6, показывает, что при постоянной скорости ветра (5,23 м/с) и постоянном напряжении на зажимах ФЭП (24 В) характеристики $M_{\text{сопр}}(t)=\varphi(t)$, $M_{\text{эм}}(t)=\varphi(t)$ изменяется по несинусоидальному закону с содержанием экспоненциальной составляющей, что объясняется протекающими переходными процессами, связанными с колебаниями токов в обмотках СДГУ. Диапазон изменения $M_{\text{эм}}$ составляет от 1,3 Нм до 15,2 Нм.

ЭДС на выходе СДГУ e_{10} (после «выхода» на установившийся режим) изменяется по синусоидальному закону. Анализ кривых, приведенных на рис 2.7, показывает, что при переменном напряжении на зажимах ФЭП и постоянной скорости ветра (без синхронизатора) кривая выходной ЭДС e_{10} изменяется по несинусоидальному закону, что объясняется влиянием напряжения на зажимах ФЭП на ток, протекающий по дополнительной однофазной обмотке 6 возбуждения возбудителя (рис. 2.1, 2.5), что, в свою очередь, влияет на магнитный поток, индуцирующий ЭДС e_7 , и, как следствие, на ЭДС e_{10} . То есть, изменение напряжения на зажимах ФЭП, как функции освещенности, оказывает влияние только на величину выходной ЭДС (выходного напряжения). Диапазон изменения максимального значения e_{10} составляет от 20 В до 370 В.

Анализ кривых, приведенных на рис 2.8, показывает, что при переменной скорости ветра и постоянном напряжении на зажимах ФЭП (без синхронизатора) кривая выходной ЭДС e_{10} изменяется по несинусоидальному закону. Диапазон изменения максимального значения e_{10} составляет от 20 В до 370 В. Зависимость $M_{\text{син}} = \varphi(t)$ дает представление о том, какой момент нужно «досинхронизировать», чтобы ЭДС на выходе СДГУ e_{10} изменялась по синусоидальному закону. Зависимость $M_{\text{син1.расч}} = \varphi(t)$ – это момент, который ДГУ «сама может досинхронизировать». Таким образом, разница между $M_{\text{син}}$ и $M_{\text{син1.расч}}$ – момент (обозначим его как $M_{\text{син.2расч}}$), который должен «досинхронизировать» синхронизатор. Диапазон изменения момента, который нужно досинхронизировать, составляет от 5 Нм до 12 Нм.

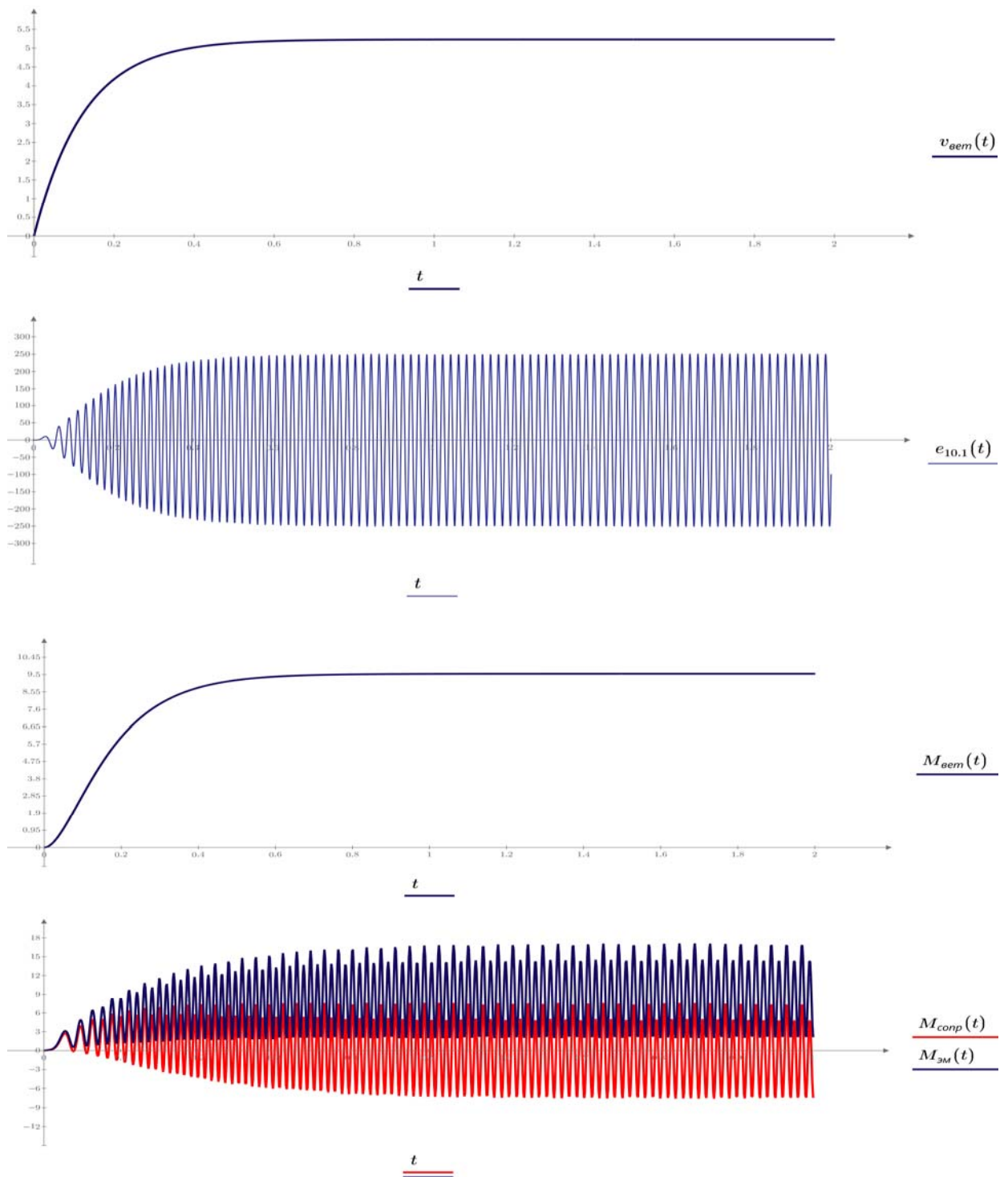


Рисунок 2.6 – Скриншот зависимостей $v_{вет}(t)=\varphi(t)$; $e_{10.1}(t)=\varphi(t)$; $M_{вет}=\varphi(t)$; $M_{эм}=\varphi(t)$; $M_{сопр}=\varphi(t)$ при неизменных скорости ветра и напряжении на выходе ФЭП (на рис. по осям абсцисс указано время (t) в сек., по осям ординат указаны скорость ветра ($v_{вет}$) - в м/с, ЭДС ($e_{10.1}$) - в В, моменты $M_{вет}$, $M_{эм}$, $M_{сопр}$ - в Нм)

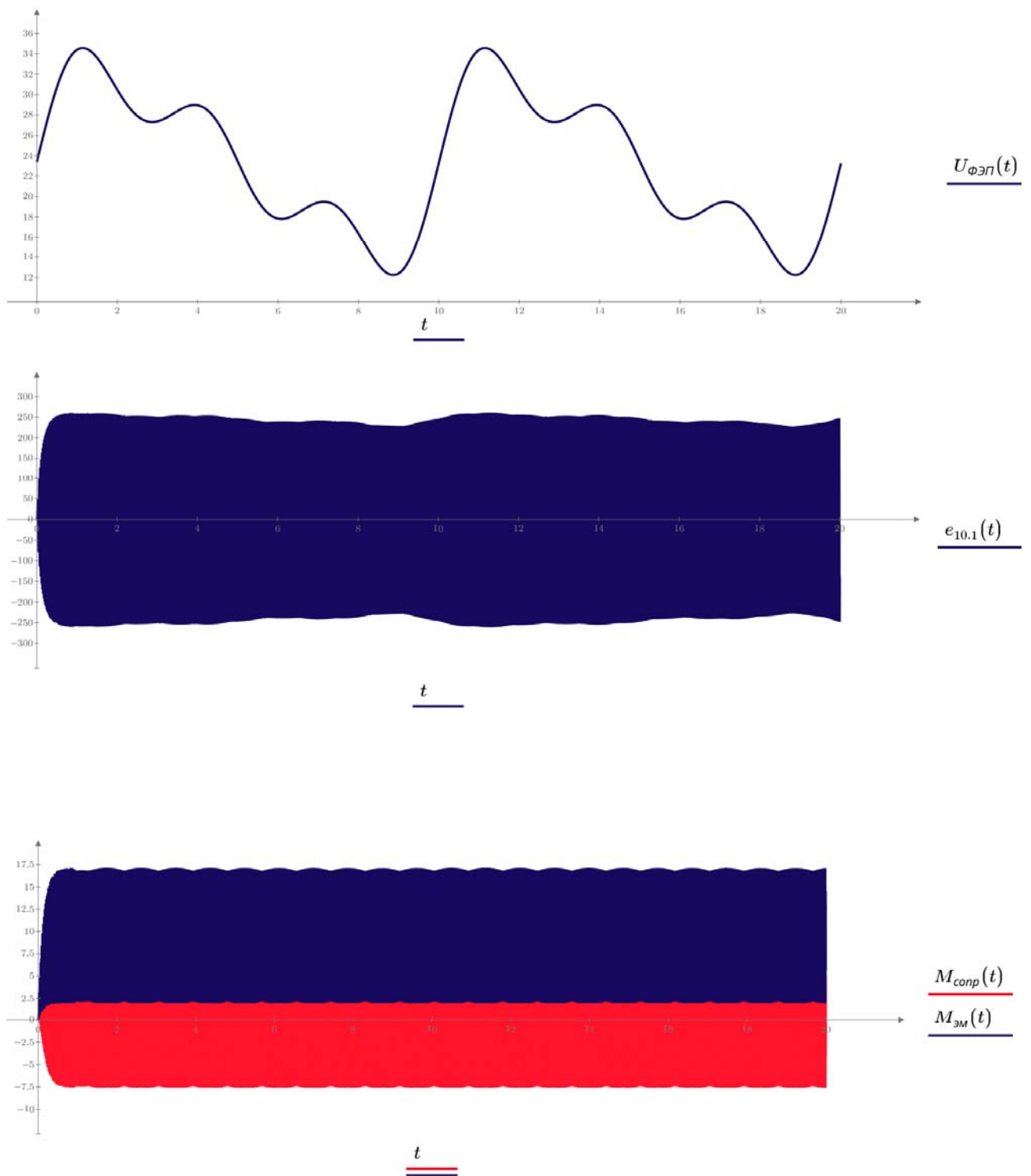


Рисунок 2.7 – Скриншот зависимостей $U_{\text{ФЭП}}(t) = \varphi(t)$; $e_{10.1} = \varphi(t)$; $M_{\text{сопр}}(t) = \varphi(t)$; $M_{\text{эм}}(t) = \varphi(t)$ при неизменной скорости ветра и переменном напряжении на выходе ФЭП без синхронизатора (на рис. по осям абсцисс указано время (t) в сек., по осям ординат указаны скорость напряжение (U) – в В, ЭДС ($e_{10.1}$) – в В, моменты $M_{\text{сопр}}$, $M_{\text{эм}}$ – в Нм)

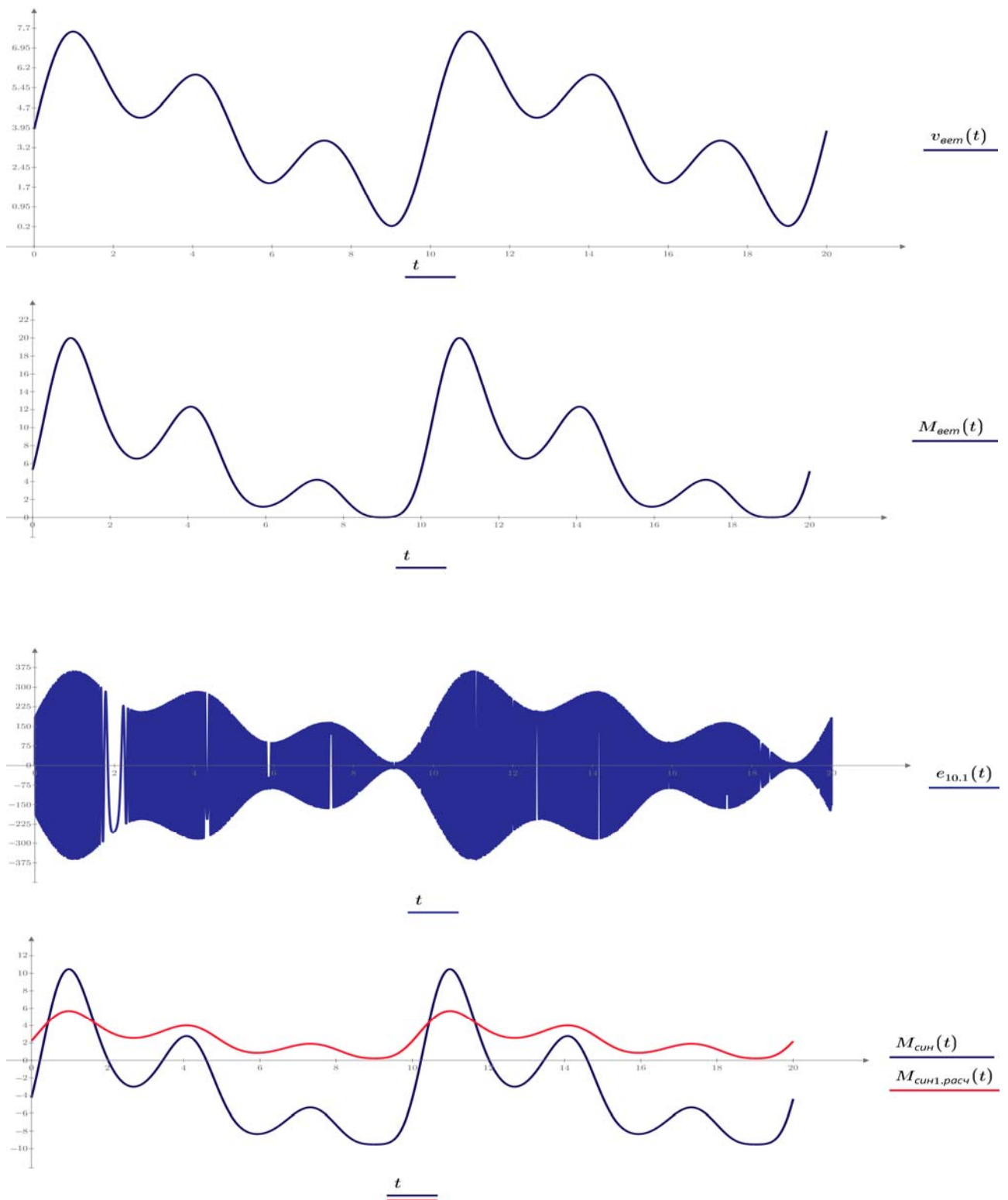


Рисунок 2.8 – Скриншот зависимостей $v_{вет}(t) = \varphi(t)$; $M_{вет} = \varphi(t)$; $e_{10.1} = \varphi(t)$; $M_{син} = \varphi(t)$; $M_{син1.расч} = \varphi(t)$ при переменной скорости ветра и неизменном напряжении на выходе ФЭП без синхронизатора (на рис. по осям абсцисс указано время t в сек., по осям ординат указаны скорость ветра ($v_{вет}$) – в м/с, ЭДС ($e_{10.1}$) – в В, моменты $M_{син}$, $M_{син1.расч}$. – в Нм)

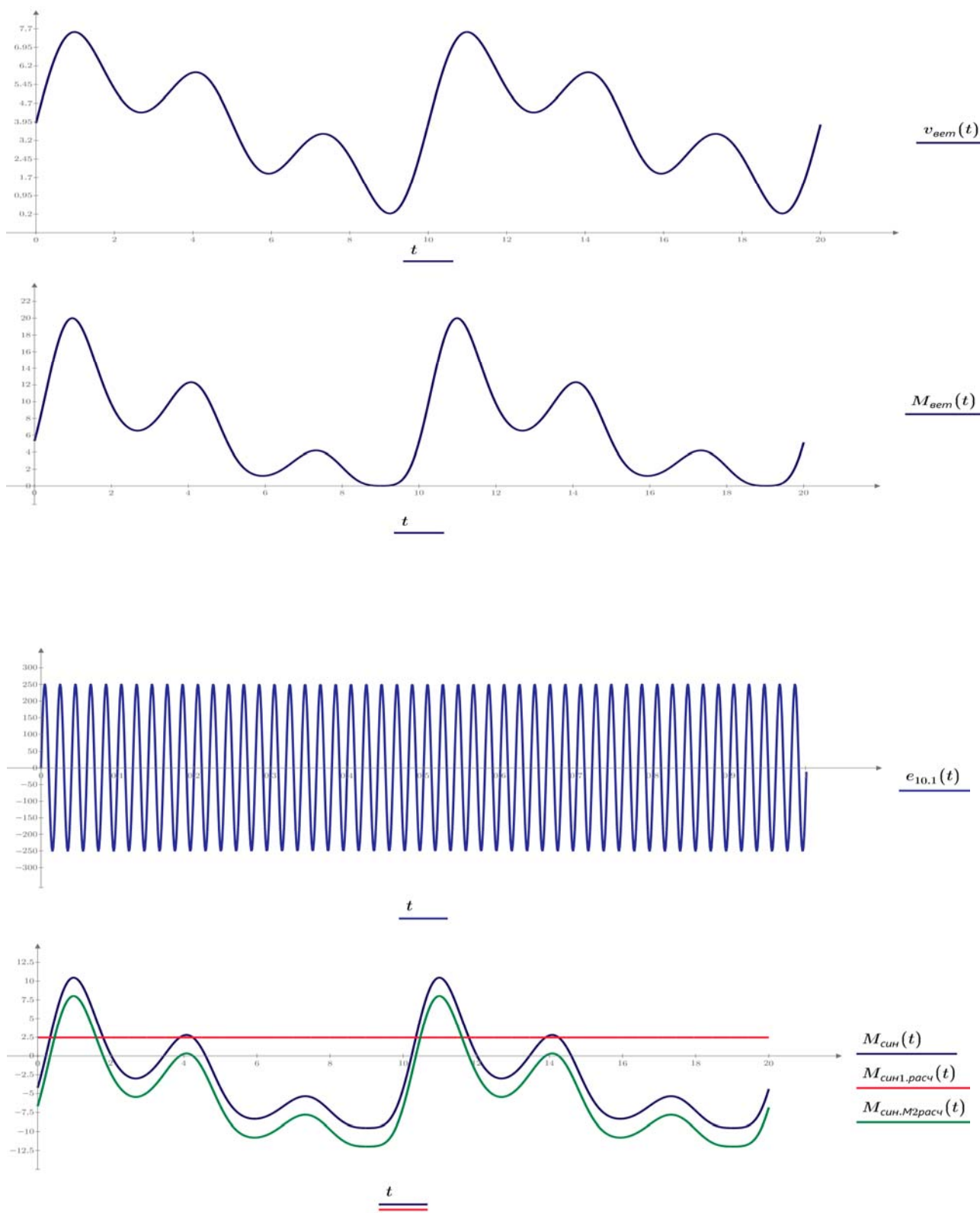


Рисунок 2.9 – Скриншот зависимостей $v_{вет}(t) = \varphi(t)$; $M_{вет} = \varphi(t)$; $e_{10.1} = \varphi(t)$; $M_{син} = \varphi(t)$; $M_{син1.расч} = \varphi(t)$; $M_{син.2расч} = \varphi(t)$ при переменном ветре с синхронизатором (на рис. по осям абсцисс указано время t) в сек., по осям ординат указаны скорость ветра ($v_{вет}$) - в м/с, ЭДС ($e_{10.1}$) - в В, моменты $M_{вет}$, $M_{син}$, $M_{син1.расч}$, $M_{син2.расч}$. – в Нм)

Анализ кривых, приведенных на рис 2.9, показывает, что при переменной скорости ветра и постоянном напряжении на зажимах ФЭП кривая выходной ЭДС e_{10} изменяется по синусоидальному закону при наличии синхронизатора. То есть, изменение напряжения на зажимах ФЭП, как функции освещенности, оказывает влияние только на величину выходной ЭДС (величину выходного напряжения). Исследовались характеристики СДГУ при различных стандартных значениях напряжения на выходе ФЭП (24 В, 18 В, 36 В).

Вращающий момент СДГУ возрастает с возрастанием скорости ветра, и зависит от скорости ветра по нелинейному закону. Данное обстоятельство объясняется тем, что момент на валу СДГУ зависит от скорости ветра во второй степени, мощность на валу ветроколеса пропорциональна скорости ветра в кубе ($P \equiv V^3$) [88, 95], а момент – во второй степени ($M \equiv P/V$).

Вращающий момент на валу исследуемой ДГУ не зависит от напряжения на выходе ФЭП, в то время, как синхронизирующий момент, создаваемый СДГУ (ДГУ и синхронизатор) – зависит. Данное обстоятельство объясняется тем, что вращающий момент зависит от скорости ветра во второй степени.

Синхронизирующий момент ($M_{\text{син.2}}$), создаваемый синхронизатором СДГУ, зависит от скорости ветра, и, в меньшей степени, от напряжения на выходе ФЭП. Данное обстоятельство объясняется тем, что синхронизирующий момент, создаваемый синхронизатором напряжения СДГУ, определяется как разность между электромагнитным моментом СДГУ, вращающим моментом, синхронизирующим моментом СДГУ ($M_{\text{син.1}}$), моментом сопротивления СДГУ (учитывающий моменты сопротивления ДГУ и синхронизатора напряжения). А вращающий момент (как это было отмечено выше) зависит от скорости ветра во второй степени. В связи с тем, что напряжение на выходе ФЭП оказывает влияние на создание и величину МДС только одного каскада (и, как следствие, оказывает влияние только на величину ЭДС одного каскада), а скорость ветра – на ЭДС трех каскадов, то

и, соответственно, влияние скорости ветра по сравнению с напряжением на выходе ФЭП на синхронизирующие моменты более существенное.

Таким образом, момент $M_{\text{син.2}}$ синхронизатора напряжения СДГУ – фактический это тот момент, который синхронизатор напряжения «дополняет» синхронизирующий ДГУ $M_{\text{син.1}}$.

Для того, чтобы СДГУ находилась в синхронизме необходимо, чтобы при скорости вращения вала меньшей номинальной скорости синхронизатор напряжения СДГУ обеспечивал дополнительный момент. Мощность синхронизатора выбираем, опираясь на каталог синхронных машин [27] и исходя из соотношения:

$$P_{2\text{ном.}} \geq M_{\text{син.2 макс.}} \cdot \omega_{\text{н.}}, \quad (2.11)$$

где $M_{\text{син.2 макс.}}$ – максимальный синхронизирующий момент синхронизатора напряжения СДГУ, в заданном диапазоне скоростей ветра (от 3 м/с до 9 м/с); $\omega_{\text{н.}}$ – номинальная угловая скорость вала СДГУ.

На основании (2.10) необходимая мощность синхронизатора СДГУ составляет 0,525 кВт.

С учетом каталога синхронных машин для использования в дальнейшем при проведении эксперимента на натурном образце выбрана синхронная машина серии Wmaget, марки 100L 6 1.5 IE4, с номинальной мощностью 1,5 кВт, скорость 1000 об/мин [27].

Из ниже приведенной формулы (2.12) видно, что на величину выходного напряжения СДГУ (пропорционально ЭДС обмотки 10 якоря основного генератора, E_{10}) наибольшее влияние из входных параметров (скорости ветра и напряжение на выходе ФЭП) оказывает скорость ветра, так как ЭДС, индуцируемое в трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора (рис. 2.1), зависит от входных параметров в следующей пропорции:

$$U_{\text{вых}} \equiv E_{10} \equiv K_{\text{в}} \cdot K_{\text{вог}} \cdot K_{10} \cdot V^2 \cdot (K_{\text{яв}} \cdot V + K_{\text{двв}} U_{\text{ФЭП}}), \quad (2.12)$$

где V – скорость ветра; $U_{\text{ФЭП}}$ - напряжение на выходе ФЭП; $K_{\text{в}}$, $K_{\text{вог}}$, K_{10} , $K_{\text{яв}}$, $K_{\text{двв}}$ – коэффициенты, учитывающие параметры обмоток ДГУ (многофазной обмотки 7 якоря возбуждителя (рис. 2.5); однофазной обмотки 9 возбуждения

основного генератора (рис. 2.5); трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора (рис. 2.5); обмотки 2 якоря (рис. 2.5); дополнительной однофазной обмотки 6 возбуждения возбудителя (рис. 2.5).

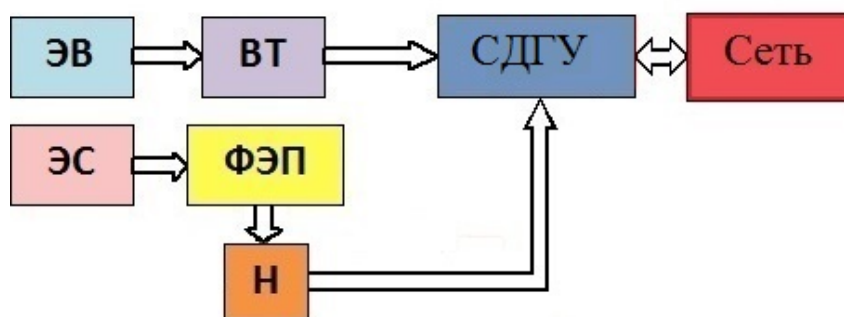
В приложении Г приведены скриншоты с фрагментом программы и результатами расчета. Результаты математического моделирования позволяют сделать следующие предварительные выводы:

- созданная на основе структурной схемы системы электроснабжения на базе ДГУ рис. 1.11 математическая модель установки, характеристики, полученные при исследовании установки, подтвердили возможность при преобразовании двух видов энергии (механической и электрической) получать на выходе установки электрическую энергию переменного тока;

- дополнение ДГУ (рис. 1.11) синхронизатором напряжения позволяет стабилизировать выходные параметры установки, синхронизируя их с соответствующими параметрам внешней трехфазной сети (рис. 2.6, 2.7);

- полученные в ходе экспериментальных исследований характеристики СДГУ позволяют учесть влияние величин сопротивлений обмоток отдельных частей СДГУ, как параметров устройства, на амплитуду и частоту выходного напряжения СДГУ, являющиеся основными параметрами выходного напряжения устройства.

На основании вышеизложенного структурная схема СЭС на базе СДГУ может выглядеть так, как показано на рис. 2.10.



ЭВ – кинетическая энергия ветра, ЭС – световая энергия Солнца, ВТ – ветротурбина, ФЭП – фотоэлектрический преобразователь, Н – накопитель энергии, СДГУ – синхронизированная двухвходовая генераторная установка.

Рисунок 2.10 – Структурная схема системы электроснабжения на базе СДГУ

По сравнению со структурной схемой по рис. 1.13 ДГУ заменено на СДГУ (ДГУ с синхронизатором), добавлена дополнительная связь между сетью и СДГУ [73].

Потребитель на рис. 2.10 не показан, так как в данном случае эта структурная схема показывает синхронизацию СДГУ с внешней сетью трехфазного тока.

2.3 Разработка конструкции синхронизированной двухвходовой генераторной установки

За основу для разработки синхронизированной двухвходовой генераторной установки (СДГУ) [65] примем аксиальную двухвходовую бесконтактную электрическую машину-генератор [62], преобразующую кинетическую энергию ветра и световую энергию Солнца в электрическую энергию.

Технология изготовления генераторов традиционной конструкции (цилиндрических) сложна из-за необходимости штамповки листов магнитопроводов статора и ротора [22, 23, 32, 37, 98], необходимости выполнения обмоточных работ внутри цилиндрического статора.

ЭМ аксиальной конструкции имеют ряд преимуществ перед цилиндрическими [22, 102]. Основными преимуществами можно считать более простую и практически безотходную технологию изготовления их магнитопроводов, меньшие удельные затраты активных материалов. Аксиальная конструкция позволила обеспечить нечувствительность генераторной установки к резким и кратковременным изменениям скорости ветра.

Выполнение магнитопроводов аксиальными позволило получить симметричное многофазное напряжение в обмотке якоря, что в свою очередь позволило повысить качество полученного постоянного напряжения за счет снижения коэффициента пульсации выпрямленного напряжения.

Разработанная СДГУ позволила не только обеспечить возможность прямого преобразования световой энергии в электрическую энергию постоянного тока для последующего преобразования в электроэнергию переменного тока, но и обеспечить минимизацию разности частоты выходного напряжения СДГУ и частоты напряжения внешней трехфазной сети переменного тока.

Синхронизатор напряжения в соответствии с ГОСТ-32144-213 необходимо подключать к внешней сети при разности частоты выходного напряжения СДГУ и частоты напряжения внешней трехфазной сети, превышающей 0,2 Гц (допустимую ГОСТ-32144-213). Для этого, а также для подключения трехфазной обмотки 10 СДГУ к внешней трехфазной сети в конструкции СДГУ необходимо предусмотреть блок коммутации (БК).

С учетом вышесказанного электрическая схема СДГУ примет вид, представленный на рис. 2.11. На рис. 2.12 представлена конструкция синхронизированной двухвходовой генераторной установки.

Синхронизированная двухвходовая генераторная установка (СДГУ) содержит корпус, в котором на одном валу 24 установлены составляющие В, С, D, E СДГУ, электрическая схема которой представлена на рис. 2.11 (полное описание приведено в [65]).

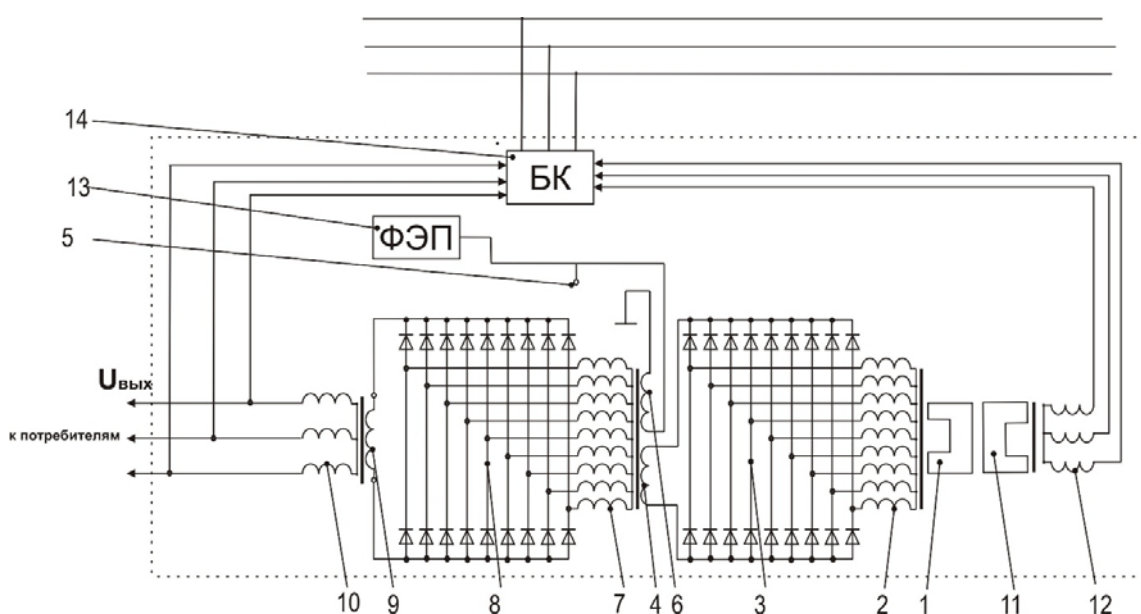


Рисунок 2.11 – Электрическая схема СДГУ (Пат. RU 2647708)

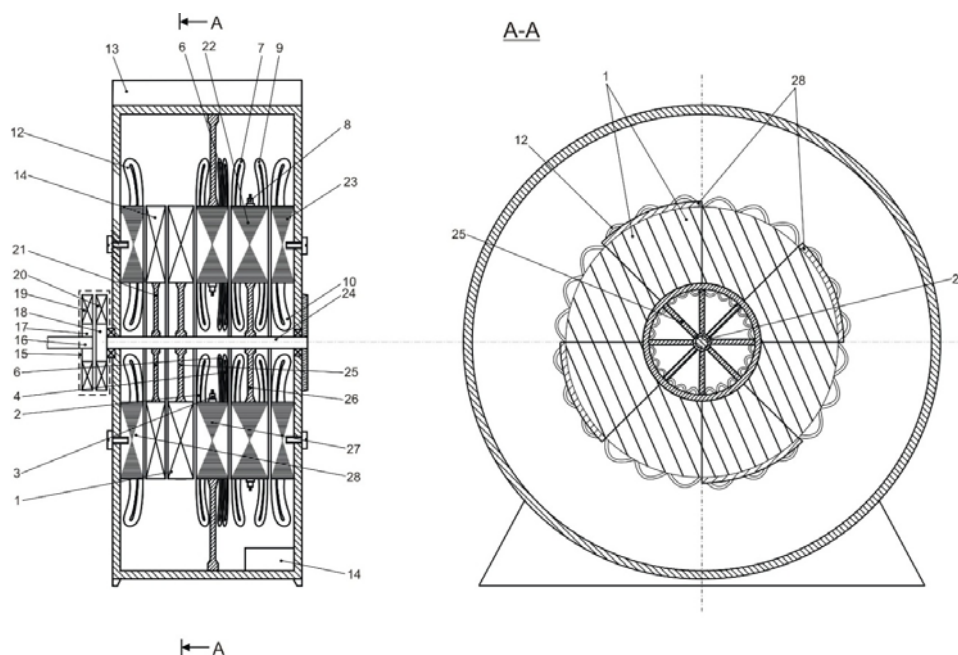


Рисунок 2.12 – Конструкция СДГУ (Пат. RU 2647708)

Блок коммутации 14 подключает СДГУ (фазы трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора) к внешней трехфазной сети переменного тока (к одноименным фазам внешней трехфазной сети переменного тока) при выполнении следующих условий:

1. Частота трехфазной ЭДС, «снимаемой» с трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора, равна частоте трехфазного напряжения внешней трехфазной системы переменного тока (отклоняется от нее не более, чем на 0,2 Гц).

2. Величина трехфазной ЭДС, «снимаемой» с трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора, равна величине трехфазного напряжения внешней трехфазной системы переменного тока (отклонение не должно превышать 5%).

3. Порядок чередования фаз трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора и фаз трехфазной обмотки 12 синхронизации совпадает с порядком чередования фаз внешней трехфазной системы переменного тока.

4. Совпадение фаз одноименных напряжений генератора и сети.

Синхронизация выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ на выходе СДГУ осуществляется следующим образом.

При небольшом возмущающем момента синхронизирующий момент, создаваемый трехфазной обмоткой 10 якоря основного генератора достаточен для того, чтобы генераторная установка не выпадала из синхронизма (оставалась в синхронизме).

При больших возмущающих воздействиях возникает существенное рассогласование между фазами напряжения, генерируемого трехфазной обмоткой 10 якоря основного генератора, и напряжения, внешней трехфазной сети переменного тока вследствие различных частот выходного напряжения генераторной установки, снимаемого с трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора, и напряжения внешней трехфазной сети переменного тока. В этом случае блок коммутации 14, в котором осуществляется сравнение частот выходного напряжения генераторной установки и напряжения внешней трехфазной сети переменного тока, подключает фазы трехфазной обмотки 12 синхронизации к внешней трехфазной сети переменного тока. При этом по трехфазной обмотке 12 синхронизации под действием трехфазного напряжения внешней сети переменного тока протекает трехфазный электрический ток, который создает вращающееся с синхронной частотой магнитное поле.

При уменьшении частоты выходного напряжения, снимаемого с трехфазной обмотки якоря 10 основного генератора, вызванного уменьшением частоты вращения вала 24, по сравнению с частотой напряжения внешней трехфазной сети переменного тока, частота вращения, жестко закрепленного на валу 24 постоянного многополюсного магнита 11 синхронизатора уменьшается. Это приводит к сдвигу (опережению) оси полюсов вращающегося магнитного поля трехфазной обмотки 12 синхронизации по отношению к осям полюсов постоянного аксиального многополюсного магнита 11 синхронизатора. Вследствие этого синхронизатор переходит в режим двигателя, то есть потребляет активную электрическую энергию из внешней трехфазной системы переменного тока. При этом магнитное поле, создаваемое электрическим током, протекающим по трехфазной обмотке 12 синхронизации, создает дополнительный вращающий момент, направленный согласно вращению ротора,

вследствие чего скорость вращения ротора увеличивается, частота напряжения, снимаемого с трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора, увеличивается до частоты напряжения внешней трехфазной сети переменного тока.

При увеличении частоты выходного напряжения, снимаемого с трехфазной обмотки якоря 10 основного генератора, вызванного увеличением частоты вращения вала 24, по сравнению с частотой напряжения внешней трехфазной сети переменного тока, частота вращения, жестко закрепленного на валу 24 постоянного многополюсного магнита 11 синхронизатора, увеличивается. Это приводит к сдвигу (запаздыванию) оси полюсов вращающегося магнитного поля трехфазной обмотки 12 синхронизации по отношению к осям полюсов постоянного аксиального многополюсного магнита 11 синхронизатора. Вследствие этого синхронизатор переходит в режим генератора, то есть вырабатывает активную электрическую энергию, которую отдает во внешнюю трехфазную сеть переменного тока. При этом магнитное поле, создаваемое электрическим током, протекающим по трехфазной обмотке 12 синхронизации, создает дополнительный вращающий момент, направленный встречно вращению ротора, вследствие чего скорость вращения ротора уменьшается, частота напряжения, снимаемого с трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора уменьшается до частоты напряжения внешней трехфазной сети переменного тока.

Таким образом, в разработанной СДГУ осуществляется суммирование энергий, поступающих от двух разнородных источников энергии: прямое преобразование световой энергии, поступающей на световой вход (вход ФЭП 13), в электрическую энергию постоянного тока, суммирование ее посредством электромагнитного преобразования с механической энергией, поступающей на механический вход (вал 24) СДГУ, с одновременным преобразованием полученной суммарной энергии в электрическую энергию трехфазного напряжения переменного тока, синхронизированного по частоте с напряжением внешней трехфазной системы переменного тока.

Таким образом, СДГУ, выполняя функцию суммирования механической и электрической энергии постоянного тока с одновременным преобразованием полученной суммарной энергии в электрическую энергию переменного тока, как и ДГУ [61, 62, 64], в то же время в отличие от нее за счет возможности прямого преобразования световой энергии и суммирования ее с механической энергией с последующим преобразованием полученной энергии в электрическую, обеспечения возможности подключения к внешней трехфазной сети переменного тока за счет минимизации разности частоты выходного напряжения СДГУ и частоты напряжения внешней системы переменного тока позволяет расширить область применения ДГУ: обеспечить прямое преобразование световой энергии и параллельную работу генераторной установки с внешней трехфазной сетью переменного тока.

Возможность подключения СДГУ к внешней трехфазной сети переменного тока обеспечивается за счет установки синхронизатора напряжения, состоящего из жестко закрепленного в корпусе магнитопровода с одной активной торцевой поверхностью, в пазы которого уложена трехфазная обмотка синхронизации, и постоянного многополюсного магнита, жестко закрепленного посредством диска на валу между магнитопроводом синхронизатора и постоянным многополюсным магнитом индуктора подвозбудителя, выполнением распределения фаз трехфазной обмотки синхронизации совпадающим с распределением фаз трехфазной обмотки якоря основного генератора, и установкой блока коммутации с двумя входами.

2.4 Выводы по главе 2

1. Получено математическое описание СДГУ на базе дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные и электромеханические процессы в СДГУ, которое позволяет получить функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами разработанной СДГУ.

2. Проведено исследование математической модели СДГУ с использованием программного обеспечения MathCAD при различных значениях скорости ветра и напряжения на зажимах ФЭП, которое показало, что вращающий момент и синхронизирующий момент СДГУ, возрастают с ростом скоростью ветра, и зависят от скорости ветра по нелинейному закону. Диапазон изменения электромагнитного момента ДГУ составляет от 1,3 Нм до 15,2 Нм (при мощности ДГУ 3 кВт).

3. Получены функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами разработанной СДГУ, которые позволяют получить регулировочные и рабочие характеристики проектируемых СДГУ до их натурального изготовления.

4. При переменном напряжении на зажимах ФЭП и постоянной скорости ветра (без синхронизатора), а также при переменной скорости ветра и постоянном напряжении на зажимах ФЭП (без синхронизатора) кривая выходной ЭДС e_{10} изменяется по несинусоидальному закону, что объясняется влиянием напряжения на зажимах ФЭП на ток, протекающий по дополнительной однофазной обмотке возбуждения возбудителя. Изменение напряжения на зажимах ФЭП (от 12 В до 36 В), как функции освещенности, оказывает влияние только на величину выходной ЭДС (выходного напряжения). Диапазон изменения максимального значения e_{10} составляет от 20 В до 370 В (при изменении напряжения на зажимах ФЭП от 12 В до 36 В).

5. Обоснован диапазон изменения величины момента (от 5 Нм до 12 Нм), который нужно досинхронизировать при изменении скорости ветра от 3 м/с до 9 м/с.

6. Доказано, что вращающий момент на валу исследуемой ДГУ не зависит от напряжения на выходе ФЭП (в диапазоне от 12 В до 36 В), а синхронизирующий момент, создаваемый исследуемой ДГУ, зависит от напряжения на выходе ФЭП. При изменении напряжения на выходе ФЭП от 12 В до 36 В величина синхронизирующего момента должна изменяться в диапазоне от минус 11,5 Нм до плюс 7,5 Нм.

7. Доказано, что наличие синхронизатора напряжения позволяет получить на выходе СДГУ синусоидальную ЭДС (и как следствие – синусоидальное выходное напряжение) и создает синхронизирующий момент, с помощью которого установка частично «сама может себя досинхронизировать». Диапазон изменения момента «самосинхронизации» составляет от 0,1 Нм до 5,8 Нм (при изменении скорости ветра от 0,3 м/с до 9 м/с). Величина мощности синхронизатора напряжения СДГУ должна составлять 0,525 кВт.

8. В ходе математического моделирования доказано, что величина выходного напряжения СДГУ пропорциональна скорости ветра в степени 2,5.

9. Разработана конструкция синхронизированной двухвходовой генераторной установки (СДГУ), одновременно преобразующей световую энергию Солнца, и кинетическую ветра в электрическую энергию. В СДГУ интегрировано устройство, аналогичное второй синхронной машине с постоянным возбуждением, являющейся синхронизатором напряжения.

10. Проведены исследования математической модели СДГУ при изменении внешних факторов (скорость ветра 3 - 9 м/с и интенсивность солнечного излучения – напряжение на зажимах ФЭП изменяется в диапазоне 12-36 В). Отклонение амплитуды напряжения не более 5 %, отклонение частоты напряжения – не более 0,2 Гц)

3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и методика проводимых испытаний

Экспериментальные исследования состоят из двух этапов: вычислительный эксперимент, исследование натурального образца.

Задачами вычислительного эксперимента являются:

- расчет параметров узлов СДГУ;
- получение картины электромагнитных и электромеханических переходных процессов в СДГУ в зависимости от скорости ветра;
- получение картины электромагнитных и электромеханических переходных процессов в СДГУ в зависимости от величины напряжения, поступающего от ФЭП;
- оценка влияния параметров обмоток СДГУ (сопротивления обмоток) на величину выходного напряжения СДГУ;
- оценка влияния скорости ветра, величины напряжения, поступающего от ФЭП, на величину выходного напряжения СДГУ.

Для решения задач вычислительного эксперимента был применен метод планирования эксперимента [45, 67].

В качестве переменных факторов приняты:

- активные сопротивления обмоток якоря 2 подвозбудителя и якоря 7 возбудителя (рис. 2.4, 2.6) при 13 % изменении его величины (фактор X_1), базовое значение – 1,0 Ом;
- активное сопротивление обмотки 4 возбуждения возбудителя (рис. 2.4, 2.6) при 13 % изменении его величины (фактор X_2), базовое значение – 210,0 Ом;
- активное сопротивление дополнительной обмотки 6 возбуждения возбудителя (рис. 2.4, 2.6) при 13 % изменении его величины (фактор X_3), базовое значение – 5,3 Ом;

- скорость ветра $V_{\text{ветр.}}$, при 72 % изменении ее величины (фактор X_4), базовое значение - 5,23 м/с;

- напряжение, снимаемое с зажимов ФЭП при 50% изменении его величины (фактор X_5).

Базовые значения сопротивлений обмоток приняты на основании инженерного расчета двухвходовой генераторной установки и с учетом [12, 76].

За базовое значение величины напряжения ФЭП принято напряжение блока солнечных батарей, рекомендуемых в [110, 112]. За базовое значение скорости ветра принята среднестатистическая скорость ветра в Краснодарском крае [108]. Диапазон изменений значений активных сопротивлений обмоток СДГУ принят на основе [76, 97], диапазон изменений напряжения ФЭП принят с учетом стандартных значений напряжений модулей блоков солнечных батарей [110, 112].

За целевые функции приняты: действующее значение выходного напряжения $U_{\text{вых.}}$; частота выходного напряжения $f_{\text{вых.}}$; действующее значение тока в обмотке возбуждения возбудителя i_4 (выходной ток первого промежуточного каскада преобразования энергии); действующее значение тока в обмотке возбуждения основного генератора i_9 (выходной ток второго конечного каскада преобразования энергии).

Согласно метода ортогонального центрального композиционного планирования при пяти независимых переменных необходимо проведение $2^5 = 32$ экспериментов [45, 67].

Переход от реальных переменных R, U, V (сопротивлений, напряжений, скоростей) к относительным $X_1 \dots X_5$ производится согласно [67].

В табл. 3.1 приведены показатели планирования эксперимента объекта исследования. По полученным значениям целевых функций (эксперименты 1-32) построена квадратичная модель вида

$$Y_K = B_{x0} + \sum_{i=1}^5 B_{ki} X_i + \sum_{i < j} B_{kij} X_i X_j + \sum_{i=1}^5 B_{kij} X_i^2 \quad (3.1)$$

где $k = 1, 2, \dots, 12$; $y_1 = U_{\text{вых}}$; $y_2 = f_{\text{вых}}$; $y_3 = i_4$; $y_4 = i_9$; $y_5 = \eta$; $B_{k0}, B_{ki}, \dots, B_{kij}$ - коэффициенты полинома.

Расчет коэффициентов полинома проведен согласно [67].

В табл. 3.1 приведены расчетные коэффициенты полиномов.

Согласно [67] полиномом (3.1) аппроксимируем модель (2.1) с достаточной точностью, если значения Y , рассчитанные по (2.1) отличаются от значений, рассчитанные для каждого уравнения, более чем на 5-10 %.

В табл. Д.1 приведены значения средних ошибок аппроксимации целевых функций, которые не превышают предельно-допустимого предела для средних ошибок [45, 67]. Отсев незначимых коэффициентов полиномов не проводился. Проверка адекватности модели (3.1) приведена ниже.

Следует учесть, что дисперсия воспроизводимости равна нулю и поставленная задача решалась как динамическая.

