

ISSN 1995-4646

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

THE INTERNATIONAL TECHNICAL-ECONOMIC JOURNAL

ПОД РЕДАКЦИЕЙ *доктора технических наук,  
академика РАН  
О. Н. Дидманидзе*

№ 2' 2020

МОСКВА

## О журнале

---

С января 2007 года по инициативе Департамента научно-технологической политики и образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, издательства ООО «Спектр», специалистов научных и образовательных организаций России и стран ближнего зарубежья с целью публикации статей учрежден «Международный технико-экономический журнал» (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-25595 от 14 сентября 2006 года, ISSN 1995-4646). Журнал выходит 6 раз в год.

Решением президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Публикации отвечают требованиям Высшей аттестационной комиссии по техническим направлениям.

В состав редакционной коллегии входят кандидаты и доктора технических наук, академики из различных городов и республик Российской Федерации и других стран (Венгрии, Азербайджана, Грузии, Белоруссии и др.).

Все статьи подлежат тщательной экспертизе, по результатам которой рецензенты выносят заключение об актуальности и качестве статей. Рецензентами являются кандидаты и доктора наук, ведущие специалисты в определенных сферах науки и техники.

Авторский коллектив — это доктора и кандидаты наук, преподаватели и научные сотрудники, аспиранты и соискатели высших учебных заведений, специалисты научно-исследовательских, проектных и конструкторских организаций, работники предприятий и организаций Российской Федерации и зарубежных стран, в том числе бывших республик Советского Союза (Азербайджана, Казахстана, Украины, Белоруссии, Грузии и др.).

Статьи, размещаемые в «Международном технико-экономическом журнале», отражают результаты научных исследований и опыт их внедрения в практику работы предприятий агропромышленного комплекса, содержат материалы информационного характера об отечественных и зарубежных достижениях науки и техники по инженерным специальностям.

Издания включены в систему Российского индекса научного цитирования. Полнотекстовые версии доступны по адресу: <http://www.elibrary.ru>. Об условиях подписки и доступа к электронным ресурсам можно узнать на сайте Научной электронной библиотеки.

Подписной индекс в Объединенном каталоге

«Пресса России» – 43413 (стоимость — от 1029 рублей).

Адрес журнала в сети Интернет: [www.tite-journal.com](http://www.tite-journal.com)

Адрес редакции: Москва, ул. Прянишникова, д. 23 а, оф. 2343

Телефон: 8 (495) 643-28-71

Адрес электронной почты: [mlburak@rambler.ru](mailto:mlburak@rambler.ru)

УДК 33+631.1  
ББК 65+65.32  
М 433

УЧРЕДИТЕЛИ:

Департамент научно-технической политики  
и образования Министерства сельского  
хозяйства Российской Федерации

ООО «Спектр»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ № 2' 2020

ISSN 1995-4646

Решением президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Жирнов А. В.,  
кандидат экономических наук  
Зимин Н. Е.,  
доктор экономических наук  
Краснощечков В. Н.,  
доктор экономических наук  
Кушнарев Л. И.,  
доктор технических наук  
Леонов О. А., доктор технических наук  
Чутчева Ю. В.,  
доктор экономических наук  
Андреев С. А.,  
кандидат технических наук  
Апатенко А. С.,  
доктор технических наук  
Башилов А. М.,  
доктор технических наук  
Бурак П. И., доктор технических наук  
Девянин С. Н.,  
доктор технических наук  
Дзоценидзе Т. Д.,  
доктор технических наук  
Загинайлов В. И.,  
доктор технических наук  
Кобозева Т. П.,  
доктор сельскохозяйственных наук  
Латыпов Р. А.,  
доктор технических наук  
Пильщиков В. Л.,  
кандидат технических наук  
Соловьев А. М.,  
доктор сельскохозяйственных наук  
Судник Ю. А., доктор технических наук  
Улюкина Е. А.,  
доктор технических наук

Издание включено в систему Российского  
индекса научного цитирования  
путем заключения договора с Российской  
электронной научной библиотекой.

Полнотекстовые версии доступны по адресу:  
<http://elibrary.ru>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по  
надзору за соблюдением  
законодательства в сферах массовых коммуникаций  
и охраны культурного наследия

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-25595 от 14 сентября 2006 г.

При использовании материалов журнала в любой  
форме, ссылка на журнал обязательна.  
За достоверность информации ответственность  
несут авторы.

