

## ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук

*Кладиева Сергея Николаевича* на диссертационную работу

*Дулова Ильи Вадимовича*

на тему «*Контроль успешности пуска асинхронного двигателя в энергосистеме малой мощности*»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

### 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Массовое появление и развитие распределенной малой генерации привело к формированию в электрической сети активных энергорайонов, локальных интеллектуальных энергосистем, локальных систем энергоснабжения и активных энергетических комплексов сопоставимой мощности суммарной генерации и крупных асинхронных двигателей (АД), которые вынужденно или постоянно функционируют в автономном режиме. Пуск крупных АД в условиях постоянно изменяющегося схемно-режимного состояния питающей сети способен приводить к развитию аварийных режимов с потерей электроснабжения потребителей. Существующие средства контроля успешности пуска АД лишь частично учитывают значимые параметры для систем соизмеримой мощности, а также выполняют отключение двигателя только при фактическом достижении заранее заданных уставок без прогностической оценки его осуществимости на ранних стадиях процесса. Необходимы устройства с предикативной оценкой осуществимости пуска, которые на малом временном интервале позволят осуществлять прерывание неуспешного процесса пуска без тяжелых схемно-режимных последствий для питающей сети и самого АД.

*Следовательно, выбранная тематика диссертационного исследования, в котором предлагается способ многоэтапного прогностического контроля успешности пуска АД в энергосистемах малой мощности на основе разработанных моделей предиктивной оценки осуществимости пуска и методов их параметрической идентификации, реализованный в прототипе автоматики, является актуальной.*

Анализ достижений российских и зарубежных ученых в рассматриваемой научной области позволил соискателю сформулировать цель и осуществить постановку конкретных задач для своего диссертационного исследования.

*Целью диссертационной работы является разработка способа и прототипа устройства прогностического контроля успешности пуска АД, предотвращающего запуск или экстренно прекращающего процесс в априорных условиях неуспешности в локальных системах энергоснабжения.*

*Объектом исследования являются локальные системы энергоснабжения с сопоставимыми мощностями суммарной генерации и крупных АД.*

*Предметом исследования являются процессы пусков АД и способы прогностического контроля их успешности.*

## **2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ**

*В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке способа и прототипа устройства многоэтапного прогностического контроля успешности пуска АД, предотвращающего повреждение АД и/или оборудования питающей сети в процессах неуспешных прямых пусков путем их выявления на ранних этапах и прерывания.*

*Научной новизной в представленной Дуловым И.В. диссертационной работе обладают следующие результаты:*

- впервые разработан прототип автоматики контроля успешности прямого пуска АД в энергосистемах малой мощности;*
- предложен способ многоэтапного прогностического контроля успешности прямого пуска АД в энергосистемах малой мощности;*
- предложены методы идентификации электрических (в процессе пуска) и механических (в процессе выбега при отключении от питающей сети) параметров АД в переходных режимах.*

*Личный вклад соискателя состоит в формализации поставленных задач, исследовании и разработке моделей по определению предельных параметров режима питающей сети для успешного пуска АД, разработке и программой реализации способа контроля пусков, методов параметрической идентификации используемых моделей с испытанием на цифровой и физической моделях локальной системы энергоснабжения соизмеримой мощности, анализе и обобщении результатов.*



### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

*Теоретическая значимость* полученных в рамках диссертационного исследования результатов заключается в выявлении основных значащих факторов, определяющих успешность и допустимость пуска АД в системах соизмеримой мощности, формализации условий успешности, а также в разработке инвариантной обобщенной структуры контроля успешности пуска, включающей модель по определению критических параметров режима питающей сети с подконтрольным двигателем и методы ее параметрической идентификации.

*Практическая значимость* полученных результатов заключается в разработке способа и создании прототипа автоматики многоэтапного контроля успешности пусков АД в энергосистемах малой мощности, позволяющего прерывать пуск двигателя при прогностическом выявлении условий его неуспешности на ранних стадиях процесса при измерении режимных параметров только на статорных обмотках, который может быть использован для выполнения ОКР по созданию опытных и промышленных образцов автоматики. Применение таких устройств в локальных системах энергоснабжения на базе малой генерации обеспечит повышение надежности электроснабжения потребителей и устойчивости работы электростанций малой мощности.