Таблица 3.1 – Показатели планирования эксперимента на объекте исследования

№ опытов	Переменные параметры										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	X ₁ R ₂ =R ₇ Ом	X ₂ R ₄ Ом	X ₃ R ₆ Ом	X ₄ V _B м/с	X ₅ U _{фэп} В	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	U _{вых.} В	f _{вых.} Гц	i ₄ А	i ₉ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,82	175	5,6	3,5	14,4	-1	-1	+1	-1	-1	245,8	54,0	6,5	6,0
2	0,82	228,7	5,6	3,5	33,6	-1	+1	+1	-1	-1	248,3	54,5	6,6	6,1
3	1,07	228,7	5,1	3,5	14,4	+1	+1	-1	-1	-1	217,9	48,7	4,5	4,3
4	0,82	228,7	5,1	3,5	14,4	-1	+1	-1	-1	-1	243,3	54,0	6,6	6,2
5	0,82	175	5,1	3,5	33,6	-1	-1	-1	-1	+1	286,4	51,8	7,6	6,6
6	1,07	175	5,6	3,5	33,6	+1	-1	+1	-1	+1	215,4	47,8	4,7	4,4
7	0,82	228,7	5,6	3,5	14,4	-1	+1	+1	-1	-1	248,3	54,9	6,4	5,9
8	0,82	228,7	5,6	3,5	102	-1	+1	+1	-1	-1	291,4	52,7	7,3	6,6
9	0,82	175	5,1	3,5	33,6	-1	-1	-1	-1	+1	286,4	51,3	7,1	6,8

№ ОПЫТОВ	Переменные параметры										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	X ₁ R ₂ =R ₇ Ом	X ₂ R ₄ Ом	X ₃ R ₆ Ом	X ₄ V _B м/с	X ₅ U _{фэлп} В	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	U _{вых.} В	f _{вых.} Гц	i ₄ А	i ₉ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	1,07	175	5,6	6,96	33,6	+1	-1	+1	+1	+1	217,9	48,2	4,4	4,3
11	0,82	228,7	5,1	6,96	33,6	-1	+1	-1	-1	-1	215,4	43,3	5,7	5,9
12	1,07	228,7	5,1	3,5	14,4	+1	+1	-1	-1	-1	212,9	41,1	5,2	6,6
13	0,82	228,7	5,1	6,96	14,4	-1	+1	-1	+1	-1	291,4	52,2	7,3	6,8
14	0,82	17	5,6	6,96	33,6	-1	-1	+1	+1	+1	286,4	51,8	7,6	4,3
15	0,82	175	5,1	3,5	14,4	-1	-1	-1	-1	-1	288,9	52,2	7,1	5,9
16	1,07	109,3	5,1	3,5	14,4	+1	+1	-1	-1	-1	212,9	43,8	4,5	5,4
17	1,07	175	5,1	6,96	33,6	+1	-1	-1	+1	+1	215,4	43,3	5,7	6,6
18	1,07	175	5,6	3,5	33,6	+1	-1	-1	-1	+1	212,9	41,1	5,2	6,6
19	1,07	228,7	5,6	6,96	33,6	+1	+1	+1	+1	+1	215,4	42,0	5,8	7,2
20	1,07	175	5,6	3,5	14,4	+1	-1	+1	-1	-1	250,9	46,4	5,1	4,4
21	0,82	175	5,1	6,96	33,6	-1	-1	-1	+1	+1	288,9	52,2	7,3	5,9
22	0,82	175	5,6	6,96	14,4	-1	-1	+1	+1	-1	286,4	51,8	5,8	5,5
23	0,82	228,7	5,6	6,96	14,4	-1	+1	+1	+1	-1	288,9	52,2	7,2	4,8
24	1,07	228,7	5,1	6,96	33,6	+1	+1	-1	+1	+1	255,9	52,7	5,7	5,4
25	0,82	109,3	5,6	3,5	33,6	-1	+1	+1	-1	+1	283,8	43,8	7,4	6,6
26	1,07	175	5,6	3,5	14,4	+1	-1	+1	-1	-1	217,9	45,1	5,8	5,4
27	1,07	228,7	5,6	3,5	14,4	+1	+1	+1	-1	-1	220,5	47,3	5,7	6,6
28	1,07	228,7	5,6	6,96	33,6	+1	+1	+1	+1	+1	250,9	45,1	5,8	4,8
29	1,07	175	5,6	6,96	14,4	+1	-1	+1	+1	-1	255,9	39,7	5,5	7,1
30	1,07	109,3	5,1	6,96	14,4	+1	+1	-1	+1	-1	248,3	53,1	7,2	4,6
31	0,82	175	5,1	6,96	33,6	-1	-1	-1	+1	+1	228,1	46,0	7,3	6,7
32	0,82	175	5,1	6,96	33,6	-1	-1	-1	+1	+1	291,4	39,7	5,1	5,8

По результатам расчетов проведена оценка влияния параметров СДГУ (сопротивление обмоток) на динамические характеристики СДГУ. Результаты исследований отражены в [18, 34, 38, 41, 103].

На рис. 3.1 и в приложении Ж приведены зависимости вращающего и синхронизирующих моментов СДГУ от входных параметров, а именно: скорости ветра и напряжения на выходе ФЭП, зависимость синхронизирующего момента синхронизатора напряжения СДГУ от этих же входных параметров, а также зависимости выходных параметров СДГУ (величина и частота выходного напряжения) от входных параметров (скорости ветра и напряжения на выходе ФЭП), полученные в ходе вычислительного эксперимента.

Из рис. 3.1 видно, что синхронизирующий момент ($M_{\text{син.2}}$), создаваемый синхронизатором напряжения, изменяет свой знак в зависимости от того скорость ветра выше или ниже номинальной. Так, при скорости ветра меньше номинальной (5,23 м/с) момент синхронизации, создаваемый синхронизатором напряжения, имеет положительное значение. Синхронизация в СДГУ посредством синхронизатора напряжения при скорости ветра меньше номинальной необходима. При скорости ветра больше номинальной (5,23 м/с) момент синхронизации, создаваемый синхронизатором напряжения, становится отрицательным.

Следует также отметить, что по рис. 3.1 значение $M_{\text{син.2}}$ (при $U_{\text{фэп}}=24$ В) не обращается в «0» (отклонение составляет 1,1 Нм), что объясняется допущениями, сделанными при составлении математической модели, и погрешностью расчета.

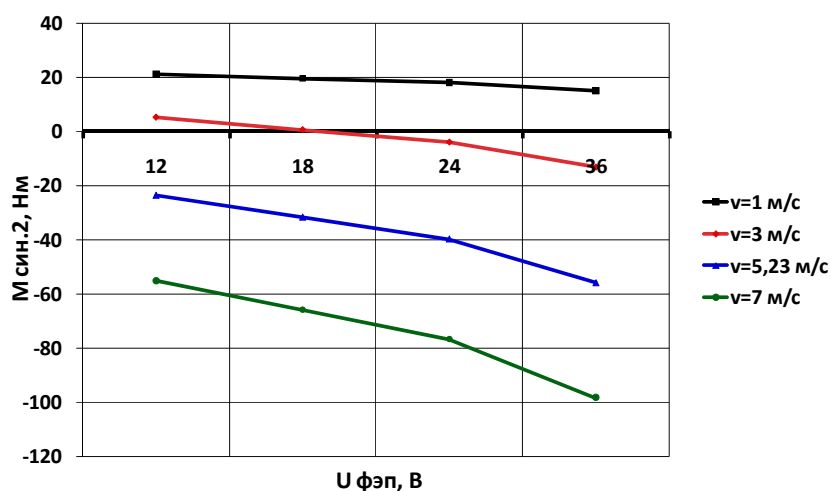


Рисунок 3.1 – Зависимость дополнительного синхронизирующего момента СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при изменении скорости ветра

Из графиков (рис. 3.2, 3.3) видно, что частота выходного напряжения СДГУ зависит от скорости ветра и не зависит от напряжения на выходе ФЭП, что объясняется известным соотношением ($f \equiv \omega, p$, где p – число пар полюсов, ω – угловая скорость вала СДГУ). Выходное напряжение СДГУ зависит от скорости ветра, причем, чем выше скорость ветра – тем существенней «рост» величины выходного напряжения. Данное обстоятельство объясняется тем, что выходное напряжение создается «наращиванием» «первоначальной» ЭДС (ЭДС обмотки якоря подвозбудителя).

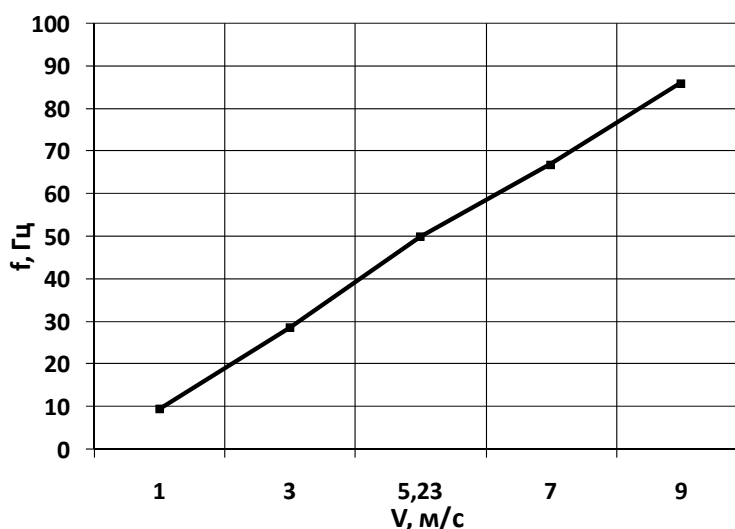


Рисунок 3.2 – Зависимость частоты выходного напряжения СДГУ от скорости ветра при изменении напряжения на выходе ФЭП

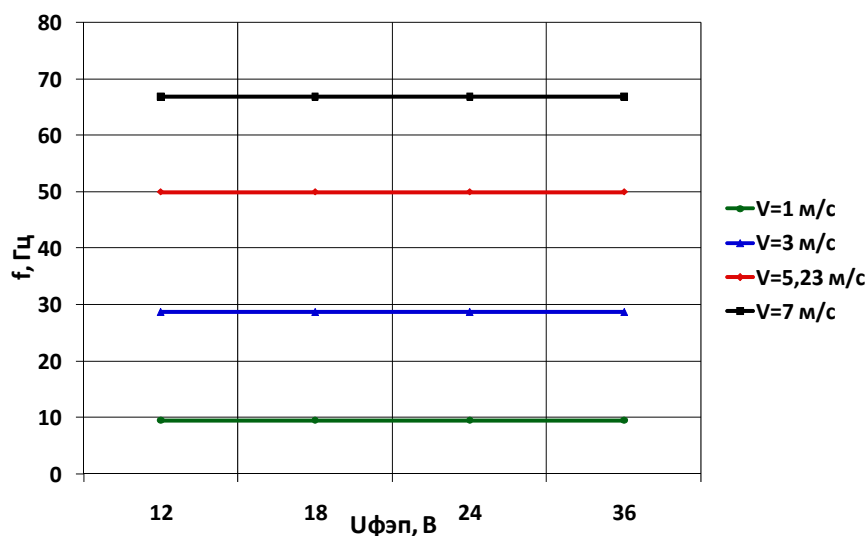


Рисунок 3.3 – Зависимость частоты выходного напряжения СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при изменении скорости ветра

На рис. 3.4–3.5 и в приложении Ж приведены графики зависимостей напряжения на выходе СДГУ от сопротивлений обмоток СДГУ (R_2 – сопротивление обмотки 2 якоря подвозбудителя (рис. 2.1), R_4 – сопротивление основной обмотки 4 возбуждения возбудителя (рис. 2.1), R_6 – сопротивление дополнительной обмотки 6 возбуждения возбудителя (рис. 2.1), R_7 – сопротивление многофазной обмотки 7 якоря возбудителя (рис. 2.1), R_9 – сопротивление обмотки 9 возбуждения основного генератора (рис. 2.1).

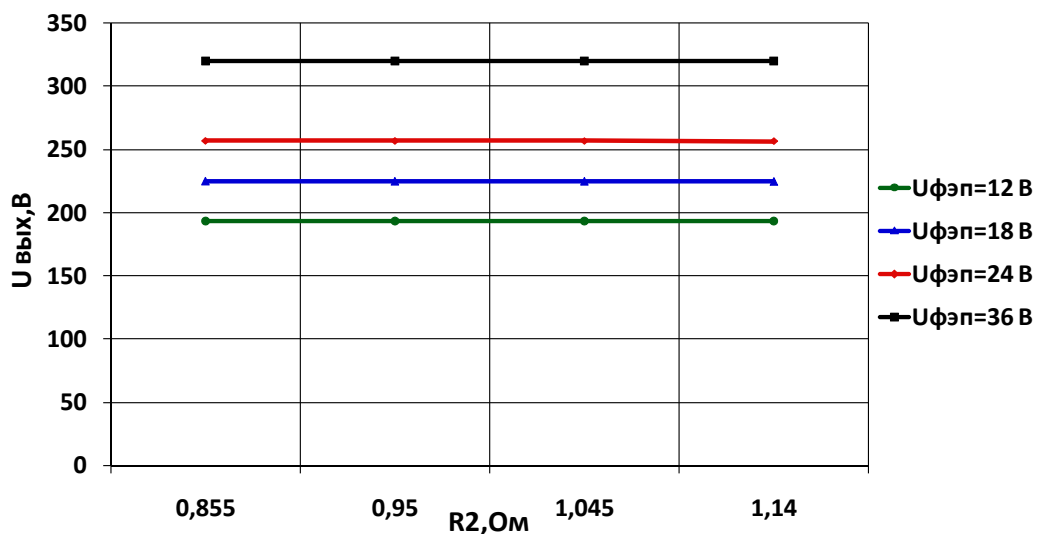


Рисунок 3.4 – Зависимость выходного напряжения СДГУ от сопротивления обмотки якоря подвозбудителя при изменении напряжения на выходе ФЭП

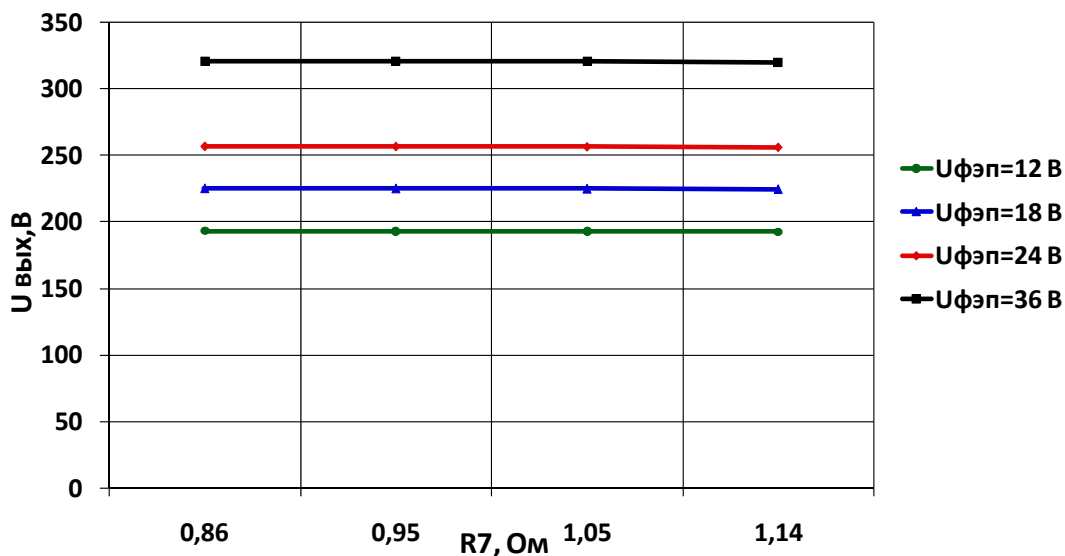


Рисунок 3.5 – Зависимость выходного напряжения СДГУ от сопротивления обмотки якоря возбудителя при изменении напряжения на выходе ФЭП

Так, величина выходного напряжения СДГУ не зависит от величины сопротивлений обмотки якоря подвозбудителя (рис. 3.4) и многофазной обмотки якоря возбудителя (рис. 3.5), и зависит от сопротивлений обмотки возбуждения возбудителя, дополнительной обмотки возбуждения возбудителя, обмотки возбуждения основного генератора.

Данные результаты реализации математической модели объясняются тем, что изменение сопротивлений обмотки якоря подвозбудителя и многофазной обмотки якоря возбудителя в меньшей степени оказывают влияние на величины МДС, создаваемые соответствующими токами в основной однофазной обмотке возбуждения возбудителя и в однофазной обмотке возбуждения основного генератора. Величины МДС, создаваемые токами I_4 и I_9 , зависят (в том числе) от сопротивлений контуров, образованных основной однофазной обмоткой возбуждения возбудителя – первым выпрямителем 3 (рис. 2.1, 2.4) и однофазной обмоткой 8 возбуждения основного генератора – вторым выпрямителем 8 (рис. 2.1, 2.4). Сопротивления многофазной обмотки 2 якоря подвозбудителя и многофазной обмотки 7 якоря возбудителя на порядок меньше сопротивлений первого 3 и второго 8 выпрямителей.

По результатам численного эксперимента доказано, что:

- изменение сопротивлений обмотки якоря подвозбудителя и обмотки якоря возбудителя не оказывает влияние на величину выходного напряжения;
- изменение сопротивления основной обмотки возбуждения возбудителя в диапазоне $\pm 30\%$ приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 3,2 до 10,0 %;
- изменение сопротивления дополнительной обмотки возбуждения возбудителя в диапазоне $\pm 15\%$ приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 5,1 до 11,0 %;
- изменение сопротивления обмотки возбуждения основного генератора в диапазоне $\pm 15\%$ приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 12 до 19 %.

Наибольшее влияние на величины целевых функций Y_1 ($U_{\text{вых}}$ – величина выходного напряжения СДГУ), Y_2 ($f_{\text{вых}}$ – величины частоты выходного напряжения СДГУ), оказывают величины скорости ветра V_v (переменный параметр X_4) и величина напряжение на выходе ФЭП $U_{\text{ФЭП}}$ (переменный параметр X_5).

В связи с тем, что при учете синхронизатора напряжения СДГУ переменные параметры X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 приняты неизменными, и они не оказывают влияния на целевые функции, исследования с применением метода планирования эксперимента при учете синхронизатора напряжения СДГУ не проводились.

В целях подтверждения основных теоретических положений и установления влияния степени входных параметров и параметров разрабатываемой СДГУ на ее выходные параметры и характеристики было проведено экспериментальное исследование натурального образца.

Изготовлена натурная модель (НМ) СДГУ мощностью 3 кВт (рис.3.6) и выполнен комплекс экспериментальных исследований.



Рисунок 3.6 – Внешний вид лабораторного стенда для экспериментальных исследований натурной модели СДГУ мощностью 3 кВт

Испытание НМ СДГУ проводилось по методикам, изложенным в [48, 52, 53, 54, 55, 56, 79], программа эксперимента приведена в приложении 3. Экспериментальный стенд, представленный на рис. 3.6, 3.7, состоит из сле-

дующих компонентов: блока имитации ветроагрегата; регулируемого источника постоянного тока (ИПТ); НМ СДГУ; синхронной машины; блока нагрузки; блоков фильтров; измерительных приборов; пуско-защитной аппаратуры (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Перечень измерительных приборов

Наименование прибора	Измеряемые величины	Пределы измерения	Класс точн.
К-50 (комплект измерительный) (ИК 1)	Сила тока, напряжение, активная и реактивная мощность	Тока до 50 А, Напряжения до 600 В	0.5
Микропроцессорный универсальный измеритель мощности DM2436AB (ИК 2)	Сила тока, напряжение, активная и реактивная мощность, Ватт час; var час, частота	Тока до 5 А, Напряжения до 600 В, Частоты до 65 Гц	0.1
Осциллограф двухканальный цифровой запоминающий АСК-2067	Частота, период, среднее значения напряжения размаха, среднеквадратичное значение напряжения за один период, максимальное и минимальное значения, а также амплитуду напряжения, длительность нарастающего и спадающего фронта, длительность положительного и отрицательного импульса, скважность положительного и отрицательного импульса, задержка нарастающего и спадающего фронта	300 Вольт (пик)	1
Мультиметр GDM-8145 (V1) (вольтметр)	Напряжение, сила тока, сопротивление	1200 В, 20 А	0.5
Мультиметр GDM-8145 (V2) (вольтметр)	Напряжение, сила тока, сопротивление	1200 В, 20 А	0.5
Амперметр Omix A-1-1.0/0.5 (A1)	Сила тока	5 А - 10 кА (с трансформатором)	0.5
Амперметр Omix A-1-1.0/0.5 (A2)	Сила тока	5 А - 10 кА (с трансформатором)	0.5
Частотомер MS6100	Частота	1.3 ГГц	0.1
Энергомонитор-3.3Т1	Показатели качества электроэнергии, сила тока, напряжение, частота, $\cos \varphi$	360 В, 3000 А	0.1
Измеритель RLC E7-22	Сопротивление, индуктивность, ёмкость	10 МОм, 20 мФ, 10кГн	0.5

Блок имитации ветроагрегата (рис. 3.7) изменяет напряжение на обмотках статора асинхронного двигателя M_1 серии 4А, мощностью 0,75 кВт. Вал асинхронного двигателя ремённой передачей соединён с валом СДГУ. Преобразователь частоты позволяет изменять скорость вращения ротора СДГУ в широких пределах. Блок ИПТ, питающий дополнительную обмотку возбуждения (L_1) возбuditеля СДГУ (поз. L_1 на рис. 3.7) состоит из лабораторного автотрансформатора (TP_1), двухполупериодного выпрямителя (B_1) и сглаживающего фильтра (Φ_1).

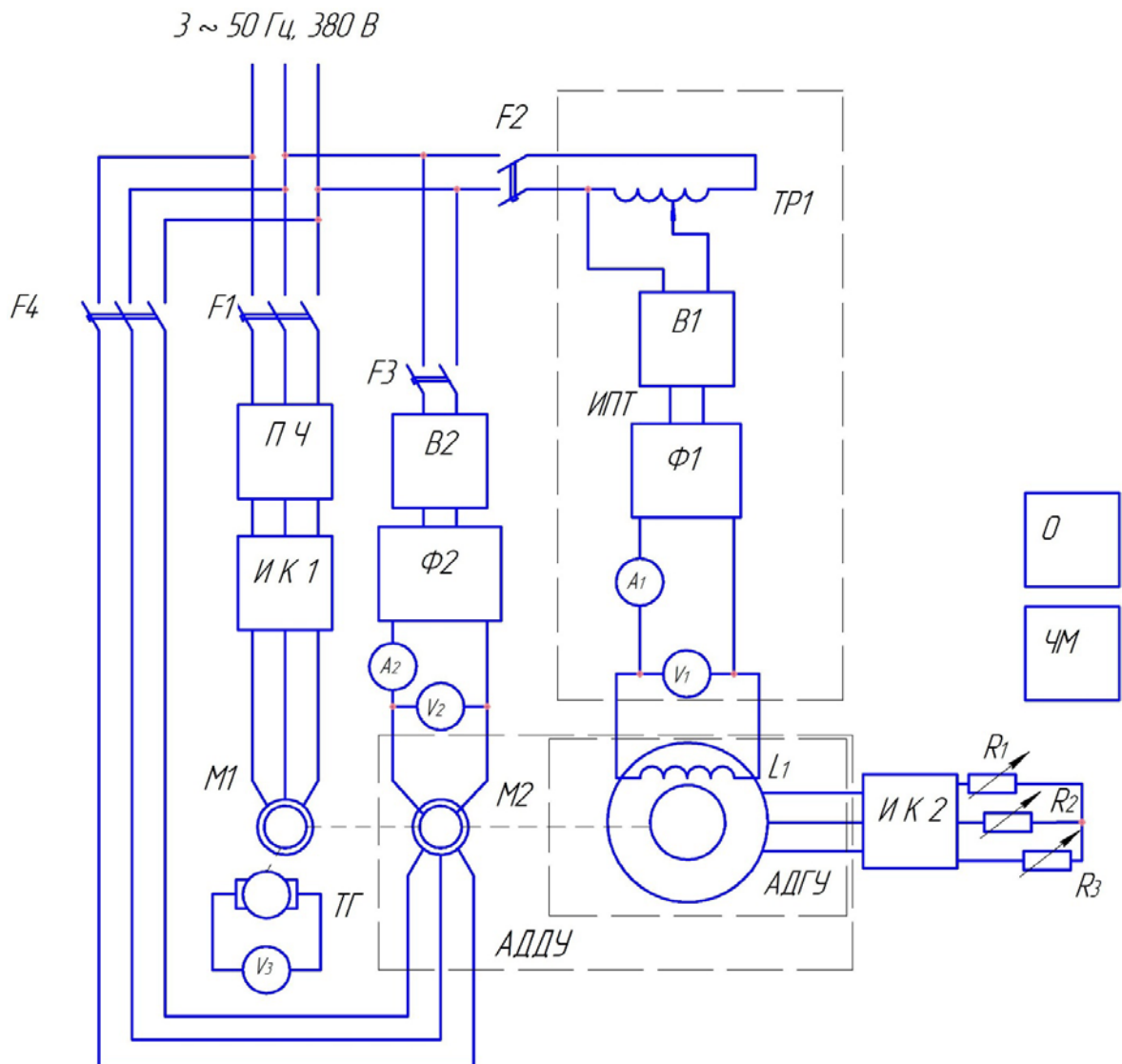


Рисунок 3.7 – Схема экспериментального стенда для исследования натурной модели СДГУ

Определение мощности на входе НМ СДГУ выполнено методом определения мощности, потребляемой приводным асинхронным двигателем (АД) с учетом потерь в этом двигателе и электрической мощности, потребляемой дополнительной обмоткой возбуждения возбудителя от источника постоянного тока (ИПТ). Определение мощности на выходе НМ СДГУ выполнено также прямым методом: ваттметром в цепи нагрузки [79]. Для определения выходных параметров НМ СДГУ проводились измерения величины, формы и частоты выходного напряжения с помощью электронных вольтметра, частотомера и осциллографа.

Измерение входных электрических параметров (напряжения, тока, мощности) асинхронного двигателя (M_1) осуществлялось измерительным комплектом К-50 (ИК1). Измерялись ток амперметром A_1 и напряжение вольтметром V_1 дополнительной обмотки возбуждения (L_1) возбудителя СДГУ. Вторым измерительным комплектом ИК2 измерялись входные электрические параметры СДГУ на блоке нагрузки R_1 - R_3 (регулируемый трехфазный реостат). Форма кривой напряжения СДГУ записывалась в виде осциллограмм цифровым осциллографом «О». Частота выходного напряжения СДГУ отслеживалась частотомером «ЧМ». Для имитации работы синхронизатора использовалась синхронная машина M_2 , которая соосно соединена с ДГУ и обеспечивает дополнительную синхронизацию ДГУ, имитируя синхронизатор СДГУ. На обмотке возбуждения синхронной машины M_2 формировалось постоянное напряжение, для чего напряжение сети преобразовывалось через двухполупериодный выпрямитель V_2 и сглаживающий фильтр Φ_2 .

Напряжение и ток обмотки возбуждения M_2 измерялись вольтметром V_2 и амперметром A_2 соответственно. Контроль скорости вращения вала натурной модели СДГУ осуществлялся тахогенератором «ТГ» с вольтметром V_3 . В таблице 3.2 приведены основные данные измерительных приборов, включенных в схему, изображенную на рис. 3.7 (согласно [52] класс точности измерительных приборов должен быть не ниже 0,1).

3.2 Результаты экспериментальных исследований

Результаты измерений параметров испытуемой НМ СДГУ приведены в табл. 3.3, полученные экспериментальные зависимости приведены на рис. 3.8 – 3.16 (в сравнении с расчетными характеристиками).

В табл. 3.3 приведены расчетные и экспериментальные параметры обмоток НМ СДГУ (активное сопротивление).

На рис. 3.8–3.16 приведены экспериментальные характеристики НМ СДГУ в сравнении с расчетными характеристиками СДГУ. Следует отметить, что при построении характеристик частота вращения вала НМ СДГУ пересчитывалась на скорость ветра с учетом конструктивных особенностей ветроагрегата (радиус ветроколеса):

$$V = \pi \cdot n / (30 \cdot R_{\text{вк}}), \quad (3.1)$$

где n – частота вращения вала СДГУ; $R_{\text{вк}}$ - радиус ветроколеса; V - скорость ветра.

Таблица 3.3 – Результаты измерений параметров НМ СДГУ

п/п	Наименование параметра	Размерн.	Соответствие схемам	Значение параметра		Отклонение эксперим. значений от расч., %
				Расчетное	Эксперимент.	
1	Сопротивление обмотки якоря подвозбудителя (R_2)	Ом	соответствует поз.2 рис..2.4, 2.6	0,95	0,94	1,1
2	Сопротивление основной обмотки возбуждения возбудителя (R_4)	Ом	соответствует поз.4 рис..2.4, 2.6	210	220	5,5
3	Сопротивление дополнительной обмотки возбуждения возбудителя (R_6)	Ом	соответствует поз.6 рис..2.4, 2.6	5,0	5,2	4
4	Сопротивление обмотки якоря возбудителя (R_7)	Ом	Соответствует поз.7 рис..2.4, 2.6	0,95	0,92	3
5	Сопротивление обмотки возбуждения основного генератора (R_9)	Ом	Соответствует поз. 9 рис..2.4, 2.6	120	130	8,3
6	Сопротивление обмотки якоря основного генератора (R_{10})	Ом	соответствует поз.10 рис..2.4, 2.6	112	118	5,5

Регулировочные характеристика $U_{\text{вых}}=\varphi(U_{\text{фэп}})$ при $V_{\text{ветр.}} = \text{var.}$ приведены на рис. 3.8–3.10 (представлены зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от скорости ветра и от напряжения на выходе ФЭП).

Из рис. 3.8–3.10 видно, что на величину выходного напряжения СДГУ (пропорционально ЭДС обмотки 10 якоря основного генератора, E_{10}) наибольшее влияние из входных параметров (скорости ветра и напряжение на выходе ФЭП) оказывает скорость ветра, так как ЭДС, индуцируемое в трехфазной обмотки 10 якоря основного генератора (рис. 2.1), зависит от входных параметров в следующей пропорции [11]: зависимости $U_{\text{вых}}=\varphi(V_{\text{ветр.}})$ при $U_{\text{фэп}} = \text{var.}$ приведены в приложении Ж; на рис. 3.11–3.13 приведены внешние характеристики $U_{\text{вых}}=\varphi(I_{\text{н}})$ при $U_{\text{фэп}} = \text{var.}$; на рис. 3.14–3.16 приведены внешние характеристики $U_{\text{вых}}=\varphi(I_{\text{н}})$ при $V_{\text{ветр.}} = \text{var.}$

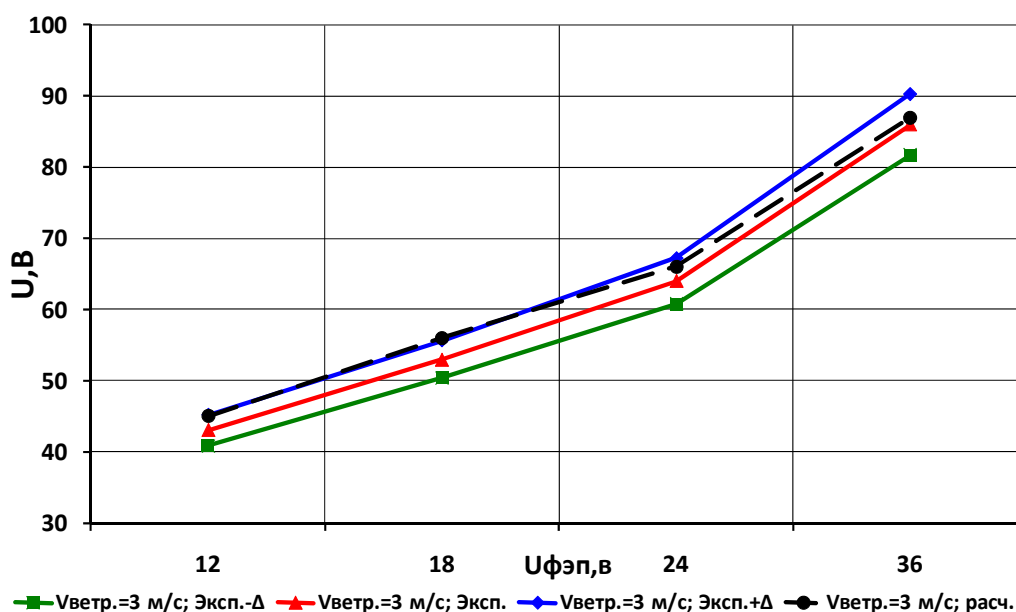


Рисунок 3.8 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от напряжения на выходе ФЭП при скорости ветра 3 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

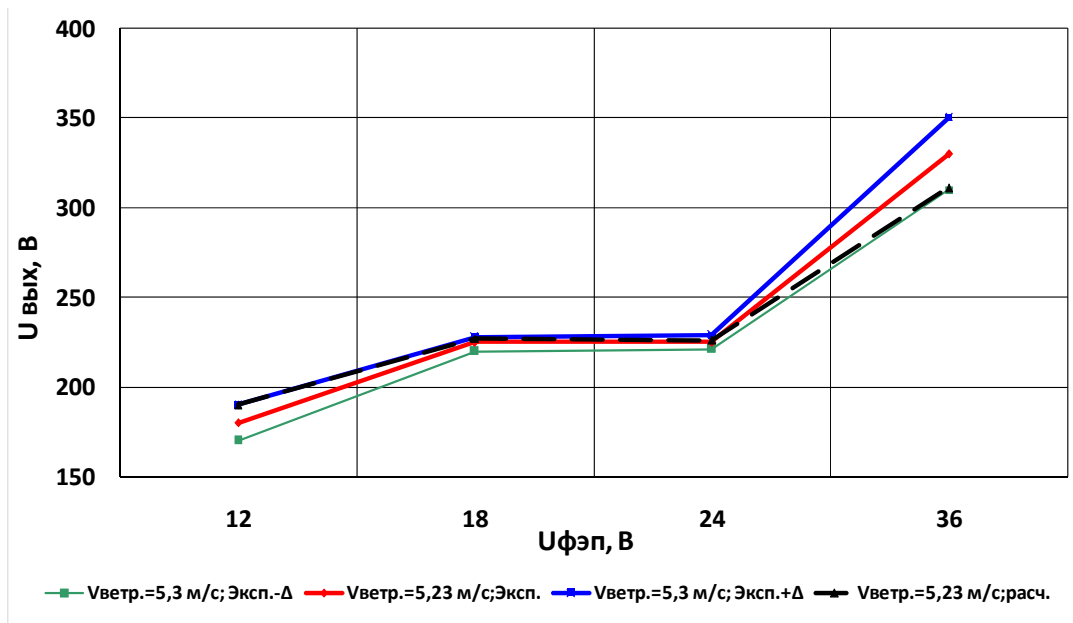


Рисунок 3.9 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от напряжения на выходе ФЭП при скорости ветра 5,23 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

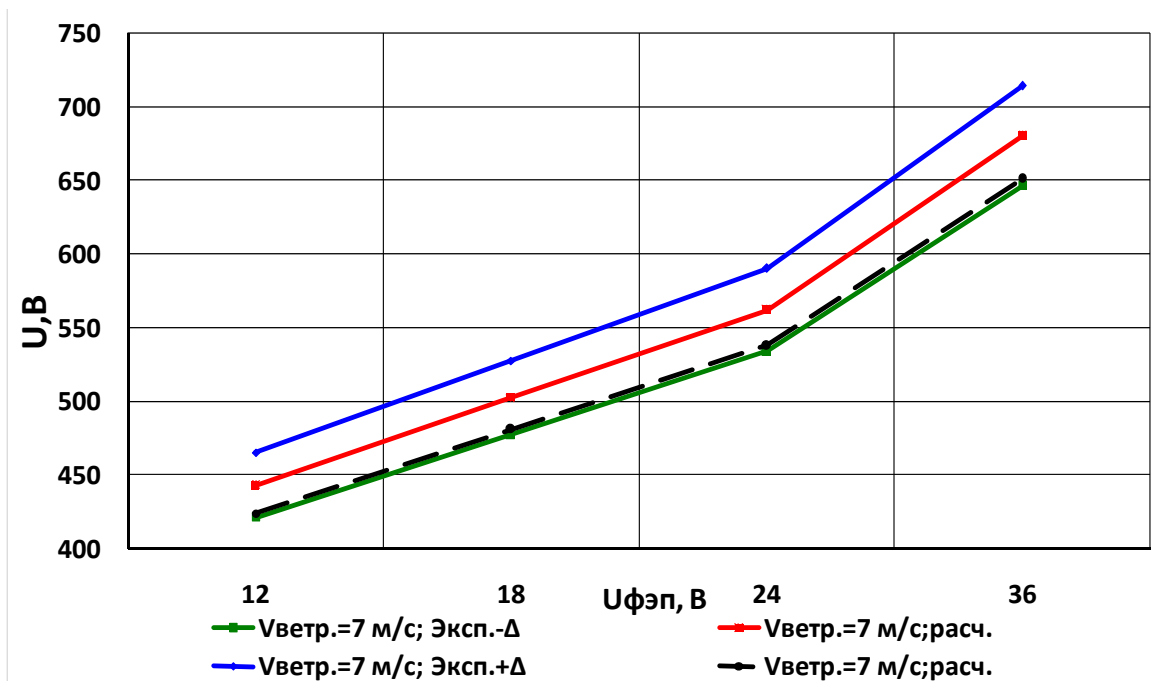


Рисунок 3.10 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от напряжения на выходе ФЭП при скорости ветра 7 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

На рис. 3.11-3.16 представлены внешние характеристики СДГУ при различных значениях напряжения на выходе ФЭП и скорости ветра, полу-

ченные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурной модели.

Из представленных графиков видна нелинейность этих характеристик, что объясняется реакцией якоря. Свойства реакции якоря в ДГУ – это:

- влияние магнитного поля, создаваемого многофазной обмоткой 2 якоря подвозбудителя (рис. 2.1), на магнитное поле, создаваемое постоянным многополюсным магнитом 1 индуктора подвозбудителя (рис.2.1);

- влияние магнитного поля, создаваемого многофазной обмоткой 7 якоря возбудителя (рис. 2.1), на магнитное поле, создаваемое однофазной обмоткой 4 возбуждения возбудителя (рис. 2.1 и дополнительной однофазной обмоткой 6 возбуждения возбудителя (рис. 2.1);

- влияние магнитного поля, создаваемого трехфазной обмоткой 10 якоря основного генератора (рис. 2.1, на магнитное поле, создаваемое однофазной обмоткой 9 возбуждения основного генератора (рис. 2.1).

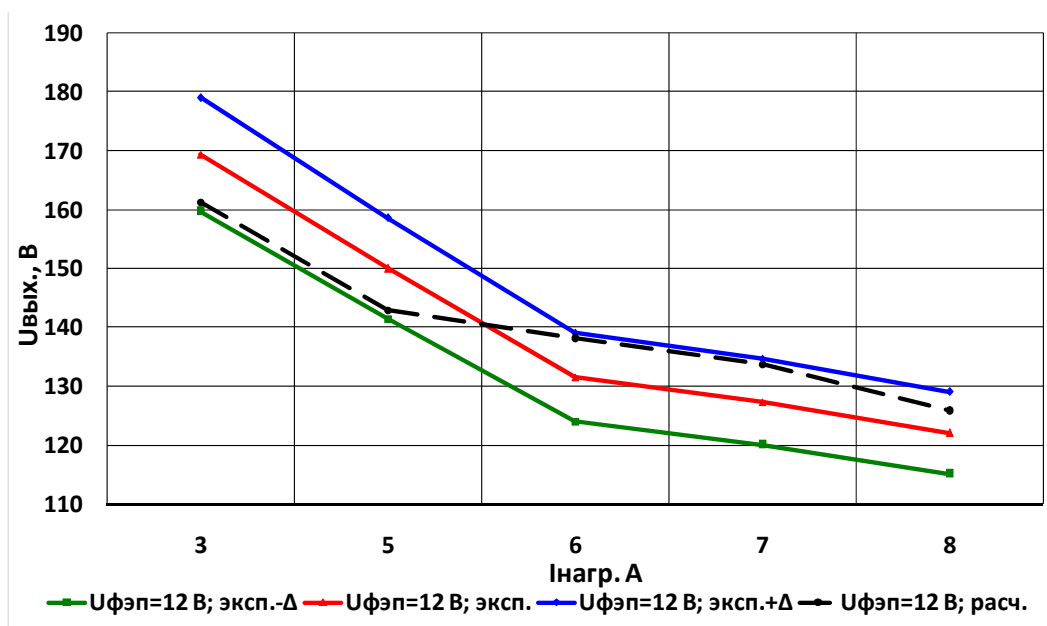


Рисунок 3.11 — Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при напряжении на выходе ФЭП 12 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

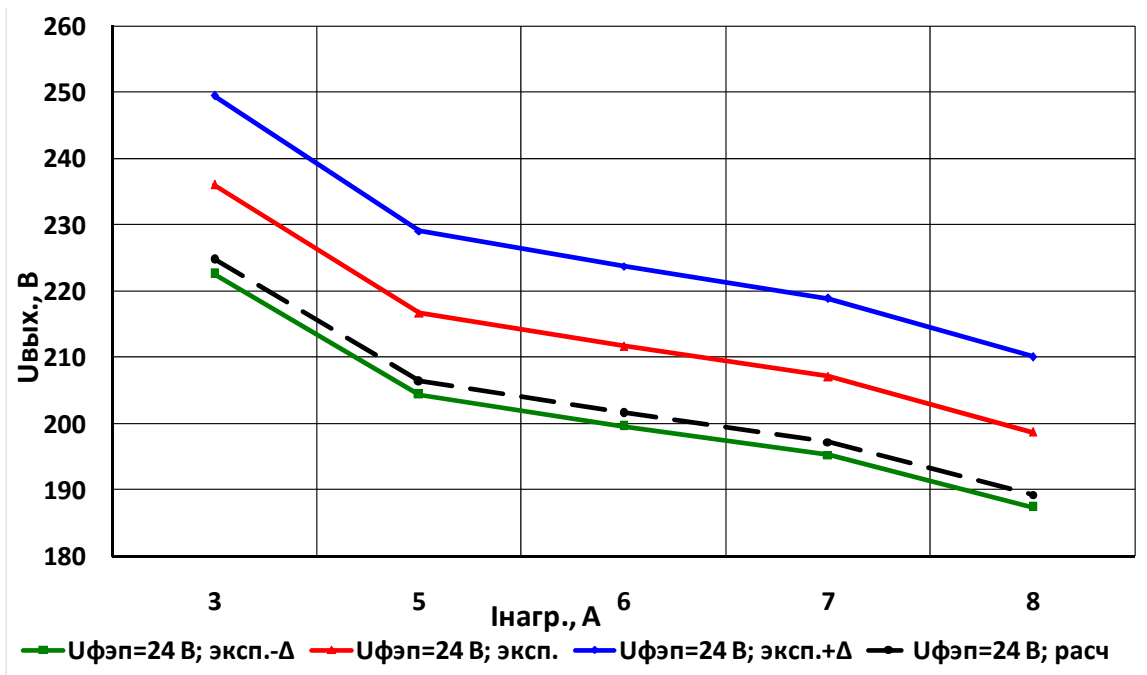


Рисунок 3.12 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при напряжении на выходе ФЭП 24 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

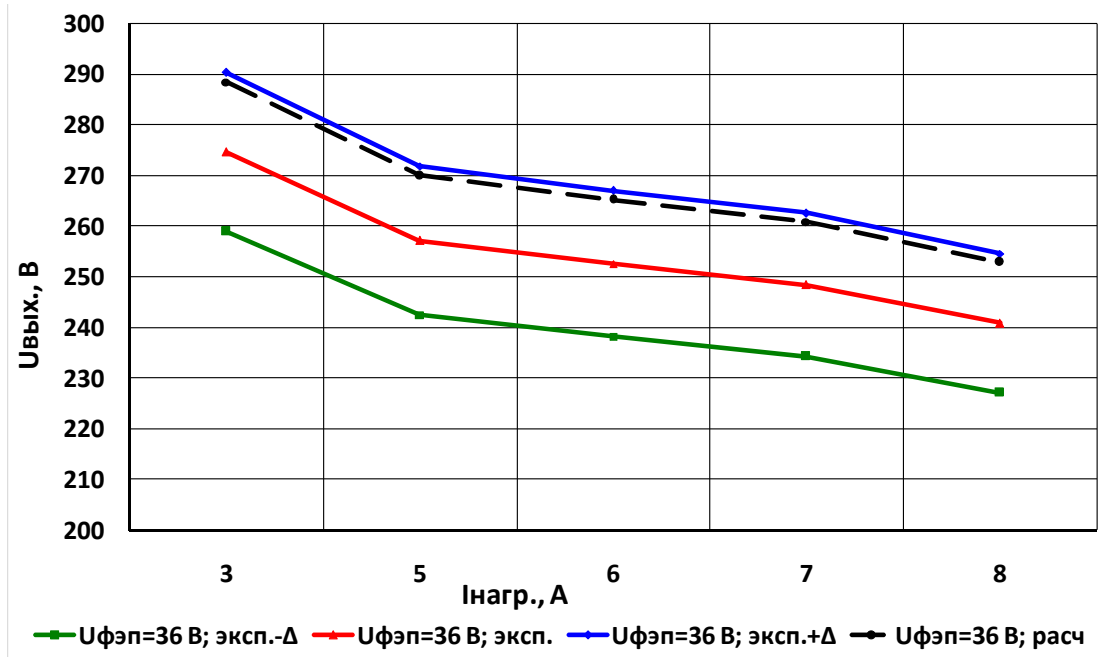


Рисунок 3.13 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при напряжении на выходе ФЭП 36 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

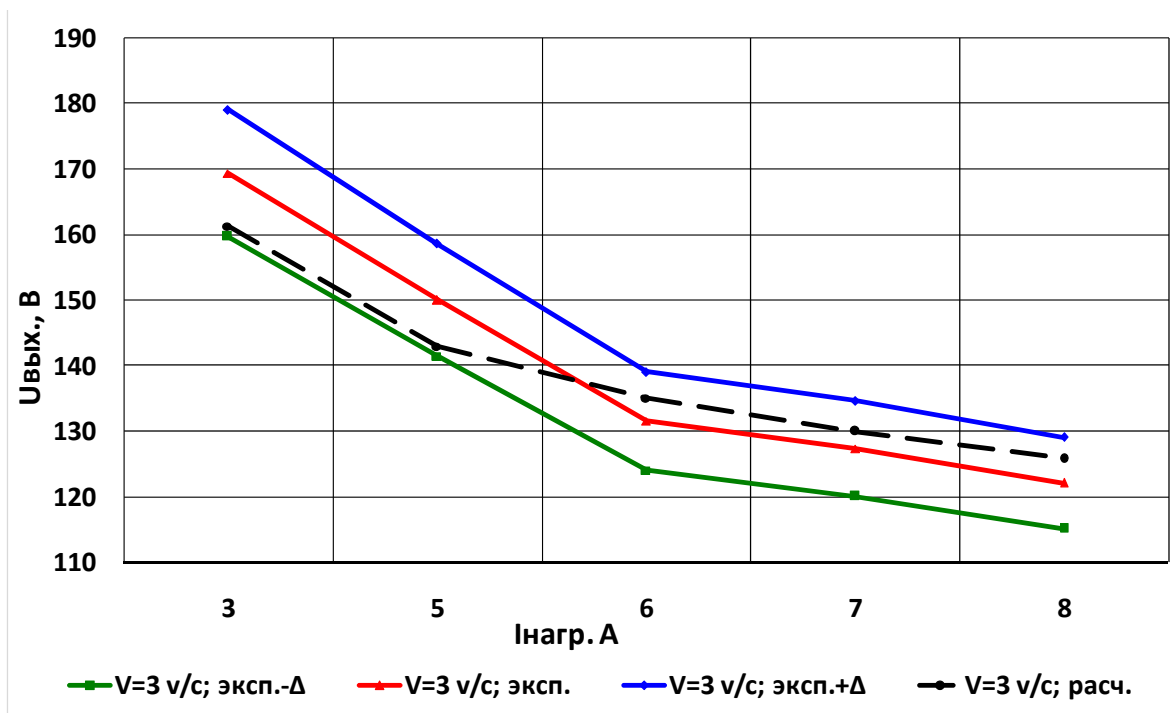


Рисунок 3.14 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при скорости ветра 3 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

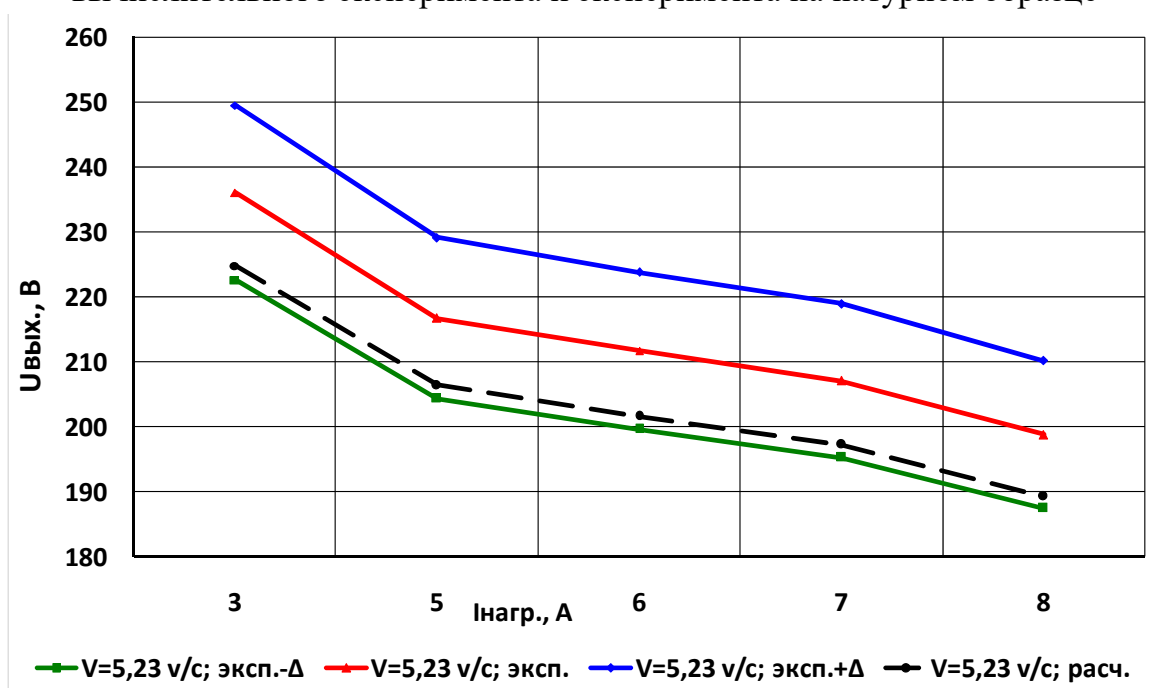


Рисунок 3.15 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при скорости ветра 5,23 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

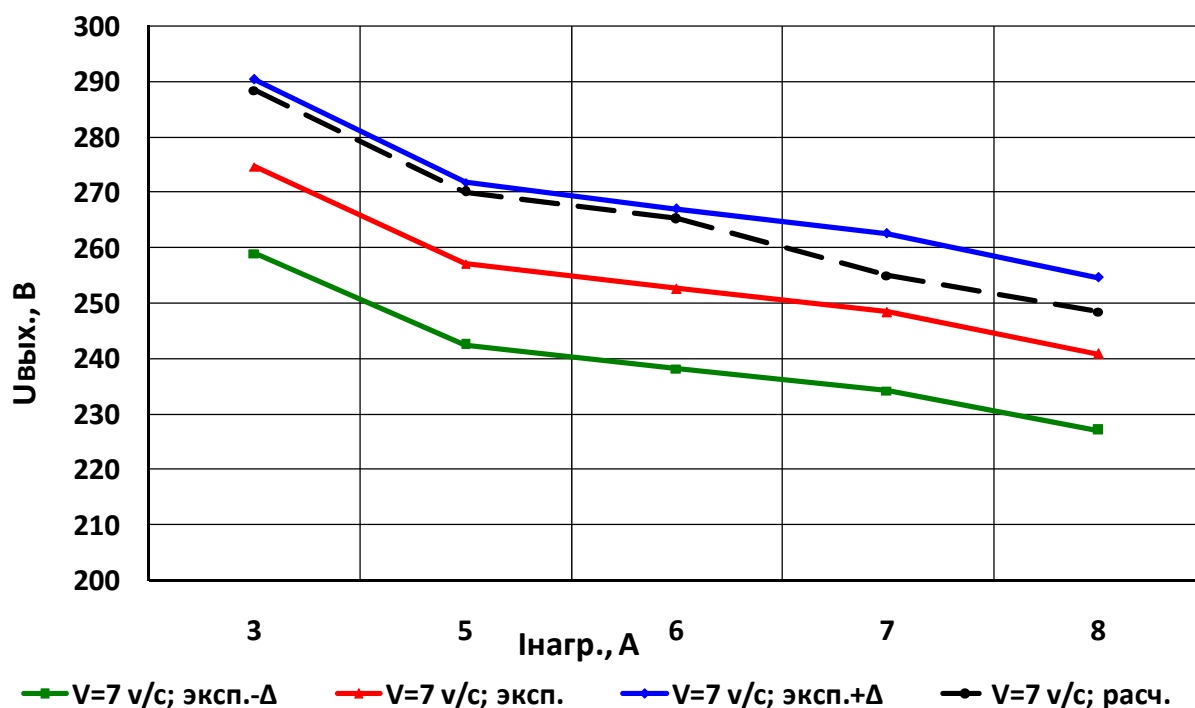


Рисунок 3.16 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от тока нагрузки при скорости ветра 7 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

В приложении Ж представлены характеристики СДГУ, которые подтверждают стабильность (в заданных пределах по ГОСТ 32144-2013) выходных параметров установки (величина выходного напряжения, частота выходного напряжения) при изменении внешних факторов (скорость ветра и интенсивность солнечного излучения – напряжение на зажимах ФЭП).

Адекватность математической модели и результатов математического эксперимента оценивалось с применением программного комплекса «Statistica». Фрагмент использования программного комплекса «Statistica» для определения расхождения результатов вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце приведен в приложении Д.

Результаты математического эксперимента сравнивались с результатами натурального эксперимента. Результаты натурального эксперимента тестировались с применением программного комплекса «Statistica».

Достоверность экспериментов проверялась при анализе зависимостей:

- $U=f(U_{\text{фэп}}, V_{\text{ветр.}}=\text{var};$
- $U=f(V_{\text{ветр.}}, U_{\text{фэп.}}=\text{var};$

- $U=f(I_{\text{нагр.}}), U_{\text{фэп.}}=\text{var};$
- $U=f(I_{\text{нагр.}}), V_{\text{ветр.}}=\text{var}.$

Результаты тестирования (приложение Д) показали, что значения точек графиков $U=f(U_{\text{фэп.}}), V_{\text{ветр.}}=\text{var}; U=f(V_{\text{ветр.}}), U_{\text{фэп.}}=\text{var}; U=f(I_{\text{нагр.}}), U_{\text{фэп.}}=\text{var}; U=f(I_{\text{нагр.}}), V_{\text{ветр.}}=\text{var}$ находятся в пределах допустимого интервала (отклонение 5%).

Графики, приведенные на рис. 3.8–3.16, построены совмещением в одних осях координат расчетной кривой (пунктирные линии черного цвета), экспериментальной кривой (сплошные линии красного цвета), экспериментальные кривые с отклонением $-\Delta$ (сплошные линии зеленого цвета), экспериментальные кривые с отклонением $+\Delta$ (сплошные линии красного синего цвета). Величины Δ получены из программного комплекса «Statistica» как допустимые отклонения искомой величины (экспериментальные кривые – сплошные линии красного цвета).

Как видно из рисунков расчетные кривые находятся в допустимом «коридоре» погрешности. Наложение графиков натурального эксперимента и математического эксперимента показывают, что отклонение результатов математического эксперимента от натурального находится в пределах 5%, что находится в пределах допустимых значениях [45, 67].

Таким образом, адекватность разработанной математической модели, результатов вычислительного эксперимента, методики и результатов расчета параметров СДГУ доказаны посредством физического эксперимента.

Выводы по главе 3

1. Проведены исследования СДГУ в различных режимах её работы, при которых экспериментально подтверждена работоспособность СДГУ, позволяющей поддерживать параметры выходного напряжения установки (амплитуду и частоту) при изменении входных параметров (скорость ветра изменя-

ется в диапазоне 3-9 м/с, интенсивность солнечного излучения – напряжение на зажимах ФЭП изменяется в диапазоне 12-36 В) в заданных пределах (отклонение амплитуды напряжения не более 4,5 %, отклонение частоты напряжения – не более 0,15 Гц), что соответствует ГОСТ 32144-2013.

2. Проверена адекватность математической модели: изменение сопротивлений обмотки якоря подвозбудителя и обмотки якоря возбудителя не оказывает влияние на величину выходного напряжения; изменение сопротивления основной обмотки возбуждения возбудителя в диапазоне ± 30 % приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 3,2 до 10,0 %; изменение сопротивления дополнительной обмотки возбуждения возбудителя в диапазоне ± 15 % приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 5,1 до 11,0 %; изменение сопротивления обмотки возбуждения основного генератора в диапазоне ± 15 % приводит к изменению величины выходного напряжения в диапазоне от 12 до 19 %.

3. Экспериментально определены и исследованы характеристики НМ СДГУ. Результаты исследований подтверждают правильность теоретических положений, математической модели СДГУ, методики расчета ее параметров, изложенных в гл. 2. Полученные экспериментально характеристики близки к расчетным, погрешность при этом составляет до 5%.

4. Получены характеристики СДГУ, которые позволяют учитывать влияние параметров СДГУ (активные сопротивления обмоток) и внешних факторов (скорость ветра и интенсивность солнечного излучения) на параметры выходного напряжения установки (амплитуда и частота выходного напряжения) для поддержания этих параметров в заданных пределах.

5. В ходе эксперимента доказано, что наибольшее влияние на величину выходного напряжения СДГУ оказывают величина скорости ветра и величина активного сопротивления обмотки возбуждения основного генератора, что подтверждается теорией электромеханического преобразования энергии), а также что величина выходного напряжения СДГУ пропорциональна скорости ветра в степени 2,5.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ ДВУХВХОДОВОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

4.1 Анализ ущерба от прерываний электроснабжения и возможности наращивания объемов производства

На сегодняшний день ВИЭ не могут конкурировать по стоимости с традиционными. Это справедливо в том случае, когда в распоряжении находится сеть трехфазного переменного тока неограниченной мощности и рост нагрузок предприятия не ограничивается. При необходимости подключения новых энергопотребителей капитальные вложения в инфраструктуру централизованного электроснабжения сопоставимы с вложениями в возобновляемую энергетику. Кроме того, учеными отмечалось необходимость эколого-экономической оценки проектов энергетики на базе ВИЭ [25, 91].

На предприятии для сушки лекарственных препаратов используются две лиофильные установки LYO-5 в которых производится лиофильная сушка разлитого во флаконы или ампулы исходного сырья. Важным моментом в процессе лиофилизации является соблюдения регламента сушки, в котором важную роль играет работа технологического оборудования, бесперебойное снабжение электроэнергией без скачков напряжения и отключения даже на короткое время, так как в этом случае вся продукция, находящаяся на лиофилизации, забраковывается, что ведет к значительным материальным потерям.

Для оценки экономической эффективности определим ущерб при отказах оборудования, связанных с недополучением прибыли из-за простоя оборудования или порчи продукции и может быть определен по формуле [60]:

$$Y = \sum_{j=1}^m t_{nj} y_j n_j \quad (4.1)$$

где t_{nj} – суммарное время простоя по j -му технологическому процессу, ч; y_j – удельная величина технологического ущерба по j -му процессу, руб/ч, n_j – количество препаратов.

Так в 2020 году в результате скачков и перерывов в подаче электроэнергии, привело к нарушению процессов сушки препаратов ветеринарного и медицинского назначения, что повлекло за собой брак препаратов Артрадол лиофилизат, вакцина против рожи свиней из штамма ВР-2, препарат Гепаретта. В процессе лиофильной сушки препарата Артрадол лиофилизат 100 мг используются две установки с загрузкой по 63000 ампул 2 мл каждая. Себестоимость 1 ампулы препарата – 5,05 руб.

Ущерб от нарушения процесса сушки в результате некачественного электроснабжения составил за год

$$U_a = 192 \cdot 0,52 \cdot 63000 = 636,6 \text{ тыс. руб.}$$

Для сушки вакцин применяются 5 сублимационны аппаратов мощностью по 35 кВт каждый, и 2 лиофильных мощностью по 90 кВт каждый. Итого суммарная установленная мощность 355 кВт. В процессе лиофильной сушки вакцины против рожи свиней из штамма ВР-2 используются две установки с загрузкой по 11340 флаконов 20 мл каждая. В одном флаконе 20 доз вакцины, в двух установках (11340 фл x 2 установки x 20 доз). Ущерб в результате некачественного электроснабжения

$$U_g = 192 \cdot 0,39 \cdot 453600 = 850,5 \text{ тыс. руб.}$$

В процессе лиофильной сушки препарата Гепаретта 400 мг, 5мл №5 используется две установки с загрузкой по 15750 ампул 10 мл каждая. Себестоимость 1 ампулы препарата – 39,22 руб. Ущерб от нарушения процесса сушки в результате некачественного электроснабжения

$$U_z = 192 \cdot 0,4 \cdot 15750 = 1235,4 \text{ тыс. руб.}$$

Общая сумма ущерба в результате некачественного электроснабжения за 2020 год составила

$$U = U_c + U_g + U_z = 636,6 + 850,5 + 1235,4 = 2722,2 \text{ тыс. руб.}$$

Превышение лимита потребляемой мощности может привести к увеличению стоимости электроэнергии в сотни раз по сравнению с базовым тарифом. Решением является использование установки для обеспечения беспере-

бойного электроснабжения ответственных потребителей в целях снижения дефицита электроэнергии при обеспечении потребностей биофабрики и для снижения технологического ущерба.

Есть несколько путей решения этой технической задачи: гибридная ветро-солнечная генераторная установка (ГВСУ); дизель-генераторная установка ДЭС ; разработанная СДГУ.

Расчет стоимости технических решений имеющихся на рынке, приведен в таблицах 4.1 и 4.2.

4.2 Расчет экономической эффективности применения ГВСУ, ДЭС и разработанной СДГУ

Для расчета стоимости используем средние цены оборудования [115], которое можно приобрести в свободном доступе на рынке на 2021 г. При расчете капиталовложения учтены затраты на строительные-монтажные работы (20 %) и транспортные расходы (10 %)

При использовании в солнечно-ветровой электростанции СДГУ, отпадает необходимость в части силовой электроники и части накопителей, что позволяет уменьшить капиталовложения. Расчет стоимости оборудования приведен в таблицах 4.1 и 4.2. Расчет монтажа не учитываем.

На рынке широко представлены комплексные решения ДЭС и гибридных ветро-солнечных установок, приведем в таблице 4.2 варианты для сравнения с СДГУ. Как отмечается в [51] несмотря на низкую стоимость ДЭС основные расходы сосредоточены на эксплуатационных затратах. Так как удельный расход дизельного топлива составляет 0,25 кг/кВт ч эта статья расходов является при использовании ДЭС как основного источника питания наиболее значительной. Кроме того, необходимо учесть – оплату специалистов для эксплуатации станции и технического обслуживания, затраты на текущий ремонт (1 %), расходы на плановый ремонт и доставку топлива.

Таблица 4.1 – Расчет стоимости СДГУ

Наименование	Кол-во, шт.	Стоимость единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
ФЭ Модуль ФСМ-300М 300 Вт	170	11890	2021300
Опорные конструкции для модулей ФЭМ НОР-GM1	17	55000	935000
Контейнер климатический	1	180000	180000
Система автоматического пожаротушения	1	24000	24000
аккумуляторы CHALLENGER G12-200	80	24367	1949360
Контроллер КЭС DOMINATOR MPPT 200/100	4	54800	219200
СДГУ	5	432000	2160000
Мачта 12 метров	5	78600	393000
Строительно-монтажные работы			1576372
Транспортные расходы			743693
Итого			9458232

Таблица 4.2 – Расчет стоимости оборудования ДЭС и гибридной ветро-солнечной установки

Наименование	Кол-во, шт.	Стоимость единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Дизельный генератор, ТСС АД-100С-Т400-1РKM11 в шумозащитном кожухе [111]. Мощность 100 кВт / 125 кВА, в том числе - Затраты на строительно-монтажные работы - Транспортные расходы	1	720068	936088 144013 72006
Гибридная ветро-солнечная установка [113], в том числе - Затраты на строительно-монтажные работы - Транспортные расходы	13	1086000	18353400 2823600 1411800

При предлагаемом электромеханическом способе преобразования и сложения мощностей разнородных ВИЭ преобразуются непосредственно в энергию трехфазного переменного тока. Это, с одной стороны, упрощает и удешевляет систему, с другой, остро встает вопрос о синхронизации ЭМПЭ преобразующего ВИЭ в электрическую с системой централизованного электроснабжения.

Расчет текущих затрат, связанных с эксплуатацией технических средств определяется по формуле [90]:

$$I_{\text{Э}} = 3\Pi + O_c + A + P + \text{Э}, \quad (4.2)$$

где 3Π – расходы на оплату труда обслуживающего персонала; O_c – отчисления на социальные нужды; A – амортизационные отчисления на реновацию основных средств; P – затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт; Э – затраты на потребляемые энергоресурсы.

Для эксплуатации станции ДЭС необходимо два специалиста со средней заработной платой 25000 рублей в месяц. Для послегарантийного обслуживания гибридных ветро-солнечных установок необходимо 160 000 рублей ежегодно т.е. 13400 в месяц.

В статье «Отчисления на социальные нужды» отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, фонда занятости от всех видов оплаты труда работников [90]:

$$O_c = \frac{k_c}{100} \cdot 3\Pi \quad (4.3)$$

где k_c – процент отчислений 30 %.

Затраты на амортизацию:

$$A = \frac{H_A}{100} \cdot K \quad (4.4)$$

где H_A – годовая норма амортизационных отчислений 10, %;

Затраты на техническое обслуживание и ремонт приняты в размере 1%.

Количество топлива для ДЭС за необходимый период времени возможно определить [51]

$$Q_T = G_T \cdot W_n \cdot T = 0,25 \cdot 1387 \cdot 185 = 64148 \text{ кг} \quad (4.5)$$

где G_T - удельный расход топлива (для большинства двигателей мощностью 10-100 кВт $G_T = 0,25$ кг/кВт·ч)

T – время работы ДЭС в течении года, д.

Количество энергии W_n за определенный период времени (24 ч) определим из графика нагрузки (рисунок 1.3) во время пиковых нагрузок и дефицита мощности сверх номинальной 700 кВт.

$$W_n = \int_0^t P_i dt \quad (4.6)$$

Для определения функции $y = P(t)$ аппроксимируем её средствами Excel (рис. 4.1.) и возьмем интеграл в границах [6,5; 16,5] ч. Из расчетов $W_n = 1387$ кВт·ч. Предварительные расчеты показывают, что использование ВИЭ мощностью свыше 100 кВт необходим в течении 7 часов, что ведёт к резкому снижению экономической эффективности, поэтому генерирующие установки рассчитаны на номинальную мощность 100 кВт, а нагрузку сверх номинальной распределяется в течении суток.

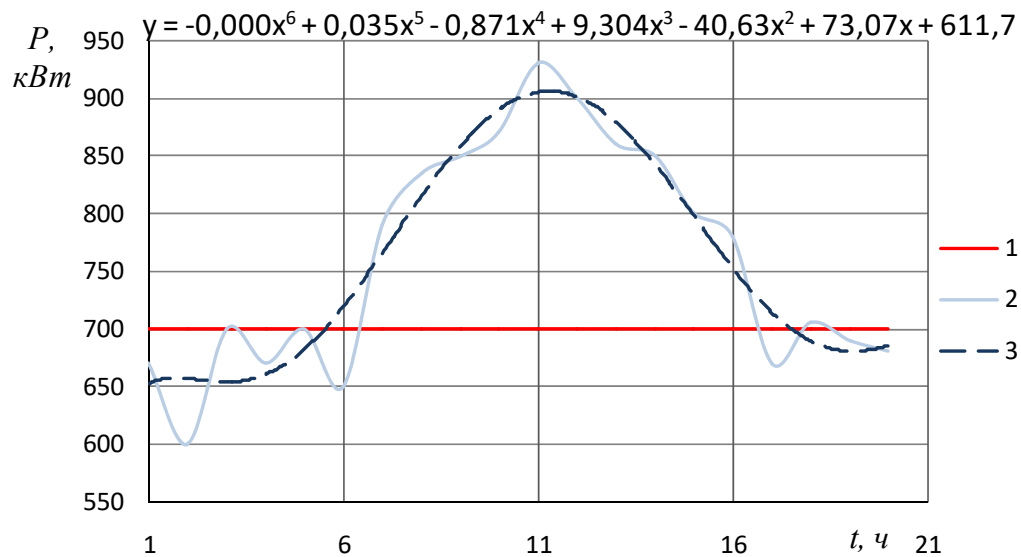


Рисунок 4.1 – Почасовой график потребления Армавирской биофабрики, $R^2 = 0,908$
(1-лимит мощности, 2 – необходимая мощность для производства вакцин, 3 – аппроксимация функции $y = P(t)$)

Затраты на топливо для ДЭС за год [51]:

$$\mathcal{E}_{дэс} = C_T \cdot Q_T, \quad (4.7)$$

где C_T – стоимость дизельного топлива 38,8, руб./л;

Кроме того, гибридной ветро-солнечную установку и СДГУ можно использовать не только для покрытия дефицита мощности, но и как дополнительный источник электроэнергии. Потенциал дополнительно выработанной электроэнергии возможно оценить как

$$W_n = T_2 \cdot (W - W_n) = 185 \cdot (2000 - 1387) = 113 \text{ тыс. кВтч} \quad (4.8)$$

где W – количество электроэнергии, выработанное ветро-солнечной установкой и СДГУ за день 2000, кВт·ч/день;

T_2 – время работы ГВСУ и СДГУ за год, д;

Затраты на энергоресурсы в этом случае будут отражены со знаком « \rightarrow » [51]:

$$-\mathcal{E}_w = C_w \cdot W_n \quad (4.9)$$

где C_w – действующий тариф на электроэнергию 4,8 для СН-II, руб./кВт·ч;

Доход D_t , получаемый в год будет определяться в виде снижения технологического ущерба U и от дополнительной генерации электроэнергии во время пиковых нагрузок и дефицита

$$D_t = U + C_w \cdot T \cdot W_n = 2722,2 + 4,8 \cdot 185 \cdot 1387 = 3954 \text{ тыс.руб} \quad (4.10)$$

Финансово-экономические расчеты выполнены при следующих условиях: расчетный период (горизонт расчета) $T = 5$ лет. Пример расчета приведен для варианта с применением СДГУ, остальные расчеты сведены в Приложение И. Величина ставки сравнения (E) складывается из трех составляющих [60]:

$$E = I + PP + P = 8 + 5 + 5 = 18 \%,$$

где E – ставка сравнения или коэффициент дисконтирования, I – темп инфляции (8 % в 2021 г.), PP – минимальная норма прибыли (5%), P – коэффициент, учитывающий степень риска (5 %).

Определим чистый дисконтированный доход за 5 лет эксплуатации при норме дисконта $E = 0,18$.

$$\begin{aligned} ЧДД = \sum_{i=1}^5 \frac{D_t - I_s}{(1+E)^t} - K &= \frac{3953 - 530}{(1+0,18)^1} + \frac{3953 - 530}{(1+0,18)^2} + \frac{3953 - 530}{(1+0,18)^3} + \\ &+ \frac{3953 - 530}{(1+0,18)^4} + \frac{3953 - 530}{(1+0,18)^5} - 9458 = 1246 \text{ тыс.руб} \end{aligned}$$

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций ИД (PI) показывает, во сколько раз увеличиваются вложенные собственные средства за расчетный период в сравнении с нормативным увеличением на уровне базовой ставки:

$$ИД = \frac{ЧДД}{K} + 1 = \frac{2209}{9458} + 1 = 1,13.$$

Так как ЧДД положителен, то следует такой проект принять к реализации. Определим срок окупаемости проекта. Дисконтированные доходы за два года составляет: 1-й – 2900 тыс. руб., 2-й – 2458 тыс. руб., 3-й – 2083 тыс. руб., 4-й – 1765 тыс. руб., 5-й – 1496 тыс. руб. а в сумме за 5 лет – 10704 тыс. руб., что превышает капитальные затраты в 9458 тыс. руб. Срок окупаемости проекта составит:

$$T_{ок} = 4 + (9458 - 9208) / 2072 = 4,16 \text{ года}$$

4.3 Выводы по главе 4

1. По техническим, экономическим и экологическим требованиям создание дополнительных генерирующих мощностей на базе ДЭС и ГВСЭС менее целесообразно, чем на основе разработанной ветро-солнечной электростанции СДГУ, о чем свидетельствует наибольший индекс доходности 1,13.

2. Стоимость инвестиций в создание генерирующих мощностей на базе ВИЭ можно значительно уменьшить за счет отказа от силовых преобразователей в системе и получить поступление денежных средств выраженный в

чистодисконтированном доходе 1246 тыс. рублей. Это возможно при электромеханическом способе сложения разнородных мощностей энергии ветра и Солнца с одновременным преобразованием их в энергию трехфазного переменного тока.

3. При необходимости подключения новых энергопотребителей капитальные вложения в инфраструктуру централизованного электроснабжения сопоставимы с вложениями в возобновляемую энергетику.

4. Определена экономическая эффективность внедрения СДГУ на биофабриках по производству ветеринарных препаратов: для устранения дефицита мощностей биофабрики возможно использовать как ДЭС так и СДГУ, но последний вариант обеспечивает больший годовой доход 3423 тыс. рублей что приводит к меньшему сроку окупаемости 4,16 года. При использовании ДЭС годовой доход резко снижается за счет высокой стоимости затрат на топливо и эксплуатацию установки и составляет 326 тыс.руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ источников и потребителей электроэнергии биофабрик по производству ветеринарных препаратов показал, что биофабрики имеют необходимость в наращивании объемов производства продукции и дефицит генерирующих мощностей, что приводит к экономическому ущербу порядка 2,5 млн. руб.

2. Разработана математическая модель синхронизированной двухвходовой генераторной установки (СДГУ) на базе дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные и электромеханические процессы в СДГУ, которая позволяет получить функциональные связи между динамическими характеристиками и параметрами СДГУ. Величина выходного напряжения СДГУ пропорциональна скорости ветра в степени 2,5.

3. Результаты математической модели показали необходимость применения синхронизатора напряжения для получения на выходе СДГУ синусоидального выходного напряжения и создания синхронизирующего момента. Диапазон изменения момента синхронизации составляет от 0,1 Нм до 5,8 Нм (при изменении скорости ветра от 0,3 м/с до 9 м/с). Величина мощности синхронизатора напряжения СДГУ должна составлять 0,525 кВт.

4. Разработана конструкция синхронизированной двухвходовой генераторной установки, позволяющей одновременно преобразовывать световую энергию Солнца и кинетическую энергию ветра с синхронизацией этой установки с трехфазной сетью центрального электроснабжения. Определены сопротивления обмоток СДГУ: сопротивление обмотки якоря подвозбудителя ($R_2 = 0,95 \text{ Ом}$), сопротивление основной обмотки возбуждения возбудителя ($R_4 = 210 \text{ Ом}$), сопротивление дополнительной обмотки возбуждения возбудителя ($R_6 = 5 \text{ Ом}$) сопротивление обмотки якоря возбудителя ($R_7 = 0,95 \text{ Ом}$), сопротивление обмотки возбуждения основного генератора ($R_9 = 120 \text{ Ом}$), сопротивление обмотки якоря основного генератора ($R_{10} = 112 \text{ Ом}$).

5. Экспериментально подтверждена работоспособность СДГУ, позволяющей поддерживать параметры выходного напряжения установки (амплитуду и частоту) при изменении входных параметров (скорость ветра изменяется в диапазоне 3 - 9 м/с, интенсивность солнечного излучения – напряжение на зажимах ФЭП изменяется в диапазоне 12-36 В) в заданных пределах (отклонение амплитуды напряжения не более 4,5 %, отклонение частоты напряжения – не более 0,15 Гц).

6. Получены внешние и регулировочные характеристики СДГУ, которые позволяют учитывать влияние параметров СДГУ (активные сопротивления обмоток) и внешних факторов (скорость ветра и интенсивность солнечного излучения) на параметры выходного напряжения установки (амплитуда и частота выходного напряжения) для поддержания этих параметров в заданных пределах. Полученные экспериментально характеристики близки к расчетным, погрешность при этом составляет до 5%.

7. Создание генерирующих мощностей на базе СДГУ позволят уменьшить стоимость инвестиций в создание генерирующих мощностей на базе ВИЭ за счет отказа от силовых преобразователей в системе и получить поступление денежных средств выраженный в чисто дисконтированном доходе 1246 тыс. рублей за 5 лет. Использование СДГУ для устранения дефицита мощностей биофабрики обеспечит снижение технологического ущерба, что приведет к годовому доходу в 3423 тыс. рублей, срок окупаемости 4,16 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амерханов, Р.А. Перспективы развития энергетики Краснодарского края при использовании возобновляемых источников энергии / Р.А. Амерханов, А.В. Богдан, В.А. Бутузов // Энергосбережение и водоподготовка. - 2005. - № 3. – С. 52-55.
2. Амерханов, Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / монография /А.Р. Амерханов. – М.: КолосС, 2003. — 532 с.
3. Безруких, П.П. Научно техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлении и использования возобновляемых источников энергии: дис. ... д-р., тех., наук: 05.14.08 / Безруких П. П.; Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. - М., 2003 – 268 с.
4. Белов, А.А. Электротехнический комплекс с фотоэлектрическими модулями и ступенчато-модулированным инвертором с улучшенными техническими характеристиками : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Белов А. А.; Кубанский государственный технологический университет. - Краснодар, 2016 – 266 с.
5. Богатырев, Н.И. Новые схемы генераторов для ветро- и гидроэлектростанций малой мощности / Н.И. Богатырев, Н.С. Баракин, Я.А. Ильченко и др.: материалы Междунар. агропромышл. конгресса. – СПб.: Ленэкспо., 2009. – С. 78.
6. Брянцева, Е.В. Исследования комбинированной системы теплоснабжения на основе геотермальной и солнечной энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08 / Брянцева Е. В.; «Кубанский государственный аграрный университет» - М., 2016 –107 с.
7. Бутузов, В.А. Анализ мирового рынка гелиоустановок / В.А. Бутузов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. - 2014. - № 2 (142). - С. 95-98.
8. Васильев, Ю.С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников : Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов. –Л. : Изд-во ЛГУ, 1991.– 343 с.
9. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов по напр. "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и "Электроэнергетика" / А.И. Вольдек, В.В. Попов. - СПб. : Питер, 2008. - 349 с.

10. Воронин, С.М. Формирование автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов на основе возобновляемых источников энергии : дис. ... канд., техн., наук: 05.20.02 / Воронин С. М. ; Государственная агроинженерная академия. – Зерноград, 2009. – 323 с.

11. Гайтов, Б. Х. К вопросу расчета синхронных электрических машин для ветро-солнечных генераторных установок / Б. Х. Гайтов, Я.М. Кашин, А. С. Князев, А. Я. Кашин , А. В. Самородов, Л. Е. Копелевич , М. С. Христофоров // Научный журнал «Наука Кубани». - 2018. - № 1. – С. 37-43

12. Гайтов, Б. Х. Методика исследования температурного поля двух-входовых электрических машин // Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова, С.П. Киселев, М.С. Христофоров // Сб. статей материалов I Междунар. научн.-практ. конф. «Булатовские чтения» 31 марта. - Краснодар 2017. - т. 5. - с. 30-37.

13. Гайтов, Б. Х. Перспективные резервные источники питания для агропромышленного комплекса на базе возобновляемых источников энергии / Б.Х. Гайтов, Самородов А.В., М.С. Христофоров // Матер. шестой Всеросс. научн. конф. «Энерго- и ресурсосберегающие технологии и установки» «ВРНК-20» 19-21.11.2020. - Краснодар. - 2020. - С. 14-16.

14. Гайтов, Б.Х. Анализ вопросов электроснабжения предприятий АПК на примере федерального казенного предприятия «Армавирская биофабрика» / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е., Копелевич, А.В. Самородов, М.С. Христофоров // Научный журнал «Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки». - 2019. - Вып. 4 (251). – С. 91-98.

15. Гайтов, Б.Х. Нетрадиционные электромеханические преобразователи энергии в системе автономного электроснабжения / Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Изв. вузов. Электромеханика, 2008. - № 1. - С. 21-28.

16. Гайтов, Б.Х. О целесообразности использования двухмерных электрических машин в системах автономного электроснабжения : Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.С. Князев, А.Я. Кашин // Технические и технологические системы: материалы VII международной научной конференции (Краснодар, 07-09 октября 2015 г.) – Краснодар: филиал ВУНЦ ВВС «ВВА» – 2015. – С. 8-11.

17. Гайтов, Б.Х. Разработка и основы теории двухмерных электрических машин для систем автономного электроснабжения / Б.Х. Гайтов, Т.Б. Гайтова, С.Р. Шарифуллин, А.В. Самородов //Изв. вузов. Электромеханика, 1999. - № 4.- С. 16.

18. Гайтов, Б.Х. Регулировочные характеристики ветро-солнечного генератора для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли/ Б.Х.

Гайтов, К.З. Артеян, М.С. Христофоров, А.А. Шаршак // Сб. статей второй межд. науч.-практ. конф. «Булатовские чтения» . - Краснодар 2018. - т. 6. - С. 131-133.

19. Гайтов, Б.Х. Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка и результаты ее математического моделирования / Б.Х. Гайтов, М. С. Христофоров // Матер. X Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19» 7-9 февраля. - г. Краснодар 2019. - С. 62-67.

20. Гайтов, Б.Х. Создание перспективных систем автономного энергоснабжения объектов на базе принципиально новых электромеханических преобразователей энергии повышенной надежности / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, Н.В. Ладенко, Р.А.Пахомов, А.В. Самородов // отчет о НИР № 13-08-96515/14 от 08.10.2014 (РФФИ и Администрация Краснодарского края).

21. Гайтова, Т.Б. Математическое моделирование перспективных генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Т.Б. Гайтова, Я.М.Кашин, Л.Е. Копелевич, А.Я. Кашин, А.С.Князев // Изв. вузов. Электромеханика, 2013. - №3. - С. 16-23.

22. Гайтова, Т.Б. Нетрадиционные электротехнические комплексы : монография / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин. - Краснодар: КВАИ, 2004. – 403 с.

23. Гайтова, Т.Б. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств / Т.Б. Гайтова, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, Ю.П. Ясьян // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2011. - № 33. - С. 205-209.

24. Гайтова, Т.Б. Электромеханические преобразователи и системы для нетрадиционной энергетики : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03: / Гайтова Т.Б.; Кубанский государственный технологический университет. - Краснодар, 1997. – 161 с.

25. Гречухина, И.А. Экономические механизмы развития возобновляемой энергетики: дис. ... к-т., эконом., наук : 08.00.05: / Гречухина И. А. ; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. – М., 2016. – 193 с.

26. Григораш, О.В. Инверторы солнечных электростанций с улучшенными техническими характеристиками / Григораш О.В., Усков А.Е., Семёнов Я.А. //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Элек-тронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. № 99. IDA [article ID]: 21695009 – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/06.pdf>.

27. Двигатели серии Wmaget : сайт. – URL: https://www.szemo.ru/elektrodivigateli/sinkhronnye-elektrodivigateli/napostoyannykh-magnitakh/1001_6_1_5_ie4/ (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный.

28. Жогалев, А.П. Роторная ветроэнергетическая установка для автономного электроснабжения рассредоточенных сельскохозяйственных объектов (для условий Ростовской области) : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Жогалев А. П.; Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия - Зерноград, 2004 – 166 с.

29. Иванов-Смоленский, А.В. Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование / А.В. Иванов-Смоленский. - М.: Энергия, 1969. - 304 с.

30. Инкин, А.И. Электромагнитные поля и параметры электрических машин : учебное пособие /А.И. Инкин. – Новосибирск: Изд-во ЮКЕА, 2002. – 464 с.

31. Карташев, А.П. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления: А.П. Карташев, Б.Л. Рождественский. - М., Наука, 1980. - 288 с.

32. Кашин, Я.М. Конструкции перспективных аксиальных генераторов и генераторных установок для систем автономного электроснабжения объектов добычи нефти / Я.М. Кашин, А.В., Самородов, В.В. Шкода, М.С. Христофоров, М.А. Вострикова // Вестник Российской академии естественных наук. - 2017. Т.5. - С. 100-105.

33. Кашин, Я.М. Математическое моделирование электротехнического комплекса, преобразующего энергии ветра и Солнца / Я.М. Кашин, А. С. Князев, Л. Е. Копелевич , А. В. Самородов, М. С. Христофоров // Энергосбережение и водоподготовка. - 2018. - № 6 (116) . - С. 27-32

34. Кашин, Я.М. Экспериментальные исследования двухвходовой генераторной установки / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким, И.А. Горбунов, М.С. Христофоров // Электронный политематический журнал «Научные труды КубГТУ» . - № 1. - С. 143-155.

35. Кашин, Я.М. Ветросолнечная двухвходовая генераторная установка / Я.М. Кашин, А.М. Квон, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов , М.С. Христофоров // «Сельский механизатор». - 2019. - № 7. – С. 32-34.

36. Кашин, Я.М. Использование двухвходовой генераторной установки для преобразования энергии ветра и Солнца с целью электроснабжения локальных маломощных объектов нефтегазовой отрасли / Я.М. Кашин, В.А. Ким, М.С. Христофоров, А.А. Шаршак // Сб. статей второй межд. науч.-практ. конф. «Булатовские чтения». - Краснодар 2018. - т. 6. - С. 197-201.

37. Кашин, Я.М. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения / Я.М. Кашин, А.Я.Кашин, Д.В. Пауков // Изв. вузов. Электромеханика, 2012.№ 1. - С 46-53.

38. Кашин, Я.М. Результаты исследования эквивалентных радиальных и аксиальных синхронных генераторов с обмоткой возбуждения / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, М.С. Христофоров // «Энергосбережение и водоподготовка». - 2017. – № 5 (109) . - С. 47-52.

39. Кашин, Я.М. Способы сложения энергии в двухвходовых электрических машинах / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Самородов, Р.С. Кравец // Технические и технологические системы: материалы VII международной научной конференции (Краснодар, 07-09 октября 2015 г.) – Краснодар: КВВАУЛ им. А.К. Серова. – 2015. - С.5-8.

40. Кашин, Я.М. Структура электротехнического комплекса на базе синхронизированной аксиальной двухвходовой генераторной установки / Кашин Я.М., Христофоров М. С., Войнов А.В. // Я.М. Кашин, М. С. Христофоров, А.В. Войнов // Матер. X Между-нар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19» 7-9 февраля. – Краснодар 2019. - С. 25-28.

41. Кашин, Я.М. Характеристики синхронизированной двухвходовой генераторной установки / / Я.М. Кашин, А.М. Квон, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, М.С. Христофоров // «Сельский механизатор» . - 2019. - № 8. – С. 34-35.

42. Кашин, Я.М. Электротехнический комплекс на базе синхронизированной аксиальной двухвходовой генераторной установки – эффективное средство использования возобновляемых источников энергии и повышения надежности электроснабжения объектов / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, М. С. Христофоров // «Электропитание». - 2018. - № 3. – С. 46-57.

43. Ким, В.А. Обеспечение энергетической безопасности сепараторного цеха биологического производства / В.А. Ким, Я.М. Кашин, М.С. Христофоров // Всероссийская научная конференция Наука, технологии, общество – НТО 2021.- Красноярск 2021.- С. 53-58.

44. Копылов, И.П. Математическое моделирование асинхронных машин : И.П. Копылов, Ф.А. Мамедов, В.Я. Беспалов.- М.: Энергия, 1969. - 95 с.

45. Копылов, И.П. Применение вычислительной техники в инженерно-экономических расчетах (электрические машины): И.П. Копылов. - М.: Энергия 1980. - 256 с.

46. Копылов, И.П. Расчет на ЦВМ характеристик асинхронных машин : И.П. Копылов, О.П. Щедрин.- М.: Энергия, 1973. - 121 с.

47. Корчагин П.Т. Электроснабжение удаленных сельскохозяйственных потребителей по однопроводной сети 10 кВ : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Корчагин П. Т.; Донской государственный аграрный университет - Черноград 2016 – 204 с.
48. Котеленец, Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин : Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов. - М.: Академия, 2003 – 384 с.
49. Кривцов, В.С. Неисчерпаемая энергия: Книга 1. Ветроэлектрогенераторы : В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. - Севастополь: Севастопольский национальный технический университет, 2003. – 400 с.
50. Крон Г. Применение тензорного анализа в электромеханике : Г. Крон. - М.: Госэнергоиздат, 1956. - 248 с.
51. Лукутин, Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие / Б.В.Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. -Томск: Томский политехнический университет, 2015.- 128 с.
52. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия : ГОСТ 2582-2013. - введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 56 с.
53. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний : ГОСТ Р 53472-2009.- введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 46 с.
54. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики : ГОСТ Р 52776-2007(МЭК 60034-1-2004). - введ. 2008-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008.
55. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний (с Изменениями N 1, 2) : ГОСТ 11828-86. - введ. 1987-06-30. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 32 с.
56. Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин : ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012. - введ. 2012-11-23. – М.: Стандартинформ, 2014. – 87 с.
57. Никитенко, Г.В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения: монография /Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь АГРУС, 2008 – С. 152
58. Никитенко, Г.В. Научно обоснованные рекомендации по применению ветроэнергетической установки с асинхронным генератором для автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей мощностью до 5 кВт: методические рекомендации / Г.В. Никитенко, И.В. Атанов,

Е.В. Коноплев, В.Н. Авдеева; Ставропольский государственный аграрный университет.- Ставрополь, 2013. – 36 с.

59. О модернизации российской электроэнергетики до 2020 года.: мат. выступления Министра энергетики РФ А.В. Новака на совещании у Председателя Правительства РФ Д.А. Медведева 27 сентября 2012 г. // Минэнерго России. 2012: сайт. – URL: <http://www.minenergo.gov.ru/8> (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный.

60. Оськин, С.В., Экономическое обоснование организационно-технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах : учеб. пособие / С.В. Оськин, В.Я. Хорольский, О.А. Гончарова, А.И. Вандтке - Краснодар: Изд-во КГАУ, 2008.- 108 с.

61. Пат. RU №2349014, МПК H02K 16/00, H02K 47/02, H02K 51/00, Двухмерная аксиальная электрическая машина-генератор. [Текст] / А.В. Самородов, Т.Б. Гайтова, Л.Е. Копелевич (РФ) – № 2007124844/09; Заявл. 02.07.2007; Оpubл. 10.03.2009; Бюл. № 7– 4 с.

62. Пат. RU №2450411, МПК H02K 19/38, H02K 21/12, Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор. [Текст]/ Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин, Д.В. Пауков, А.В. Голощапов (РФ) – № 2011101117/07 ; Заявл. 12.01.2011; Оpubл. 10.05.2012; Бюл. № 13 – 6 с.

63. Пат. RU №2561504, МПК H02K 19/38, H02K 21/00, Аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор. [Текст]/ Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов (РФ) – № 2014124436/07; Заявл. 16.06.2014; Оpubл. 27.08.2015; Бюл. № 24 – 6 с.

64. Пат. RU №2585222, МПК H02K 19/38, H02K 19/00, H02K 21/12. Радиально-аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор. [Текст]: Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев (РФ) - №2015103506/07; заявл. 03.02.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.

65. Пат. RU №2647708, МПК H02K 19/38, H02K 19/34, F03D 9/00, Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка. [Текст] / М.С. Христофоров, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов (РФ) – № 2017113229; Заявл. 17.04.2017; Оpubл. 19.03.2018; Бюл. № 8 – 16 с.

66. Пат. RU №2655379, МПК H02K 19/38, H02K 16/00, H02K 7/18, H02K 21/38, Синхронизированный аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор. [Текст] / М.С. Христофоров, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов (РФ) – № 2017113228; Заявл. 17.04.2017; Оpubл. 28.05.2018; Бюл. № 16 – 16 с.

67. Пененко, В.В. Математические методы планирования эксперимента : В.В. Пененко. - Новосибирск: Наука, 1981. - 256 с.
68. Плакиткин, Ю.А. Закономерности развития мировой энергетики и их влияние на энергетику России : Ю.А. Плакиткин. - Москва: Энергия, 2006.
69. Плакиткин, Ю.А. Новый технологический трек мировой экономики и его влияние на вектор развития мировой энергетики : Ю.А. Плакиткин // Тенденции и перспективы развития: Ежегодник ИНИОН РАН. -2011. - Т.1. - № 6.
70. Потешин, М.И. Рациональные режимы работы электрооборудования микро гидроэлектростанций на шлюзах мелиоративных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Потешин М. И.; Кубанский государственный аграрный университет - Краснодар, 2013. – 161 с.
71. Пронь, В.В. Повышение надежности трансформаторных подстанций сельских электрических сетей, эксплуатирующихся сверх нормативного срока: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Пронь В. В.; Кубанский государственный аграрный университет – Краснодар, 2017 – 173 с.
72. Самородов, А.В. Способы синхронизации ветро-солнечного генератора/ А.В. Самородов, Я.М. Кашин, М.С. Христофоров // Матер. IX Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-17» 22-24 ноября. - Краснодар 2017. - С. 63-72.
73. Самородов, А.В. Способы синхронизации ветро-солнечных генераторов для электроснабжения локальных объектов нефтегазовой отрасли / А.В. Самородов, В.А. Ким, М.С. Христофоров // Сб. статей второй межд. науч.-практ. конф. «Булатовские чтения». - Краснодар 2018. - т. 6. - С. 233-235.
74. Самородов, А.В. Перспективные преобразователи для возобновляемой энергетики / А.В. Самородов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2014. - № 4-2 (23). - С. 59-60.
75. Самородов, А.В. Разработка системы автономного электроснабжения на базе двухмерной электрической машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03/ Самородов А. В.; - Краснодар, 2002 – 149 с.
76. Самородов, А.В. Расчет синхронного генератора с постоянными магнитами для ветроэнергетической установки / А.В. Самородов, М.С. Христофоров, Д.О. Умрихин, А.А. Шаршак // Матер. IX Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-17» 22-24 ноября. – Краснодар 2017. - С. 72-76.
77. Сипайлов, Г.А. Математическое моделирование электрических машин: Г.А. Сипайлов, А.В. Лоос. - М.: Высш. школа, 1980. - 176 с.

78. Степанчук, Г.В. Использование низкокачественной электроэнергии ветроэлектростанции с двухроторным генератором/ Г.В. Степанчук, К.С. Моренко // Инновации в сельском хозяйстве. - 2013. - № 1 (3). - С. 63-65.
79. Стрижков, И.Г. Лабораторный практикум по электрическим машинам: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений по специальности «Электрификация и автоматизация с.х.» / И.Г. Стрижков, Е.Н. Чеснюк. - Краснодар: КубГАУ, 2006.- 296 с.
80. Усков, А.Е. Автономный инвертор, повышающий эксплуатационные характеристики солнечных электростанций АПК: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Усков А. Е. ; Кубанский государственный аграрный университет - Краснодар 2014 – 114 с.
81. Флетчер, К. Численные методы на основе метода Галеркина : К. Флетчер. - М.: Мир, 1988. - 325 с.
82. Форсайт, Дж. Машинные методы математических вычислений : Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. - М.: Мир, 1980. - 279 с.
83. Христофоров, М.С. Анализ конструкций преобразователей световой энергии солнца и кинетической энергии ветра в электроэнергию / Матер. IX Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-17» 22-24 ноября. - Краснодар 2017. - С. 11-17.
84. Христофоров, М.С. Перспективная конструкция бесконтактного ветро-солнечного генератора / М.С. Христофоров, К.С. Христофорова // Сб. статей второй межд. науч.-практ. конф. «Булатовские чтения». - Краснодар 2018. - т. 6.- С. 246-247.
85. Христофоров, М.С. Перспективы применения ветро-солнечных установок в Краснодарском крае / Матер. X Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19» 7-9 февраля. - Краснодар 2019. - С. 28-32.
86. Христофоров, М.С. Перспективы применения ветро-солнечных установок для снижения ущерба от перерывов в электроснабжении на Армавирской биофабрике / Матер. X Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-19» 7-9 февраля. - Краснодар 2019. - С. 71-74.
87. Христофоров, М.С. Характеристики электротехнического комплекса на базе ветро-солнечного генератора / Л.Е. Копелевич, М.С. Христофоров, В.А. Ким // Матер. IX Междунар. научн. конф. «Технические и технологические системы ТТС-17» 22-24 ноября. - Краснодар 2017. - С. 35-39.
88. Цыганов, В.В. Формирование автономной комбинированной системы электроснабжения сельских объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ Цыганов В.В.. ; Азово-Черноморский государственная инженерный институт - Зерноград 2018 -133 с.

89. Черкасова, Н.И. Основы управления техногенными рисками и эффективностью функционирования систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей : дис. ... д-р., тех., наук: 05.20.02 / Черкасова Н. И. ; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова - Барнаул , 2017. - 402с.

90. Шибанихин, Е. А. Экономическая оценка инвестиций : учеб. пособие / Е. А. Шибанихин, Ю. И. Арутюнян. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 123 с. - ISBN 978-5-00097-976-1

91. Шуткин, О.И. Эколого-экономическая оценка конкурентоспособности проектов солнечной энергетики в российской федерации: дис. ... к-т., эконом., наук: 08.00.05 / Шуткин О. И.; Государственный университет управления – М., 2014.- 171 с.

92. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р: Минэнерго России // Минэнерго России.: сайт. – URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostategy/>. (дата обращения 26.11.18)

93. Юдаев, И.В. Опыт использования ВИЭ на сельских территориях и в рекреационных зонах в регионах ЮФО // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 1 (29). С. 82-92.

94. Aubrée, R. Design of an efficient small wind-energy conversion system with an adaptive sensor less MPPT strategy / Auger, F., Macé, M., Loron, L. // Renewable Energy, 2016. – 86. - pp. 280-291.

95. Bunyakin A.V. System of thermal energy accumulation in a soil layer in a combination with wind energy // <http://dx.doi.org/10.1201/b15002-78> / Green Design, Materials and Manufacturing Processes <http://sim.ipleiria.pt/proceedings/> CRC Press 2013 (Pages № 405 – 410)

96. Chinchilla, M. Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid / Arnaltes, S., Burgos, J.C. // IEEE Transactions on Energy Conversion , 2006. - 21 (1). - pp. 130-135.