### **4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ**

*Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций* подтверждается корректным теоретическим обоснованием полученных результатов, работоспособностью автоматики контроля успешности пусков АД при цифровом (в программной среде MATLAB Simulink) и физическом (на электродинамической модели центра коллективного пользования «Центр испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем» НГТУ) испытаниях на моделях локальной системы энергоснабжения соизмеримой мощности.

Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в целом обоснованными.



## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Диссертационная работа Дулова И. В. отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024):

5.1. Указанная соискателем цель диссертационного исследования – *разработка способа и прототипа устройства прогностического контроля успешности пуска АД, предотвращающего запуск или экстренно прекращающего процесс в априорных условиях неуспешности в локальных системах энергоснабжения* – достигнута. Диссертационная работа является законченной научно-квалифицированной работой, так как содержит решение научной и практической задачи, имеющей важное значение для развития электроэнергетики страны (п. 9).

5.2. Диссертация написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе ее автора в науку. У соискателя имеется акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс при обучении студентов по направлениям подготовки 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета. Предложенные соискателем научно-практические решения аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов (п. 10).

5.3. Основные результаты диссертационной работы Дулова И. В. содержатся в 14 печатных научных работах, в том числе: 4 статьи в рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК РФ); 10 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций, из них 3 публикации в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и патент РФ на изобретение. Основные научные результаты диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, были представлены в докладах на 10 научно-технических и научно-практических конференциях (п.п. 11-13).

5.4. В диссертационной работе Дулова И. В. сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов научной деятельности (п. 14).

5.5. Тема и содержание диссертационной работы Дулова И. В.



соответствуют паспорту научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика по следующим пунктам:

пункт 11. «Разработка методов мониторинга и анализа режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид;»

пункт 14. «Разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы».

## **6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертационная работа Дулова И. В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка терминов, списка литературы, включающего 74 наименований, и 2-х приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 178 страниц и включает 43 рисунков, 18 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы его цели и задачи, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость и апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения

В первой главе «Пуски асинхронных двигателей в системах бесконечной и конечной мощности» рассмотрено влияние процессов и способов пуска АД на большие и малые энергосистемы, проведен анализ средств и способов контроля его успешности. Прогностический контроль успешности пусков АД в локальных системах энергоснабжения обоснован как определяющий фактор обеспечения надежности их функционирования.

Во второй главе «Многоэтапный прогностический контроль успешности прямых пусков асинхронных двигателей в энергосистемах малой мощности» представлен предложенный способ многоэтапного контроля успешности пуска АД, проведена декомпозиция условий успешности пуска в локальной системе энергоснабжения, обоснованы модели ее элементов и методы их параметрической идентификации при валидации на цифровой модели.

В третьей главе «Алгоритмы контроля успешности пуска асинхронного двигателя и их верификация на цифровых моделях» представлены разработанные алгоритмы расчета критических параметров и поэтапного контроля успешности пуска АД, проведена верификация комплексного поэтапного контроля успешности пуска двигателя на цифровой модели локальной системы энергоснабжения.

В четвертой главе «Техническая реализация и испытания прототипа



устройства контроля успешности пуска асинхронного двигателя» приведено описание разработанного прототипа устройства контроля успешности пуска АД на базе промышленного контроллера *Raptor* с программной реализацией в *LabVIEW*. В соответствии с программой проведены испытания прототипа автоматики контроля успешности пуска АД на физической модели локальной системы энергоснабжения, доказана его работоспособность.

В заключении обобщены полученные в диссертационной работе результаты, свидетельствующие, что поставленные задачи были решены в полном объеме, что позволяет перейти к созданию опытных образцов устройств контроля успешности пуска АД с их применением на реальных объектах энергетики.

## **7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ**

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации Дулова И. В. возникли следующие вопросы и замечания:

1. В тексте автореферата и диссертации иногда встречаются неточности и опечатки. (Стр. 16 автореферата – переставлены буквы. Стр. 13 автореферата и в тексте диссертации стр. 46-47, 58, 70, 74-75 неудачное выражение «моментно-скоростная характеристика» – зависимость скольжения – относительной частоты вращения от электромагнитного момента АД в литературе называется «механической характеристикой», а зависимость скольжения от тока статорной обмотки АД называется «электромеханической характеристикой»). На стр. 25 диссертации при описании АД с фазным ротором ошибочно указано что питание на обмотку ротора подаётся через «щеточно-коллекторный узел», а не через скользящие контакты, изолированные от вала ротора.
2. При описании режимов работы АД на стр. 37 диссертации автор приводит 10 режимов работы  $S_1...S_{10}$  для случаев использования регулируемых электроприводов в соответствии со стандартом МЭК 60034-01-2004, но при этом одновременно ссылается на отечественный ГОСТ 183-74 где используется только восемь режимов работы. Отечественный стандарт РФ – ГОСТ Р 52776-2007.
3. Автором правильно выведены математические зависимости для решения задач диссертации. Но эти зависимости приведены в общем виде без известных в технической литературе формул с использованием параметров питающей сети и преобразовательных