97. Gaitov, B.K. Experimental characterization of synchronized axial two-input generator set / B.K. Gaitov, Ya.M. Kashin, M.S. Kjrjstodorov // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. - 2019. - pp. 8742973.

98. Gajtov, B. Kh. Design Development and mathematical Simulation of axial induction voltage Regulators used for automatic control Systems/ B. Kh. Gajtov, Ya. M. Kashin, S.V. Bozhko, I.P. Ryabchun // Электротехника, 2004. - № 1. - С. 60-64.

99. Hands, S. Performance analysis & energy benefits of a desiccant based solar assisted trigeneration system in a building / Sethuvenkatraman, S., Peristy, M., Rowe, D., White, S. // *Renewable Energy*, 2016. – 85. - pp. 865-879.
100. Kamjoo, A. Multi-objective design under uncertainties of hybrid renewable energy system using NSGA-II and chance constrained programming. / Maheri, A., Dizqah, A.M., Putrus, G.A. // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2016. – 74 - pp. 187-194.
101. Kashin, Y.M. Promising converters of wind and solar energy into electric energy for electromechanical complexes / Y.M. Kashin, A.V. Samorodov, M.S. Khristoforov et. al. // *Proceedings of the international conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" (AIME 2018)*.-2018.- V.157. - pp. 255-261.
102. Kashin, Y.M. Advanced Axial Pumps for Oil Industry. / Y.M. Kashin, A.V. Samorodov, B.K. Gaytov et. al. // *AER-Advances in Engineering Research, International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME) - 2017*. – V.133. - pp. 305-311.
103. Kashin, Y.M. The correlation of parameters and characteristics of the axial two-input electric machine-generator. / Ya.M. Kashin, A.V. Samorodov, M.S. Khristoforov et. al./ *IPDME 2018 - Materials Science and Processing of Materials. Issue 5. Ser. "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science"*. - 2018. - pp. 052010.
104. Kheshti, M. Modeling and fault analysis of doubly fed induction generators for gansu wind farm application / Kang, X., Song, G., Jiao, Z. // *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2015. - 38 (1) - 7072632. - pp. 52-64.
105. Kopelevich, L.E. Wind-solar generator. / L.E. Kopelevich, B.K. Gaytov, A.Y. Kashin et. al./ *AER-Advances in Engineering Research // International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME) – 2017*. – V.133. – pp. 343-349.
106. Ran, X.A. Framework for uncertainty quantification and economic dispatch model with wind-solar energy / Miao, S., Jiang, Z., Xu, H. // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2015. – 73. - pp. 23-33.
107. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009г. №1 -р:сайт.–URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/ (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный.
108. Сайт. – URL: <http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/yug/krasnodarskij-kraj> (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный
109. Сайт. – URL: <http://www.wind-pgc.com/branches/beregovaja.html>. (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный дата обращения 26.11.17.

110. Сайт. – URL: https://220-on.ru/catalog/solnechnye_moduli/ (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный
111. Сайт. – URL: <https://dizelnye-generatory.com/dizelnye-generatory/filter/vendor-is-serii-ad/> (дата обращения 26.11.21)– Текст: электронный.
112. Сайт. – URL: <https://invertory.ru/category/solnechnye-batarei/> (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный
113. Сайт. – URL: <https://svet-gorod.ru/p150689310-gibridnaya-ventro-solnechnaya.html> (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный
114. Сайт. –URL:<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (дата обращения 26.11.21)– Текст: электронный.
115. Сайт.– URL:http://www.invertor.ru/zzz/item/kes_dominator_mppt_200_100 (дата обращения 26.11.18) – Текст: электронный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Статистика отказов по видам повреждаемого оборудования и продолжительность устранения отключений на линиях электропередачи

Таблица А.1 - Статистика отказов по видам повреждаемого оборудования по ПАО «Кубаньэнерго» за период 2015-2020 г.

Электрооборудование	Напряжение, кВ				Всего отказов
	220	110	35	6 -10	
Трансформатор силовой	-	2	3	43	48
Конденсаторы для компенсации реактивной мощности	-	-	1	-	1
Шины сборные	-	-	3	21	24
КРУ или КРУН	-	-	-	16	16
Коммутационные аппараты 0,4 кВ	-	-	-	48	48
Выключатель масляный	-	5	12	29	46
Выключатель вакуумный	-	-	-	5	5
Выключатель элегазовый	-	-	-	-	-
Разъединитель	-	1	1	21	23
Отделитель	-	1	-	-	1
Короткозамыкатель	-	1	-	-	1
Разрядник	-	-	1	15	16
Предохранитель (высоковольтный)	-	-	-	13	13
Ограничитель перенапряжений	-	-	-	2	2
Устройство релейной защиты	-	7	-	4	11
Цепи управления выключателями	-	2	1	4	7
Измерительный трансформатор тока	-	1	2	8	11
Измерительный тр-р напряжения	-	-	5	2	7
Заградитель высокочастотный	-	1	-	-	1
Опора	-	-	1	177	178
Изолятор	1	14	13	245	273
Провод	-	61	36	541	638
Грозозащитный трос	-	7	7	1	15
Арматура	-	5	1	68	74
Прочие элементы воздушной линии	-	4	1	135	140
Силовой кабель	-	-	-	408	408
Соединительная муфта	-	-	-	34	34
Концевая муфта внутренней установки	-	-	-	50	50
Концевая муфта наружной установки	-	-	-	25	25

Таблица А.2 – Продолжительность устранения отключений на линиях электропередачи за 2001...2014 гг.

Год	Число отказов, восстановленных за время								
	до 0,5 ч.	0,5...1 ч.	1...2 ч.	2...4 ч.	4...6 ч.	6...8 ч.	8...10 ч.	10...24 ч.	более 24 ч.
2001	15	14	6	5	6	5	2	1	2
2002	14	16	13	14	11	13	5	2	0
2003	18	14	15	12	9	8	3	2	0
2004	17	11	16	17	10	7	7	6	1
2005	11	13	11	10	9	8	10	4	2
2006	18	11	11	12	13	11	5	5	0
2007	14	11	13	12	14	13	3	4	1
2008	22	14	15	16	10	14	2	4	0
2009	15	15	16	12	13	14	6	6	1
2010	22	19	14	16	9	17	7	8	0
2011	27	22	18	19	15	14	12	10	2
2012	25	19	24	23	20	15	9	4	1
2013	24	22	19	21	19	18	8	3	2
2014	20	23	22	24	17	16	9	4	3
Сумма	262	224	213	213	175	173	88	63	15
%, от суммы	18,37	15,71	14,94	14,94	12,27	12,13	6,17	4,42	1,05

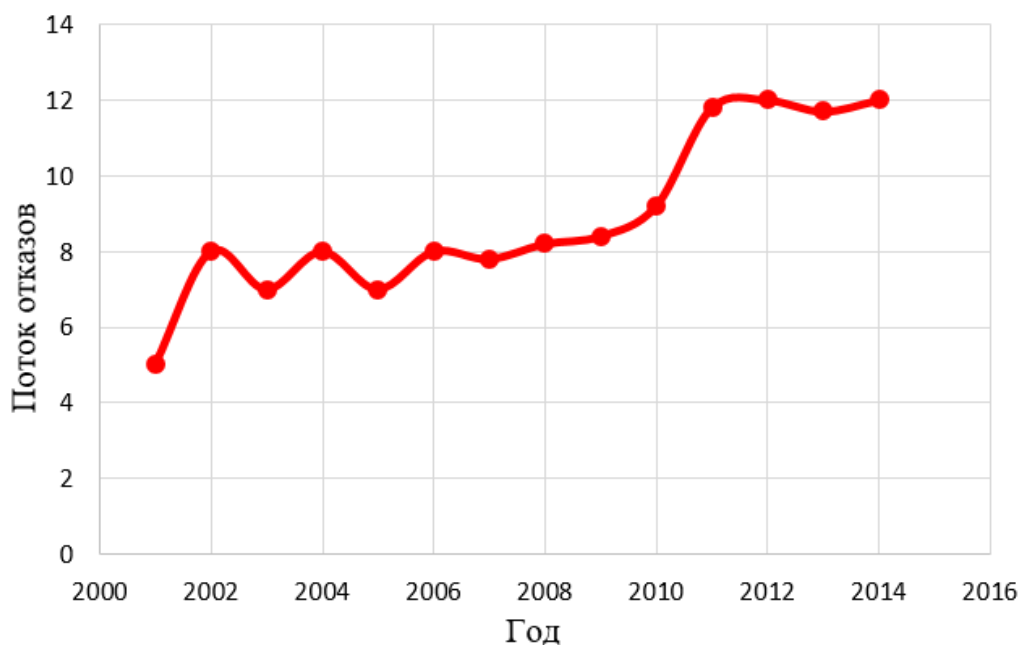


Рисунок А.1 – Статистический анализ потока отказов ВЛ-10 кВ по Заветинскому РЭС с 2001 по 2014 гг.

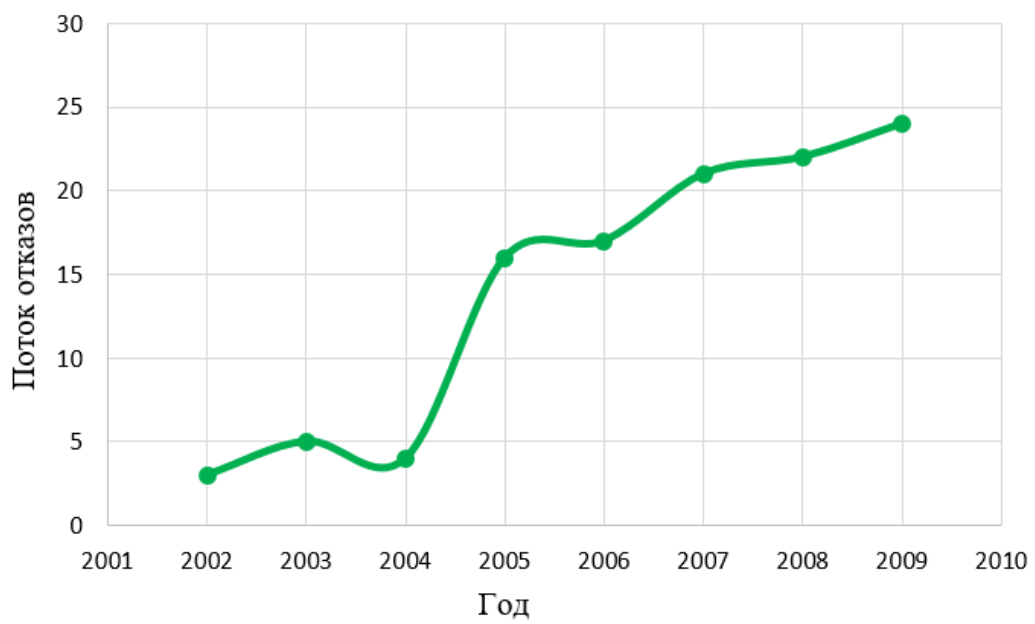


Рисунок А.2 – Статистический анализ потока отказов ВЛ-10 кВ по Черноградскому РЭС с 2002 по 2009 гг.

Приложение Б. Технологический цикл при приготовлении и розливе препарата «Пропофод – Бинергия»

1. До начала приготовления препарата:
 - промыть и простерилизовать реакторы РВД-300 (4кВт) (Р-1(4кВт) реактор с диспергатором) (Р-2 (4кВт) реактор без диспергатора) и РВД-65 (Р-3) (1кВт);
 - простерилизовать фильтр-капсулу 0,2 мкм и фильтродержатель с патроном 10 мкм;
 - Промыть и простерилизовать банки полипропиленовые (4 шт), шланги высокого давления (5шт), шланги для подачи воды очищенной, хомуты и прокладки в необходимом количестве, ведра (2шт), воронки н/ст и пластиковую, стакан для взятия навески субстанции пропофола;
 - Промыть насос и гомогенизатор водой очищенной с моющим средством «Прогресс» в объеме не менее 100 литров, затем водой очищенной в объеме 150 литров;
2. Проверить объём заполнения ванн установок захлаживания, при необходимости долить очищенной воды;
3. Не менее чем за 12 часов до начала приготовления достать из холодильника (1,5 кВт) масла;
4. Перистальтическим насосом через фильтр-капсулу 0,2 мкм в режиме «100 об/мин» профильтровать последовательно и загрузить в реактор Р-3 (1 кВт) расчетные количества соевого масла и триглицеридов. Фильтрацию вести в банки полипропиленовые до массы 3,05 кг. Последняя банка наполняется до 2,6 кг, после чего шланг перебрасывается в бочку с другим компонентом) либо вынимается из бочки в случае окончательной фильтрации) и масса доводится до 3,05 кг. Банки сливать в реактор через загрузочный люк или смотровое стекло;
5. Подключить к рубашке реактора Р-3 (1 кВт) шланги для подачи пара и сброса конденсата в канализацию, при постоянном перемешивании через 10 минут убедиться в прозрачности раствора и отсутствии комков лецитина;

6. Параллельно с п.3 в реактор Р-1 (4 кВт) залить 50 литров воды очищенной, загрузит при постоянном перемешивании расчетные количества глицерина и натрия олеата. Включить диспергатор на 50 – 60% от максимального количества оборотов на 15-20 минут;
7. Подключить к рубашке реактора Р-3 (1кВт) черные шланги от большой установки захлаживания, охладить содержимое реактора до 50 °С, внести расчетное количество субстанции пропофола, перемешать 10 минут. Передавить азотом содержимое реактора Р-3 (1 кВт) в реактор Р-1 (4 кВт) (с диспергатором);
8. Переключить черные шланги от большой установки захлаживания с реактора Р-3 (1кВт) на реактор Р-2 (4кВт) (без диспергатора). Содержимое реактора Р-1 (4кВт) перемешивать с использованием мешалки и диспергатора (40% от максимального количества оборотов) в течение 30 минут, после чего передавить азотом полученную эмульсию в реакторе Р-2 (4кВт) (без диспергатора). Включить охлаждение Р-2. Процесс приготовления следующей загрузки ведется по мере освобождения реакторов согласно п.2-5 и п.7 (но без передавливания готовой эмульсии из реактора с диспергатором);
9. Собрать систему гомогенизации, для чего соединить жестко на три-клампах выход центробежного насоса (2,2кВт), фильтродержатель и тройник с манометром;
10. Шлангом высокого давления соединить донный слив реактора Р-2 (4кВт) (без диспергатора) с выходом центробежного насоса (2,2 кВт);
11. Шлангом высокого давления соединить тройник с манометром с выходом гомогенизатора (11,5 кВт);
12. Шлангом высокого давления соединить выход гомогенизатора (11,5 кВт) с штуцером на крышке реактора Р-2;
13. Для охлаждения гомогенизатора (11,5 кВт) включить малую установку захлаживания (5 кВт), установить байпасом (верхний вентиль на задней стенке установки) давление подачи 1,8 - 2,0 бар;

14. Открыть донный слив реактора Р-2 (4кВт), заполнить систему гомогенизации, используя верхнюю «воздушку» фильтродержателя;
15. Оключить центробежный насос. Убедиться, что давление после фильтра не менее 3,8 – 4,0 бар;
16. Убедиться, что регулятор обеих ступеней в крайнем левом положении (открыты) . Включить главный привод гомогенизатора (11,5 кВт). После характерного щелчка выключить гидравлический насос;
17. Плавно установить регулятором второй ступни давление по манометру 150 бар;
18. Плавно установить регулятором первой ступни давление по манометру 750 бар;
19. Вести процесс гомогенизации в течении 6 часов, после чего довести водой очищенной объем эмульсии до 240 литров. После доведения объема продолжать процесс гомогенизации в течение 5 часов;
20. По окончании процесса снизить давление в гидравлической системе гомогенизатора (11.5 кВт), полностью выкрутив влево регулятор сначала первой, затем второй ступени. Отключить гидравлический насос 2,2 кВт. Включить главный привод гомогенизатора (11,5 кВт);
21. Отключить центробежный насос 2,2 кВт. Закрыть донный слив реактора Р-2 (4кВт), отсоединить от него шланг, с помощью азота выдавить остатки продукта из системы гомогенизации в реактор, реактор оставить под азотом и с легким перемешиванием;
22. Переключить шланги системы гомогенизации и охлаждения на реактор с второй серией продукции;
23. Гомогенизацию второй серии вести в реакторе Р-1 (4кВт) (с диспергатором) согласно п. 11-17.

Приложение В. Скриншот программы расчета переходных процессов в СДГУ

$$t := 0, 0.01 \dots 100$$

$$v_{\text{вем.ном}} := 5.23$$

$$B_1 := 1$$

$$w_2 := 120$$

$$w_7 := 120$$

$$w_{10} := 120$$

$$l_{\text{сеп}\partial 2} := 1.81$$

$$l_{\text{сеп}\partial 7} := 1.81$$

$$l_{\text{сеп}\partial 10} := 1.81$$

$$l_{\text{вум}1} := 0.1$$

$$l_{\text{вум}7} := 0.1$$

$$l_{\text{вум}10} := 0.1$$

$$R_4 := 200$$

$$R_8 := 0.2$$

$$R_6 := 5$$

$$R_9 := 110$$

$$R_{2,1} := 0.95$$

$$R_{2,2} := 0.95$$

$$R_{7,1} := 0.95$$

$$R_{7,2} := 0.95$$

$$R_{10,1} := 0.95$$

$$R_{10,2} := 0.95$$

$$L_{2,1} := 0.081$$

$$L_{2,2} := 0.081$$

$$L_{7,1} := 0.081$$

$$L_{7,2} := 0.081$$

$$L_{10,1} := 0.081$$

$$L_{10,2} := 0.081$$

$$A_1 := 2.1$$

$$A_2 := 0.8$$

$$A_3 := 1.7$$

$$A_4 := 0.1$$

$$A_5 := 0.1$$

$$A_6 := 0.1$$

$$A_0 := 1 \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 1$$

$$\omega_{\text{вем}} := 0.628$$

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{вем}}} = 10.005$$

$$v_{\text{вем}}(t) := A_0 + A_1 \cdot \sin(1 \cdot \omega_{\text{вем}} \cdot t) + A_2 \cdot \sin(2 \cdot \omega_{\text{вем}} \cdot t) + A_3 \cdot \sin(3 \cdot \omega_{\text{вем}} \cdot t) + A_4 \cdot \sin(4 \cdot \omega_{\text{вем}} \cdot t) + A_5 \cdot \sin(5 \cdot \omega_{\text{вем}} \cdot t)$$

$$\xi := 0.43$$

$$U_5 := 12$$

$$k_{\mu} := 1$$

$$r_{\text{вк}} := 0.75$$

$$r_{\partial} := 0.11$$

$$K_{\theta} := 1.27$$

$$K_n := 0.0571428$$

$$M_2 := 0.15$$

$$M_7 := 0.15$$

$$M_{10} := 0.15$$

$$S_{\text{магн}} := 0.002$$

$$m := 3$$

$$p := 3$$

$$f := 50$$

$$U_c := 220$$

$$w_c := 314$$

$$K_{\text{снр}} := 0.1$$

$$J_{\text{снсм}} := 0.23$$

$$\Theta(t) := 60^\circ$$

$$\omega(t) := \frac{v_{\text{вем}}(t)}{r_{\text{вк}}}$$

$$v_{\partial}(t) := \omega(t) \cdot r_{\partial}$$

$$e_{2.1}(t) := B_1 \cdot w_2 \cdot l_{cep\partial 2} \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t)$$

$$e_{2.2}(t) := B_1 \cdot w_2 \cdot l_{cep\partial 2} \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t + 90^\circ)$$

Решатель

Ограничения

Начальные приближения

$$(R_{2.1} + R_{\theta}) \cdot i_{2.1}(t) + L_{2.1} \cdot i_{2.1}'(t) = e_{2.1}(t)$$

$$i_{2.1}(0) = 0$$

$$i_{2.1} := \text{odesolve}(i_{2.1}(t), 100, 1000)$$

Решатель

Ограничения

Начальные приближения

$$(R_{2.2} + R_{\theta}) \cdot i_{2.2}(t) + L_{2.2} \cdot i_{2.2}'(t) = e_{2.2}(t)$$

$$i_{2.2}(0) = 0$$

$$i_{2.2} := \text{odesolve}(i_{2.2}(t), 100, 1000)$$

$$U_{2.1}(t) := i_{2.1}(t) \cdot R_{2.1} + L_{2.1} \cdot i_{2.1}'(t)$$

$$U_{2.1cp}(t) := \frac{1}{T} \int_0^T \|U_{2.1}(t)\| dt$$

$$U_4(t) := \frac{K_{\theta} \cdot U_{2.1cp}(t)}{1 + K_n}$$

$$i_4 := \frac{U_4(t)}{R_4}$$

$$i_6 := \frac{U_5}{R_6}$$

$$e_{7.1}(t) := k_{\mu} \cdot \frac{w_7}{l_{\text{сепд7}}} \cdot l_{\text{сум7}} \cdot (i_4 + i_6) \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t)$$

$$e_{7.2}(t) := k_{\mu} \cdot \frac{w_7}{l_{\text{сепд7}}} \cdot l_{\text{сум7}} \cdot (i_4 + i_6) \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t + 90^{\circ})$$

Ограничения Начальные приближения

$$(R_{7.1} + R_{\text{с}}) \cdot i_{7.1}(t) + L_{7.1} \cdot i_{7.1}'(t) = e_{7.1}(t)$$

$$i_{7.1}(0) = 0$$

Решатель

$$i_{7.1} := \text{odesolve}(i_{7.1}(t), 100, 1000)$$

Ограничения Начальные приближения

$$(R_{7.2} + R_{\text{с}}) \cdot i_{7.2}(t) + L_{7.2} \cdot i_{7.2}'(t) = e_{7.2}(t)$$

$$i_{7.2}(0) = 0$$

Решатель

$$i_{7.2} := \text{odesolve}(i_{7.2}(t), 100, 1000)$$

$$U_{7.1}(t) := i_{7.1}(t) \cdot R_{7.1}$$

$$U_{7.1\text{ср}}(t) := \frac{1}{T} \int_0^T \|U_{7.1}(t)\| dt$$

$$U_9 := \frac{K_{\text{с}} \cdot U_{7.1\text{ср}}(t)}{1 + K_n}$$

$$i_9 := \frac{U_9}{R_9}$$

$$e_{10.1}(t) := k_{\mu} \cdot \frac{w_{10}}{l_{\text{сепд10}}} \cdot l_{\text{вум10}} \cdot i_9 \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t)$$

$$e_{10.2}(t) := k_{\mu} \cdot \frac{w_{10}}{l_{\text{сепд10}}} \cdot l_{\text{вум10}} \cdot i_9 \cdot v_{\partial}(t) \cdot \sin(\omega(t) \cdot t + 90^{\circ})$$

Ограничения	$(R_{10.1} + R_{\theta}) \cdot i_{10.1}(t) + L_{10.1} \cdot i_{10.1}'(t) = e_{10.1}(t)$
Начальные приближения	$i_{10.1}(0) = 0$
Решатель	$i_{10.1} := \text{odesolve}(i_{10.1}(t), 100, 1000)$
Ограничения	$(R_{10.2} + R_{\theta}) \cdot i_{10.2}(t) + L_{10.2} \cdot i_{10.2}'(t) = e_{10.2}(t)$
Начальные приближения	$i_{10.2}(0) = 0$
Решатель	$i_{10.2} := \text{odesolve}(i_{10.2}(t), 100, 1000)$

$$M_{\text{вем}}(t) := \frac{\xi \cdot (2 \cdot r_{\text{вк}})^3}{4.16} \cdot (v_{\text{вем}}(t))^2$$

$$M_{\text{вем.ном}} := \frac{\xi \cdot (2 \cdot r_{\text{вк}})^3}{4.16} \cdot (v_{\text{вем.ном}})^2$$

$$M_{\text{возм}}(t) := M_{\text{вем}}(t) - M_{\text{вем.ном}}$$

$$M_{\text{сун}}(t) := M_{\text{возм}}(t)$$

$$E_{\text{ЭТК}} := \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e_{10.1}(t)^2 dt} = 0.174$$

$$x_{\text{ЭТК}}(t) := \omega(t) \cdot L_{10.1}$$

$$M_{\text{сун1}}(t) := \frac{3 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{E_{\text{ЭТК}} \cdot U_c}{x_{\text{ЭТК}}(t)} \cdot \cos(\theta(t))$$

$$M_{2\text{сун.расч}}(t) := M_{\text{возм}}(t) - M_{\text{сун1}}$$

$$M_{\text{эм}}(t) := \frac{m}{3} \cdot (M_2 \cdot i_{2.2}(t) \cdot B_1 \cdot \sin(\omega(t) \cdot t) + M_7 \cdot i_{7.2}(t) \cdot (i_4 + i_6) + M_{10} \cdot i_9 \cdot i_{10.1}(t))$$

$$M_{\text{сопр}}(t) := M_{\text{вем}}(t) \cdot K_{\text{сопр}}$$

$$M_{\partial}(t) := \frac{1}{p} \cdot J_{\text{сум}} \cdot \frac{d}{dt} \omega(t)$$

Приложение Г. Функциональная схема ДГУ, принципиальная электрическая схема СДГУ, обозначения приняты при составлении уравнений и результаты расчета СДГУ

Функциональная схема ДГУ

Функционально ДГУ состоит из отдельных составляющих-блоков А–Е (обозначение элементов составляющих-блоков А–Е соответствует позициям рис. 2.1), в которых происходит преобразование энергии, а именно:

– составляющая А – ветротурбина, преобразующая кинетическую энергию ветра в механическую энергию вращения и состоящей из ветроколеса и вала, который соединен с валом ДГУ;

– составляющая В – подвозбудитель, состоящий из постоянного многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя, многофазной обмотки 2 якоря подвозбудителя, первого выпрямителя 3. В составляющей «В» происходит преобразование механической энергии вращения, поступающей от составляющей «А», и энергии, поступающей от многополюсного магнита 1 индуктора подвозбудителя, в электрическую энергию постоянного тока;

– составляющая С – ФЭП, где происходит преобразование световой энергии Солнца в электрическую энергию постоянного тока;

составляющая D – возбудитель, состоящий из основной однофазной обмотки 4 возбуждения возбудителя, дополнительной однофазной обмотки 6 возбуждения возбудителя, многофазной обмотки 7 якоря возбудителя, второго многофазного двухполупериодного выпрямителя 8. В составляющей «D» происходит преобразование электрической энергии постоянного тока, поступающей от составляющей «С», и электромагнитной энергии, поступающей от составляющей «В», в электрическую энергию постоянного тока;

– составляющая Е – основной генератор, состоящий из однофазной обмотки 9 возбуждения основного генератора, трехфазной обмотки 10 якоря ос-

новного генератора. В составляющей «Е» происходит преобразование электромагнитной энергии, поступающей от составляющей «D» в электрическую энергию переменного тока.

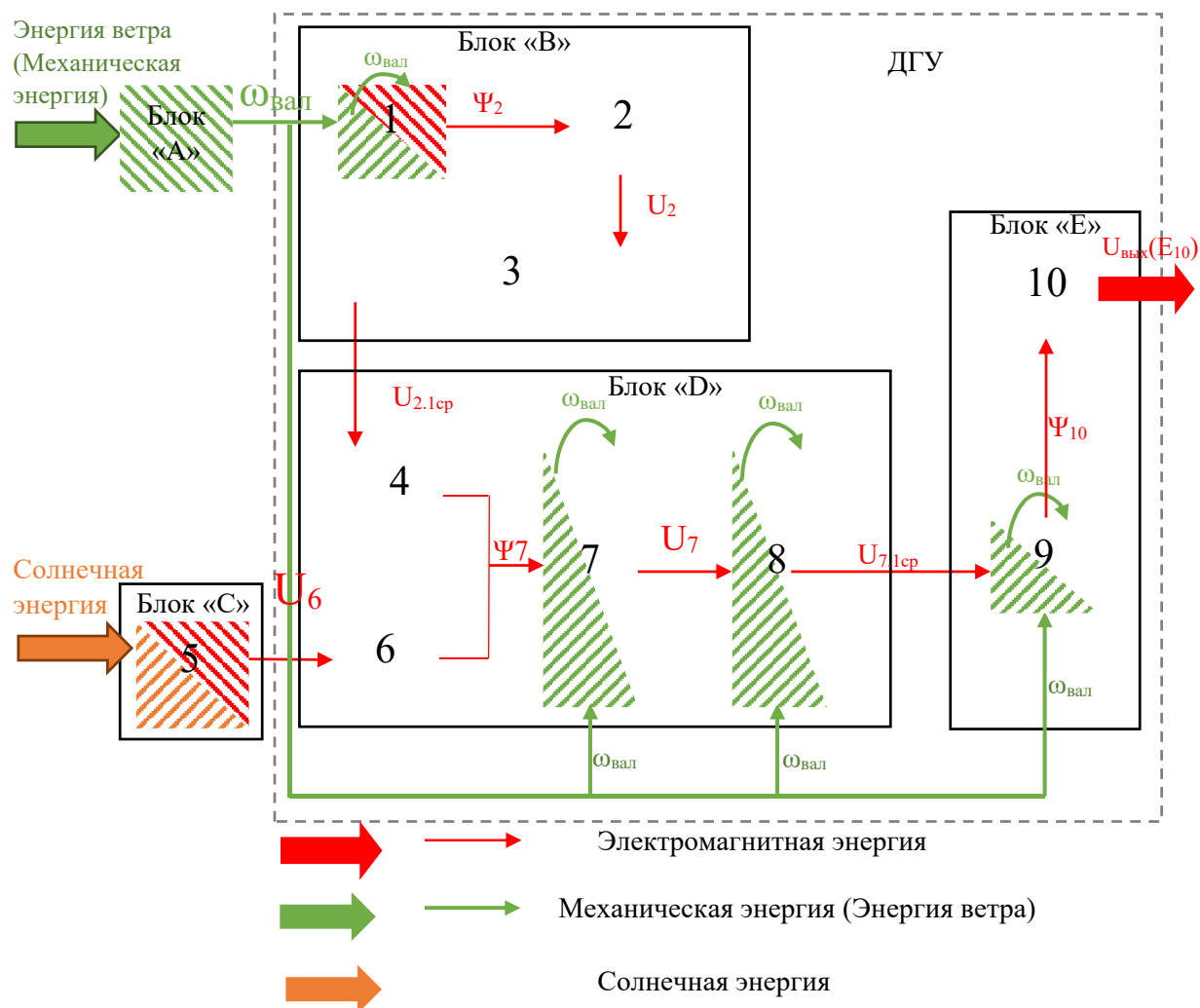


Рисунок Г.1 – Функциональная схема двухвходовой генераторной установки (без синхронизатора)

Принципиальная электрическая схема СДГУ

На рисунке Г.2 изображена принципиальная схема двухвходовой генераторной установки для общего представления основных составляющих ДГУ, в которой синхронизатор М1 соединен с синхронным генератором с возбуждением от постоянных магнитов G1 питающий через выпрямитель VD1 обмотку возбуждения синхронного генератора G2, который в свою очередь питает через выпрямитель VD2 синхронный трехфазный генератор G3 с обмоткой статора,

соединенной в звезду. Обмотка возбуждения синхронного генератора G2 дополнительно получает питание от внешних ФЭП (солнечных панелей).

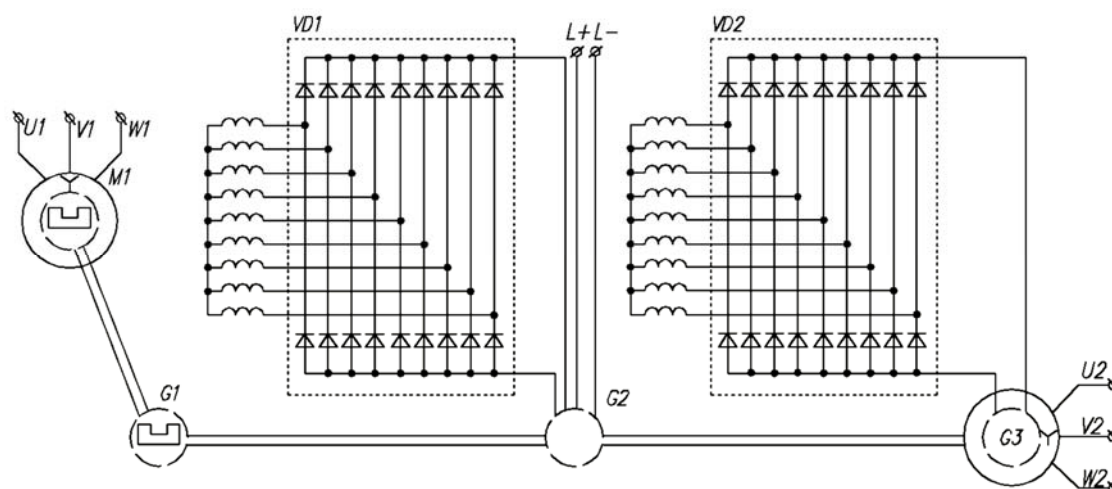


Рисунок Г.2 - Принципиальная электрическая схема двухвходовой генераторной установки

Обозначения принятые при составлении уравнений

B_1 – индукция, создаваемая постоянным многополюсным магнитом индуктора подвозбудителя по осям q и d ; $W_{2.1}, W_{2.2}, U_{2.1}, U_{2.2}, i_{2.1}, i_{2.2}, R_{2.1}, R_{2.2}$ – число витков обмотки якоря подвозбудителя, напряжение на обмотках якоря подвозбудителя, токи, протекающие в обмотках якоря подвозбудителя и активные сопротивления обмотки якоря подвозбудителя по осям q и d , соответственно; W_4, U_4, i_4, R_4 – число витков основной однофазной обмотки возбуждения возбудителя, напряжение на обмотке возбуждения возбудителя, ток, протекающий в обмотке якоря возбуждения возбудителя и активное сопротивление якоря возбуждения возбудителя, соответственно; W_6, U_6, i_6, R_6 – число витков дополнительной однофазной обмотки возбуждения возбудителя, напряжение на дополнительной однофазной обмотке возбуждения возбудителя, ток, протекающий в дополнительной однофазной обмотке возбуждения возбудителя и активное сопротивление дополнительной однофазной обмотки возбуждения возбудителя, соответственно; $W_{7.1}, W_{7.2}, U_{7.1}, U_{7.2}, i_{7.1}, i_{7.2}, R_{7.1}, R_{7.2}$ – число витков обмоток якоря возбудителя, напряжения на обмотках якоря возбудителя, токи, протекающие в

обмотках якоря возбуждателя и активные сопротивления обмоток якоря возбуждателя по осям, q и d , соответственно; W_9, U_9, i_9, R_9 – число витков однофазной обмотки возбуждения основного генератора, напряжение на однофазной обмотке возбуждения основного генератора, ток, протекающий в однофазной обмотке возбуждения основного генератора и активное сопротивление однофазной обмотки возбуждения основного генератора, соответственно; $W_{10.1}, W_{10.2}, U_{10.1}, U_{10.2}, i_{10.1}, i_{10.2}, R_{10.1}, R_{10.2}$ – число витков обмоток якоря основного генератора, напряжения на обмотках якоря основного генератора, токи, протекающие по обмоткам якоря основного генератора и активные сопротивления обмоток обмоток якоря основного генератора, по осям q и d , соответственно; $R_{нагр}$ – сопротивление нагрузки.

Таблица Г.1 - Результаты расчета СДГУ

t	$e_{2.1}(t)$	$E_2(t)$	$i_4(t)$	$i_6(t)$	$e_{7.1}(t)$	$E_7(t)$	$i_9(t)$	$e_{10.1}(t)$	$i_{10.1}(t)$	$M_{вер}(t)$	$M_{эм}(t)$
0,001	426,8	977,1	4,88	4,8	228,3	522,8	4,749	112,0	0,00	9,54	7,13
0,002	811,8	977,1	4,88	4,8	434,3	522,8	4,749	213,0	0,57	9,54	7,74
0,003	1117,4	977,1	4,88	4,8	597,8	522,8	4,749	293,2	1,87	9,54	8,82
0,004	1313,8	977,1	4,88	4,8	702,9	522,8	4,749	344,7	3,40	9,54	10,01
0,005	1381,6	977,1	4,88	4,8	739,2	522,8	4,749	362,5	4,82	9,54	11,06
0,006	1314,4	977,1	4,88	4,8	703,2	522,8	4,749	344,9	6,43	9,54	12,18
0,007	1118,6	977,1	4,88	4,8	598,5	522,8	4,749	293,5	6,44	9,54	12,08
0,008	813,5	977,1	4,88	4,8	435,2	522,8	4,749	213,4	5,82	9,54	11,47
0,009	428,7	977,1	4,88	4,8	229,4	522,8	4,749	112,5	4,62	9,54	10,42
0,01	2,1	977,1	4,88	4,8	1,1	522,8	4,749	0,5	2,98	9,54	9,02
0,011	-424,8	977,1	4,88	4,8	-227,3	522,8	4,749	-111,5	1,04	9,54	7,42
0,012	-810,1	977,1	4,88	4,8	-433,4	522,8	4,749	-212,6	-0,99	9,54	5,76
0,013	-1116,2	977,1	4,88	4,8	-597,2	522,8	4,749	-292,9	-2,93	9,54	4,22
0,014	-1313,1	977,1	4,88	4,8	-702,5	522,8	4,749	-344,6	-4,59	9,54	2,93
0,015	-1381,6	977,1	4,88	4,8	-739,2	522,8	4,749	-362,5	-5,79	9,54	2,04
0,016	-1315,0	977,1	4,88	4,8	-703,6	522,8	4,749	-345,1	-6,43	9,54	1,62
0,017	-1119,8	977,1	4,88	4,8	-599,1	522,8	4,749	-293,8	-6,44	9,54	1,72
0,018	-815,1	977,1	4,88	4,8	-436,1	522,8	4,749	-213,9	-5,82	9,54	2,32
0,019	-430,7	977,1	4,88	4,8	-230,4	522,8	4,749	-113,0	-4,63	9,54	3,37
0,02	-4,2	977,1	4,88	4,8	-2,2	522,8	4,749	-1,1	-2,99	9,54	4,77
0,021	422,8	977,1	4,88	4,8	226,2	522,8	4,749	110,9	-1,05	9,54	6,37
0,022	808,4	977,1	4,88	4,8	432,5	522,8	4,749	212,1	0,98	9,54	8,03
0,023	1115,0	977,1	4,88	4,8	596,5	522,8	4,749	292,6	2,92	9,54	9,57
0,024	1312,5	977,1	4,88	4,8	702,2	522,8	4,749	344,4	4,58	9,54	10,86
0,025	1381,6	977,1	4,88	4,8	739,2	522,8	4,749	362,5	5,79	9,54	11,75
0,026	1315,7	977,1	4,88	4,8	703,9	522,8	4,749	345,2	6,43	9,54	12,18

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,027	1121,1	977,1	4,88	4,8	599,8	522,8	4,749	294,2	6,44	9,54	12,08
0,028	816,8	977,1	4,88	4,8	437,0	522,8	4,749	214,3	5,82	9,54	11,48
0,029	432,7	977,1	4,88	4,8	231,5	522,8	4,749	113,5	4,64	9,54	10,43
0,03	6,2	977,1	4,88	4,8	3,3	522,8	4,749	1,6	3,00	9,54	9,04
0,031	-420,8	977,1	4,88	4,8	-225,1	522,8	4,749	-110,4	1,06	9,54	7,43
0,032	-806,7	977,1	4,88	4,8	-431,6	522,8	4,749	-211,7	-0,97	9,54	5,78
0,033	-1113,7	977,1	4,88	4,8	-595,9	522,8	4,749	-292,2	-2,92	9,54	4,23
0,034	-1311,8	977,1	4,88	4,8	-701,8	522,8	4,749	-344,2	-4,57	9,54	2,95
0,035	-1381,6	977,1	4,88	4,8	-739,2	522,8	4,749	-362,5	-5,78	9,54	2,05
0,036	-1316,3	977,1	4,88	4,8	-704,2	522,8	4,749	-345,4	-6,43	9,54	1,62
0,037	-1122,3	977,1	4,88	4,8	-600,4	522,8	4,749	-294,5	-6,44	9,54	1,71
0,038	-818,5	977,1	4,88	4,8	-437,9	522,8	4,749	-214,8	-5,83	9,54	2,31
0,039	-434,6	977,1	4,88	4,8	-232,5	522,8	4,749	-114,0	-4,64	9,54	3,36
0,04	-8,3	977,1	4,88	4,8	-4,4	522,8	4,749	-2,2	-3,01	9,54	4,75
0,041	418,8	977,1	4,88	4,8	224,1	522,8	4,749	109,9	-1,07	9,54	6,36
0,042	805,0	977,1	4,88	4,8	430,7	522,8	4,749	211,2	0,96	9,54	8,01
0,043	1112,5	977,1	4,88	4,8	595,2	522,8	4,749	291,9	2,91	9,54	9,56
0,044	1311,2	977,1	4,88	4,8	701,5	522,8	4,749	344,0	4,57	9,54	10,85
0,045	1381,6	977,1	4,88	4,8	739,2	522,8	4,749	362,5	5,78	9,54	11,75
0,046	1316,9	977,1	4,88	4,8	704,6	522,8	4,749	345,6	6,43	9,54	12,17
0,047	1123,5	977,1	4,88	4,8	601,1	522,8	4,749	294,8	6,44	9,54	12,09
0,048	820,1	977,1	4,88	4,8	438,8	522,8	4,749	215,2	5,83	9,54	11,49
0,049	436,6	977,1	4,88	4,8	233,6	522,8	4,749	114,6	4,65	9,54	10,44
0,05	10,4	977,1	4,88	4,8	5,6	522,8	4,749	2,7	3,01	9,54	9,05
0,051	-416,9	977,1	4,88	4,8	-223,0	522,8	4,749	-109,4	1,08	9,54	7,45
0,052	-803,3	977,1	4,88	4,8	-429,8	522,8	4,749	-210,8	-0,95	9,54	5,79
0,053	-1111,3	977,1	4,88	4,8	-594,5	522,8	4,749	-291,6	-2,90	9,54	4,24
0,054	-1310,5	977,1	4,88	4,8	-701,1	522,8	4,749	-343,9	-4,56	9,54	2,96
0,055	-1381,6	977,1	4,88	4,8	-739,2	522,8	4,749	-362,5	-5,77	9,54	2,05
0,056	-1317,6	977,1	4,88	4,8	-704,9	522,8	4,749	-345,7	-6,42	9,54	1,62
0,057	-1124,7	977,1	4,88	4,8	-601,7	522,8	4,749	-295,1	-6,45	9,54	1,71
0,058	-821,8	977,1	4,88	4,8	-439,7	522,8	4,749	-215,6	-5,84	9,54	2,30
0,059	-438,6	977,1	4,88	4,8	-234,6	522,8	4,749	-115,1	-4,66	9,54	3,35
0,06	-12,5	977,1	4,88	4,8	-6,7	522,8	4,749	-3,3	-3,02	9,54	4,74
0,061	414,9	977,1	4,88	4,8	222,0	522,8	4,749	108,9	-1,09	9,54	6,34
0,062	801,7	977,1	4,88	4,8	428,9	522,8	4,749	210,4	0,94	9,54	8,00
0,063	1110,0	977,1	4,88	4,8	593,9	522,8	4,749	291,3	2,89	9,54	9,55
0,064	1309,9	977,1	4,88	4,8	700,8	522,8	4,749	343,7	4,55	9,54	10,84
0,065	1381,6	977,1	4,88	4,8	739,2	522,8	4,749	362,5	5,77	9,54	11,74
0,066	1318,2	977,1	4,88	4,8	705,3	522,8	4,749	345,9	6,42	9,54	12,17
0,067	1125,9	977,1	4,88	4,8	602,4	522,8	4,749	295,4	6,45	9,54	12,09
0,068	823,5	977,1	4,88	4,8	440,6	522,8	4,749	216,1	5,84	9,54	11,50
0,069	440,6	977,1	4,88	4,8	235,7	522,8	4,749	115,6	4,67	9,54	10,46
0,07	14,5	977,1	4,88	4,8	7,8	522,8	4,749	3,8	3,03	9,54	9,07
0,071	-412,9	977,1	4,88	4,8	-220,9	522,8	4,749	-108,3	1,10	9,54	7,47
0,072	-800,0	977,1	4,88	4,8	-428,0	522,8	4,749	-209,9	-0,93	9,54	5,81
0,073	-1108,8	977,1	4,88	4,8	-593,2	522,8	4,749	-290,9	-2,88	9,54	4,26
0,074	-1309,2	977,1	4,88	4,8	-700,4	522,8	4,749	-343,5	-4,55	9,54	2,97

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,075	-1381,6	977,1	4,88	4,8	-739,2	522,8	4,749	-362,5	-5,76	9,54	2,06
0,076	-1318,8	977,1	4,88	4,8	-705,6	522,8	4,749	-346,0	-6,42	9,54	1,63
0,077	-1127,1	977,1	4,88	4,8	-603,0	522,8	4,749	-295,7	-6,45	9,54	1,71
0,078	-825,2	977,1	4,88	4,8	-441,5	522,8	4,749	-216,5	-5,85	9,54	2,30
0,079	-442,5	977,1	4,88	4,8	-236,8	522,8	4,749	-116,1	-4,67	9,54	3,34
0,08	-16,6	977,1	4,88	4,8	-8,9	522,8	4,749	-4,4	-3,04	9,54	4,72
0,081	410,9	977,1	4,88	4,8	219,9	522,8	4,749	107,8	-1,11	9,54	6,32
0,082	798,3	977,1	4,88	4,8	427,1	522,8	4,749	209,5	0,93	9,54	7,98
0,083	1107,6	977,1	4,88	4,8	592,6	522,8	4,749	290,6	2,87	9,54	9,53
0,084	1308,5	977,1	4,88	4,8	700,1	522,8	4,749	343,3	4,54	9,54	10,83
0,085	1381,5	977,1	4,88	4,8	739,1	522,8	4,749	362,5	5,76	9,54	11,73
0,086	1319,4	977,1	4,88	4,8	705,9	522,8	4,749	346,2	6,42	9,54	12,17
0,087	1128,3	977,1	4,88	4,8	603,7	522,8	4,749	296,1	6,45	9,54	12,09
0,088	826,8	977,1	4,88	4,8	442,4	522,8	4,749	217,0	5,85	9,54	11,51
0,089	444,5	977,1	4,88	4,8	237,8	522,8	4,749	116,6	4,68	9,54	10,47
0,09	18,7	977,1	4,88	4,8	10,0	522,8	4,749	4,9	3,05	9,54	9,08
0,091	-408,9	977,1	4,88	4,8	-218,8	522,8	4,749	-107,3	1,12	9,54	7,48
0,092	-796,6	977,1	4,88	4,8	-426,2	522,8	4,749	-209,0	-0,92	9,54	5,82
0,093	-1106,3	977,1	4,88	4,8	-591,9	522,8	4,749	-290,3	-2,86	9,54	4,27
0,094	-1307,9	977,1	4,88	4,8	-699,7	522,8	4,749	-343,2	-4,53	9,54	2,98
0,095	-1381,5	977,1	4,88	4,8	-739,1	522,8	4,749	-362,5	-5,76	9,54	2,07
0,096	-1320,0	977,1	4,88	4,8	-706,2	522,8	4,749	-346,4	-6,42	9,54	1,63
0,097	-1129,5	977,1	4,88	4,8	-604,3	522,8	4,749	-296,4	-6,45	9,54	1,70
0,098	-828,5	977,1	4,88	4,8	-443,3	522,8	4,749	-217,4	-5,86	9,54	2,29
0,099	-446,5	977,1	4,88	4,8	-238,9	522,8	4,749	-117,1	-4,69	9,54	3,32
0,1	-20,8	977,1	4,88	4,8	-11,1	522,8	4,749	-5,4	-3,06	9,54	4,71
0,101	407,0	977,1	4,88	4,8	217,7	522,8	4,749	106,8	-1,13	9,54	6,31
0,102	794,9	977,1	4,88	4,8	425,3	522,8	4,749	208,6	0,91	9,54	7,97
0,103	1105,1	977,1	4,88	4,8	591,2	522,8	4,749	290,0	2,85	9,54	9,52
0,104	1307,2	977,1	4,88	4,8	699,4	522,8	4,749	343,0	4,52	9,54	10,81
0,105	1381,5	977,1	4,88	4,8	739,1	522,8	4,749	362,5	5,75	9,54	11,73
0,106	1320,7	977,1	4,88	4,8	706,6	522,8	4,749	346,5	6,42	9,54	12,17
0,107	1130,7	977,1	4,88	4,8	604,9	522,8	4,749	296,7	6,45	9,54	12,10
0,108	830,1	977,1	4,88	4,8	444,1	522,8	4,749	217,8	5,86	9,54	11,51
0,109	448,4	977,1	4,88	4,8	239,9	522,8	4,749	117,7	4,69	9,54	10,48
0,11	22,8	977,1	4,88	4,8	12,2	522,8	4,749	6,0	3,07	9,54	9,10
0,111	-405,0	977,1	4,88	4,8	-216,7	522,8	4,749	-106,3	1,14	9,54	7,50
0,112	-793,2	977,1	4,88	4,8	-424,4	522,8	4,749	-208,1	-0,90	9,54	5,84
0,113	-1103,8	977,1	4,88	4,8	-590,6	522,8	4,749	-289,6	-2,85	9,54	4,29
0,114	-1306,5	977,1	4,88	4,8	-699,0	522,8	4,749	-342,8	-4,52	9,54	2,99
0,115	-1381,4	977,1	4,88	4,8	-739,1	522,8	4,749	-362,5	-5,75	9,54	2,07
0,116	-1321,3	977,1	4,88	4,8	-706,9	522,8	4,749	-346,7	-6,41	9,54	1,63
0,117	-1131,9	977,1	4,88	4,8	-605,6	522,8	4,749	-297,0	-6,45	9,54	1,70
0,118	-831,8	977,1	4,88	4,8	-445,0	522,8	4,749	-218,3	-5,86	9,54	2,28
0,119	-450,4	977,1	4,88	4,8	-241,0	522,8	4,749	-118,2	-4,70	9,54	3,31
0,12	-24,9	977,1	4,88	4,8	-13,3	522,8	4,749	-6,5	-3,08	9,54	4,69
0,121	403,0	977,1	4,88	4,8	215,6	522,8	4,749	105,7	-1,15	9,54	6,29
0,122	791,5	977,1	4,88	4,8	423,5	522,8	4,749	207,7	0,89	9,54	7,95

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,123	1102,6	977,1	4,88	4,8	589,9	522,8	4,749	289,3	2,84	9,54	9,50
0,124	1305,8	977,1	4,88	4,8	698,6	522,8	4,749	342,6	4,51	9,54	10,80
0,125	1381,4	977,1	4,88	4,8	739,1	522,8	4,749	362,5	5,74	9,54	11,72
0,126	1321,9	977,1	4,88	4,8	707,2	522,8	4,749	346,9	6,41	9,54	12,17
0,127	1133,1	977,1	4,88	4,8	606,2	522,8	4,749	297,3	6,46	9,54	12,10
0,128	833,5	977,1	4,88	4,8	445,9	522,8	4,749	218,7	5,87	9,54	11,52
0,129	452,3	977,1	4,88	4,8	242,0	522,8	4,749	118,7	4,71	9,54	10,49
0,13	27,0	977,1	4,88	4,8	14,4	522,8	4,749	7,1	3,08	9,54	9,11
0,131	-401,0	977,1	4,88	4,8	-214,5	522,8	4,749	-105,2	1,16	9,54	7,51
0,132	-789,8	977,1	4,88	4,8	-422,5	522,8	4,749	-207,2	-0,88	9,54	5,86
0,133	-1101,3	977,1	4,88	4,8	-589,2	522,8	4,749	-289,0	-2,83	9,54	4,30
0,134	-1305,2	977,1	4,88	4,8	-698,3	522,8	4,749	-342,5	-4,50	9,54	3,00
0,135	-1381,4	977,1	4,88	4,8	-739,0	522,8	4,749	-362,5	-5,74	9,54	2,08
0,136	-1322,5	977,1	4,88	4,8	-707,5	522,8	4,749	-347,0	-6,41	9,54	1,63
0,137	-1134,3	977,1	4,88	4,8	-606,8	522,8	4,749	-297,6	-6,46	9,54	1,70
0,138	-835,1	977,1	4,88	4,8	-446,8	522,8	4,749	-219,1	-5,87	9,54	2,27
0,139	-454,3	977,1	4,88	4,8	-243,1	522,8	4,749	-119,2	-4,71	9,54	3,30
0,14	-29,1	977,1	4,88	4,8	-15,5	522,8	4,749	-7,6	-3,09	9,54	4,68
0,141	399,0	977,1	4,88	4,8	213,5	522,8	4,749	104,7	-1,17	9,54	6,28
0,142	788,1	977,1	4,88	4,8	421,6	522,8	4,749	206,8	0,87	9,54	7,93
0,143	1100,1	977,1	4,88	4,8	588,6	522,8	4,749	288,7	2,82	9,54	9,49
0,144	1304,5	977,1	4,88	4,8	697,9	522,8	4,749	342,3	4,50	9,54	10,79
0,145	1381,3	977,1	4,88	4,8	739,0	522,8	4,749	362,4	5,73	9,54	11,72
0,146	1323,1	977,1	4,88	4,8	707,9	522,8	4,749	347,2	6,41	9,54	12,17
0,147	1135,4	977,1	4,88	4,8	607,5	522,8	4,749	297,9	6,46	9,54	12,10
0,148	836,8	977,1	4,88	4,8	447,7	522,8	4,749	219,6	5,88	9,54	11,53
0,149	456,3	977,1	4,88	4,8	244,1	522,8	4,749	119,7	4,72	9,54	10,50
0,15	31,1	977,1	4,88	4,8	16,7	522,8	4,749	8,2	3,10	9,54	9,12
0,151	-397,0	977,1	4,88	4,8	-212,4	522,8	4,749	-104,2	1,18	9,54	7,53
0,152	-786,4	977,1	4,88	4,8	-420,7	522,8	4,749	-206,3	-0,86	9,54	5,87
0,153	-1098,8	977,1	4,88	4,8	-587,9	522,8	4,749	-288,3	-2,81	9,54	4,31
0,154	-1303,8	977,1	4,88	4,8	-697,5	522,8	4,749	-342,1	-4,49	9,54	3,01
0,155	-1381,3	977,1	4,88	4,8	-739,0	522,8	4,749	-362,4	-5,73	9,54	2,09
0,156	-1323,7	977,1	4,88	4,8	-708,2	522,8	4,749	-347,3	-6,41	9,54	1,63
0,157	-1136,6	977,1	4,88	4,8	-608,1	522,8	4,749	-298,2	-6,46	9,54	1,69
0,158	-838,4	977,1	4,88	4,8	-448,6	522,8	4,749	-220,0	-5,88	9,54	2,26
0,159	-458,2	977,1	4,88	4,8	-245,2	522,8	4,749	-120,2	-4,73	9,54	3,29
0,16	-33,2	977,1	4,88	4,8	-17,8	522,8	4,749	-8,7	-3,11	9,54	4,67
0,161	395,0	977,1	4,88	4,8	211,4	522,8	4,749	103,7	-1,19	9,54	6,26
0,162	784,7	977,1	4,88	4,8	419,8	522,8	4,749	205,9	0,85	9,54	7,92
0,163	1097,5	977,1	4,88	4,8	587,2	522,8	4,749	288,0	2,80	9,54	9,48
0,164	1303,1	977,1	4,88	4,8	697,2	522,8	4,749	341,9	4,48	9,54	10,78
0,165	1381,2	977,1	4,88	4,8	739,0	522,8	4,749	362,4	5,72	9,54	11,71
0,166	1324,3	977,1	4,88	4,8	708,5	522,8	4,749	347,5	6,41	9,54	12,16
0,167	1137,8	977,1	4,88	4,8	608,7	522,8	4,749	298,6	6,46	9,54	12,10
0,168	840,1	977,1	4,88	4,8	449,4	522,8	4,749	220,4	5,88	9,54	11,54
0,169	460,2	977,1	4,88	4,8	246,2	522,8	4,749	120,7	4,73	9,54	10,51
0,17	35,3	977,1	4,88	4,8	18,9	522,8	4,749	9,3	3,12	9,54	9,14

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,171	-393,0	977,1	4,88	4,8	-210,3	522,8	4,749	-103,1	1,20	9,54	7,54
0,172	-783,0	977,1	4,88	4,8	-418,9	522,8	4,749	-205,4	-0,84	9,54	5,89
0,173	-1096,3	977,1	4,88	4,8	-586,5	522,8	4,749	-287,7	-2,79	9,54	4,33
0,174	-1302,4	977,1	4,88	4,8	-696,8	522,8	4,749	-341,7	-4,47	9,54	3,02
0,175	-1381,2	977,1	4,88	4,8	-738,9	522,8	4,749	-362,4	-5,72	9,54	2,09
0,176	-1324,8	977,1	4,88	4,8	-708,8	522,8	4,749	-347,6	-6,40	9,54	1,63
0,177	-1139,0	977,1	4,88	4,8	-609,4	522,8	4,749	-298,9	-6,46	9,54	1,69
0,178	-841,7	977,1	4,88	4,8	-450,3	522,8	4,749	-220,9	-5,89	9,54	2,26
0,179	-462,1	977,1	4,88	4,8	-247,3	522,8	4,749	-121,3	-4,74	9,54	3,28
0,18	-37,4	977,1	4,88	4,8	-20,0	522,8	4,749	-9,8	-3,13	9,54	4,65
0,181	391,1	977,1	4,88	4,8	209,2	522,8	4,749	102,6	-1,21	9,54	6,25
0,182	781,2	977,1	4,88	4,8	418,0	522,8	4,749	205,0	0,83	9,54	7,90
0,183	1095,0	977,1	4,88	4,8	585,9	522,8	4,749	287,3	2,78	9,54	9,46
0,184	1301,7	977,1	4,88	4,8	696,4	522,8	4,749	341,6	4,47	9,54	10,77
0,185	1381,1	977,1	4,88	4,8	738,9	522,8	4,749	362,4	5,71	9,54	11,70
0,186	1325,4	977,1	4,88	4,8	709,1	522,8	4,749	347,8	6,40	9,54	12,16
0,187	1140,1	977,1	4,88	4,8	610,0	522,8	4,749	299,2	6,46	9,54	12,11
0,188	843,4	977,1	4,88	4,8	451,2	522,8	4,749	221,3	5,89	9,54	11,54
0,189	464,1	977,1	4,88	4,8	248,3	522,8	4,749	121,8	4,75	9,54	10,53
0,19	39,4	977,1	4,88	4,8	21,1	522,8	4,749	10,3	3,14	9,54	9,15
0,191	-389,1	977,1	4,88	4,8	-208,2	522,8	4,749	-102,1	1,22	9,54	7,56
0,192	-779,5	977,1	4,88	4,8	-417,1	522,8	4,749	-204,5	-0,82	9,54	5,90
0,193	-1093,8	977,1	4,88	4,8	-585,2	522,8	4,749	-287,0	-2,78	9,54	4,34
0,194	-1301,0	977,1	4,88	4,8	-696,1	522,8	4,749	-341,4	-4,46	9,54	3,03
0,195	-1381,0	977,1	4,88	4,8	-738,9	522,8	4,749	-362,4	-5,71	9,54	2,10
0,196	-1326,0	977,1	4,88	4,8	-709,4	522,8	4,749	-347,9	-6,40	9,54	1,64
0,197	-1141,3	977,1	4,88	4,8	-610,6	522,8	4,749	-299,5	-6,46	9,54	1,69
0,198	-845,0	977,1	4,88	4,8	-452,1	522,8	4,749	-221,7	-5,90	9,54	2,25
0,199	-466,0	977,1	4,88	4,8	-249,3	522,8	4,749	-122,3	-4,75	9,54	3,27
0,2	-41,5	977,1	4,88	4,8	-22,2	522,8	4,749	-10,9	-3,14	9,54	4,64
0,201	387,1	977,1	4,88	4,8	207,1	522,8	4,749	101,6	-1,23	9,54	6,23
0,202	777,8	977,1	4,88	4,8	416,1	522,8	4,749	204,1	0,81	9,54	7,89
0,203	1092,5	977,1	4,88	4,8	584,5	522,8	4,749	286,7	2,77	9,54	9,45
0,204	1300,3	977,1	4,88	4,8	695,7	522,8	4,749	341,2	4,45	9,54	10,76
0,205	1381,0	977,1	4,88	4,8	738,9	522,8	4,749	362,4	5,70	9,54	11,69
0,206	1326,6	977,1	4,88	4,8	709,8	522,8	4,749	348,1	6,40	9,54	12,16
0,207	1142,5	977,1	4,88	4,8	611,2	522,8	4,749	299,8	6,47	9,54	12,11
0,208	846,6	977,1	4,88	4,8	453,0	522,8	4,749	222,2	5,90	9,54	11,55
0,209	468,0	977,1	4,88	4,8	250,4	522,8	4,749	122,8	4,76	9,54	10,54
0,21	43,6	977,1	4,88	4,8	23,3	522,8	4,749	11,4	3,15	9,54	9,17
0,211	-385,1	977,1	4,88	4,8	-206,0	522,8	4,749	-101,0	1,24	9,54	7,58
0,212	-776,1	977,1	4,88	4,8	-415,2	522,8	4,749	-203,6	-0,80	9,54	5,92
0,213	-1091,2	977,1	4,88	4,8	-583,8	522,8	4,749	-286,3	-2,76	9,54	4,36
0,214	-1299,6	977,1	4,88	4,8	-695,3	522,8	4,749	-341,0	-4,45	9,54	3,04
0,215	-1380,9	977,1	4,88	4,8	-738,8	522,8	4,749	-362,3	-5,70	9,54	2,11
0,216	-1327,2	977,1	4,88	4,8	-710,1	522,8	4,749	-348,2	-6,40	9,54	1,64
0,217	-1143,7	977,1	4,88	4,8	-611,9	522,8	4,749	-300,1	-6,47	9,54	1,69
0,218	-848,3	977,1	4,88	4,8	-453,8	522,8	4,749	-222,6	-5,91	9,54	2,24

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{БЕТ} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,219	-470,0	977,1	4,88	4,8	-251,4	522,8	4,749	-123,3	-4,77	9,54	3,25
0,22	-45,7	977,1	4,88	4,8	-24,4	522,8	4,749	-12,0	-3,16	9,54	4,62
0,221	383,1	977,1	4,88	4,8	205,0	522,8	4,749	100,5	-1,25	9,54	6,21
0,222	774,4	977,1	4,88	4,8	414,3	522,8	4,749	203,2	0,79	9,54	7,87
0,223	1089,9	977,1	4,88	4,8	583,1	522,8	4,749	286,0	2,75	9,54	9,43
0,224	1298,9	977,1	4,88	4,8	694,9	522,8	4,749	340,8	4,44	9,54	10,75
0,225	1380,9	977,1	4,88	4,8	738,8	522,8	4,749	362,3	5,70	9,54	11,69
0,226	1327,8	977,1	4,88	4,8	710,4	522,8	4,749	348,4	6,39	9,54	12,16
0,227	1144,8	977,1	4,88	4,8	612,5	522,8	4,749	300,4	6,47	9,54	12,11
0,228	849,9	977,1	4,88	4,8	454,7	522,8	4,749	223,0	5,91	9,54	11,56
0,229	471,9	977,1	4,88	4,8	252,5	522,8	4,749	123,8	4,77	9,54	10,55
0,23	47,7	977,1	4,88	4,8	25,5	522,8	4,749	12,5	3,17	9,54	9,18
0,231	-381,1	977,1	4,88	4,8	-203,9	522,8	4,749	-100,0	1,26	9,54	7,59
0,232	-772,7	977,1	4,88	4,8	-413,4	522,8	4,749	-202,7	-0,78	9,54	5,93
0,233	-1088,7	977,1	4,88	4,8	-582,5	522,8	4,749	-285,7	-2,74	9,54	4,37
0,234	-1298,2	977,1	4,88	4,8	-694,6	522,8	4,749	-340,6	-4,43	9,54	3,05
0,235	-1380,8	977,1	4,88	4,8	-738,7	522,8	4,749	-362,3	-5,69	9,54	2,11
0,236	-1328,3	977,1	4,88	4,8	-710,7	522,8	4,749	-348,5	-6,39	9,54	1,64
0,237	-1146,0	977,1	4,88	4,8	-613,1	522,8	4,749	-300,7	-6,47	9,54	1,68
0,238	-851,6	977,1	4,88	4,8	-455,6	522,8	4,749	-223,4	-5,91	9,54	2,23
0,239	-473,9	977,1	4,88	4,8	-253,5	522,8	4,749	-124,3	-4,78	9,54	3,24
0,24	-49,8	977,1	4,88	4,8	-26,7	522,8	4,749	-13,1	-3,18	9,54	4,61
0,241	379,1	977,1	4,88	4,8	202,8	522,8	4,749	99,5	-1,27	9,54	6,20
0,242	770,9	977,1	4,88	4,8	412,5	522,8	4,749	202,3	0,77	9,54	7,86
0,243	1087,4	977,1	4,88	4,8	581,8	522,8	4,749	285,3	2,73	9,54	9,42
0,244	1297,5	977,1	4,88	4,8	694,2	522,8	4,749	340,5	4,42	9,54	10,74
0,245	1380,7	977,1	4,88	4,8	738,7	522,8	4,749	362,3	5,69	9,54	11,68
0,246	1328,9	977,1	4,88	4,8	711,0	522,8	4,749	348,7	6,39	9,54	12,16
0,247	1147,1	977,1	4,88	4,8	613,7	522,8	4,749	301,0	6,47	9,54	12,12
0,248	853,2	977,1	4,88	4,8	456,5	522,8	4,749	223,9	5,92	9,54	11,57
0,249	475,8	977,1	4,88	4,8	254,6	522,8	4,749	124,8	4,79	9,54	10,56
0,25	51,9	977,1	4,88	4,8	27,8	522,8	4,749	13,6	3,19	9,54	9,20
0,251	-377,1	977,1	4,88	4,8	-201,8	522,8	4,749	-98,9	1,28	9,54	7,61
0,252	-769,2	977,1	4,88	4,8	-411,5	522,8	4,749	-201,8	-0,76	9,54	5,95
0,253	-1086,1	977,1	4,88	4,8	-581,1	522,8	4,749	-285,0	-2,72	9,54	4,38
0,254	-1296,8	977,1	4,88	4,8	-693,8	522,8	4,749	-340,3	-4,42	9,54	3,06
0,255	-1380,6	977,1	4,88	4,8	-738,7	522,8	4,749	-362,3	-5,68	9,54	2,12
0,256	-1329,5	977,1	4,88	4,8	-711,3	522,8	4,749	-348,8	-6,39	9,54	1,64
0,257	-1148,3	977,1	4,88	4,8	-614,4	522,8	4,749	-301,3	-6,47	9,54	1,68
0,258	-854,8	977,1	4,88	4,8	-457,3	522,8	4,749	-224,3	-5,92	9,54	2,23
0,259	-477,8	977,1	4,88	4,8	-255,6	522,8	4,749	-125,4	-4,79	9,54	3,23
0,26	-54,0	977,1	4,88	4,8	-28,9	522,8	4,749	-14,2	-3,20	9,54	4,59
0,261	375,1	977,1	4,88	4,8	200,7	522,8	4,749	98,4	-1,29	9,54	6,18
0,262	767,5	977,1	4,88	4,8	410,6	522,8	4,749	201,4	0,75	9,54	7,84
0,263	1084,8	977,1	4,88	4,8	580,4	522,8	4,749	284,6	2,71	9,54	9,41
0,264	1296,1	977,1	4,88	4,8	693,4	522,8	4,749	340,1	4,41	9,54	10,73
0,265	1380,5	977,1	4,88	4,8	738,6	522,8	4,749	362,2	5,68	9,54	11,67
0,266	1330,0	977,1	4,88	4,8	711,6	522,8	4,749	349,0	6,39	9,54	12,15

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,267	1149,4	977,1	4,88	4,8	615,0	522,8	4,749	301,6	6,47	9,54	12,12
0,268	856,5	977,1	4,88	4,8	458,2	522,8	4,749	224,7	5,93	9,54	11,57
0,269	479,7	977,1	4,88	4,8	256,6	522,8	4,749	125,9	4,80	9,54	10,57
0,27	56,0	977,1	4,88	4,8	30,0	522,8	4,749	14,7	3,20	9,54	9,21
0,271	-373,1	977,1	4,88	4,8	-199,6	522,8	4,749	-97,9	1,30	9,54	7,62
0,272	-765,8	977,1	4,88	4,8	-409,7	522,8	4,749	-200,9	-0,74	9,54	5,97
0,273	-1083,5	977,1	4,88	4,8	-579,7	522,8	4,749	-284,3	-2,70	9,54	4,40
0,274	-1295,3	977,1	4,88	4,8	-693,0	522,8	4,749	-339,9	-4,40	9,54	3,08
0,275	-1380,5	977,1	4,88	4,8	-738,6	522,8	4,749	-362,2	-5,67	9,54	2,13
0,276	-1330,6	977,1	4,88	4,8	-711,9	522,8	4,749	-349,1	-6,38	9,54	1,64
0,277	-1150,6	977,1	4,88	4,8	-615,6	522,8	4,749	-301,9	-6,47	9,54	1,68
0,278	-858,1	977,1	4,88	4,8	-459,1	522,8	4,749	-225,2	-5,93	9,54	2,22
0,279	-481,6	977,1	4,88	4,8	-257,7	522,8	4,749	-126,4	-4,81	9,54	3,22
0,28	-58,1	977,1	4,88	4,8	-31,1	522,8	4,749	-15,2	-3,21	9,54	4,58
0,281	371,1	977,1	4,88	4,8	198,5	522,8	4,749	97,4	-1,30	9,54	6,17
0,282	764,0	977,1	4,88	4,8	408,8	522,8	4,749	200,5	0,73	9,54	7,82
0,283	1082,2	977,1	4,88	4,8	579,0	522,8	4,749	284,0	2,70	9,54	9,39
0,284	1294,6	977,1	4,88	4,8	692,6	522,8	4,749	339,7	4,40	9,54	10,72
0,285	1380,4	977,1	4,88	4,8	738,5	522,8	4,749	362,2	5,67	9,54	11,67
0,286	1331,1	977,1	4,88	4,8	712,2	522,8	4,749	349,3	6,38	9,54	12,15
0,287	1151,7	977,1	4,88	4,8	616,2	522,8	4,749	302,2	6,48	9,54	12,12
0,288	859,7	977,1	4,88	4,8	460,0	522,8	4,749	225,6	5,93	9,54	11,58
0,289	483,6	977,1	4,88	4,8	258,7	522,8	4,749	126,9	4,81	9,54	10,58
0,29	60,2	977,1	4,88	4,8	32,2	522,8	4,749	15,8	3,22	9,54	9,23
0,291	-369,1	977,1	4,88	4,8	-197,5	522,8	4,749	-96,9	1,31	9,54	7,64
0,292	-762,3	977,1	4,88	4,8	-407,8	522,8	4,749	-200,0	-0,72	9,54	5,98
0,293	-1080,9	977,1	4,88	4,8	-578,3	522,8	4,749	-283,6	-2,69	9,54	4,41
0,294	-1293,9	977,1	4,88	4,8	-692,2	522,8	4,749	-339,5	-4,39	9,54	3,09
0,295	-1380,3	977,1	4,88	4,8	-738,5	522,8	4,749	-362,2	-5,66	9,54	2,13
0,296	-1331,7	977,1	4,88	4,8	-712,5	522,8	4,749	-349,4	-6,38	9,54	1,65
0,297	-1152,9	977,1	4,88	4,8	-616,8	522,8	4,749	-302,5	-6,48	9,54	1,67
0,298	-861,3	977,1	4,88	4,8	-460,8	522,8	4,749	-226,0	-5,94	9,54	2,21
0,299	-485,5	977,1	4,88	4,8	-259,8	522,8	4,749	-127,4	-4,82	9,54	3,21
0,3	-62,3	977,1	4,88	4,8	-33,3	522,8	4,749	-16,3	-3,23	9,54	4,56
0,301	367,1	977,1	4,88	4,8	196,4	522,8	4,749	96,3	-1,32	9,54	6,15
0,302	760,6	977,1	4,88	4,8	406,9	522,8	4,749	199,6	0,71	9,54	7,81
0,303	1079,6	977,1	4,88	4,8	577,6	522,8	4,749	283,3	2,68	9,54	9,38
0,304	1293,2	977,1	4,88	4,8	691,9	522,8	4,749	339,3	4,38	9,54	10,71
0,305	1380,2	977,1	4,88	4,8	738,4	522,8	4,749	362,2	5,66	9,54	11,66
0,306	1332,3	977,1	4,88	4,8	712,8	522,8	4,749	349,6	6,38	9,54	12,15
0,307	1154,0	977,1	4,88	4,8	617,4	522,8	4,749	302,8	6,48	9,54	12,13
0,308	863,0	977,1	4,88	4,8	461,7	522,8	4,749	226,4	5,94	9,54	11,59
0,309	487,5	977,1	4,88	4,8	260,8	522,8	4,749	127,9	4,83	9,54	10,60
0,31	64,3	977,1	4,88	4,8	34,4	522,8	4,749	16,9	3,24	9,54	9,24
0,311	-365,1	977,1	4,88	4,8	-195,3	522,8	4,749	-95,8	1,33	9,54	7,66
0,312	-758,8	977,1	4,88	4,8	-406,0	522,8	4,749	-199,1	-0,70	9,54	6,00
0,313	-1078,4	977,1	4,88	4,8	-576,9	522,8	4,749	-283,0	-2,67	9,54	4,43
0,314	-1292,4	977,1	4,88	4,8	-691,5	522,8	4,749	-339,1	-4,37	9,54	3,10

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,315	-1380,1	977,1	4,88	4,8	-738,4	522,8	4,749	-362,1	-5,65	9,54	2,14
0,316	-1332,8	977,1	4,88	4,8	-713,1	522,8	4,749	-349,7	-6,38	9,54	1,65
0,317	-1155,2	977,1	4,88	4,8	-618,0	522,8	4,749	-303,1	-6,48	9,54	1,67
0,318	-864,6	977,1	4,88	4,8	-462,6	522,8	4,749	-226,9	-5,95	9,54	2,20
0,319	-489,4	977,1	4,88	4,8	-261,8	522,8	4,749	-128,4	-4,83	9,54	3,20
0,32	-66,4	977,1	4,88	4,8	-35,5	522,8	4,749	-17,4	-3,25	9,54	4,55
0,321	363,1	977,1	4,88	4,8	194,3	522,8	4,749	95,3	-1,34	9,54	6,13
0,322	757,1	977,1	4,88	4,8	405,1	522,8	4,749	198,7	0,69	9,54	7,79
0,323	1077,1	977,1	4,88	4,8	576,2	522,8	4,749	282,6	2,66	9,54	9,36
0,324	1291,7	977,1	4,88	4,8	691,1	522,8	4,749	338,9	4,37	9,54	10,69
0,325	1380,0	977,1	4,88	4,8	738,3	522,8	4,749	362,1	5,65	9,54	11,65
0,326	1333,3	977,1	4,88	4,8	713,4	522,8	4,749	349,9	6,37	9,54	12,15
0,327	1156,3	977,1	4,88	4,8	618,6	522,8	4,749	303,4	6,48	9,54	12,13
0,328	866,2	977,1	4,88	4,8	463,4	522,8	4,749	227,3	5,95	9,54	11,60
0,329	491,4	977,1	4,88	4,8	262,9	522,8	4,749	128,9	4,84	9,54	10,61
0,33	68,5	977,1	4,88	4,8	36,6	522,8	4,749	18,0	3,26	9,54	9,25
0,331	-361,1	977,1	4,88	4,8	-193,2	522,8	4,749	-94,7	1,35	9,54	7,67
0,332	-755,4	977,1	4,88	4,8	-404,1	522,8	4,749	-198,2	-0,68	9,54	6,01
0,333	-1075,8	977,1	4,88	4,8	-575,5	522,8	4,749	-282,3	-2,65	9,54	4,44
0,334	-1290,9	977,1	4,88	4,8	-690,7	522,8	4,749	-338,7	-4,36	9,54	3,11
0,335	-1379,9	977,1	4,88	4,8	-738,3	522,8	4,749	-362,1	-5,64	9,54	2,15
0,336	-1333,9	977,1	4,88	4,8	-713,7	522,8	4,749	-350,0	-6,37	9,54	1,65
0,337	-1157,4	977,1	4,88	4,8	-619,3	522,8	4,749	-303,7	-6,48	9,54	1,67
0,338	-867,8	977,1	4,88	4,8	-464,3	522,8	4,749	-227,7	-5,95	9,54	2,20
0,339	-493,3	977,1	4,88	4,8	-263,9	522,8	4,749	-129,4	-4,85	9,54	3,19
0,34	-70,6	977,1	4,88	4,8	-37,7	522,8	4,749	-18,5	-3,26	9,54	4,54
0,341	359,1	977,1	4,88	4,8	192,1	522,8	4,749	94,2	-1,36	9,54	6,12
0,342	753,6	977,1	4,88	4,8	403,2	522,8	4,749	197,7	0,67	9,54	7,78
0,343	1074,4	977,1	4,88	4,8	574,8	522,8	4,749	281,9	2,64	9,54	9,35
0,344	1290,2	977,1	4,88	4,8	690,3	522,8	4,749	338,5	4,35	9,54	10,68
0,345	1379,8	977,1	4,88	4,8	738,2	522,8	4,749	362,0	5,64	9,54	11,65
0,346	1334,4	977,1	4,88	4,8	713,9	522,8	4,749	350,1	6,37	9,54	12,14
0,347	1158,6	977,1	4,88	4,8	619,9	522,8	4,749	304,0	6,48	9,54	12,13
0,348	869,4	977,1	4,88	4,8	465,2	522,8	4,749	228,1	5,96	9,54	11,60
0,349	495,2	977,1	4,88	4,8	265,0	522,8	4,749	129,9	4,85	9,54	10,62
0,35	72,6	977,1	4,88	4,8	38,9	522,8	4,749	19,1	3,27	9,54	9,27
0,351	-357,1	977,1	4,88	4,8	-191,0	522,8	4,749	-93,7	1,37	9,54	7,69
0,352	-751,9	977,1	4,88	4,8	-402,3	522,8	4,749	-197,3	-0,66	9,54	6,03
0,353	-1073,1	977,1	4,88	4,8	-574,1	522,8	4,749	-281,6	-2,63	9,54	4,45
0,354	-1289,5	977,1	4,88	4,8	-689,9	522,8	4,749	-338,3	-4,34	9,54	3,12
0,355	-1379,7	977,1	4,88	4,8	-738,2	522,8	4,749	-362,0	-5,63	9,54	2,15
0,356	-1335,0	977,1	4,88	4,8	-714,2	522,8	4,749	-350,3	-6,37	9,54	1,65
0,357	-1159,7	977,1	4,88	4,8	-620,5	522,8	4,749	-304,3	-6,48	9,54	1,67
0,358	-871,0	977,1	4,88	4,8	-466,0	522,8	4,749	-228,6	-5,96	9,54	2,19
0,359	-497,2	977,1	4,88	4,8	-266,0	522,8	4,749	-130,5	-4,86	9,54	3,17
0,36	-74,7	977,1	4,88	4,8	-40,0	522,8	4,749	-19,6	-3,28	9,54	4,52
0,361	355,1	977,1	4,88	4,8	190,0	522,8	4,749	93,2	-1,38	9,54	6,10
0,362	750,1	977,1	4,88	4,8	401,3	522,8	4,749	196,8	0,65	9,54	7,76

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,363	1071,8	977,1	4,88	4,8	573,4	522,8	4,749	281,2	2,62	9,54	9,34
0,364	1288,7	977,1	4,88	4,8	689,5	522,8	4,749	338,2	4,34	9,54	10,67
0,365	1379,6	977,1	4,88	4,8	738,1	522,8	4,749	362,0	5,63	9,54	11,64
0,366	1335,5	977,1	4,88	4,8	714,5	522,8	4,749	350,4	6,37	9,54	12,14
0,367	1160,8	977,1	4,88	4,8	621,1	522,8	4,749	304,6	6,48	9,54	12,13
0,368	872,6	977,1	4,88	4,8	466,9	522,8	4,749	229,0	5,97	9,54	11,61
0,369	499,1	977,1	4,88	4,8	267,0	522,8	4,749	131,0	4,87	9,54	10,63
0,37	76,8	977,1	4,88	4,8	41,1	522,8	4,749	20,1	3,29	9,54	9,28
0,371	-353,1	977,1	4,88	4,8	-188,9	522,8	4,749	-92,6	1,39	9,54	7,70
0,372	-748,4	977,1	4,88	4,8	-400,4	522,8	4,749	-196,4	-0,64	9,54	6,04
0,373	-1070,5	977,1	4,88	4,8	-572,7	522,8	4,749	-280,9	-2,61	9,54	4,47
0,374	-1288,0	977,1	4,88	4,8	-689,1	522,8	4,749	-338,0	-4,33	9,54	3,13
0,375	-1379,4	977,1	4,88	4,8	-738,0	522,8	4,749	-362,0	-5,62	9,54	2,16
0,376	-1336,0	977,1	4,88	4,8	-714,8	522,8	4,749	-350,6	-6,36	9,54	1,66
0,377	-1162,0	977,1	4,88	4,8	-621,7	522,8	4,749	-304,9	-6,48	9,54	1,66
0,378	-874,3	977,1	4,88	4,8	-467,7	522,8	4,749	-229,4	-5,97	9,54	2,18
0,379	-501,1	977,1	4,88	4,8	-268,1	522,8	4,749	-131,5	-4,87	9,54	3,16
0,38	-78,8	977,1	4,88	4,8	-42,2	522,8	4,749	-20,7	-3,30	9,54	4,51
0,381	351,1	977,1	4,88	4,8	187,8	522,8	4,749	92,1	-1,40	9,54	6,09
0,382	746,6	977,1	4,88	4,8	399,5	522,8	4,749	195,9	0,63	9,54	7,75
0,383	1069,2	977,1	4,88	4,8	572,0	522,8	4,749	280,6	2,61	9,54	9,32
0,384	1287,2	977,1	4,88	4,8	688,7	522,8	4,749	337,8	4,32	9,54	10,66
0,385	1379,3	977,1	4,88	4,8	738,0	522,8	4,749	361,9	5,62	9,54	11,63
0,386	1336,6	977,1	4,88	4,8	715,1	522,8	4,749	350,7	6,36	9,54	12,14
0,387	1163,1	977,1	4,88	4,8	622,3	522,8	4,749	305,2	6,49	9,54	12,14
0,388	875,9	977,1	4,88	4,8	468,6	522,8	4,749	229,8	5,97	9,54	11,62
0,389	503,0	977,1	4,88	4,8	269,1	522,8	4,749	132,0	4,88	9,54	10,64
0,39	80,9	977,1	4,88	4,8	43,3	522,8	4,749	21,2	3,31	9,54	9,30
0,391	-349,1	977,1	4,88	4,8	-186,8	522,8	4,749	-91,6	1,41	9,54	7,72
0,392	-744,9	977,1	4,88	4,8	-398,5	522,8	4,749	-195,5	-0,62	9,54	6,06
0,393	-1067,9	977,1	4,88	4,8	-571,3	522,8	4,749	-280,2	-2,60	9,54	4,48
0,394	-1286,5	977,1	4,88	4,8	-688,3	522,8	4,749	-337,6	-4,32	9,54	3,14
0,395	-1379,2	977,1	4,88	4,8	-737,9	522,8	4,749	-361,9	-5,61	9,54	2,17
0,396	-1337,1	977,1	4,88	4,8	-715,4	522,8	4,749	-350,8	-6,36	9,54	1,66
0,397	-1164,2	977,1	4,88	4,8	-622,9	522,8	4,749	-305,5	-6,49	9,54	1,66
0,398	-877,5	977,1	4,88	4,8	-469,5	522,8	4,749	-230,2	-5,98	9,54	2,17
0,399	-504,9	977,1	4,88	4,8	-270,1	522,8	4,749	-132,5	-4,88	9,54	3,15
0,4	-83,0	977,1	4,88	4,8	-44,4	522,8	4,749	-21,8	-3,31	9,54	4,49
0,401	347,0	977,1	4,88	4,8	185,7	522,8	4,749	91,1	-1,42	9,54	6,07
0,402	743,1	977,1	4,88	4,8	397,6	522,8	4,749	195,0	0,61	9,54	7,73
0,403	1066,6	977,1	4,88	4,8	570,6	522,8	4,749	279,9	2,59	9,54	9,31
0,404	1285,7	977,1	4,88	4,8	687,9	522,8	4,749	337,4	4,31	9,54	10,65
0,405	1379,1	977,1	4,88	4,8	737,8	522,8	4,749	361,9	5,61	9,54	11,62
0,406	1337,6	977,1	4,88	4,8	715,6	522,8	4,749	351,0	6,36	9,54	12,14
0,407	1165,3	977,1	4,88	4,8	623,5	522,8	4,749	305,8	6,49	9,54	12,14
0,408	879,1	977,1	4,88	4,8	470,3	522,8	4,749	230,7	5,98	9,54	11,63
0,409	506,9	977,1	4,88	4,8	271,2	522,8	4,749	133,0	4,89	9,54	10,65
0,41	85,1	977,1	4,88	4,8	45,5	522,8	4,749	22,3	3,32	9,54	9,31

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{БЕТ} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,411	-345,0	977,1	4,88	4,8	-184,6	522,8	4,749	-90,5	1,43	9,54	7,73
0,412	-741,4	977,1	4,88	4,8	-396,7	522,8	4,749	-194,5	-0,60	9,54	6,08
0,413	-1065,3	977,1	4,88	4,8	-569,9	522,8	4,749	-279,5	-2,58	9,54	4,50
0,414	-1284,9	977,1	4,88	4,8	-687,5	522,8	4,749	-337,2	-4,30	9,54	3,15
0,415	-1379,0	977,1	4,88	4,8	-737,8	522,8	4,749	-361,8	-5,60	9,54	2,18
0,416	-1338,1	977,1	4,88	4,8	-715,9	522,8	4,749	-351,1	-6,36	9,54	1,66
0,417	-1166,4	977,1	4,88	4,8	-624,1	522,8	4,749	-306,1	-6,49	9,54	1,66
0,418	-880,7	977,1	4,88	4,8	-471,2	522,8	4,749	-231,1	-5,99	9,54	2,17
0,419	-508,8	977,1	4,88	4,8	-272,2	522,8	4,749	-133,5	-4,90	9,54	3,14
0,42	-87,1	977,1	4,88	4,8	-46,6	522,8	4,749	-22,9	-3,33	9,54	4,48
0,421	343,0	977,1	4,88	4,8	183,5	522,8	4,749	90,0	-1,44	9,54	6,06
0,422	739,6	977,1	4,88	4,8	395,7	522,8	4,749	194,1	0,59	9,54	7,71
0,423	1063,9	977,1	4,88	4,8	569,2	522,8	4,749	279,2	2,57	9,54	9,29
0,424	1284,2	977,1	4,88	4,8	687,1	522,8	4,749	337,0	4,29	9,54	10,64
0,425	1378,8	977,1	4,88	4,8	737,7	522,8	4,749	361,8	5,60	9,54	11,62
0,426	1338,6	977,1	4,88	4,8	716,2	522,8	4,749	351,3	6,35	9,54	12,13
0,427	1167,5	977,1	4,88	4,8	624,7	522,8	4,749	306,4	6,49	9,54	12,14
0,428	882,3	977,1	4,88	4,8	472,0	522,8	4,749	231,5	5,99	9,54	11,63
0,429	510,7	977,1	4,88	4,8	273,2	522,8	4,749	134,0	4,90	9,54	10,66
0,43	89,2	977,1	4,88	4,8	47,7	522,8	4,749	23,4	3,34	9,54	9,33
0,431	-341,0	977,1	4,88	4,8	-182,4	522,8	4,749	-89,5	1,45	9,54	7,75
0,432	-737,9	977,1	4,88	4,8	-394,8	522,8	4,749	-193,6	-0,58	9,54	6,09
0,433	-1062,6	977,1	4,88	4,8	-568,5	522,8	4,749	-278,8	-2,56	9,54	4,51
0,434	-1283,4	977,1	4,88	4,8	-686,6	522,8	4,749	-336,8	-4,29	9,54	3,16
0,435	-1378,7	977,1	4,88	4,8	-737,6	522,8	4,749	-361,8	-5,59	9,54	2,18
0,436	-1339,2	977,1	4,88	4,8	-716,5	522,8	4,749	-351,4	-6,35	9,54	1,66
0,437	-1168,7	977,1	4,88	4,8	-625,2	522,8	4,749	-306,6	-6,49	9,54	1,66
0,438	-883,9	977,1	4,88	4,8	-472,9	522,8	4,749	-231,9	-5,99	9,54	2,16
0,439	-512,6	977,1	4,88	4,8	-274,3	522,8	4,749	-134,5	-4,91	9,54	3,13
0,44	-91,3	977,1	4,88	4,8	-48,8	522,8	4,749	-24,0	-3,35	9,54	4,47
0,441	339,0	977,1	4,88	4,8	181,4	522,8	4,749	89,0	-1,46	9,54	6,04
0,442	736,1	977,1	4,88	4,8	393,8	522,8	4,749	193,2	0,58	9,54	7,70
0,443	1061,3	977,1	4,88	4,8	567,8	522,8	4,749	278,5	2,55	9,54	9,28
0,444	1282,6	977,1	4,88	4,8	686,2	522,8	4,749	336,6	4,28	9,54	10,63
0,445	1378,6	977,1	4,88	4,8	737,5	522,8	4,749	361,7	5,59	9,54	11,61
0,446	1339,7	977,1	4,88	4,8	716,7	522,8	4,749	351,5	6,35	9,54	12,13
0,447	1169,8	977,1	4,88	4,8	625,8	522,8	4,749	306,9	6,49	9,54	12,14
0,448	885,5	977,1	4,88	4,8	473,7	522,8	4,749	232,3	6,00	9,54	11,64
0,449	514,6	977,1	4,88	4,8	275,3	522,8	4,749	135,0	4,92	9,54	10,67
0,45	93,4	977,1	4,88	4,8	49,9	522,8	4,749	24,5	3,36	9,54	9,34
0,451	-337,0	977,1	4,88	4,8	-180,3	522,8	4,749	-88,4	1,47	9,54	7,77
0,452	-734,4	977,1	4,88	4,8	-392,9	522,8	4,749	-192,7	-0,57	9,54	6,11
0,453	-1059,9	977,1	4,88	4,8	-567,1	522,8	4,749	-278,1	-2,54	9,54	4,53
0,454	-1281,9	977,1	4,88	4,8	-685,8	522,8	4,749	-336,4	-4,27	9,54	3,18
0,455	-1378,4	977,1	4,88	4,8	-737,5	522,8	4,749	-361,7	-5,58	9,54	2,19
0,456	-1340,2	977,1	4,88	4,8	-717,0	522,8	4,749	-351,7	-6,35	9,54	1,67
0,457	-1170,9	977,1	4,88	4,8	-626,4	522,8	4,749	-307,2	-6,49	9,54	1,65
0,458	-887,1	977,1	4,88	4,8	-474,6	522,8	4,749	-232,8	-6,00	9,54	2,15

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,459	-516,5	977,1	4,88	4,8	-276,3	522,8	4,749	-135,5	-4,92	9,54	3,12
0,46	-95,4	977,1	4,88	4,8	-51,1	522,8	4,749	-25,0	-3,36	9,54	4,45
0,461	335,0	977,1	4,88	4,8	179,2	522,8	4,749	87,9	-1,48	9,54	6,02
0,462	732,6	977,1	4,88	4,8	392,0	522,8	4,749	192,2	0,56	9,54	7,68
0,463	1058,6	977,1	4,88	4,8	566,4	522,8	4,749	277,8	2,53	9,54	9,27
0,464	1281,1	977,1	4,88	4,8	685,4	522,8	4,749	336,1	4,26	9,54	10,62
0,465	1378,3	977,1	4,88	4,8	737,4	522,8	4,749	361,7	5,58	9,54	11,60
0,466	1340,7	977,1	4,88	4,8	717,3	522,8	4,749	351,8	6,35	9,54	12,13
0,467	1172,0	977,1	4,88	4,8	627,0	522,8	4,749	307,5	6,49	9,54	12,15
0,468	888,6	977,1	4,88	4,8	475,4	522,8	4,749	233,2	6,00	9,54	11,65
0,469	518,4	977,1	4,88	4,8	277,4	522,8	4,749	136,0	4,93	9,54	10,69
0,47	97,5	977,1	4,88	4,8	52,2	522,8	4,749	25,6	3,37	9,54	9,35
0,471	-333,0	977,1	4,88	4,8	-178,1	522,8	4,749	-87,4	1,49	9,54	7,78
0,472	-730,9	977,1	4,88	4,8	-391,0	522,8	4,749	-191,8	-0,55	9,54	6,12
0,473	-1057,3	977,1	4,88	4,8	-565,7	522,8	4,749	-277,4	-2,52	9,54	4,54
0,474	-1280,3	977,1	4,88	4,8	-685,0	522,8	4,749	-335,9	-4,26	9,54	3,19
0,475	-1378,1	977,1	4,88	4,8	-737,3	522,8	4,749	-361,6	-5,57	9,54	2,20
0,476	-1341,2	977,1	4,88	4,8	-717,5	522,8	4,749	-351,9	-6,34	9,54	1,67
0,477	-1173,1	977,1	4,88	4,8	-627,6	522,8	4,749	-307,8	-6,49	9,54	1,65
0,478	-890,2	977,1	4,88	4,8	-476,3	522,8	4,749	-233,6	-6,01	9,54	2,15
0,479	-520,3	977,1	4,88	4,8	-278,4	522,8	4,749	-136,5	-4,94	9,54	3,11
0,48	-99,6	977,1	4,88	4,8	-53,3	522,8	4,749	-26,1	-3,38	9,54	4,44
0,481	330,9	977,1	4,88	4,8	177,1	522,8	4,749	86,8	-1,50	9,54	6,01
0,482	729,1	977,1	4,88	4,8	390,1	522,8	4,749	191,3	0,54	9,54	7,67
0,483	1055,9	977,1	4,88	4,8	564,9	522,8	4,749	277,1	2,52	9,54	9,25
0,484	1279,5	977,1	4,88	4,8	684,6	522,8	4,749	335,7	4,25	9,54	10,60
0,485	1378,0	977,1	4,88	4,8	737,2	522,8	4,749	361,6	5,57	9,54	11,60
0,486	1341,7	977,1	4,88	4,8	717,8	522,8	4,749	352,0	6,34	9,54	12,13
0,487	1174,2	977,1	4,88	4,8	628,2	522,8	4,749	308,1	6,49	9,54	12,15
0,488	891,8	977,1	4,88	4,8	477,1	522,8	4,749	234,0	6,01	9,54	11,65
0,489	522,3	977,1	4,88	4,8	279,4	522,8	4,749	137,0	4,94	9,54	10,70
0,49	101,6	977,1	4,88	4,8	54,4	522,8	4,749	26,7	3,39	9,54	9,37
0,491	-328,9	977,1	4,88	4,8	-176,0	522,8	4,749	-86,3	1,51	9,54	7,80
0,492	-727,3	977,1	4,88	4,8	-389,1	522,8	4,749	-190,8	-0,53	9,54	6,14
0,493	-1054,6	977,1	4,88	4,8	-564,2	522,8	4,749	-276,7	-2,51	9,54	4,55
0,494	-1278,7	977,1	4,88	4,8	-684,1	522,8	4,749	-335,5	-4,24	9,54	3,20
0,495	-1377,8	977,1	4,88	4,8	-737,2	522,8	4,749	-361,5	-5,56	9,54	2,21
0,496	-1342,2	977,1	4,88	4,8	-718,1	522,8	4,749	-352,2	-6,34	9,54	1,67
0,497	-1175,2	977,1	4,88	4,8	-628,8	522,8	4,749	-308,4	-6,49	9,54	1,65
0,498	-893,4	977,1	4,88	4,8	-478,0	522,8	4,749	-234,4	-6,02	9,54	2,14
0,499	-524,2	977,1	4,88	4,8	-280,4	522,8	4,749	-137,5	-4,95	9,54	3,10
0,5	-103,7	977,1	4,88	4,8	-55,5	522,8	4,749	-27,2	-3,40	9,54	4,42
0,501	326,9	977,1	4,88	4,8	174,9	522,8	4,749	85,8	-1,51	9,54	5,99
0,502	725,6	977,1	4,88	4,8	388,2	522,8	4,749	190,4	0,52	9,54	7,65
0,503	1053,3	977,1	4,88	4,8	563,5	522,8	4,749	276,4	2,50	9,54	9,24
0,504	1277,9	977,1	4,88	4,8	683,7	522,8	4,749	335,3	4,23	9,54	10,59
0,505	1377,7	977,1	4,88	4,8	737,1	522,8	4,749	361,5	5,56	9,54	11,59
0,506	1342,7	977,1	4,88	4,8	718,3	522,8	4,749	352,3	6,34	9,54	12,12