устройств с настроенными по классическим подходам регуляторов момента (тока статора) и скорости АД в разомкнутой электромеханической системе. В процессе пуска мощных АД при питании от системы электроснабжения ограниченной мощности не описана передаточная функция по управлению с учетом одновременно происходящих электромагнитных, механических и тепловых процессов. При обратном воздействии нагрузки на вал запускаемого АД не описана передаточная функция по возмущению, которая непосредственно описывает влияние нагрузки на снижение напряжения и частоты источника питания ограниченной мощности. Стр. 65-67 – обоснованность применения Г-образной и Т-образной схемы замещения фазы АД, идентификация параметров которых необходима для настройки регуляторов скорости и момента системы управления частотным преобразователем или пусковым устройством АД.

4. В тексте диссертации не приведены основания использования блок-схем алгоритмов на рис. 3.1 .... 3.6. и 4.5., которые отличаются от общепринятых с использованием условных и безусловных операторов.
5. Автор при реализации аппаратной части прототипа устройства пуска в главе 4 диссертации подробно не обосновал применение более продвинутых микропроцессорных плат для защиты системы электроснабжения и самих АД от аварийных режимов работы.

Приведенные замечания и вопросы не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

## **8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертационная работа Дулова И. В. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью полученных результатов. В работе решена важная научная и практическая задача, заключающаяся в разработке способа и прототипа устройства прогностического контроля успешности пуска АД, предотвращающего запуск или экстренно прекращающего его процесс в априорных условиях неуспешности в локальных системах энергоснабжения.

Полученные соискателем результаты базируются на корректном использовании теории электроэнергетических систем, электрических машин,



автоматического управления, переходных процессов в электроэнергетических системах, методов имитационного моделирования на цифровых и физических моделях, верификации моделей, идентификации параметров модели, объектно-ориентированного программирования, а также экспериментов на цифровой и физической моделях, сопоставлении с имеющимися результатами других исследователей, что позволяет сделать вывод об их достоверности.

Текст диссертационной работы изложен грамотным научно-техническим языком. Материалы диссертационного исследования представлены в объеме, достаточном для понимания, доступно и репрезентативно. Сделанные в работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации Дулова И. В. соответствует диссертационной работе по основным квалификационным признакам: цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы Дулова И. В. изложены с достаточной полнотой в 14 печатных научных работах, в том числе: 4 статей в рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК РФ); 10 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций, из них 3 публикации в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus. Автором получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и патент РФ на изобретение.

В целом диссертационная работа Дулова И. В. на тему «Контроль успешности пуска асинхронного двигателя в энергосистеме малой мощности», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью полученных результатов, соответствует паспорту научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, направленной на повышение надежности электроснабжения потребителей и снижение расхода ресурса оборудования энергоблоков и двигателей в процессах неуспешных пусков крупных АД в локальных системах электроснабжения, что имеет важное значение для развития электроэнергетики страны. По своему теоретическому уровню и практическому значению она соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор Дулов И. В.



заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Кандидат технических наук, доцент,  
доцент Отделения электроэнергетики и  
электротехники Инженерной школы энергетики  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

Сергей Николаевич Кладиев

25 ноября 2024 г.

Тел. (моб): +79138128813

E-mail: kladiev@tpu.ru

Подпись Кладиева Сергея Николаевича заверяю:

И.о. Учёного секретаря ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

В.Д. Новикова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Адрес: Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Телефоны: +7 (3822) 60-63-33, +7 (3822) 60-64-44 (факс), +7 (3822) 60-63-33,  
+7 (3822) 60-64-44 (канцелярия)

E-mail: tpu@tpu.ru, Web-сайт: <https://tpu.ru/>

*Отзыв получен 02.12.2024 г. / Осипов А.А. /*

*Сопровождающий отзыв 02.12.2024 г. / Дунев Дунев И.К. /*