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,507	1176,3	977,1	4,88	4,8	629,4	522,8	4,749	308,7	6,50	9,54	12,15
0,508	895,0	977,1	4,88	4,8	478,8	522,8	4,749	234,8	6,02	9,54	11,66
0,509	526,1	977,1	4,88	4,8	281,5	522,8	4,749	138,0	4,96	9,54	10,71
0,51	105,8	977,1	4,88	4,8	56,6	522,8	4,749	27,8	3,41	9,54	9,38
0,511	-324,9	977,1	4,88	4,8	-173,8	522,8	4,749	-85,3	1,52	9,54	7,81
0,512	-723,8	977,1	4,88	4,8	-387,2	522,8	4,749	-189,9	-0,51	9,54	6,15
0,513	-1051,9	977,1	4,88	4,8	-562,8	522,8	4,749	-276,0	-2,49	9,54	4,57
0,514	-1277,2	977,1	4,88	4,8	-683,3	522,8	4,749	-335,1	-4,23	9,54	3,21
0,515	-1377,5	977,1	4,88	4,8	-737,0	522,8	4,749	-361,4	-5,55	9,54	2,21
0,516	-1343,1	977,1	4,88	4,8	-718,6	522,8	4,749	-352,4	-6,33	9,54	1,67
0,517	-1177,4	977,1	4,88	4,8	-629,9	522,8	4,749	-309,0	-6,50	9,54	1,65
0,518	-896,6	977,1	4,88	4,8	-479,7	522,8	4,749	-235,3	-6,02	9,54	2,13
0,519	-528,0	977,1	4,88	4,8	-282,5	522,8	4,749	-138,6	-4,96	9,54	3,08
0,52	-107,8	977,1	4,88	4,8	-57,7	522,8	4,749	-28,3	-3,41	9,54	4,41
0,521	322,9	977,1	4,88	4,8	172,7	522,8	4,749	84,7	-1,53	9,54	5,98
0,522	722,0	977,1	4,88	4,8	386,3	522,8	4,749	189,5	0,50	9,54	7,64
0,523	1050,6	977,1	4,88	4,8	562,1	522,8	4,749	275,7	2,48	9,54	9,22
0,524	1276,4	977,1	4,88	4,8	682,9	522,8	4,749	334,9	4,22	9,54	10,58
0,525	1377,3	977,1	4,88	4,8	736,9	522,8	4,749	361,4	5,55	9,54	11,58
0,526	1343,6	977,1	4,88	4,8	718,9	522,8	4,749	352,6	6,33	9,54	12,12
0,527	1178,5	977,1	4,88	4,8	630,5	522,8	4,749	309,2	6,50	9,54	12,15
0,528	898,1	977,1	4,88	4,8	480,5	522,8	4,749	235,7	6,03	9,54	11,67
0,529	529,9	977,1	4,88	4,8	283,5	522,8	4,749	139,1	4,97	9,54	10,72
0,53	109,9	977,1	4,88	4,8	58,8	522,8	4,749	28,8	3,42	9,54	9,40
0,531	-320,9	977,1	4,88	4,8	-171,7	522,8	4,749	-84,2	1,54	9,54	7,83
0,532	-720,3	977,1	4,88	4,8	-385,3	522,8	4,749	-189,0	-0,49	9,54	6,17
0,533	-1049,2	977,1	4,88	4,8	-561,3	522,8	4,749	-275,3	-2,47	9,54	4,58
0,534	-1275,6	977,1	4,88	4,8	-682,5	522,8	4,749	-334,7	-4,21	9,54	3,22
0,535	-1377,2	977,1	4,88	4,8	-736,8	522,8	4,749	-361,4	-5,54	9,54	2,22
0,536	-1344,1	977,1	4,88	4,8	-719,1	522,8	4,749	-352,7	-6,33	9,54	1,68
0,537	-1179,6	977,1	4,88	4,8	-631,1	522,8	4,749	-309,5	-6,50	9,54	1,64
0,538	-899,7	977,1	4,88	4,8	-481,4	522,8	4,749	-236,1	-6,03	9,54	2,13
0,539	-531,9	977,1	4,88	4,8	-284,6	522,8	4,749	-139,6	-4,97	9,54	3,07
0,54	-112,0	977,1	4,88	4,8	-59,9	522,8	4,749	-29,4	-3,43	9,54	4,39
0,541	318,8	977,1	4,88	4,8	170,6	522,8	4,749	83,7	-1,55	9,54	5,96
0,542	718,5	977,1	4,88	4,8	384,4	522,8	4,749	188,5	0,48	9,54	7,62
0,543	1047,9	977,1	4,88	4,8	560,6	522,8	4,749	275,0	2,46	9,54	9,21
0,544	1274,8	977,1	4,88	4,8	682,0	522,8	4,749	334,5	4,20	9,54	10,57
0,545	1377,0	977,1	4,88	4,8	736,7	522,8	4,749	361,3	5,54	9,54	11,57
0,546	1344,6	977,1	4,88	4,8	719,4	522,8	4,749	352,8	6,33	9,54	12,12
0,547	1180,7	977,1	4,88	4,8	631,7	522,8	4,749	309,8	6,50	9,54	12,15
0,548	901,3	977,1	4,88	4,8	482,2	522,8	4,749	236,5	6,03	9,54	11,68
0,549	533,8	977,1	4,88	4,8	285,6	522,8	4,749	140,1	4,98	9,54	10,73
0,55	114,1	977,1	4,88	4,8	61,0	522,8	4,749	29,9	3,44	9,54	9,41
0,551	-316,8	977,1	4,88	4,8	-169,5	522,8	4,749	-83,1	1,56	9,54	7,84
0,552	-716,7	977,1	4,88	4,8	-383,5	522,8	4,749	-188,1	-0,47	9,54	6,19
0,553	-1046,5	977,1	4,88	4,8	-559,9	522,8	4,749	-274,6	-2,45	9,54	4,60
0,554	-1274,0	977,1	4,88	4,8	-681,6	522,8	4,749	-334,3	-4,20	9,54	3,23

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,555	-1376,8	977,1	4,88	4,8	-736,6	522,8	4,749	-361,3	-5,53	9,54	2,23
0,556	-1345,1	977,1	4,88	4,8	-719,6	522,8	4,749	-352,9	-6,32	9,54	1,68
0,557	-1181,8	977,1	4,88	4,8	-632,3	522,8	4,749	-310,1	-6,50	9,54	1,64
0,558	-902,9	977,1	4,88	4,8	-483,0	522,8	4,749	-236,9	-6,04	9,54	2,12
0,559	-535,7	977,1	4,88	4,8	-286,6	522,8	4,749	-140,6	-4,99	9,54	3,06
0,56	-116,1	977,1	4,88	4,8	-62,1	522,8	4,749	-30,5	-3,45	9,54	4,38
0,561	314,8	977,1	4,88	4,8	168,4	522,8	4,749	82,6	-1,57	9,54	5,95
0,562	714,9	977,1	4,88	4,8	382,5	522,8	4,749	187,6	0,46	9,54	7,60
0,563	1045,2	977,1	4,88	4,8	559,2	522,8	4,749	274,2	2,44	9,54	9,19
0,564	1273,2	977,1	4,88	4,8	681,2	522,8	4,749	334,1	4,19	9,54	10,56
0,565	1376,7	977,1	4,88	4,8	736,5	522,8	4,749	361,2	5,53	9,54	11,57
0,566	1345,5	977,1	4,88	4,8	719,9	522,8	4,749	353,1	6,32	9,54	12,12
0,567	1182,8	977,1	4,88	4,8	632,8	522,8	4,749	310,4	6,50	9,54	12,16
0,568	904,4	977,1	4,88	4,8	483,9	522,8	4,749	237,3	6,04	9,54	11,68
0,569	537,6	977,1	4,88	4,8	287,6	522,8	4,749	141,1	4,99	9,54	10,74
0,57	118,2	977,1	4,88	4,8	63,2	522,8	4,749	31,0	3,46	9,54	9,42
0,571	-312,8	977,1	4,88	4,8	-167,3	522,8	4,749	-82,1	1,58	9,54	7,86
0,572	-713,2	977,1	4,88	4,8	-381,5	522,8	4,749	-187,1	-0,45	9,54	6,20
0,573	-1043,8	977,1	4,88	4,8	-558,4	522,8	4,749	-273,9	-2,43	9,54	4,61
0,574	-1272,4	977,1	4,88	4,8	-680,7	522,8	4,749	-333,9	-4,18	9,54	3,24
0,575	-1376,5	977,1	4,88	4,8	-736,4	522,8	4,749	-361,2	-5,52	9,54	2,24
0,576	-1346,0	977,1	4,88	4,8	-720,1	522,8	4,749	-353,2	-6,32	9,54	1,68
0,577	-1183,9	977,1	4,88	4,8	-633,4	522,8	4,749	-310,6	-6,50	9,54	1,64
0,578	-906,0	977,1	4,88	4,8	-484,7	522,8	4,749	-237,7	-6,05	9,54	2,11
0,579	-539,5	977,1	4,88	4,8	-288,7	522,8	4,749	-141,6	-5,00	9,54	3,05
0,58	-120,3	977,1	4,88	4,8	-64,3	522,8	4,749	-31,6	-3,46	9,54	4,37
0,581	310,8	977,1	4,88	4,8	166,3	522,8	4,749	81,5	-1,59	9,54	5,93
0,582	711,4	977,1	4,88	4,8	380,6	522,8	4,749	186,7	0,44	9,54	7,59
0,583	1042,4	977,1	4,88	4,8	557,7	522,8	4,749	273,5	2,42	9,54	9,18
0,584	1271,5	977,1	4,88	4,8	680,3	522,8	4,749	333,6	4,17	9,54	10,55
0,585	1376,3	977,1	4,88	4,8	736,3	522,8	4,749	361,1	5,52	9,54	11,56
0,586	1346,5	977,1	4,88	4,8	720,4	522,8	4,749	353,3	6,32	9,54	12,11
0,587	1185,0	977,1	4,88	4,8	634,0	522,8	4,749	310,9	6,50	9,54	12,16
0,588	907,6	977,1	4,88	4,8	485,6	522,8	4,749	238,1	6,05	9,54	11,69
0,589	541,4	977,1	4,88	4,8	289,7	522,8	4,749	142,1	5,01	9,54	10,75
0,59	122,3	977,1	4,88	4,8	65,4	522,8	4,749	32,1	3,47	9,54	9,44
0,591	-308,7	977,1	4,88	4,8	-165,2	522,8	4,749	-81,0	1,60	9,54	7,88
0,592	-709,6	977,1	4,88	4,8	-379,6	522,8	4,749	-186,2	-0,43	9,54	6,22
0,593	-1041,1	977,1	4,88	4,8	-557,0	522,8	4,749	-273,2	-2,42	9,54	4,63
0,594	-1270,7	977,1	4,88	4,8	-679,9	522,8	4,749	-333,4	-4,17	9,54	3,26
0,595	-1376,1	977,1	4,88	4,8	-736,2	522,8	4,749	-361,1	-5,51	9,54	2,24
0,596	-1346,9	977,1	4,88	4,8	-720,6	522,8	4,749	-353,4	-6,31	9,54	1,69
0,597	-1186,0	977,1	4,88	4,8	-634,5	522,8	4,749	-311,2	-6,50	9,54	1,64
0,598	-909,1	977,1	4,88	4,8	-486,4	522,8	4,749	-238,6	-6,05	9,54	2,10
0,599	-543,3	977,1	4,88	4,8	-290,7	522,8	4,749	-142,6	-5,01	9,54	3,04
0,6	-124,4	977,1	4,88	4,8	-66,6	522,8	4,749	-32,6	-3,48	9,54	4,35
0,601	306,7	977,1	4,88	4,8	164,1	522,8	4,749	80,5	-1,61	9,54	5,91
0,602	707,8	977,1	4,88	4,8	378,7	522,8	4,749	185,7	0,42	9,54	7,57

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,603	1039,7	977,1	4,88	4,8	556,3	522,8	4,749	272,8	2,41	9,54	9,16
0,604	1269,9	977,1	4,88	4,8	679,4	522,8	4,749	333,2	4,16	9,54	10,54
0,605	1375,9	977,1	4,88	4,8	736,1	522,8	4,749	361,0	5,51	9,54	11,55
0,606	1347,4	977,1	4,88	4,8	720,9	522,8	4,749	353,5	6,31	9,54	12,11
0,607	1187,1	977,1	4,88	4,8	635,1	522,8	4,749	311,5	6,50	9,54	12,16
0,608	910,7	977,1	4,88	4,8	487,2	522,8	4,749	239,0	6,06	9,54	11,70
0,609	545,2	977,1	4,88	4,8	291,7	522,8	4,749	143,1	5,02	9,54	10,76
0,61	126,5	977,1	4,88	4,8	67,7	522,8	4,749	33,2	3,49	9,54	9,45
0,611	-304,7	977,1	4,88	4,8	-163,0	522,8	4,749	-79,9	1,62	9,54	7,89
0,612	-706,0	977,1	4,88	4,8	-377,7	522,8	4,749	-185,3	-0,41	9,54	6,23
0,613	-1038,3	977,1	4,88	4,8	-555,5	522,8	4,749	-272,5	-2,40	9,54	4,64
0,614	-1269,1	977,1	4,88	4,8	-679,0	522,8	4,749	-333,0	-4,15	9,54	3,27
0,615	-1375,7	977,1	4,88	4,8	-736,0	522,8	4,749	-361,0	-5,50	9,54	2,25
0,616	-1347,9	977,1	4,88	4,8	-721,1	522,8	4,749	-353,7	-6,31	9,54	1,69
0,617	-1188,2	977,1	4,88	4,8	-635,7	522,8	4,749	-311,8	-6,50	9,54	1,64
0,618	-912,3	977,1	4,88	4,8	-488,1	522,8	4,749	-239,4	-6,06	9,54	2,10
0,619	-547,2	977,1	4,88	4,8	-292,7	522,8	4,749	-143,6	-5,02	9,54	3,03
0,62	-128,5	977,1	4,88	4,8	-68,8	522,8	4,749	-33,7	-3,50	9,54	4,34
0,621	302,7	977,1	4,88	4,8	161,9	522,8	4,749	79,4	-1,63	9,54	5,90
0,622	704,2	977,1	4,88	4,8	376,8	522,8	4,749	184,8	0,40	9,54	7,56
0,623	1037,0	977,1	4,88	4,8	554,8	522,8	4,749	272,1	2,39	9,54	9,15
0,624	1268,3	977,1	4,88	4,8	678,5	522,8	4,749	332,8	4,14	9,54	10,52
0,625	1375,6	977,1	4,88	4,8	735,9	522,8	4,749	360,9	5,49	9,54	11,54
0,626	1348,3	977,1	4,88	4,8	721,4	522,8	4,749	353,8	6,31	9,54	12,11
0,627	1189,2	977,1	4,88	4,8	636,2	522,8	4,749	312,0	6,50	9,54	12,16
0,628	913,8	977,1	4,88	4,8	488,9	522,8	4,749	239,8	6,06	9,54	11,70
0,629	549,1	977,1	4,88	4,8	293,8	522,8	4,749	144,1	5,03	9,54	10,77
0,63	130,6	977,1	4,88	4,8	69,9	522,8	4,749	34,3	3,51	9,54	9,47
0,631	-300,6	977,1	4,88	4,8	-160,8	522,8	4,749	-78,9	1,64	9,54	7,91
0,632	-702,5	977,1	4,88	4,8	-375,8	522,8	4,749	-184,3	-0,39	9,54	6,25
0,633	-1035,6	977,1	4,88	4,8	-554,1	522,8	4,749	-271,7	-2,38	9,54	4,65
0,634	-1267,4	977,1	4,88	4,8	-678,1	522,8	4,749	-332,6	-4,14	9,54	3,28
0,635	-1375,4	977,1	4,88	4,8	-735,8	522,8	4,749	-360,9	-5,49	9,54	2,26
0,636	-1348,8	977,1	4,88	4,8	-721,6	522,8	4,749	-353,9	-6,31	9,54	1,69
0,637	-1190,3	977,1	4,88	4,8	-636,8	522,8	4,749	-312,3	-6,50	9,54	1,63
0,638	-915,4	977,1	4,88	4,8	-489,7	522,8	4,749	-240,2	-6,07	9,54	2,09
0,639	-551,0	977,1	4,88	4,8	-294,8	522,8	4,749	-144,6	-5,04	9,54	3,02
0,64	-132,7	977,1	4,88	4,8	-71,0	522,8	4,749	-34,8	-3,51	9,54	4,32
0,641	298,6	977,1	4,88	4,8	159,8	522,8	4,749	78,4	-1,65	9,54	5,88
0,642	700,7	977,1	4,88	4,8	374,9	522,8	4,749	183,9	0,38	9,54	7,54
0,643	1034,2	977,1	4,88	4,8	553,3	522,8	4,749	271,4	2,37	9,54	9,14
0,644	1266,6	977,1	4,88	4,8	677,7	522,8	4,749	332,4	4,13	9,54	10,51
0,645	1375,2	977,1	4,88	4,8	735,7	522,8	4,749	360,8	5,48	9,54	11,53
0,646	1349,2	977,1	4,88	4,8	721,9	522,8	4,749	354,0	6,30	9,54	12,10
0,647	1191,3	977,1	4,88	4,8	637,4	522,8	4,749	312,6	6,50	9,54	12,16
0,648	916,9	977,1	4,88	4,8	490,6	522,8	4,749	240,6	6,07	9,54	11,71
0,649	552,9	977,1	4,88	4,8	295,8	522,8	4,749	145,1	5,04	9,54	10,78
0,65	134,7	977,1	4,88	4,8	72,1	522,8	4,749	35,4	3,52	9,54	9,48

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,651	-296,6	977,1	4,88	4,8	-158,7	522,8	4,749	-77,8	1,66	9,54	7,92
0,652	-698,9	977,1	4,88	4,8	-373,9	522,8	4,749	-183,4	-0,37	9,54	6,26
0,653	-1032,8	977,1	4,88	4,8	-552,6	522,8	4,749	-271,0	-2,36	9,54	4,67
0,654	-1265,8	977,1	4,88	4,8	-677,2	522,8	4,749	-332,1	-4,12	9,54	3,29
0,655	-1375,0	977,1	4,88	4,8	-735,6	522,8	4,749	-360,8	-5,48	9,54	2,27
0,656	-1349,7	977,1	4,88	4,8	-722,1	522,8	4,749	-354,1	-6,30	9,54	1,69
0,657	-1192,4	977,1	4,88	4,8	-637,9	522,8	4,749	-312,9	-6,51	9,54	1,63
0,658	-918,5	977,1	4,88	4,8	-491,4	522,8	4,749	-241,0	-6,07	9,54	2,08
0,659	-554,8	977,1	4,88	4,8	-296,8	522,8	4,749	-145,6	-5,05	9,54	3,01
0,66	-136,8	977,1	4,88	4,8	-73,2	522,8	4,749	-35,9	-3,53	9,54	4,31
0,661	294,5	977,1	4,88	4,8	157,6	522,8	4,749	77,3	-1,67	9,54	5,87
0,662	697,1	977,1	4,88	4,8	373,0	522,8	4,749	182,9	0,36	9,54	7,53
0,663	1031,5	977,1	4,88	4,8	551,8	522,8	4,749	270,6	2,35	9,54	9,12
0,664	1265,0	977,1	4,88	4,8	676,8	522,8	4,749	331,9	4,11	9,54	10,50
0,665	1374,7	977,1	4,88	4,8	735,5	522,8	4,749	360,7	5,47	9,54	11,53
0,666	1350,1	977,1	4,88	4,8	722,3	522,8	4,749	354,3	6,30	9,54	12,10
0,667	1193,4	977,1	4,88	4,8	638,5	522,8	4,749	313,1	6,51	9,54	12,17
0,668	920,0	977,1	4,88	4,8	492,2	522,8	4,749	241,4	6,08	9,54	11,72
0,669	556,7	977,1	4,88	4,8	297,8	522,8	4,749	146,1	5,06	9,54	10,80
0,67	138,9	977,1	4,88	4,8	74,3	522,8	4,749	36,4	3,54	9,54	9,49
0,671	-292,5	977,1	4,88	4,8	-156,5	522,8	4,749	-76,8	1,68	9,54	7,94
0,672	-695,3	977,1	4,88	4,8	-372,0	522,8	4,749	-182,4	-0,35	9,54	6,28
0,673	-1030,1	977,1	4,88	4,8	-551,1	522,8	4,749	-270,3	-2,34	9,54	4,68
0,674	-1264,1	977,1	4,88	4,8	-676,3	522,8	4,749	-331,7	-4,11	9,54	3,30
0,675	-1374,5	977,1	4,88	4,8	-735,4	522,8	4,749	-360,7	-5,47	9,54	2,27
0,676	-1350,5	977,1	4,88	4,8	-722,6	522,8	4,749	-354,4	-6,30	9,54	1,70
0,677	-1194,5	977,1	4,88	4,8	-639,1	522,8	4,749	-313,4	-6,51	9,54	1,63
0,678	-921,6	977,1	4,88	4,8	-493,1	522,8	4,749	-241,8	-6,08	9,54	2,08
0,679	-558,6	977,1	4,88	4,8	-298,8	522,8	4,749	-146,6	-5,06	9,54	3,00
0,68	-140,9	977,1	4,88	4,8	-75,4	522,8	4,749	-37,0	-3,55	9,54	4,30
0,681	290,5	977,1	4,88	4,8	155,4	522,8	4,749	76,2	-1,69	9,54	5,85
0,682	693,5	977,1	4,88	4,8	371,0	522,8	4,749	182,0	0,34	9,54	7,51
0,683	1028,7	977,1	4,88	4,8	550,4	522,8	4,749	269,9	2,33	9,54	9,11
0,684	1263,3	977,1	4,88	4,8	675,9	522,8	4,749	331,5	4,10	9,54	10,49
0,685	1374,3	977,1	4,88	4,8	735,3	522,8	4,749	360,6	5,46	9,54	11,52
0,686	1351,0	977,1	4,88	4,8	722,8	522,8	4,749	354,5	6,29	9,54	12,10
0,687	1195,5	977,1	4,88	4,8	639,6	522,8	4,749	313,7	6,51	9,54	12,17
0,688	923,1	977,1	4,88	4,8	493,9	522,8	4,749	242,2	6,09	9,54	11,72
0,689	560,5	977,1	4,88	4,8	299,9	522,8	4,749	147,1	5,07	9,54	10,81
0,69	143,0	977,1	4,88	4,8	76,5	522,8	4,749	37,5	3,56	9,54	9,51
0,691	-288,5	977,1	4,88	4,8	-154,3	522,8	4,749	-75,7	1,70	9,54	7,95
0,692	-691,7	977,1	4,88	4,8	-370,1	522,8	4,749	-181,5	-0,33	9,54	6,30
0,693	-1027,3	977,1	4,88	4,8	-549,6	522,8	4,749	-269,6	-2,32	9,54	4,70
0,694	-1262,4	977,1	4,88	4,8	-675,4	522,8	4,749	-331,3	-4,09	9,54	3,31
0,695	-1374,1	977,1	4,88	4,8	-735,2	522,8	4,749	-360,6	-5,46	9,54	2,28
0,696	-1351,4	977,1	4,88	4,8	-723,0	522,8	4,749	-354,6	-6,29	9,54	1,70
0,697	-1196,5	977,1	4,88	4,8	-640,2	522,8	4,749	-314,0	-6,51	9,54	1,63
0,698	-924,7	977,1	4,88	4,8	-494,7	522,8	4,749	-242,6	-6,09	9,54	2,07

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,699	-562,4	977,1	4,88	4,8	-300,9	522,8	4,749	-147,6	-5,07	9,54	2,99
0,7	-145,1	977,1	4,88	4,8	-77,6	522,8	4,749	-38,1	-3,56	9,54	4,28
0,701	286,4	977,1	4,88	4,8	153,2	522,8	4,749	75,2	-1,70	9,54	5,84
0,702	689,9	977,1	4,88	4,8	369,1	522,8	4,749	181,0	0,32	9,54	7,49
0,703	1025,9	977,1	4,88	4,8	548,9	522,8	4,749	269,2	2,32	9,54	9,09
0,704	1261,6	977,1	4,88	4,8	675,0	522,8	4,749	331,0	4,08	9,54	10,48
0,705	1373,9	977,1	4,88	4,8	735,1	522,8	4,749	360,5	5,45	9,54	11,51
0,706	1351,8	977,1	4,88	4,8	723,3	522,8	4,749	354,7	6,29	9,54	12,09
0,707	1197,6	977,1	4,88	4,8	640,7	522,8	4,749	314,2	6,51	9,54	12,17
0,708	926,2	977,1	4,88	4,8	495,5	522,8	4,749	243,0	6,09	9,54	11,73
0,709	564,3	977,1	4,88	4,8	301,9	522,8	4,749	148,1	5,08	9,54	10,82
0,71	147,1	977,1	4,88	4,8	78,7	522,8	4,749	38,6	3,57	9,54	9,52
0,711	-284,4	977,1	4,88	4,8	-152,2	522,8	4,749	-74,6	1,71	9,54	7,97
0,712	-688,1	977,1	4,88	4,8	-368,1	522,8	4,749	-180,6	-0,31	9,54	6,31
0,713	-1024,5	977,1	4,88	4,8	-548,1	522,8	4,749	-268,8	-2,31	9,54	4,71
0,714	-1260,7	977,1	4,88	4,8	-674,5	522,8	4,749	-330,8	-4,08	9,54	3,33
0,715	-1373,7	977,1	4,88	4,8	-734,9	522,8	4,749	-360,4	-5,45	9,54	2,29
0,716	-1352,3	977,1	4,88	4,8	-723,5	522,8	4,749	-354,8	-6,28	9,54	1,70
0,717	-1198,6	977,1	4,88	4,8	-641,3	522,8	4,749	-314,5	-6,51	9,54	1,63
0,718	-927,7	977,1	4,88	4,8	-496,4	522,8	4,749	-243,4	-6,10	9,54	2,06
0,719	-566,2	977,1	4,88	4,8	-302,9	522,8	4,749	-148,6	-5,09	9,54	2,97
0,72	-149,2	977,1	4,88	4,8	-79,8	522,8	4,749	-39,1	-3,58	9,54	4,27
0,721	282,4	977,1	4,88	4,8	151,1	522,8	4,749	74,1	-1,72	9,54	5,82
0,722	686,3	977,1	4,88	4,8	367,2	522,8	4,749	180,1	0,30	9,54	7,48
0,723	1023,1	977,1	4,88	4,8	547,4	522,8	4,749	268,5	2,30	9,54	9,08
0,724	1259,9	977,1	4,88	4,8	674,1	522,8	4,749	330,6	4,07	9,54	10,47
0,725	1373,4	977,1	4,88	4,8	734,8	522,8	4,749	360,4	5,44	9,54	11,50
0,726	1352,7	977,1	4,88	4,8	723,7	522,8	4,749	354,9	6,28	9,54	12,09
0,727	1199,6	977,1	4,88	4,8	641,8	522,8	4,749	314,8	6,51	9,54	12,17
0,728	929,3	977,1	4,88	4,8	497,2	522,8	4,749	243,8	6,10	9,54	11,74
0,729	568,0	977,1	4,88	4,8	303,9	522,8	4,749	149,1	5,09	9,54	10,83
0,73	151,3	977,1	4,88	4,8	80,9	522,8	4,749	39,7	3,59	9,54	9,54
0,731	-280,3	977,1	4,88	4,8	-150,0	522,8	4,749	-73,6	1,73	9,54	7,98
0,732	-684,5	977,1	4,88	4,8	-366,2	522,8	4,749	-179,6	-0,29	9,54	6,33
0,733	-1021,7	977,1	4,88	4,8	-546,6	522,8	4,749	-268,1	-2,29	9,54	4,73
0,734	-1259,0	977,1	4,88	4,8	-673,6	522,8	4,749	-330,4	-4,06	9,54	3,34
0,735	-1373,2	977,1	4,88	4,8	-734,7	522,8	4,749	-360,3	-5,44	9,54	2,30
0,736	-1353,1	977,1	4,88	4,8	-723,9	522,8	4,749	-355,0	-6,28	9,54	1,71
0,737	-1200,7	977,1	4,88	4,8	-642,4	522,8	4,749	-315,1	-6,51	9,54	1,62
0,738	-930,8	977,1	4,88	4,8	-498,0	522,8	4,749	-244,2	-6,10	9,54	2,06
0,739	-569,9	977,1	4,88	4,8	-304,9	522,8	4,749	-149,5	-5,10	9,54	2,96
0,74	-153,3	977,1	4,88	4,8	-82,0	522,8	4,749	-40,2	-3,60	9,54	4,26
0,741	278,3	977,1	4,88	4,8	148,9	522,8	4,749	73,0	-1,74	9,54	5,81
0,742	682,7	977,1	4,88	4,8	365,3	522,8	4,749	179,1	0,28	9,54	7,46
0,743	1020,3	977,1	4,88	4,8	545,9	522,8	4,749	267,7	2,28	9,54	9,06
0,744	1258,2	977,1	4,88	4,8	673,1	522,8	4,749	330,1	4,05	9,54	10,45
0,745	1373,0	977,1	4,88	4,8	734,6	522,8	4,749	360,3	5,43	9,54	11,50
0,746	1353,5	977,1	4,88	4,8	724,2	522,8	4,749	355,2	6,28	9,54	12,09

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,747	1201,7	977,1	4,88	4,8	642,9	522,8	4,749	315,3	6,51	9,54	12,17
0,748	932,4	977,1	4,88	4,8	498,8	522,8	4,749	244,6	6,11	9,54	11,74
0,749	571,8	977,1	4,88	4,8	305,9	522,8	4,749	150,0	5,10	9,54	10,84
0,75	155,4	977,1	4,88	4,8	83,1	522,8	4,749	40,8	3,60	9,54	9,55
0,751	-276,3	977,1	4,88	4,8	-147,8	522,8	4,749	-72,5	1,75	9,54	8,00
0,752	-680,9	977,1	4,88	4,8	-364,3	522,8	4,749	-178,7	-0,27	9,54	6,34
0,753	-1018,9	977,1	4,88	4,8	-545,1	522,8	4,749	-267,4	-2,27	9,54	4,74
0,754	-1257,3	977,1	4,88	4,8	-672,7	522,8	4,749	-329,9	-4,05	9,54	3,35
0,755	-1372,8	977,1	4,88	4,8	-734,4	522,8	4,749	-360,2	-5,43	9,54	2,31
0,756	-1353,9	977,1	4,88	4,8	-724,4	522,8	4,749	-355,3	-6,27	9,54	1,71
0,757	-1202,7	977,1	4,88	4,8	-643,5	522,8	4,749	-315,6	-6,51	9,54	1,62
0,758	-933,9	977,1	4,88	4,8	-499,6	522,8	4,749	-245,0	-6,11	9,54	2,05
0,759	-573,7	977,1	4,88	4,8	-306,9	522,8	4,749	-150,5	-5,11	9,54	2,95
0,76	-157,4	977,1	4,88	4,8	-84,2	522,8	4,749	-41,3	-3,61	9,54	4,24
0,761	274,2	977,1	4,88	4,8	146,7	522,8	4,749	72,0	-1,76	9,54	5,79
0,762	679,1	977,1	4,88	4,8	363,3	522,8	4,749	178,2	0,26	9,54	7,45
0,763	1017,5	977,1	4,88	4,8	544,4	522,8	4,749	267,0	2,26	9,54	9,05
0,764	1256,5	977,1	4,88	4,8	672,2	522,8	4,749	329,7	4,04	9,54	10,44
0,765	1372,5	977,1	4,88	4,8	734,3	522,8	4,749	360,1	5,42	9,54	11,49
0,766	1354,4	977,1	4,88	4,8	724,6	522,8	4,749	355,4	6,27	9,54	12,08
0,767	1203,7	977,1	4,88	4,8	644,0	522,8	4,749	315,9	6,51	9,54	12,18
0,768	935,4	977,1	4,88	4,8	500,5	522,8	4,749	245,4	6,11	9,54	11,75
0,769	575,6	977,1	4,88	4,8	308,0	522,8	4,749	151,0	5,12	9,54	10,85
0,77	159,5	977,1	4,88	4,8	85,3	522,8	4,749	41,9	3,62	9,54	9,56
0,771	-272,2	977,1	4,88	4,8	-145,6	522,8	4,749	-71,4	1,77	9,54	8,02
0,772	-677,3	977,1	4,88	4,8	-362,4	522,8	4,749	-177,7	-0,25	9,54	6,36
0,773	-1016,1	977,1	4,88	4,8	-543,6	522,8	4,749	-266,6	-2,25	9,54	4,76
0,774	-1255,6	977,1	4,88	4,8	-671,8	522,8	4,749	-329,5	-4,03	9,54	3,36
0,775	-1372,3	977,1	4,88	4,8	-734,2	522,8	4,749	-360,1	-5,41	9,54	2,31
0,776	-1354,8	977,1	4,88	4,8	-724,8	522,8	4,749	-355,5	-6,27	9,54	1,71
0,777	-1204,8	977,1	4,88	4,8	-644,6	522,8	4,749	-316,1	-6,51	9,54	1,62
0,778	-936,9	977,1	4,88	4,8	-501,3	522,8	4,749	-245,8	-6,12	9,54	2,04
0,779	-577,5	977,1	4,88	4,8	-309,0	522,8	4,749	-151,5	-5,12	9,54	2,94
0,78	-161,6	977,1	4,88	4,8	-86,4	522,8	4,749	-42,4	-3,63	9,54	4,23
0,781	270,2	977,1	4,88	4,8	144,5	522,8	4,749	70,9	-1,78	9,54	5,77
0,782	675,5	977,1	4,88	4,8	361,4	522,8	4,749	177,2	0,24	9,54	7,43
0,783	1014,7	977,1	4,88	4,8	542,9	522,8	4,749	266,3	2,24	9,54	9,03
0,784	1254,7	977,1	4,88	4,8	671,3	522,8	4,749	329,2	4,02	9,54	10,43
0,785	1372,0	977,1	4,88	4,8	734,1	522,8	4,749	360,0	5,41	9,54	11,48
0,786	1355,2	977,1	4,88	4,8	725,0	522,8	4,749	355,6	6,27	9,54	12,08
0,787	1205,8	977,1	4,88	4,8	645,1	522,8	4,749	316,4	6,51	9,54	12,18
0,788	938,5	977,1	4,88	4,8	502,1	522,8	4,749	246,2	6,12	9,54	11,76
0,789	579,4	977,1	4,88	4,8	310,0	522,8	4,749	152,0	5,13	9,54	10,86
0,79	163,6	977,1	4,88	4,8	87,5	522,8	4,749	42,9	3,64	9,54	9,58
0,791	-268,1	977,1	4,88	4,8	-143,4	522,8	4,749	-70,4	1,79	9,54	8,03
0,792	-673,7	977,1	4,88	4,8	-360,4	522,8	4,749	-176,8	-0,23	9,54	6,38
0,793	-1013,3	977,1	4,88	4,8	-542,1	522,8	4,749	-265,9	-2,23	9,54	4,77
0,794	-1253,9	977,1	4,88	4,8	-670,8	522,8	4,749	-329,0	-4,01	9,54	3,37

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,795	-1371,8	977,1	4,88	4,8	-733,9	522,8	4,749	-360,0	-5,40	9,54	2,32
0,796	-1355,6	977,1	4,88	4,8	-725,3	522,8	4,749	-355,7	-6,26	9,54	1,72
0,797	-1206,8	977,1	4,88	4,8	-645,7	522,8	4,749	-316,7	-6,51	9,54	1,62
0,798	-940,0	977,1	4,88	4,8	-502,9	522,8	4,749	-246,6	-6,12	9,54	2,04
0,799	-581,3	977,1	4,88	4,8	-311,0	522,8	4,749	-152,5	-5,14	9,54	2,93
0,8	-165,7	977,1	4,88	4,8	-88,6	522,8	4,749	-43,5	-3,65	9,54	4,21
0,801	266,1	977,1	4,88	4,8	142,4	522,8	4,749	69,8	-1,80	9,54	5,76
0,802	671,8	977,1	4,88	4,8	359,4	522,8	4,749	176,3	0,22	9,54	7,41
0,803	1011,9	977,1	4,88	4,8	541,4	522,8	4,749	265,5	2,22	9,54	9,02
0,804	1253,0	977,1	4,88	4,8	670,4	522,8	4,749	328,8	4,01	9,54	10,42
0,805	1371,5	977,1	4,88	4,8	733,8	522,8	4,749	359,9	5,40	9,54	11,47
0,806	1356,0	977,1	4,88	4,8	725,5	522,8	4,749	355,8	6,26	9,54	12,08
0,807	1207,8	977,1	4,88	4,8	646,2	522,8	4,749	316,9	6,51	9,54	12,18
0,808	941,5	977,1	4,88	4,8	503,7	522,8	4,749	247,0	6,13	9,54	11,76
0,809	583,1	977,1	4,88	4,8	312,0	522,8	4,749	153,0	5,14	9,54	10,87
0,81	167,8	977,1	4,88	4,8	89,7	522,8	4,749	44,0	3,65	9,54	9,59
0,811	-264,0	977,1	4,88	4,8	-141,3	522,8	4,749	-69,3	1,81	9,54	8,05
0,812	-670,0	977,1	4,88	4,8	-358,5	522,8	4,749	-175,8	-0,21	9,54	6,39
0,813	-1010,5	977,1	4,88	4,8	-540,6	522,8	4,749	-265,1	-2,21	9,54	4,79
0,814	-1252,1	977,1	4,88	4,8	-669,9	522,8	4,749	-328,5	-4,00	9,54	3,39
0,815	-1371,3	977,1	4,88	4,8	-733,7	522,8	4,749	-359,8	-5,39	9,54	2,33
0,816	-1356,4	977,1	4,88	4,8	-725,7	522,8	4,749	-355,9	-6,26	9,54	1,72
0,817	-1208,8	977,1	4,88	4,8	-646,7	522,8	4,749	-317,2	-6,51	9,54	1,62
0,818	-943,0	977,1	4,88	4,8	-504,5	522,8	4,749	-247,4	-6,13	9,54	2,03
0,819	-585,0	977,1	4,88	4,8	-313,0	522,8	4,749	-153,5	-5,15	9,54	2,92
0,82	-169,8	977,1	4,88	4,8	-90,9	522,8	4,749	-44,6	-3,66	9,54	4,20
0,821	262,0	977,1	4,88	4,8	140,2	522,8	4,749	68,7	-1,82	9,54	5,74
0,822	668,2	977,1	4,88	4,8	357,5	522,8	4,749	175,3	0,20	9,54	7,40
0,823	1009,1	977,1	4,88	4,8	539,9	522,8	4,749	264,8	2,21	9,54	9,00
0,824	1251,2	977,1	4,88	4,8	669,4	522,8	4,749	328,3	3,99	9,54	10,41
0,825	1371,0	977,1	4,88	4,8	733,5	522,8	4,749	359,8	5,39	9,54	11,46
0,826	1356,8	977,1	4,88	4,8	725,9	522,8	4,749	356,0	6,26	9,54	12,07
0,827	1209,8	977,1	4,88	4,8	647,3	522,8	4,749	317,4	6,51	9,54	12,18
0,828	944,5	977,1	4,88	4,8	505,3	522,8	4,749	247,8	6,13	9,54	11,77
0,829	586,9	977,1	4,88	4,8	314,0	522,8	4,749	154,0	5,15	9,54	10,88
0,83	171,9	977,1	4,88	4,8	92,0	522,8	4,749	45,1	3,67	9,54	9,60
0,831	-260,0	977,1	4,88	4,8	-139,1	522,8	4,749	-68,2	1,83	9,54	8,06
0,832	-666,4	977,1	4,88	4,8	-356,5	522,8	4,749	-174,9	-0,19	9,54	6,41
0,833	-1007,6	977,1	4,88	4,8	-539,1	522,8	4,749	-264,4	-2,20	9,54	4,80
0,834	-1250,3	977,1	4,88	4,8	-669,0	522,8	4,749	-328,1	-3,98	9,54	3,40
0,835	-1370,8	977,1	4,88	4,8	-733,4	522,8	4,749	-359,7	-5,38	9,54	2,34
0,836	-1357,2	977,1	4,88	4,8	-726,1	522,8	4,749	-356,1	-6,25	9,54	1,72
0,837	-1210,8	977,1	4,88	4,8	-647,8	522,8	4,749	-317,7	-6,51	9,54	1,62
0,838	-946,1	977,1	4,88	4,8	-506,2	522,8	4,749	-248,2	-6,14	9,54	2,03
0,839	-588,8	977,1	4,88	4,8	-315,0	522,8	4,749	-154,5	-5,16	9,54	2,91
0,84	-173,9	977,1	4,88	4,8	-93,1	522,8	4,749	-45,6	-3,68	9,54	4,19
0,841	257,9	977,1	4,88	4,8	138,0	522,8	4,749	67,7	-1,84	9,54	5,73
0,842	664,6	977,1	4,88	4,8	355,6	522,8	4,749	174,4	0,18	9,54	7,38

t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,843	1006,2	977,1	4,88	4,8	538,3	522,8	4,749	264,0	2,19	9,54	8,99
0,844	1249,5	977,1	4,88	4,8	668,5	522,8	4,749	327,9	3,98	9,54	10,39
0,845	1370,5	977,1	4,88	4,8	733,3	522,8	4,749	359,6	5,38	9,54	11,46
0,846	1357,5	977,1	4,88	4,8	726,3	522,8	4,749	356,2	6,25	9,54	12,07
0,847	1211,8	977,1	4,88	4,8	648,3	522,8	4,749	318,0	6,51	9,54	12,18
0,848	947,6	977,1	4,88	4,8	507,0	522,8	4,749	248,6	6,14	9,54	11,77
0,849	590,7	977,1	4,88	4,8	316,0	522,8	4,749	155,0	5,17	9,54	10,89
0,85	176,0	977,1	4,88	4,8	94,2	522,8	4,749	46,2	3,69	9,54	9,62
0,851	-255,9	977,1	4,88	4,8	-136,9	522,8	4,749	-67,1	1,85	9,54	8,08
0,852	-662,7	977,1	4,88	4,8	-354,6	522,8	4,749	-173,9	-0,17	9,54	6,42
0,853	-1004,8	977,1	4,88	4,8	-537,6	522,8	4,749	-263,7	-2,18	9,54	4,81
0,854	-1248,6	977,1	4,88	4,8	-668,0	522,8	4,749	-327,6	-3,97	9,54	3,41
0,855	-1370,3	977,1	4,88	4,8	-733,1	522,8	4,749	-359,5	-5,37	9,54	2,35
0,856	-1357,9	977,1	4,88	4,8	-726,5	522,8	4,749	-356,3	-6,25	9,54	1,73
0,857	-1212,8	977,1	4,88	4,8	-648,9	522,8	4,749	-318,2	-6,51	9,54	1,62
0,858	-949,1	977,1	4,88	4,8	-507,8	522,8	4,749	-249,0	-6,14	9,54	2,02
0,859	-592,5	977,1	4,88	4,8	-317,0	522,8	4,749	-155,5	-5,17	9,54	2,90
0,86	-178,1	977,1	4,88	4,8	-95,3	522,8	4,749	-46,7	-3,69	9,54	4,17
0,861	253,9	977,1	4,88	4,8	135,8	522,8	4,749	66,6	-1,86	9,54	5,71
0,862	660,9	977,1	4,88	4,8	353,6	522,8	4,749	173,4	0,16	9,54	7,37
0,863	1003,4	977,1	4,88	4,8	536,8	522,8	4,749	263,3	2,17	9,54	8,98
0,864	1247,7	977,1	4,88	4,8	667,5	522,8	4,749	327,4	3,96	9,54	10,38
0,865	1370,0	977,1	4,88	4,8	733,0	522,8	4,749	359,5	5,36	9,54	11,45
0,866	1358,3	977,1	4,88	4,8	726,7	522,8	4,749	356,4	6,24	9,54	12,07
0,867	1213,8	977,1	4,88	4,8	649,4	522,8	4,749	318,5	6,51	9,54	12,18
0,868	950,6	977,1	4,88	4,8	508,6	522,8	4,749	249,4	6,15	9,54	11,78
0,869	594,4	977,1	4,88	4,8	318,0	522,8	4,749	156,0	5,18	9,54	10,90
0,87	180,1	977,1	4,88	4,8	96,4	522,8	4,749	47,3	3,70	9,54	9,63
0,871	-251,8	977,1	4,88	4,8	-134,7	522,8	4,749	-66,1	1,86	9,54	8,09
0,872	-659,1	977,1	4,88	4,8	-352,6	522,8	4,749	-172,9	-0,15	9,54	6,44
0,873	-1001,9	977,1	4,88	4,8	-536,1	522,8	4,749	-262,9	-2,16	9,54	4,83
0,874	-1246,8	977,1	4,88	4,8	-667,1	522,8	4,749	-327,2	-3,95	9,54	3,42
0,875	-1369,7	977,1	4,88	4,8	-732,8	522,8	4,749	-359,4	-5,36	9,54	2,35
0,876	-1358,7	977,1	4,88	4,8	-726,9	522,8	4,749	-356,5	-6,24	9,54	1,73
0,877	-1214,8	977,1	4,88	4,8	-649,9	522,8	4,749	-318,8	-6,51	9,54	1,61
0,878	-952,1	977,1	4,88	4,8	-509,4	522,8	4,749	-249,8	-6,15	9,54	2,01
0,879	-596,3	977,1	4,88	4,8	-319,0	522,8	4,749	-156,5	-5,18	9,54	2,89
0,88	-182,2	977,1	4,88	4,8	-97,5	522,8	4,749	-47,8	-3,71	9,54	4,16
0,881	249,8	977,1	4,88	4,8	133,6	522,8	4,749	65,5	-1,87	9,54	5,70
0,882	657,3	977,1	4,88	4,8	351,7	522,8	4,749	172,5	0,15	9,54	7,35
0,883	1000,5	977,1	4,88	4,8	535,3	522,8	4,749	262,5	2,15	9,54	8,96
0,884	1245,9	977,1	4,88	4,8	666,6	522,8	4,749	326,9	3,94	9,54	10,37
0,885	1369,4	977,1	4,88	4,8	732,7	522,8	4,749	359,3	5,35	9,54	11,44
0,89	184,2	977,1	4,88	4,8	98,6	522,8	4,749	48,3	3,72	9,54	9,65
0,891	-247,7	977,1	4,88	4,8	-132,5	522,8	4,749	-65,0	1,88	9,54	8,11
0,892	-655,4	977,1	4,88	4,8	-350,7	522,8	4,749	-172,0	-0,14	9,54	6,45
0,893	-999,1	977,1	4,88	4,8	-534,5	522,8	4,749	-262,2	-2,14	9,54	4,84
0,894	-1245,0	977,1	4,88	4,8	-666,1	522,8	4,749	-326,7	-3,94	9,54	3,43

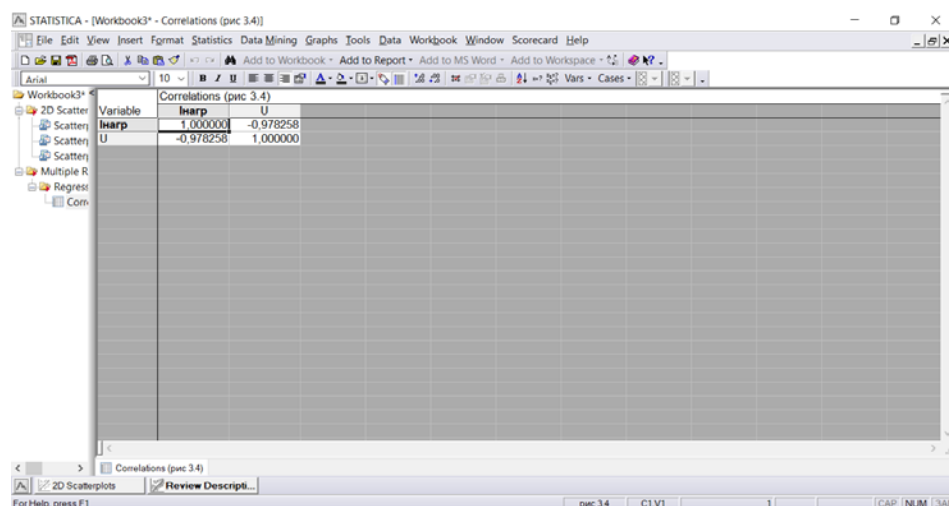
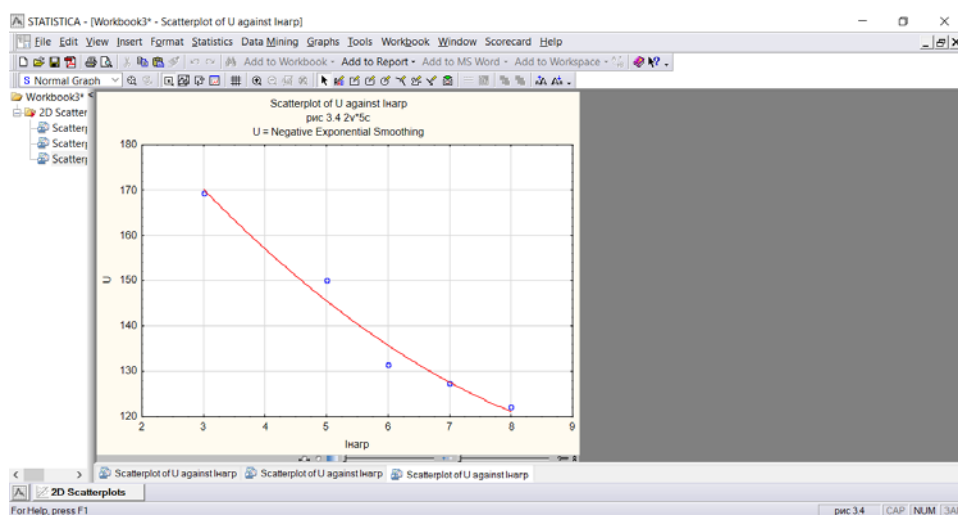
t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,895	-1369,2	977,1	4,88	4,8	-732,5	522,8	4,749	-359,3	-5,35	9,54	2,36
0,896	-1359,4	977,1	4,88	4,8	-727,3	522,8	4,749	-356,7	-6,24	9,54	1,74
0,897	-1216,8	977,1	4,88	4,8	-651,0	522,8	4,749	-319,3	-6,51	9,54	1,61
0,898	-955,1	977,1	4,88	4,8	-511,0	522,8	4,749	-250,6	-6,16	9,54	2,01
0,899	-600,0	977,1	4,88	4,8	-321,0	522,8	4,749	-157,4	-5,19	9,54	2,88
0,9	-186,3	977,1	4,88	4,8	-99,7	522,8	4,749	-48,9	-3,73	9,54	4,15
0,906	1359,8	977,1	4,88	4,8	727,5	522,8	4,749	356,8	6,23	9,54	12,06
0,907	1217,7	977,1	4,88	4,8	651,5	522,8	4,749	319,5	6,51	9,54	12,19
0,908	956,6	977,1	4,88	4,8	511,8	522,8	4,749	251,0	6,16	9,54	11,79
0,909	601,9	977,1	4,88	4,8	322,0	522,8	4,749	157,9	5,20	9,54	10,92
0,91	188,3	977,1	4,88	4,8	100,8	522,8	4,749	49,4	3,73	9,54	9,66
0,911	-243,6	977,1	4,88	4,8	-130,4	522,8	4,749	-63,9	1,90	9,54	8,12
0,912	-651,8	977,1	4,88	4,8	-348,7	522,8	4,749	-171,0	-0,12	9,54	6,47
0,913	-996,2	977,1	4,88	4,8	-533,0	522,8	4,749	-261,4	-2,12	9,54	4,86
0,914	-1243,2	977,1	4,88	4,8	-665,1	522,8	4,749	-326,2	-3,92	9,54	3,45
0,915	-1368,6	977,1	4,88	4,8	-732,2	522,8	4,749	-359,1	-5,34	9,54	2,37
0,916	-1360,2	977,1	4,88	4,8	-727,7	522,8	4,749	-356,9	-6,23	9,54	1,74
0,917	-1218,7	977,1	4,88	4,8	-652,0	522,8	4,749	-319,8	-6,51	9,54	1,61
0,918	-958,1	977,1	4,88	4,8	-512,6	522,8	4,749	-251,4	-6,16	9,54	2,00
0,919	-603,8	977,1	4,88	4,8	-323,0	522,8	4,749	-158,4	-5,21	9,54	2,87
0,92	-190,4	977,1	4,88	4,8	-101,9	522,8	4,749	-50,0	-3,74	9,54	4,13
0,921	241,6	977,1	4,88	4,8	129,3	522,8	4,749	63,4	-1,91	9,54	5,67
0,922	650,0	977,1	4,88	4,8	347,7	522,8	4,749	170,5	0,11	9,54	7,32
0,923	994,8	977,1	4,88	4,8	532,2	522,8	4,749	261,0	2,11	9,54	8,93
0,924	1242,3	977,1	4,88	4,8	664,6	522,8	4,749	326,0	3,91	9,54	10,35
0,925	1368,3	977,1	4,88	4,8	732,1	522,8	4,749	359,0	5,33	9,54	11,42
0,926	1360,5	977,1	4,88	4,8	727,9	522,8	4,749	357,0	6,23	9,54	12,06
0,927	1219,7	977,1	4,88	4,8	652,6	522,8	4,749	320,0	6,51	9,54	12,19
0,928	959,6	977,1	4,88	4,8	513,4	522,8	4,749	251,8	6,17	9,54	11,80
0,929	605,6	977,1	4,88	4,8	324,0	522,8	4,749	158,9	5,21	9,54	10,93
0,93	192,5	977,1	4,88	4,8	103,0	522,8	4,749	50,5	3,75	9,54	9,67
0,931	-239,6	977,1	4,88	4,8	-128,2	522,8	4,749	-62,9	1,92	9,54	8,14
0,932	-648,1	977,1	4,88	4,8	-346,8	522,8	4,749	-170,1	-0,10	9,54	6,49
0,933	-993,3	977,1	4,88	4,8	-531,4	522,8	4,749	-260,6	-2,10	9,54	4,87
0,934	-1241,4	977,1	4,88	4,8	-664,2	522,8	4,749	-325,7	-3,91	9,54	3,46
0,935	-1368,0	977,1	4,88	4,8	-731,9	522,8	4,749	-359,0	-5,33	9,54	2,38
0,936	-1360,9	977,1	4,88	4,8	-728,1	522,8	4,749	-357,1	-6,22	9,54	1,74
0,937	-1220,7	977,1	4,88	4,8	-653,1	522,8	4,749	-320,3	-6,52	9,54	1,61
0,938	-961,1	977,1	4,88	4,8	-514,2	522,8	4,749	-252,2	-6,17	9,54	1,99
0,939	-607,5	977,1	4,88	4,8	-325,0	522,8	4,749	-159,4	-5,22	9,54	2,86
0,94	-194,5	977,1	4,88	4,8	-104,1	522,8	4,749	-51,0	-3,76	9,54	4,12
0,941	237,5	977,1	4,88	4,8	127,1	522,8	4,749	62,3	-1,93	9,54	5,65
0,942	646,3	977,1	4,88	4,8	345,8	522,8	4,749	169,6	0,09	9,54	7,30
0,943	991,9	977,1	4,88	4,8	530,7	522,8	4,749	260,3	2,09	9,54	8,92
0,944	1240,5	977,1	4,88	4,8	663,7	522,8	4,749	325,5	3,90	9,54	10,33
0,945	1367,7	977,1	4,88	4,8	731,8	522,8	4,749	358,9	5,32	9,54	11,41
0,946	1361,3	977,1	4,88	4,8	728,3	522,8	4,749	357,2	6,22	9,54	12,05
0,947	1221,6	977,1	4,88	4,8	653,6	522,8	4,749	320,6	6,52	9,54	12,19

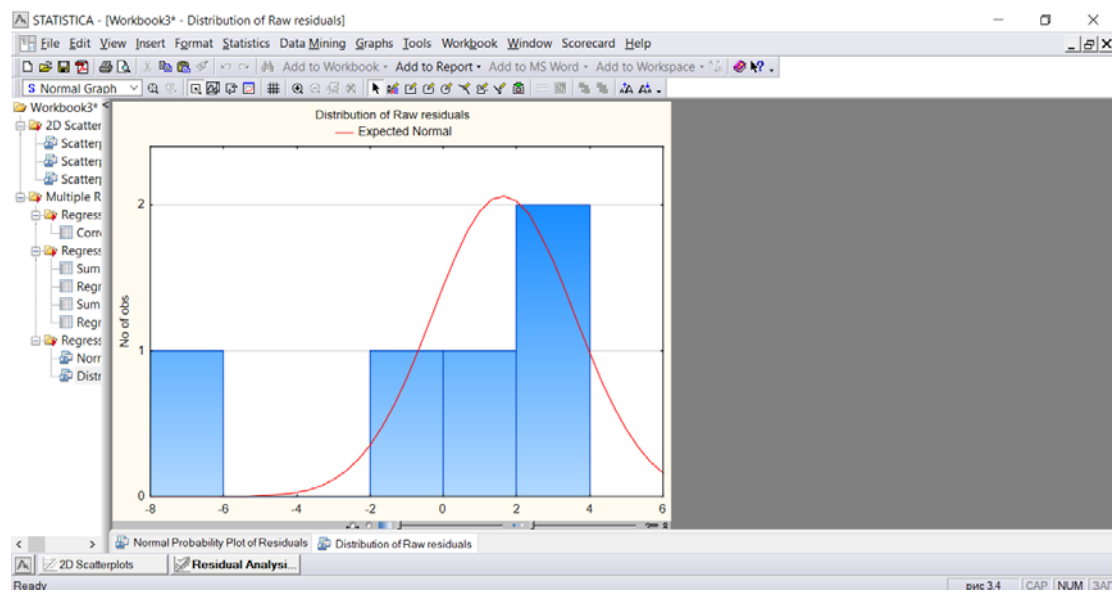
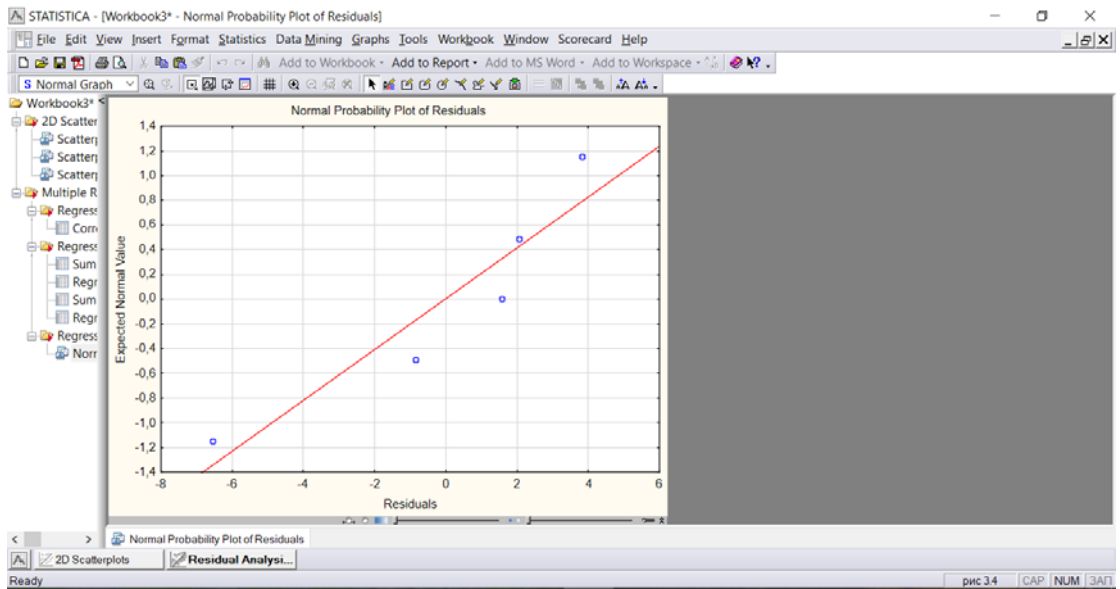
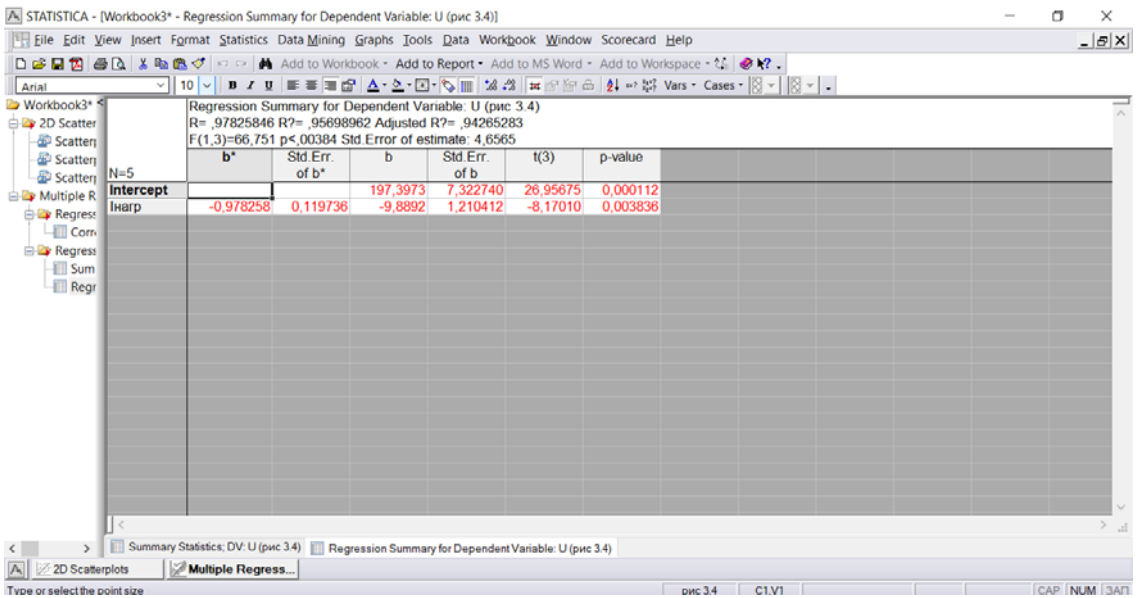
t	e _{2.1} (t)	E ₂ (t)	i ₄ (t)	i ₆ (t)	e _{7.1} (t)	E ₇ (t)	i ₉ (t)	e _{10.1} (t)	i _{10.1} (t)	M _{BET} (t)	M _{ЭМ} (t)
0,948	962,6	977,1	4,88	4,8	515,0	522,8	4,749	252,6	6,17	9,54	11,81
0,949	609,4	977,1	4,88	4,8	326,0	522,8	4,749	159,9	5,22	9,54	10,94
0,95	196,6	977,1	4,88	4,8	105,2	522,8	4,749	51,6	3,77	9,54	9,69
0,951	-235,5	977,1	4,88	4,8	-126,0	522,8	4,749	-61,8	1,94	9,54	8,16
0,952	-644,5	977,1	4,88	4,8	-344,8	522,8	4,749	-169,1	-0,08	9,54	6,50
0,953	-990,4	977,1	4,88	4,8	-529,9	522,8	4,749	-259,9	-2,09	9,54	4,89
0,954	-1239,5	977,1	4,88	4,8	-663,2	522,8	4,749	-325,2	-3,89	9,54	3,47
0,955	-1367,4	977,1	4,88	4,8	-731,6	522,8	4,749	-358,8	-5,31	9,54	2,39
0,956	-1361,6	977,1	4,88	4,8	-728,5	522,8	4,749	-357,3	-6,22	9,54	1,75
0,957	-1222,6	977,1	4,88	4,8	-654,1	522,8	4,749	-320,8	-6,52	9,54	1,61
0,958	-964,1	977,1	4,88	4,8	-515,8	522,8	4,749	-253,0	-6,17	9,54	1,99
0,959	-611,2	977,1	4,88	4,8	-327,0	522,8	4,749	-160,4	-5,23	9,54	2,85
0,96	-198,6	977,1	4,88	4,8	-106,3	522,8	4,749	-52,1	-3,77	9,54	4,10
0,963	989,0	977,1	4,88	4,8	529,1	522,8	4,749	259,5	2,08	9,54	8,90
0,964	1238,6	977,1	4,88	4,8	662,7	522,8	4,749	325,0	3,88	9,54	10,32
0,965	1367,1	977,1	4,88	4,8	731,4	522,8	4,749	358,7	5,31	9,54	11,41
0,966	1362,0	977,1	4,88	4,8	728,7	522,8	4,749	357,4	6,22	9,54	12,05
0,967	1223,6	977,1	4,88	4,8	654,6	522,8	4,749	321,1	6,52	9,54	12,19
0,968	965,5	977,1	4,88	4,8	516,6	522,8	4,749	253,4	6,18	9,54	11,81
0,969	613,1	977,1	4,88	4,8	328,0	522,8	4,749	160,9	5,24	9,54	10,95
0,97	200,7	977,1	4,88	4,8	107,4	522,8	4,749	52,7	3,78	9,54	9,70
0,971	-231,4	977,1	4,88	4,8	-123,8	522,8	4,749	-60,7	1,96	9,54	8,17
0,972	-640,8	977,1	4,88	4,8	-342,8	522,8	4,749	-168,1	-0,06	9,54	6,52
0,976	-1362,3	977,1	4,88	4,8	-728,9	522,8	4,749	-357,5	-6,21	9,54	1,75
0,977	-1224,5	977,1	4,88	4,8	-655,2	522,8	4,749	-321,3	-6,52	9,54	1,61
0,978	-967,0	977,1	4,88	4,8	-517,4	522,8	4,749	-253,7	-6,18	9,54	1,98
0,979	-614,9	977,1	4,88	4,8	-329,0	522,8	4,749	-161,4	-5,24	9,54	2,84
0,98	-202,7	977,1	4,88	4,8	-108,5	522,8	4,749	-53,2	-3,79	9,54	4,09
0,981	229,3	977,1	4,88	4,8	122,7	522,8	4,749	60,2	-1,97	9,54	5,62
0,982	638,9	977,1	4,88	4,8	341,8	522,8	4,749	167,7	0,05	9,54	7,27
0,983	986,1	977,1	4,88	4,8	527,6	522,8	4,749	258,7	2,06	9,54	8,89
0,984	1236,8	977,1	4,88	4,8	661,7	522,8	4,749	324,5	3,87	9,54	10,31
0,985	1366,5	977,1	4,88	4,8	731,1	522,8	4,749	358,6	5,30	9,54	11,40
0,986	1362,6	977,1	4,88	4,8	729,0	522,8	4,749	357,6	6,21	9,54	12,05
0,987	1225,5	977,1	4,88	4,8	655,7	522,8	4,749	321,6	6,52	9,54	12,19
0,988	968,5	977,1	4,88	4,8	518,2	522,8	4,749	254,1	6,18	9,54	11,82
0,989	616,8	977,1	4,88	4,8	330,0	522,8	4,749	161,8	5,25	9,54	10,96
0,99	204,8	977,1	4,88	4,8	109,6	522,8	4,749	53,7	3,80	9,54	9,71
0,991	-227,3	977,1	4,88	4,8	-121,6	522,8	4,749	-59,6	1,98	9,54	8,19
0,992	-637,1	977,1	4,88	4,8	-340,9	522,8	4,749	-167,2	-0,04	9,54	6,53
0,993	-984,6	977,1	4,88	4,8	-526,8	522,8	4,749	-258,4	-2,05	9,54	4,92
0,994	-1235,9	977,1	4,88	4,8	-661,2	522,8	4,749	-324,3	-3,86	9,54	3,49
0,995	-1366,2	977,1	4,88	4,8	-731,0	522,8	4,749	-358,5	-5,29	9,54	2,40
0,996	-1363,0	977,1	4,88	4,8	-729,2	522,8	4,749	-357,6	-6,21	9,54	1,75
0,997	-1226,5	977,1	4,88	4,8	-656,2	522,8	4,749	-321,8	-6,52	9,54	1,61
0,998	-970,0	977,1	4,88	4,8	-519,0	522,8	4,749	-254,5	-6,19	9,54	1,98
0,999	-618,7	977,1	4,88	4,8	-331,0	522,8	4,749	-162,3	-5,25	9,54	2,83
1	-206,8	977,1	4,88	4,8	-110,7	522,8	4,749	-54,3	-3,81	9,54	4,08

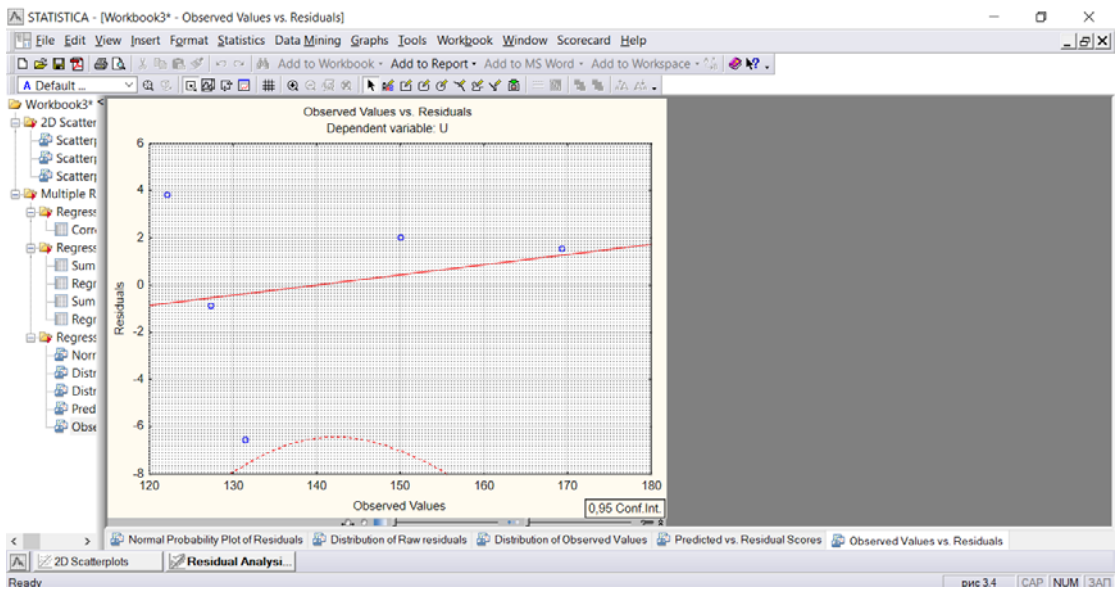
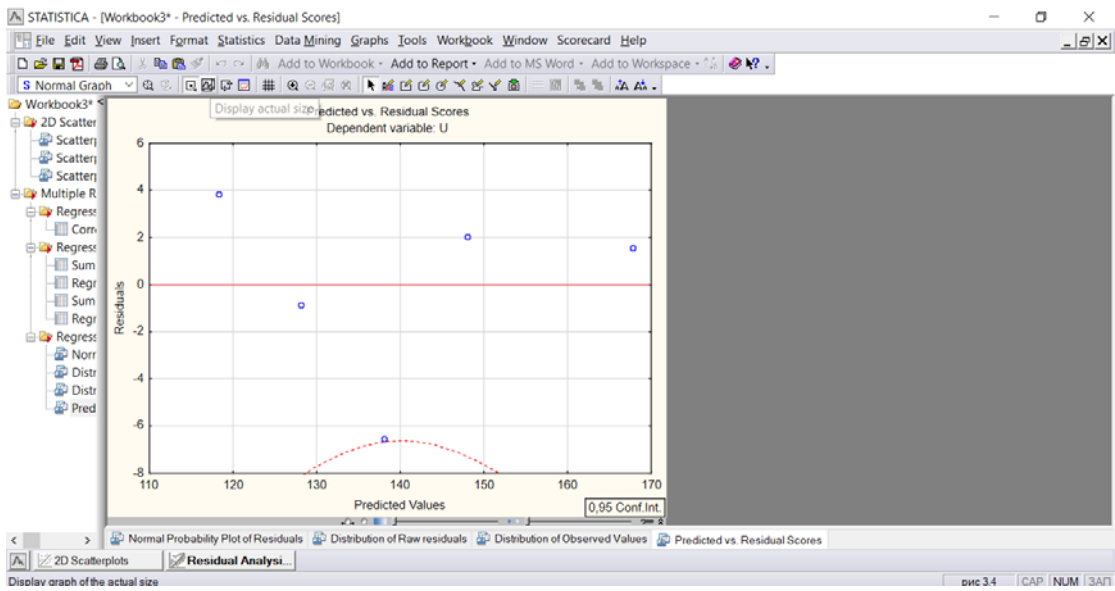
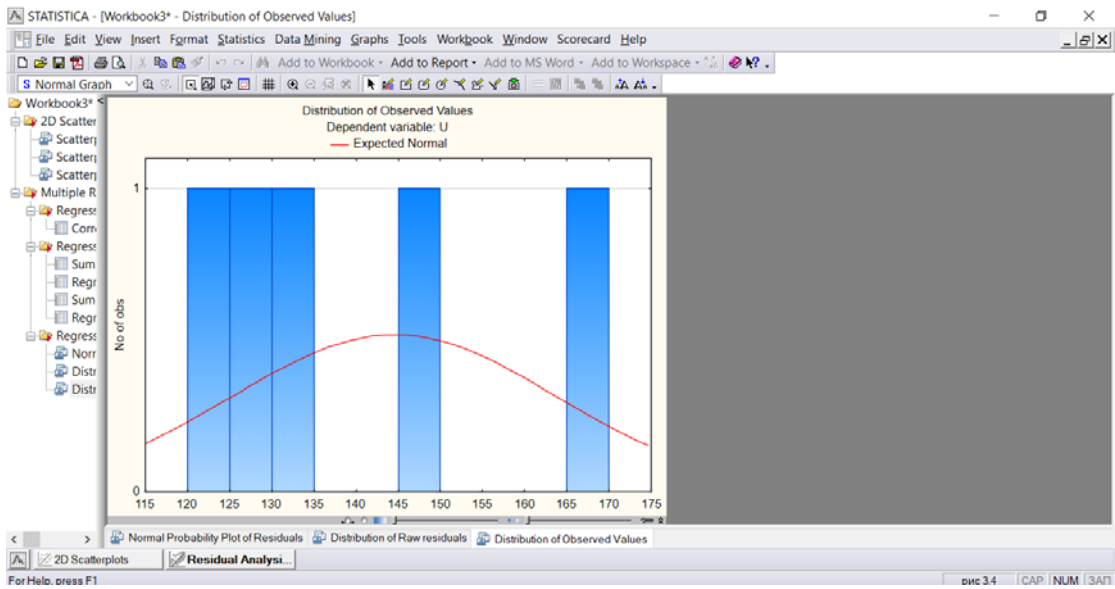
Приложение Д. Значения коэффициентов и средней ошибки аппроксимации для целевых функций и фрагменты использования программного комплекса «Statistica» для определения расхождения результатов вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

Таблица Д.1 - Значения коэффициентов и средней ошибки аппроксимации для целевых функций

B_{ki}	Y_i			
	$U_{\text{вых.}}, B$	$f_{\text{вых.}}, \Gamma\text{Ц}$	$i_{4.}, A$	$i_{9.}, A$
B_{k0}	223	50	5,5	5,3
B_{k1}	0,021	0,017	0,048	0,051
B_{k2}	-1,22	-0,98	-1,4	-1,24
B_{k3}	-0,05	0,01	0,71	0,82
B_{k4}	0,071	0,068	0,08	0,079
B_{k5}	0,071	0,069	0,014	0,02
$\Delta Y_{\text{ср.}}$	2,1	1,58	0,898	1,1







Приложение Е. Статистические данные объёмов производства биофарма

Таблица Е.1 - ФКП «Курская биофарма»

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Туберкулин очищенный (ШЦД) для млекопитающих	тыс. доз	32 057	28 318	640	33 113	27 167	522	22 615	20 950	323	45 000
Туберкулин очищенный (ПГ1Д) для птиц	тыс. доз	3 243	1 506	1 019	2 902	1 955	519	2 702	1 769	300	5 000
Маллеин	тыс. доз	1 550	483	932	1 575	491	1 033	600	428	153	2 500
Аллерген очищенный комплексный из атипичных микобактерий (КАМ)	тыс. доз	368	268	70	684	249	17	315	301	18	1 200
Антиген сапной для РСК	тыс. доз	397	344	17	535	303	13	518	364	39	900
Антиген санной цветной для пластинчатой РА	тыс. доз	828	790	0	824	775	3	778	747	0	1 200
Набор для серологической диагностики лейкоза КРС	набор	14 158	13 379	27	16 803	16 251	44	16 178	15 768	31	30 000
Набор для диагностики бруцеллеза животных в РИД	набор	2 636	2 624	10	2 588	2 561	1	37	-	6	3 100

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Сыворотка гемолитическая для РСК.	тыс. доз	94 685	87 705	1 320	146 320	112 310	2 100	169 860	87 870	76 400	200 000
Сыворотка сапная для РСК	тыс. доз	372	347	2	296	260	4	290	259	1	580
Набор для выявления антител к вирусу лейкоза КРС в сыворотке и молоке иммуноферментным методом (вариант № 1 - скрининг)	набор	1 010	995	0	1 363	1 318	0	1 078	1 037	4	2 500
Набор для выявления антител к вирусу лейкоза КРС в сыворотке и молоке иммуноферментным методом (вариант № 2-верификация)	набор	490	484	0	1 112	1 089	0	834	815	4	2 000
Набор для выявления иммуноферментным методом собак и других плотоядных, инфицированных <i>Brucella canis</i>	набор	64	64	0	53	52	0	52	48	0	110
Набор для выявления и дифференциации антител к S- и R- формам возбудителей бруцеллеза иммуноферментным методом	набор	168	115	50	85	76	0	105	99	0	150
Антиген трипаносомный для диагностики случной болезни в РСК	набор	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1 100
Сыворотка трипаносомная для диагностики случной болезни в РСК	тыс. доз	0	0	0	0	0	0	337	0	0	500

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вирусвакцина сухая против Ньюкаслской болезни птиц из штамма «Ла-Сога»	тыс. доз	8 000	0	8 000	25 300	0	0	43 000	0	6 000	86 000
Вакцина живая против инфекционного ларинготрахеита птиц из штамма «ВНИИБЦ»	тыс. доз	0	0	0	5 700	0	0	4 900	0	0	23 000
Вакцина против гриппа лошадей инактивированная поливалентная	тыс. доз	40	0	1	46	0	5	24	0	0	70
Вакцина против гриппа и столбняка лошадей инактивированная ассоциированная	тыс. доз	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Вирусвакцина против болезни Марка жидкая культуральная живая «Марек»	тыс. доз	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30 000
Вирусвакцина бивалентная против болезни Марка «Биок-Марек»	тыс. доз	67	0	0	4 700	0	0	4 200	0	0	18 000
Разбавитель жидких культуральных вирусвакцин против болезни Марка	флакон	26 944	0	0	28 800	0	0	19 200	0	0	100 000
Набор для диагностики парагриппа-3 крупного рогатого скота	набор	69	0	0	110	0	0	108	0	0	150
Набор для диагностики респираторно-синциальной инфекции КРС	набор	0	0	0	17	0	0	15	0	0	30
Набор антигенов и сывороток для диагностики гриппа лошадей	набор	38	0	0	71	0	0	67	0	0	110

Препарат	ед. из-мер.	2016 год				2017 год				9 мес. 2018 год				Потенциально возможный объем	
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт		
															0
Антиген пуллорный эритроцитарный	литр	136	0	2	136	0	0	2	154	0	0	92	0	0	200
Сыворотка крови лошадей неспецифическая неконсервированная	литр	20	0	1	20	0	1	39	39	0	2	44	0	1	70
Сыворотка крови крупного рогатого скота неспецифическая неконсервированная	флакон	688	0	0	688	0	0	720	720	0	0	673	0	0	1 000
Наборы сывороток сальмонеллезных О-комплексных и монорецепторных О- и Н-агглютинирующих 14. Набор № 1 Сыворотки сальмонеллезные О-комплексные агглютинирующие	набор	253	0	7	253	0	7	258	258	0	3	217	0	0	300
Набор № 2 Сыворотки сальмонеллезные монорецепторные О- и Н-агглютинирующие	набор	246	0	4	246	0	4	223	223	0	4	126	0	0	300
Сыворотки антитоксические Кл. перфрингенс типов А, С, Д диагностические	колич. исслед	54	0	1	54	0	1	54	54	0	0	39	0	1	100
Среда питательная ФАСТ-3Л	тыс. доз	18	0	0	18	0	0	15	15	0	9	12	0	0	25
Мастисан-А	тыс. доз	20	0	20	20	0	20	73	73	0	70	52	0	50	100
Раствор глюкозы 5, 10, 25, 40 %	флакон	532 800	0	0	532 800	0	0	258 445	258 445	0	0	75 870	0	0	600 000

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Растворитель микобактериальных аллергенов	литр	170	0	86	189	0	0	143	0	20	350
Раствор кальция хлорида 10% для инъекций	флакон	1 600	0	0	1 670	0	0	1 510	0	0	2 000
Раствор новокаина для инъекций	флакон	1 200	0	0	1 317	0	0	1 283	0	0	1 500
Вакцина против инфекционного бронхита кур из штамма «Н-120», живая сухая	тыс. доз	7 200	0	0	7 900	0	0	6 871	0	0	25 000
Вакцина ассоциированная ПП-3, ИРТ, ВД, Рога-корона вирусной инфекции КРС инактивированная эмульгированная	флаконов	254	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000
Вакцина ассоциированная против инфекционного керато- конъюнктивита КРС на основе бактерий <i>M. bovis</i> и герпес вируса типа I	флаконов	12 163	0	0	6 007	11 728	0	6 250	9 000	0	30 000
Антиген из штамма <i>B. Abortus R-1096</i> для выявления латентных форм у крупного рогатого скота	ампул	1 156	0	0	30	0	0	0	0	0	2 000
Адилин-супер	банок	700	74	0	1 181	159	0	709	0	0	3 000
Формол-эмульсионная вакцина против некробактериоза КРС	флаконов	576	0	0	0	0	0	0	0	0	1 500
Вакцина против хламидиоза КРС инактивированная эмульгированная	флаконов	336	0	0	200	0	0	0	0	0	1 000

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вакцина против хламидиоза свиней инактивированная эмульгированная	флаконов	44	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000
Вакцина против ИРТ, ВД, ПП - 3 и хламидиоза КРС инактивированная эмульсионная	флаконов	846	0	0	23	0	0	0	0	0	3 000
Сульфатилан	флаконов	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Тест система ИФА для серологической диагностики паровирусной инфекции КРС и определения уровня поствакцинальных антител	наборы	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Фузобаксан	флаконов	440	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000
Энтероспорин	флаконов	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Набор антигенов и сывороток для серологической диагностики хламидиозов с/х ж-х	наборы	347	0	0	2 794	4 224	0	300	0	0	3 000
Набор препаратов для определения в РИГА специфических антител у свиней вакцинированных против болезни Ауески	наборы	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			9 мес. 2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Флуоресцирующий антирабический глобулин	наборы	95	0	0	128	0	0	0	0	0	0
Набор для лабораторной диагностики бешенства методом иммунофлуоресценции	наборы	0	0	0	10	0	0	30	0	0	200
Набор для дифференциальной серологической диагностики бруцеллеза и контроля иммунного ответа КРС, иммунизированного вакциной из штамма В. abortus 82	наборы	10	0	0	0	0	0	0	0	0	60
Набор препаратов для лабораторной диагностики бешенства животных методом ИФА	наборы	248	180	0	170	127	0	212	0	0	500
Набор определения антител в сыворотке крови животных, вакцинированных против сибирской язвы в РИГА	наборы	66	0	0	0	0	0	85	0	0	200
Тест система «ЛЕЙКОЗ КРС 100» для выявления провируса лейкоза крупного рогатого скота методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени	наборы	0	0	0	0	0	0	8	0	0	200

Таблица Е.2 - ФКП "Армавирская биофабрика"

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вакцина поливалентная «ВГНКИ» против лептоспироза КРС, расфасовка 10 доз	тыс. доз.	2 575	1 818	542	5 191	2 113	853	8 598	5 498	1 504	9 000
Вакцина поливалентная «ВГНКИ» против лептоспироза свиней, расф. 10 доз	тыс. доз.	715	395	75	429	0	90	200	0	69	4 000
Формолвакцина против эмфизематозного карбункула крупного рогатого скота и овец концентрированная гидроокисьалюминиевая, расфасовка 50 доз	тыс. доз.	5 794	531	4 315	10 678	969	8 520	13 160	1 160	7 157	25 000
Формолвакцина против эмфизематозного карбункула крупного рогатого скота и овец концентрированная гидроокисьалюминиевая, расфасовка 10 доз	тыс. доз.	2 818	2 316	502	5 068	5 068	0	4 788	4 088	520	7 000
Вирусвакцина ВГНКИ сухая культуральная против болезни АУЕСКИ 25 доз	тыс. доз.	862	368	11	1 969	1 469	92	2 707	2 007	108	10 000
Вирусвакцина ВГНКИ сухая культуральная против болезни АУЕСКИ 50 доз	тыс. доз.	2 828	280	450	2 573	393	299	2 993	693	340	10 000
Вирусвакцина против оспы овец культуральная живая сухая	тыс. доз.	45 925	14 463	22 655	53 826	13 851	35 366	48 454	3 454	43 266	80 000
Сыворотки лептоспирозные групповые агглютинирующие	набор	677	599	9	640	541	12	670	550	14	3 000

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вакцина эмульгированная для профилактики некробактериоза животных	тыс. доз.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000
Вакцина против бешенства животных жидкая	тыс. доз.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10 000
Комплемент сухой для реакции связывания компонента	тыс. доз.	1 500	0	1 500	1 000	0	1 000	1 500	0	1 500	15 000
Вакцина против лептоспироза сельскохозяйственных животных концентрированная (масляная)	тыс. доз.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 000

Таблица Е.3 - ФКП "Щеловский биокомбинат"

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вирусвакцина против ньюкаслской болезни птиц из штамма "Бор-74 ВГНКИ" сухая	тыс. доз	167 997	0	0	93 610	0	0	134 047	0	0	800 000
Набор для диагностики инфекционной анемии лошадей в реакции диффузионной преципитации	набор	5 205	4 352	0	4 208	4 284	0	5 544	5 186	1	6 500

Препарат	ед. из-мер.	2016 год				2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт		
											число	
Вирусвакцина против ринопневмонии лошадей сухая культуральная СВ/69	тыс. доз	60	0	6	87	0	12	109	0	5	150	
Вакцина антирабическая инактивированная сухая культуральная из штамма "Щелково-51" с РК АВ	тыс. доз	1 093	1 082	0	1 478	1 440	5	736	631	86	3 000	
Вакцина антирабическая инактивированная сухая культуральная из штамма "Щелково-51" для собак и кошек (Раби-кан) (фасовка: 2 дозы во флаконе)	тыс. доз	3 679	3 701	2	3 662	3 641	0	3 638	3 192	3	3 000	
Вакцина антирабическая инактивированная сухая культуральная из штамма "Щелково-51" для собак и кошек (Раби-кан) (фасовка: 5 доз во флаконе)	тыс. доз	1 508	1 382	0	1 999	1 888	35	1 706	1 524	12	4 000	
Вакцина антирабическая из штамма "Щелково-51" инактивированная жидкая культуральная (Рабилов) (фасовка: 4 дозы во флаконе)	тыс. доз	3 051	3 194	0	4 556	4 611	0	4 179	3 728	0	5 000	
Вакцина антирабическая из штамма "Щелково-51" инактивированная жидкая культуральная (Рабилов) (фасовка: 20 доз во флаконе)	тыс. доз	5 952	6 048	15	3 586	3 310	0	4 498	4 123	12	5 000	
Вакцина против бруцеллеза из слабоагглютиногенного штамма бруцелла абортус № 82 живая сухая	тыс. доз	1 914	1 817	38	2 402	2 297	46	925	623	8	3 000	

Препарат	ед. из-мер.	2016 год				2017 год				2018 год				Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вакцина против бруцеллеза сельскохозяйственных животных из штамма № 19	тыс. доз	479	482	1	912	892	0	440	435	2	2 000			
Вакцина против бруцеллеза крупного рогатого скота из штамма бруцелла абортус 75/79 - АВ	тыс. доз	150	129	0	150	138	0	72	43	0	500			
Тест-система для диагностики бруцеллеза животных в кольцевой реакции (КР) с молоком	набор	444	393	0	772	752	0	744	704	0	2 000			
Тест-система для диагностики бруцеллеза животных в РА, РСК и РДСК	набор	50 112	49 920	0	72 293	71 955	20	73 464	68 379	435	100 000			
Тест-система для диагностики бруцеллеза животных в роз бенгал пробе (РБП)	набор	1 112	986	2	2 246	1 669	468	2 144	1 543	537	5 000			
Вакцина против рожи свиней из штамма ВР-2 живая сухая	тыс. доз	13 222	0	0	13 387	0	1 520	12 336	0	1 133	15 000			
Вакцина живая сухая против сальмонеллеза (паратифа) свиней из штамма ТС - 177	тыс. доз	365	0	0	614	0	25	420	0	50	800			
Вакцина против некробактериоза животных эмульгированная инактивированная	тыс. доз	400	0	15	450	0	1	296	0	34	600			
Вакцина ящурная культуральная моно- и поливалентная сорбированная инактивированная (типов А, О, Азия-1) (в моновалентном выражении)	тыс. доз	184 538	131 114	53 352	182 703	124 668	58 031	182 700	77 525	41 180	200 000			

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Комплемент сухой для реакции связывания компонента	тыс. доз	78 847	73 189	0	93 254	90 664	0	87 487	80 789	1 005	100 000

Таблица Е.4 - ФКП «Орловская биофабрика»

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Сыворотка противосибирезвенная	литры	207	0	200	284	0	200	202	0	200	300
Сыворотка сибирезвенная преципитирующая	литры	838	229	62	643	238	97	499	239	101	1 000
Глобулин противосибирезвенный	литры	64	61	0	144	123	0	129	80	0	150
Антиген сибирезвенный бактериальный стандартный	литры	48	48	1	49	47	2	42	39	2	150
Вакцина против сибирской язвы животных из шт.55-ВНИИВиМ живая жидкая	тыс. доз	0	0	0	10 893	10 378	0	16 170	10 677	0	32 000
Вакцина против сибирской язвы животных из шт.55-ВНИИВиМ живая сухая	тыс. доз	42 939	35 203	6 900	29 792	20 596	5 100	27 862	19 053	7 200	32 000
Вакцина против сибирской язвы и эмфизематозного карбункула ассоциированная живая	тыс. доз	9 725	9 350	0	10 060	9 424	0	10 342	9 913	0	10 200
ПРЕЦИПАНТР® Набор компонентов для диагностики сибирской язвы в реакции преципитации	набор	192	0	0	146	0	3	0	0	0	300

Препарат	ед. из-мер.	2016 год				2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт		
Сыворотка противосибирязвенная	литры	207	0	200	284	0	200	202	0	200	300	
Сыворотка сибирязвенная преципитирующая	литры	838	229	62	643	238	97	499	239	101	1 000	
Глобулин противосибирязвенный	литры	64	61	0	144	123	0	129	80	0	150	
Антиген сибирязвенный бактериальный стандартный	литры	48	48	1	49	47	2	42	39	2	150	
Вакцина против сибирской язвы животных из шт.55-ВНИИВиМ живая жидкая	тыс. доз	0	0	0	10 893	10 378	0	16 170	10 677	0	32 000	
Вакцина против сибирской язвы животных из шт.55-ВНИИВиМ живая сухая	тыс. доз	42 939	35 203	6 900	29 792	20 596	5 100	27 862	19 053	7 200	32 000	
Вакцина против сибирской язвы и эмфизематозного карбункула ассоциированная живая	тыс. доз	9 725	9 350	0	10 060	9 424	0	10 342	9 913	0	10 200	
ПРЕЦИПАНТР® Набор компонентов для диагностики сибирской язвы в реакции преципитации	набор	192	0	0	146	0	3	0	0	0	300	

Таблица Е.5 - ФКП «Ставропольская биофабрика»

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
«ЛЕПТОГАРД» 1 вариант	тыс. доз	217	208		322	294		194	192		10 000
«ЛЕПТОГАРД» 2 вариант	тыс. доз	723	717	4	795	794		615	615		10 000
«ЛЕПТОПРО» 1 вариант	тыс. доз	426	395	17	1 318	1 158	114	926	808	82	10 000
«ЛЕПТОПРО» 2 вариант	тыс. доз	2 890	1 818	1 033	4 241	3 225	146	1 980		2	10 000
ЭМКАР, 20 мл.фл, по 10доз	тыс. доз	999	999		120		120	0			2 400
ЭМКАР, 100мл.фл, по 50доз	тыс. доз	9 282	1 031	8 059	8 516	0	8 282	1 965	0	1 753	20 000
ТЕТРАТОКС	тыс. доз	6 227	0	5 901	10 651	0	10 195	1 256	0	255	20 000
Листекс	тыс. доз	1 284	0	1 143	2 722	0	2 663	42	0		10 000
ПАСТОС	тыс. доз	489	0	314	523	0	250	141	0	77	10 000
БОВИРЕТ	тыс. доз	2 727	0	600	2 201	0	285	1 848	0	140	10 000
Пульмовак	тыс. доз	0	0	0	712	0	594	638	0	553	5 000
Рувак , амп по 10-20доз	тыс. доз	1 360	0	75	1 035	0	70	786	0	56	10 000
Рувак , амп по 21-50доз	тыс. доз	3 722	0	1 463	1 933	0	228	1 413	0	196	10 000

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вакцина против сальмонеллеза водоплавающей птицы живая сухая	тыс. доз	355	0	0	468	0	0	420	0	0	20 000
Вакцина против энтерококковой инфекции телят, ягнят и поросят	тыс. доз	471	0	1	493	0	0	290	0	1	4 000
КЭМЕЛ-ПРО-Р.С.	тыс. доз	169	0	169	170	0	170	70	0	70	320
Овикон	тыс. доз	26	0	20		0	0	10	0	10	1 000
НЕКОВАК	тыс. доз	28	0	25	79	0	1	159	0	20	1 000
Антокс 9	тыс. доз	130	0	68	161	0	72	45	0	0	200
СУИГАРД	тыс. доз	486	0	80	442	0	82	298	0	58	20 000
ЛТФ-130, 10мл по 10доз	тыс. доз	4 849	0	1 092	6 027	0	1 316	3 936	0	949	16 000
ЛТФ-130, 10мл по 20доз	тыс. доз	3 607	0	655	3 846	0	702	2 530	0	268	16 000
ЛТФ-130, 20мл по 40доз	тыс. доз	8 519	0	1 973	10 580	0	1 450	5 972	0	1 402	16 000
Микростав	тыс. доз	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 000
ФЛУ ПРОТЕКТ Н5	тыс. доз	16 310	16 304		27 601	26 670	812	11 660	11 660	0	60 000
ПГ-3 ИРТ	тыс. доз	1 036	0	363	1 044	0	521	359	0	54	26 000
Вирусвакцина против болезни Ауески культуральная сухая 10 мл фл по 25 доз	тыс. доз	318	318	0	801	801	0	0	0	0	20 800

Препарат	ед. из-мер.	2016 год			2017 год			2018 год			Потенциально возможный объем
		Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	Всего	в том числе госзаказ	в том числе экспорт	
Вирусвакцина против болезни Ауески культуральная сухая 10 мл фл по 50 доз	тыс. доз	1 403	330	589	1 166	347	249	748	0	193	20 800
Вакцина против инфекционного ринотрахеита, вирусной диареи–болезни слизистых оболочек и парагриппа-3 крупного рогатого скота поливалентная сухая «ТРИВАК»	тыс. доз	32	0	12	13	0	10	301	0	289	2 400
Вирусвакцина против ньюкаслской болезни из штамма "Н" живая сухая	тыс. доз	31 055	0	31 055	32 534	0	32 504	34 936	0	34 536	190 000
Рабистав	тыс. доз	0	0	0	0	0	0	4 998	4 998	0	30 000
Разбавитель для вакцин против дерматофитозов животных	тыс. доз	3 149	0	1 770	3 942	0	2 932	2 814	0	2 500	25 000
Фармацевтические препараты, 100 мл	литров	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180 000
Фармацевтические препараты, 10 мл	литров	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18 000
Фармацевтические препараты, 1 л	литров	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70 000

Приложение Ж. Зависимости вращающего, синхронизирующих моментов СДГУ, напряжения и частоты от входных параметров.

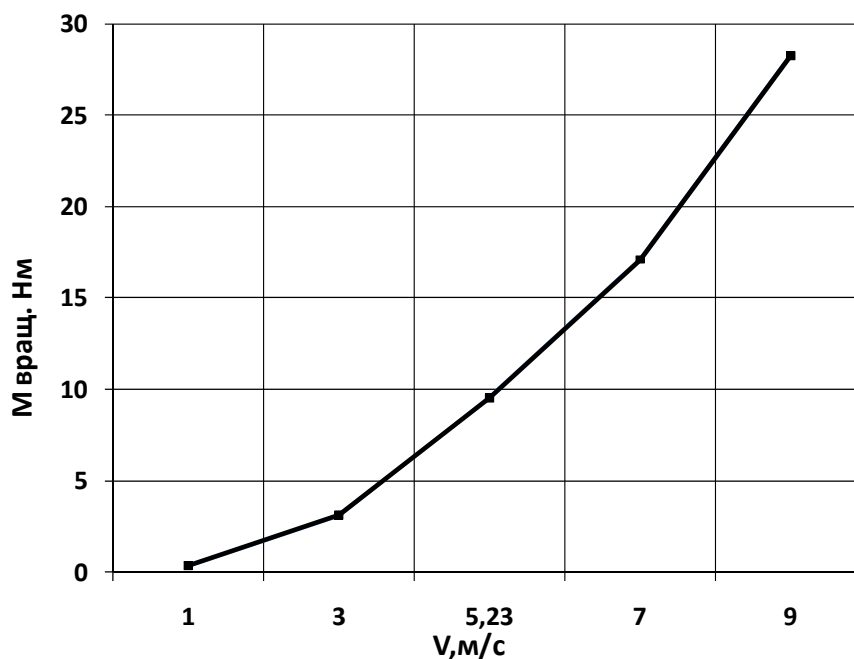


Рисунок Ж.1 – Зависимость вращающего момента СДГУ от скорости ветра при изменении напряжения на выходе ФЭП

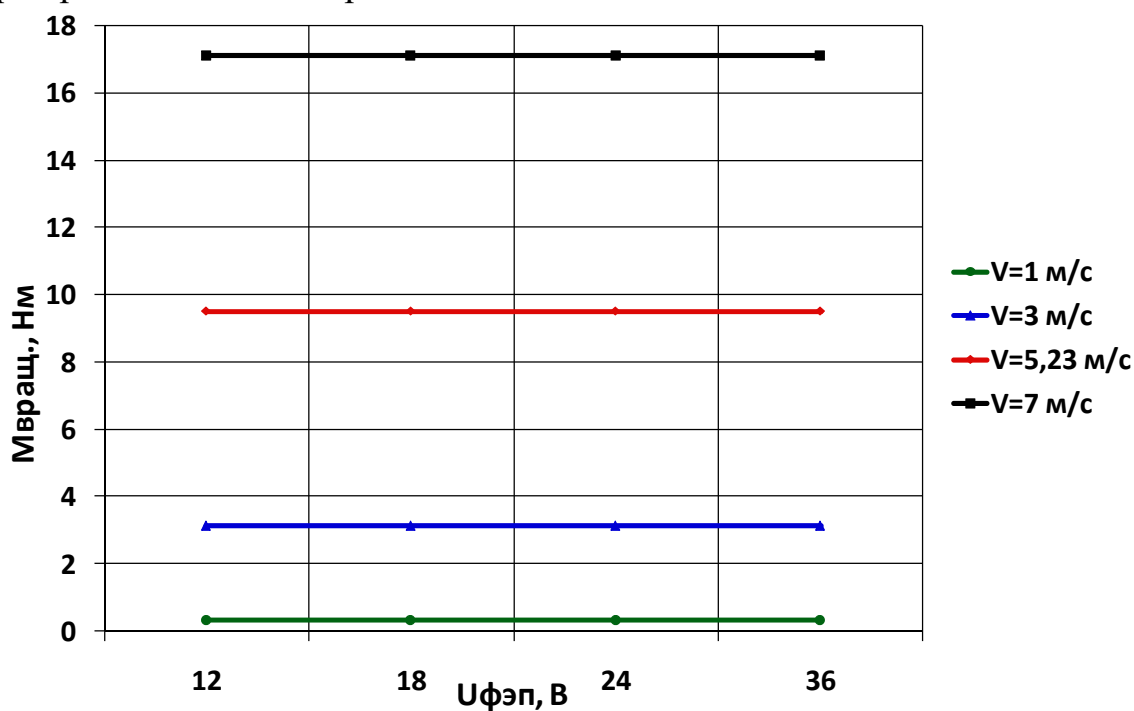


Рисунок Ж.2 – Зависимость момента вращения СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при изменении скорости ветра

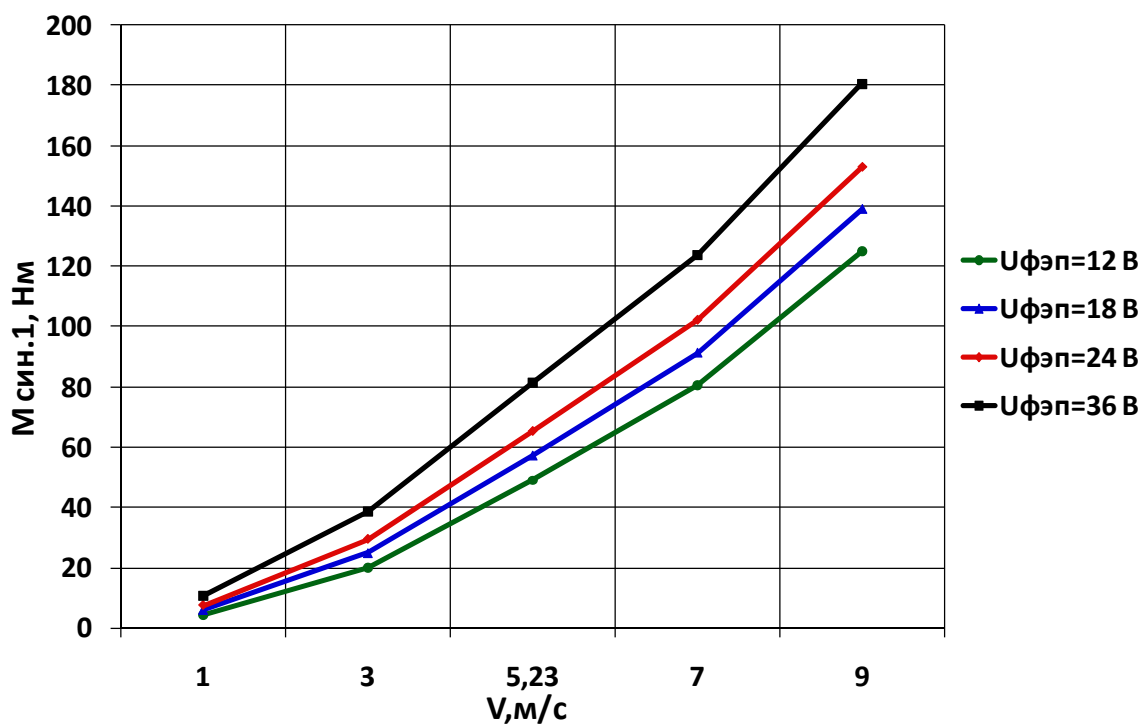


Рисунок Ж.3 – Зависимость синхронизирующего момента СДГУ от скорости ветра при изменении напряжения на выходе ФЭП

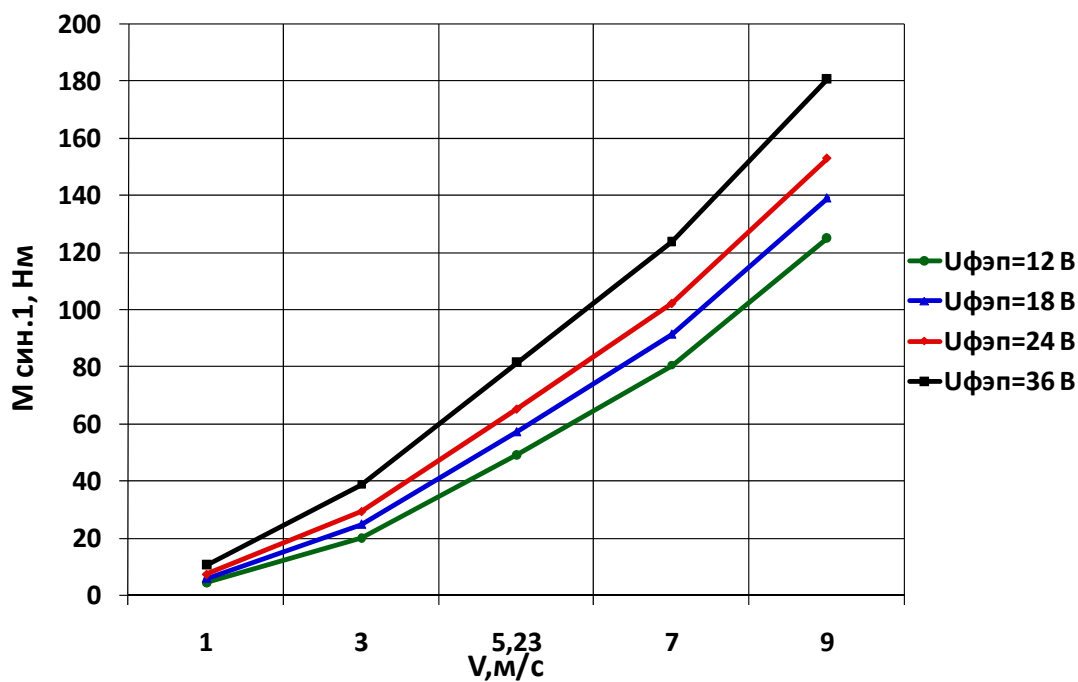


Рисунок Ж.4 – Зависимость синхронизирующего момента СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при изменении скорости ветра

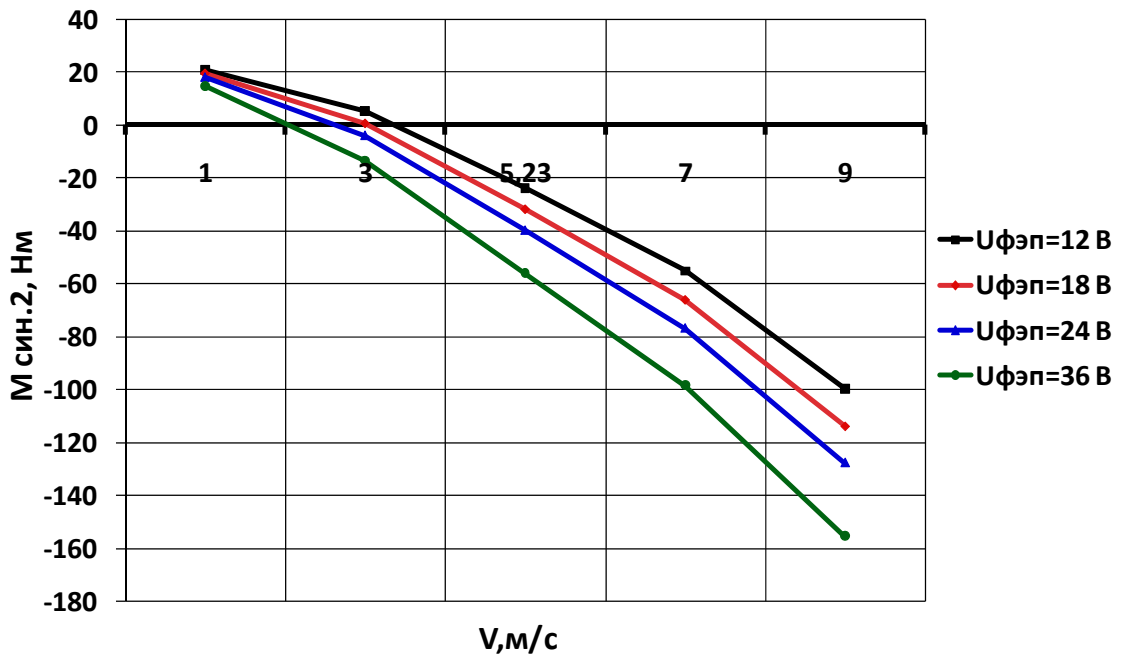


Рисунок Ж.5 – Зависимость дополнительного синхронизирующего момента СДГУ от скорости ветра при изменении напряжения на выходе

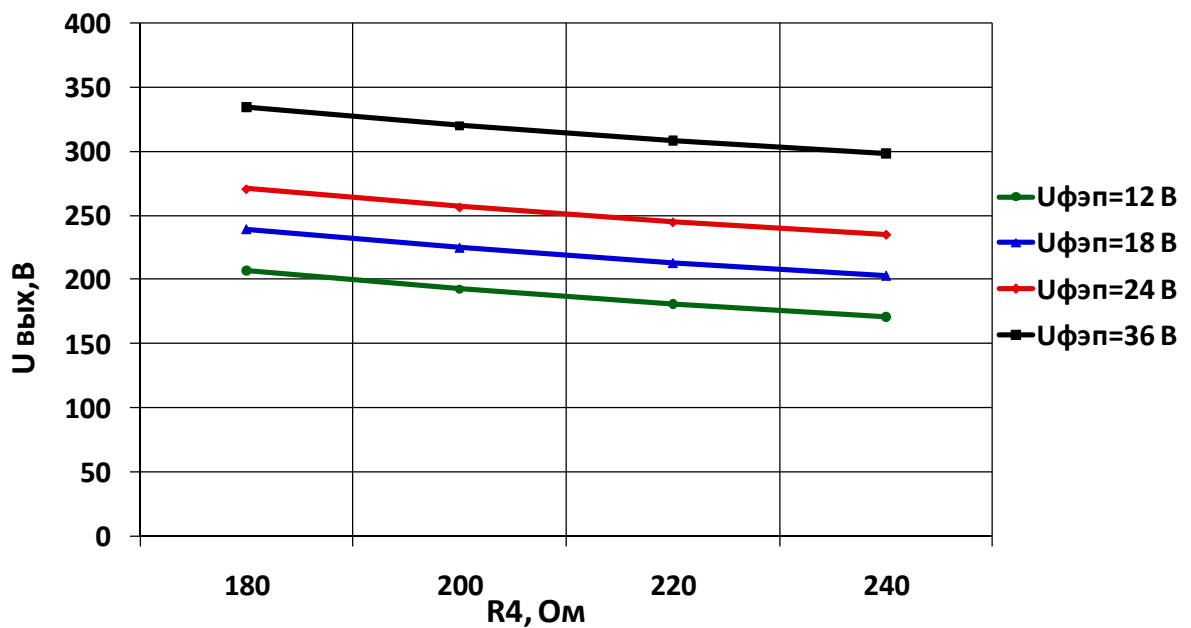


Рисунок Ж.6 – Зависимость выходного напряжения СДГУ от сопротивления основной обмотки возбуждения возбудителя при изменении напряжения на выходе ФЭП

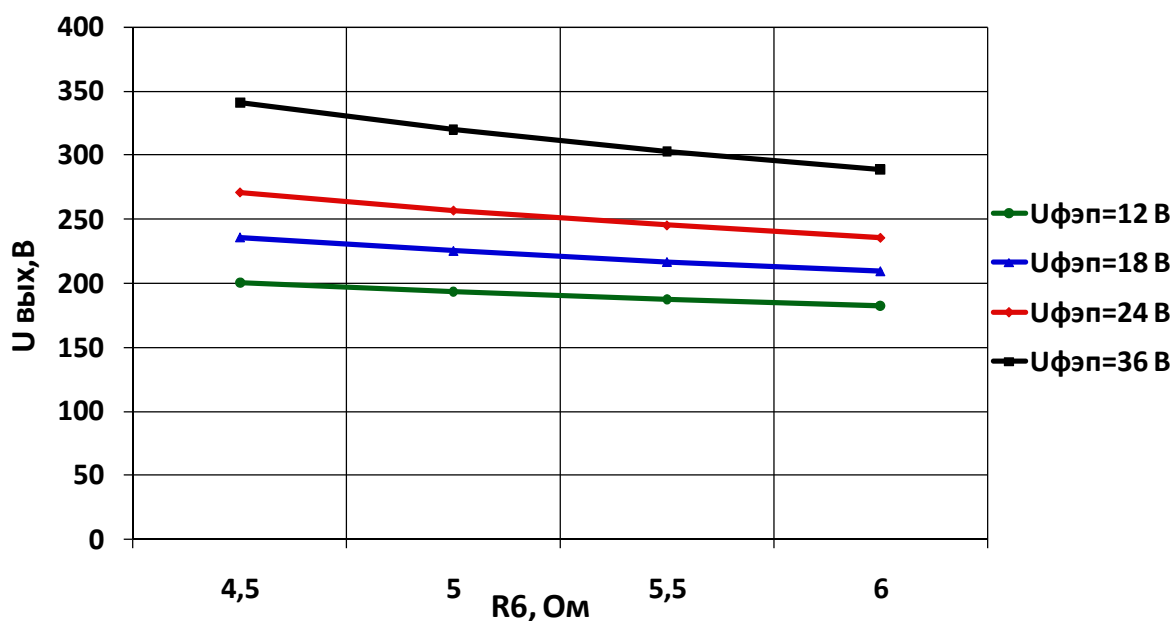


Рисунок Ж.7 – Зависимость выходного напряжения СДГУ от сопротивления дополнительной обмотки возбуждения возбудителя при изменении напряжения на выходе изменении напряжения на выходе ФЭП

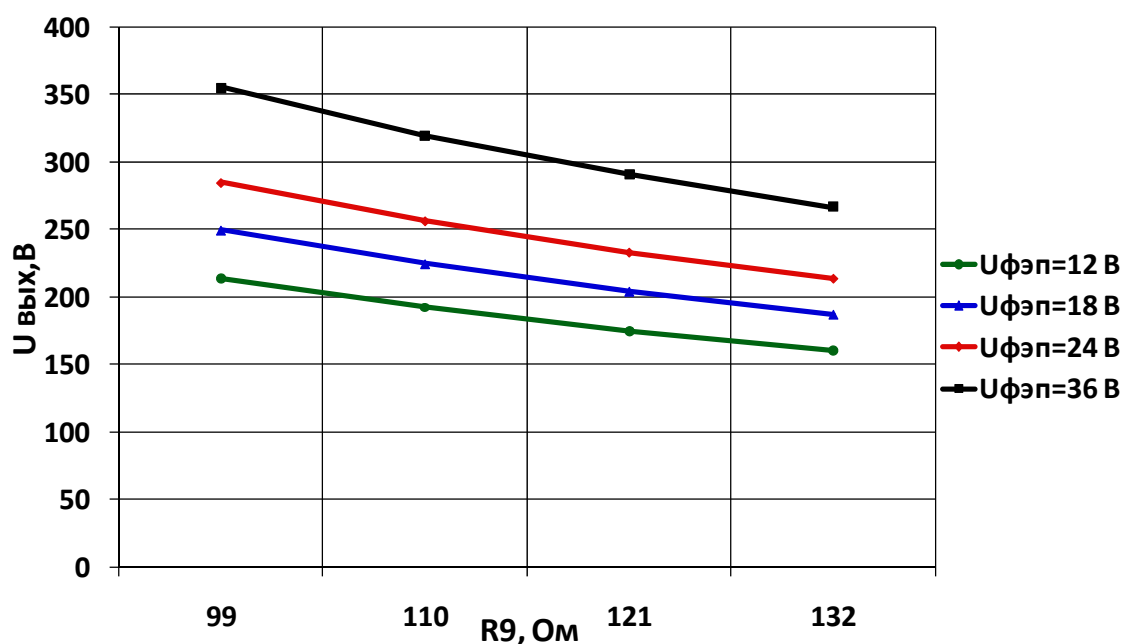


Рисунок Ж.8 – Зависимость выходного напряжения СДГУ от сопротивления обмотки возбуждения основного генератора при изменении напряжения на выходе ФЭП

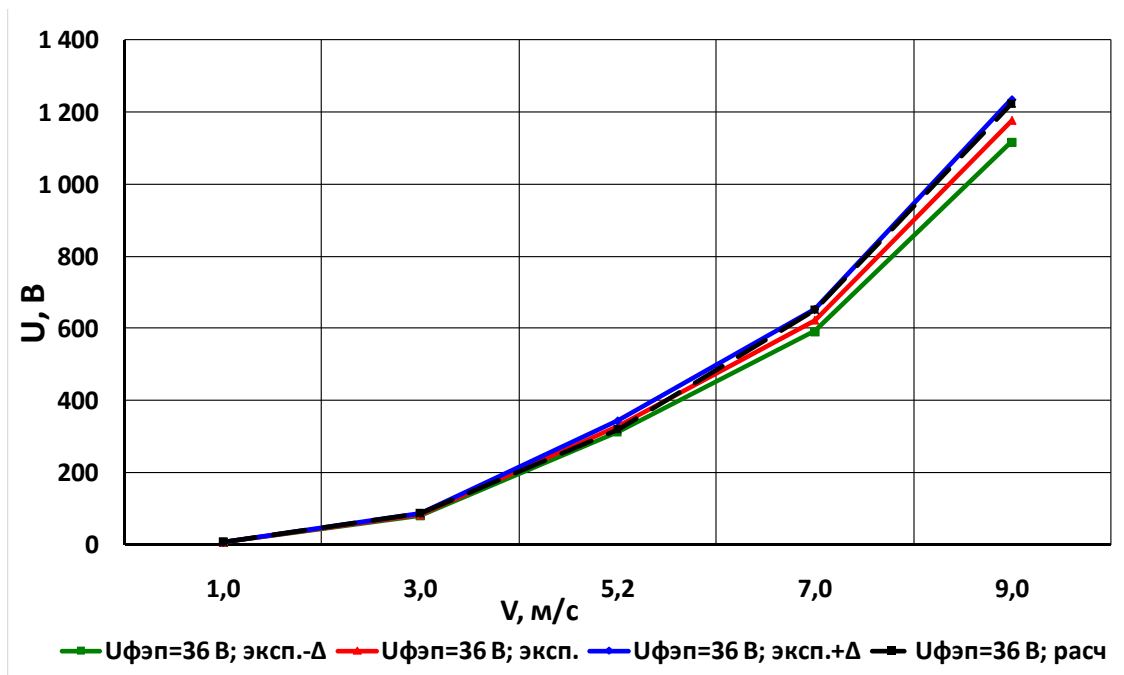


Рисунок Ж.9 - Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от скорости ветра при напряжении на выходе ФЭП 12 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

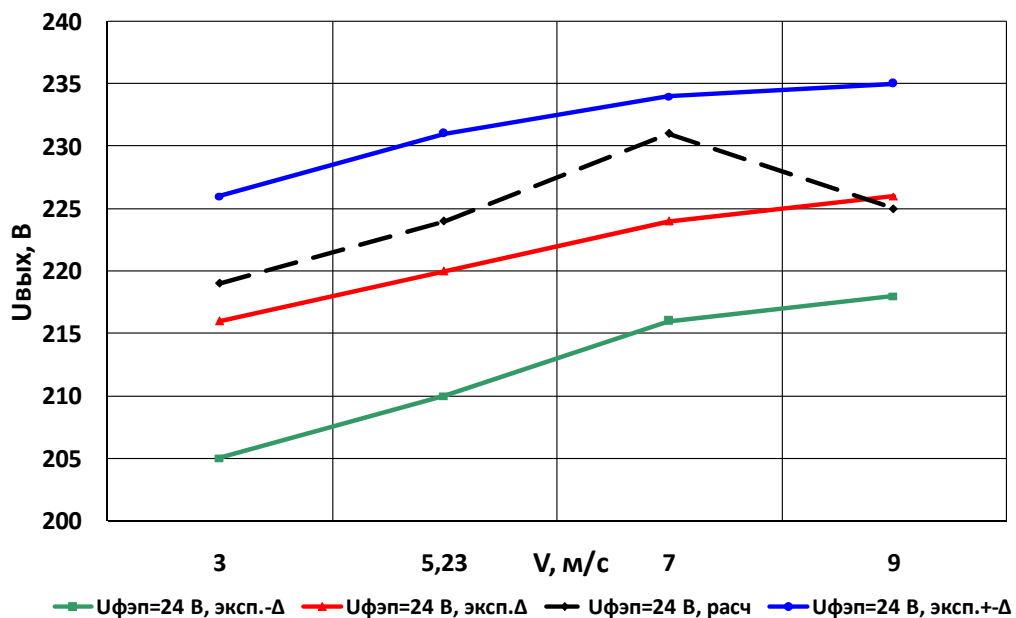


Рисунок Ж.10 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от скорости ветра при напряжении на выходе ФЭП 24 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

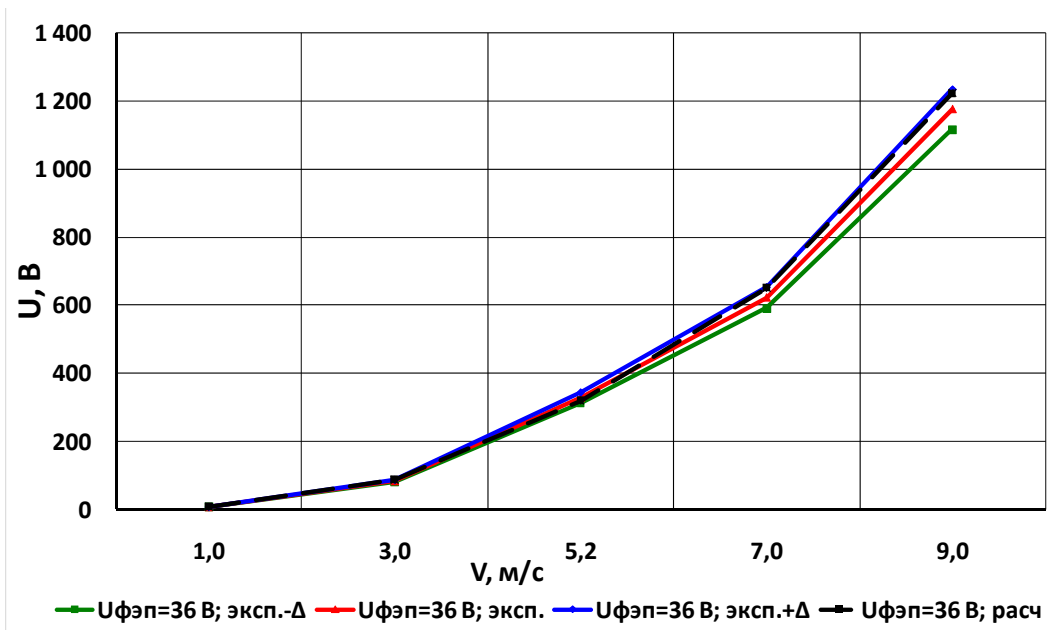


Рисунок Ж.11 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения ДГУ от скорости ветра при напряжении на выходе ФЭП 36 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

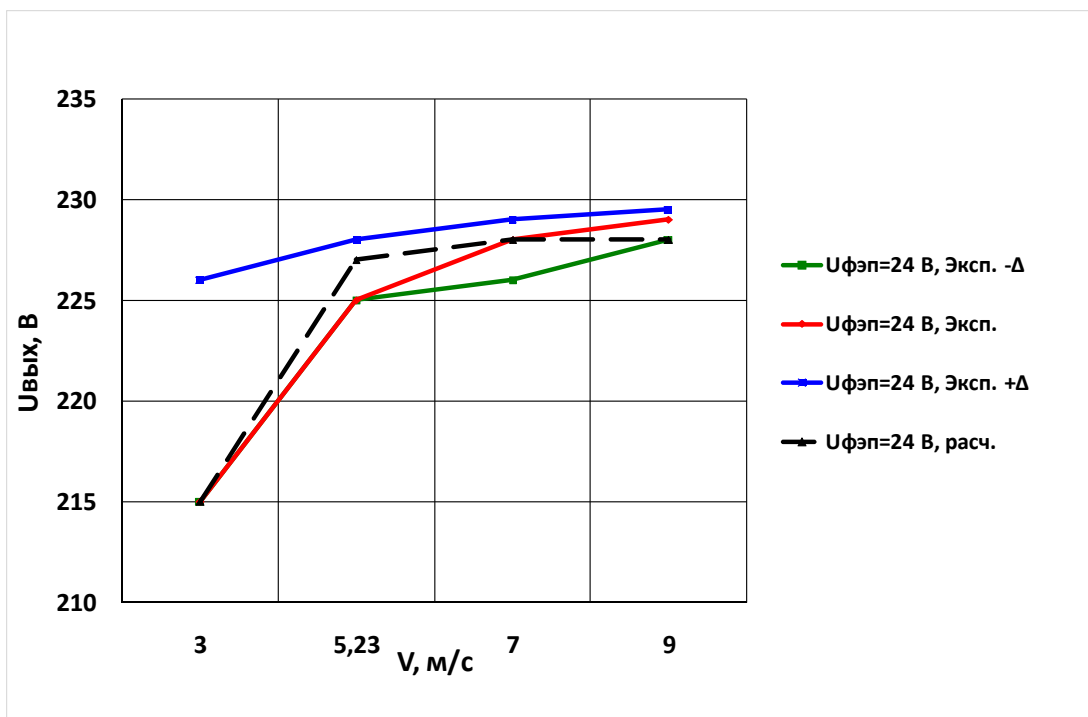


Рисунок Ж.12 – Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от скорости ветра при напряжении на выходе ФЭП 24 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

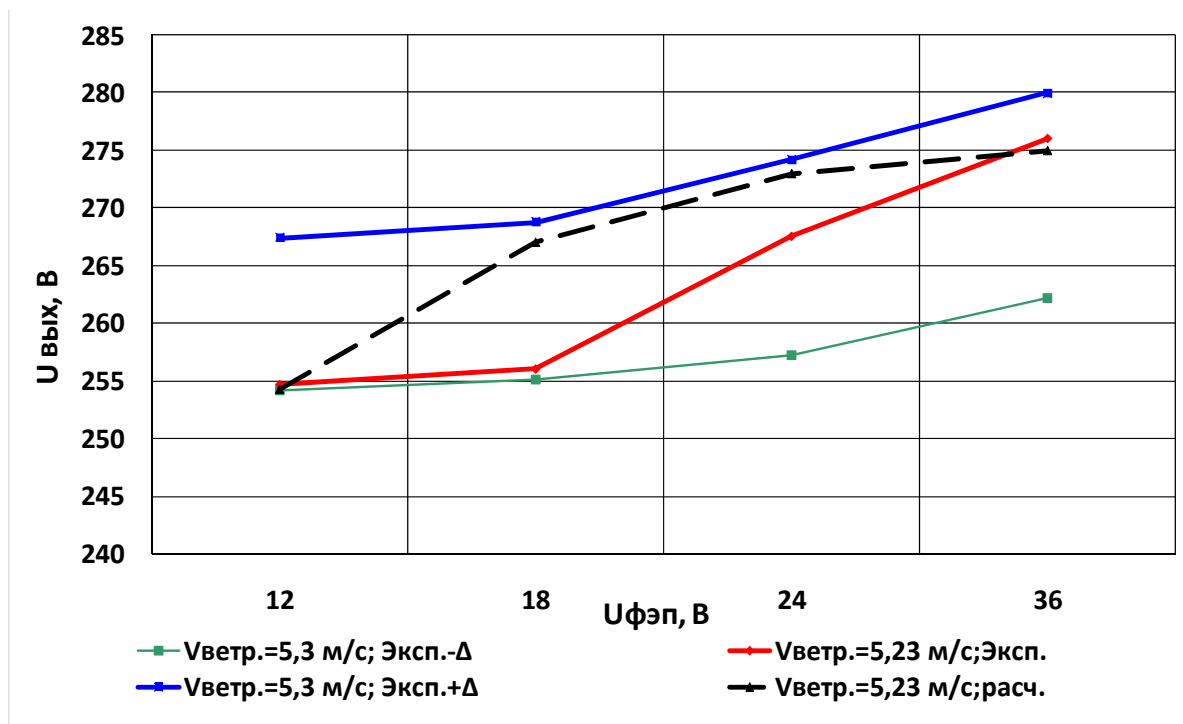


Рисунок Ж.13 - Зависимости действующего значения установившегося выходного напряжения СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при скорости ветра 5,23 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

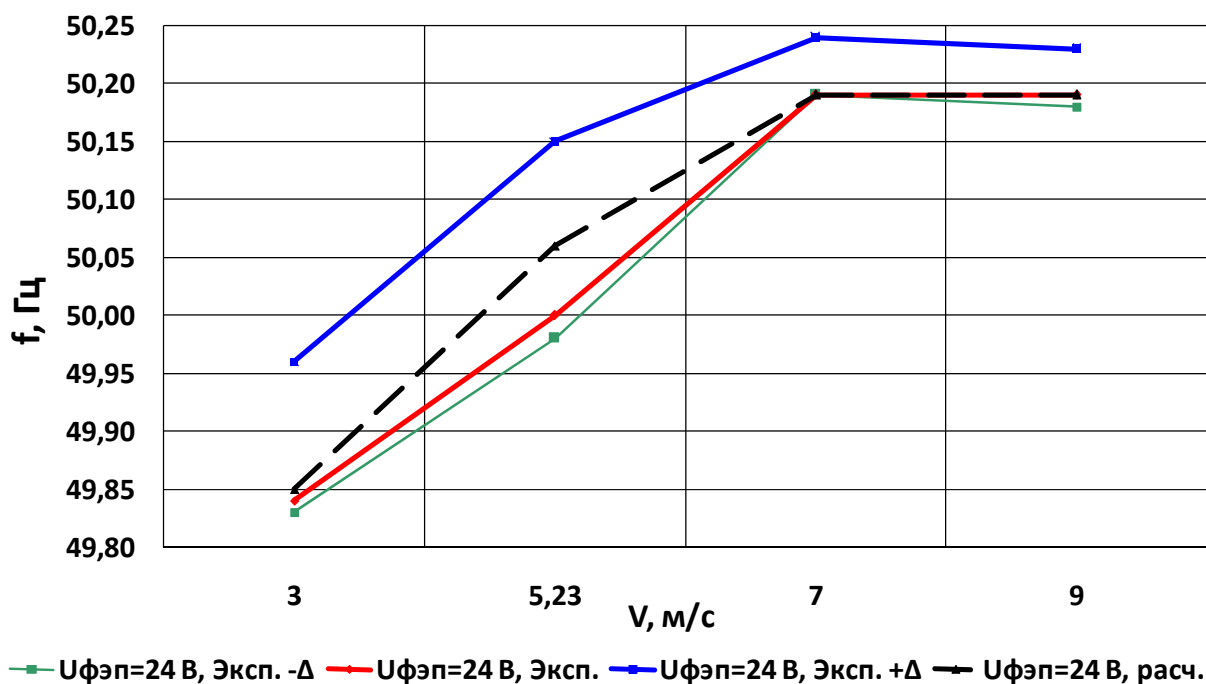


Рисунок Ж.14 – Зависимости частоты выходного напряжения СДГУ от скорости ветра при напряжении на выходе ФЭП 24 В, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

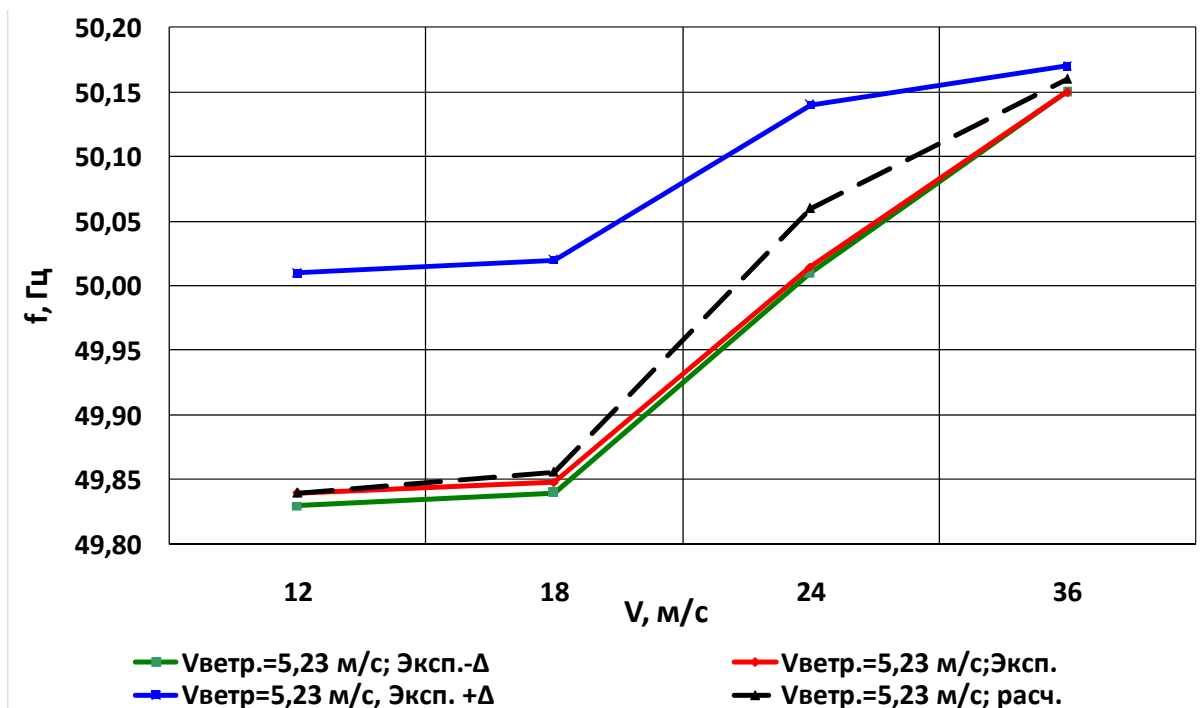


Рисунок Ж.15 - Зависимости частоты выходного напряжения СДГУ от напряжения на выходе ФЭП при скорости ветра 5,23 м/с, полученные в ходе вычислительного эксперимента и эксперимента на натурном образце

Приложение 3. Программа эксперимента

1 разработка, изготовление и сборка экспериментального стенда, позволяющего имитировать условия, близкие к реальным, и исследовать работу НМ СДГУ в этих условиях;

2 определение параметров обмоток (активное сопротивление) отдельных частей НМ СДГУ;

3 получение экспериментальных зависимостей $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{фэп}})$ при $V_{\text{ветр.}} = \text{var.}$ (где $U_{\text{вых.}}$ – выходное напряжение НМ СДГУ, $U_{\text{фэп}}$ – напряжение на выходе ФЭП, $V_{\text{ветр.}}$ – скорость ветра, пропорциональная частоте вращения вала ($n_{\text{вал.}}$) НМ СДГУ;

4 получение экспериментальных зависимостей $U_{\text{вых}} = \varphi(V_{\text{ветр.}})$ при $U_{\text{фэп}} = \text{var.}$;

5 получение экспериментальных зависимостей $U_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{н}})$ при $U_{\text{фэп}} = \text{var.}$ (где $I_{\text{н}}$ – ток нагрузки НМ СДГУ);

6 получение экспериментальных зависимостей $f_{\text{вых}} = f(U_{\text{фэп}})$ при $V_{\text{ветр.}} = \text{var.}$ (где $f_{\text{вых.}}$ – частота выходного напряжения НМ СДГУ).

7 Для того чтобы смоделировать работу СДГУ в реальных условиях и обеспечить качественное измерение экспериментальных данных, предусмотренных программой эксперимента, необходимо чтобы экспериментальный стенд удовлетворял следующим требованиям:

8 обеспечивал независимые друг от друга и переменные колебания поступления энергии на механический (вал НМ СДГУ) и электрический (клеммы дополнительной обмотки возбуждения возбудителя) входы НМ СДГУ;

9 обеспечивал плавное и управляемое регулирование одной из входных величин при жестко зафиксированной другой;

обеспечивал проведение эксперимента по управлению (стабилизации) выходного напряжения НМ СДГУ при изменении скорости вращения вала НМ СДГУ (имитация скорости ветра) и напряжения на выходе ФЭП (имитация интенсивности солнечного излучения).

Приложение И. Результаты экономического расчета и сравнения ГВС, ДЭС, СДГУ

Таблица И.1 – Изменение элементов текущих затрат за год, руб.

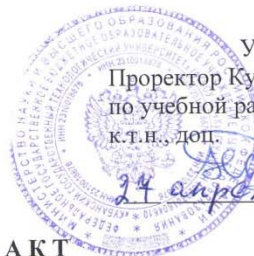
Элементы затрат, руб./год	Варианты		
	ГВСУ	ДЭС	СДГУ
Капиталовложения (балансовой стоимость оборудования)	14118000	720068	7881860
Заработная плата	160000	450000	160000
Отчисления на соц. нужды	48000	135000	48000
Амортизационные отчисления	1411800	72007	788186
Затраты на ТО и ремонт	141180	7201	78819
Затраты на энергоресурсы	-544344	2963061	-544344
Итого	1216636	3627269	530661

Таблица И.2 - Техничко-экономические показатели внедрения генерирующей установки

№ П.П	Показатели	Варианты		
		ГВСУ	ДЭС	СДГУ
1	Возможный ущерб от некачественного электроснабжения, тыс. руб./год	2722,2	2722,2	2722,2
2	Капиталовложения, тыс. руб.	18353	720	9458
3	Потребляемые энергоресурсы: топливо, тыс. руб./год электроэнергия, тыс. руб./год	- -544	2963 -	- -544
4	Текущие издержки, тыс. руб./год, в том числе топливо	1216	3627	530
5	Годовой доход с вычетом текущих издержек, тыс. руб.	2737	326	3423
6	Чистый дисконтированный доход, руб.	-9793	83	1246
7	Индекс доходности, отн. ед.	0,46	1,08	1,13
8	Срок окупаемости, лет	-	4,41	4,16

Приложение К. Документы подтверждающие результаты внедрения

Приложение К.1



УТВЕРЖДАЮ
Проректор КубГТУ
по учебной работе
к.т.н., доц.

С.Н. Никонович
2021 г.

А К Т

об использовании в учебном процессе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» в институте нефти, газа и энергетики результатов научно-исследовательской работы ХРИСТОФОРОВА Михаила Сергеевича

Комиссия в составе председателя директора института нефти, газа и энергетики д.т.н., проф. Д.Г. Антониади и членов комиссии: заведующего кафедрой электротехники и электрических машин к.т.н., доц. Я.М.Кашина, доцента кафедры электротехники и электрических машин к.т.н., доц. Л.Е. Копелевича, доцента кафедры электротехники и электрических машин к.т.н., доц. А.В. Самородова рассмотрела результаты научно-исследовательской работы М.С. Христофорова, выполненной на тему «Параметры и режимы работы синхронизированной двухходовой генераторной установки для электроснабжения биофабрик агропромышленного комплекса» и их внедрение в учебный процесс института нефти, газа и энергетики.

Комиссия установила, что материалы научно-исследовательской работы М.С. Христофорова используются в учебном процессе на кафедре электротехники и электрических машин при проведении занятий по следующим учебным дисциплинам, изучаемым магистрантами, обучающимися по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль «Электрооборудование»):

1. Электрооборудование систем нетрадиционной энергетики
2. Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений.
3. Электромагнитные устройства аксиальной конструкции.

Кроме того, материалы научно-исследовательской работы М.С. Христофорова работы использованы студентами-выпускниками для подготовки ими выпускных квалификационных работ.

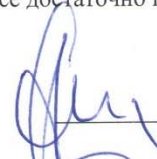
Комиссия считает, что материалы научно-исследовательской работы Христофорова М.С. использованы в учебном процессе достаточно широко.

Председатель комиссии:
д.т.н., проф.

Члены комиссии:
к.т.н., доц.

к.т.н., доц.

к.т.н., доц.

 Д.Г. Антониади

 Я.М. Кашин

 Л.Е. Копелевич

 А.В. Самородов

Приложение К.2

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «ДЕФОТЕК»

Скрышник В.Г.

«3» мая 2018 г.

АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы
Христофорова М.С. (научный руководитель к.т.н., доц. Кашин Я.М.)
по разработке электротехнического комплекса на базе синхронизированной
аксиальной двухвходовой генераторной установки**

На предприятии ООО «Дефотек» под руководством к.т.н., доц. Кашина Я.М. при непосредственном участии асп. Христофорова М.С. изготовлена и испытана синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка (патент РФ на изобретение № 2647708, опубл. 19.03.2018 г., бюл. № 8, авторы Кашин Я.М., Кашин А.Я., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Христофоров М.С.).

При изготовлении применен высокоэффективный способ изготовления магнитопроводов аксиальных электрических машин (патент РФ № 2475924, авторы Гайтов Б.Х., Кашин Я.М. и др.), при котором согласно технологии полностью отсутствуют отходы электротехнической стали, за исключением неизбежной вырубки пазов, без которых не может работать никакая машина. Высокая эффективность в экономии электротехнической стали и высокая технологичность изготовления магнитопроводов аксиальной конструкции подтверждены тем, что при мощности от 0,5 кВт переход от обычной (радиальной) к аксиальной конструкции позволил сэкономить 25 % электротехнической стали.

Рассчитанная и спроектированная Христофоровым М.С. и изготовленная предприятием ООО «Дефотек» установка при испытании показала полную работоспособность, хорошие технико-экономические и эксплуатационные характеристики. Она позволяет суммировать энергию двух разнородных источников (например, световую энергию Солнца и механическую энергию ветра), преобразовывать ее в электроэнергию и получать выходное напряжение, синхронизированное с внешней сетью переменного тока. На базе такой установки может быть построен электротехнический комплекс, предназначенный для работы совместно с внешней сетью переменного тока.

Главный инженер ООО «Дефотек»



Тур В.Р.

Приложение Л. Патенты и авторские свидетельства

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 647 708** (13) **C1**

(51) МПК
H02K 19/38 (2006.01)
H02K 19/34 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02K 19/38 (2017.08); *H02K 19/34* (2017.08); *F03D 9/00* (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2017113229, 17.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.04.2017

Дата регистрации:
19.03.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.04.2017

(45) Опубликовано: 19.03.2018 Бюл. № 8

Адрес для переписки:
350072, г.Краснодар, ул. Московская, 2, ФГБОУ
ВО "КубГТУ", отдел интеллектуальной и
промышленной собственности, начальнику
ОИПС Тихомировой Н.А.

(72) Автор(ы):
Кашин Яков Михайлович (RU),
Кашин Александр Яковлевич (RU),
Копелевич Лев Ефимович (RU),
Самородов Александр Валерьевич (RU),
Христофоров Михаил Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Кубанский государственный
технологический университет" (ФГБОУ ВО
"КубГТУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2450411 C1, 10.05.2012. RU
2561504 C1, 27.08.2015. RU 2589730 C1,
10.07.2016. GB 2526213 A, 18.11.2015. US
9587631 B2, 07.03.2017.

(54) Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике. Технический результат - суммирование механической энергии вращения со световой энергией с преобразованием полученной энергии в электрическую. Синхронизированная аксиальная двухвходовая генераторная установка содержит боковой аксиальный магнитопровод с трехфазной обмоткой якоря основного генератора, внутренний аксиальный магнитопровод с многофазной обмоткой якоря подвозбудителя, основной и дополнительной однофазными обмотками возбуждения возбудителя, и ротор, на валу которого посредством дисков жестко закреплены

постоянный аксиальный многополюсный магнит индуктора подвозбудителя и аксиальный вращающийся магнитопровод с многофазной обмоткой якоря возбудителя и однофазной обмоткой возбуждения основного генератора. Обмотка возбуждения основного генератора подключена к обмотке якоря возбудителя через выпрямитель, основная обмотка возбуждения возбудителя подключена к обмотке якоря подвозбудителя через выпрямитель. Фотоэлектрический преобразователь подключен к дополнительной обмотке возбуждения возбудителя. Генераторная установка содержит также магнитный редуктор. 2 ил.

RU 2 647 708 C1

RU 2 647 708 C1



(51) МПК
H02K 7/18 (2006.01)
H02K 21/38 (2006.01)
H02K 16/00 (2006.01)
H02K 19/38 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02K 7/183 (2006.01); *H02K 21/38* (2006.01); *H02K 16/00* (2006.01); *H02K 19/38* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017113228, 17.04.2017
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 17.04.2017
 Дата регистрации:
 28.05.2018
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 17.04.2017
 (45) Опубликовано: 28.05.2018 Бюл. № 16
 Адрес для переписки:
 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, ФГБОУ
 ВО "КубГТУ", отдел интеллектуальной и
 промышленной собственности, начальнику
 ОИПС Тихомировой Н.А.

(72) Автор(ы):
 Кашин Яков Михайлович (RU),
 Кашин Александр Яковлевич (RU),
 Копелевич Лев Ефимович (RU),
 Самородов Александр Валерьевич (RU),
 Христофоров Михаил Сергеевич (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Кубанский государственный
 технологический университет" (ФГБОУ ВО
 "КубГТУ") (RU)
 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2561504 C1, 27.08.2015. RU
 2450411 C1, 10.05.2012. RU 2349014 C1,
 10.03.2009. RU 2091967C1, 27.09.1997. US
 8217544 B2, 10.07.2012.

(54) Синхронизированный аксиальный двуххвостовой бесконтактный ветро-солнечный генератор

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, к электромеханическим преобразователям энергии, и может быть использовано в качестве преобразователя механической энергии вращения, например энергии ветра, подаваемой на механический вход машины, и электрической энергии постоянного тока, например световой энергии Солнца, преобразованной фотоэлектрическими преобразователями в электроэнергию постоянного тока, одновременно подаваемой на ее электрический вход, в суммарную электрическую энергию переменного тока. Технический результат состоит в обеспечении прямого преобразования световой энергии в электрическую энергию постоянного тока с последующим суммированием полученной энергии с механической энергией вращения с одновременным преобразованием полученной энергии в электрическую энергию переменного

тока и минимизация разности частоты выходного напряжения синхронизированного аксиального двуххвостового бесконтактного ветро-солнечного генератора и частоты напряжения внешней системы трехфазного напряжения переменного тока. Ветро-солнечный генератор содержит: корпус, возбудитель и основной генератор, установленные на одном валу, закрепленном в подшипниковых узлах. Возбудитель состоит из жестко установленного в корпусе постоянного многополюсного многосекционного магнита индуктора, в пазы которого между секциями уложена дополнительная однофазная обмотка возбуждения, и многофазной обмотки, уложенной со стороны многополюсного магнита индуктора в пазы внутреннего аксиального магнитопровода с двумя активными торцовыми поверхностями. Основной генератор состоит из бокового аксиального магнитопровода с одной активной