Главный научный редактор

**Дидманидзе О. Н.**

доктор технических наук, профессор, академик РАН  
Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия  
имени К. А. Тимирязева, Москва

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Технические науки

**Измайлов А. Ю.**, доктор технических наук, академик РАН, директор

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва

**Черноиванов В. И.**, доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник

ФГБНУ ГОСНИТИ, Москва

**Лачуга Ю. Ф.**, доктор технических наук, профессор, академик РАН

Российская академия наук, Отделение сельскохозяйственных наук, Москва

**Иванов Ю. А.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства (ВНИИМЖ), Москва

**Стребков Д. С.**, доктор технических наук, академик РАСХН, директор

ВНИИ электрификации сельского хозяйства, Москва

**Агеев Е. В.**, доктор технических наук, профессор

Юго-Западный государственный университет, Курск

**Латыпов Р. А.**, доктор технических наук, профессор

Московский политехнический университет, Москва

**Новиков А. Н.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса и ремонта машин

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел

**Алдошин Н. В.**, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины»

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия

имени К. А. Тимирязева, Москва

**Голубев И. Г.**, доктор технических наук, профессор

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований

по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса

Зарубежная редколлегия

**Бисенов К. А.**, доктор технических наук, профессор, ректор

Кызылординский государственный университет имени Кыркыт Ата Министерства образования и науки

Республики Казахстан

**Ноздровицкий Л.**, профессор кафедры «Машины и производственные системы»

Словацкий университет сельского хозяйства (город Нитра)

**Кухмала Ф.**, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин

Чешский университет естественных наук (Прага)

**Мустафаев Ж.**, доктор технических наук, профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация»

Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан, Алма-Ата

UDC 33+631.1  
BBC 65+65.32  
M 433

FOUNDERS:

Department of Scientific and Technological  
Politics and Education, Ministry of Agriculture  
of the Russian Federation

LLC "Spectr"

THE INTERNATIONAL  
TECHNICAL-ECONOMIC  
JOURNAL № 2' 2020

ISSN 1995-4646

By Decision of Presidium of the Higher Attestation Commission of the Russian Education Ministry,  
the magazine is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals  
and publications, which publish major scientific results of dissertations  
for the degree of doctor and candidate of science.

REVIEWERS

Zhirnov A. V., PhD (Econ)  
Zimin N. E., PhD (Econ)  
Krasnoshchekov V. N., PhD (Econ)  
Kushnarev L. I., PhD (Eng)  
Leonov O. A., PhD (Eng)  
Chutcheva Yu. V., PhD (Econ)  
Andreev S. A., PhD (Eng)  
Apatenko A. S., PhD (Eng)  
Bashilov A. M., PhD (Eng)  
Burak P. I., PhD (Eng)  
Devyanin S. N., PhD (Eng)  
Dzotsenidze T. D., PhD (Eng)  
Zaginaylov V. I., PhD (Eng)  
Kobozeva T. P., PhD (Agro)  
Latypov R. A., PhD (Eng)  
Pil'shchikov V. L., PhD (Eng)  
Solov'ev A. M., PhD (Agro)  
Sudnik Yu. A., PhD (Eng)  
Ulyukina E. A., PhD (Eng)

Edition is included in the system  
of Russian Science Citation Index  
by contract with the Russian e-science library

Full version is available at: <http://elibrary.ru>

The journal is registered by the Federal Service  
for Supervision of Legislation in Mass Communications  
and Cultural Heritage Protection

Registration certificate PI № FS 77-25595  
on September 14, 2006

When using materials of the journal, reference  
to the journal is required.  
Responsibility for the information reliability rests  
with the authors.

Chief Scientific Editor

**Didmanidze O. N.**, Doctor of Engineering, Professor, Academician of RAS  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev,  
Moscow

ASSOCIATE EDITOR

Technical science

**Izmailov A. Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Academician of RAS, Director  
Federal Agricultural Research Centre VIM, Moscow

**Chernoivanov V. I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Chief Researcher  
GNU GOSNITI

**Lachuga Yu. F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS  
Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences, Moscow

**Ivanov Y. A.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the RAS  
All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry (VNIIMS),  
Moscow, Director

**Strebkov D. S.**, Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAAS  
Director of the Research Institute of Electrification of Agriculture

**Ageev E. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Southwest state University, Kursk, Professor

**Latypov R. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Moscow Polytechnic University, Professor

**Novikov A. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Professor,  
Head of the Department of Service and Repair of Machines

**Aldoshin, N. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department  
"Agricultural machines" Russian State Agrarian University – Moscow agricultural Academy  
named after K. A. Timiryazev, Moscow

**Golubev I. G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research  
on Engineering and Technical Support of Agro-Industrial Complex

Foreign Editorial Board

**Bissenov K. A.**, Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Korkyt ATA Kyzylorda State  
University named after Karkat ATA of the Ministry of Education and Science  
of the Republic of Kazakhstan

**Kostrowicki L.**, Professor of the Department "Machines and Production Systems", Slovak University  
of Agriculture (Nitra)

**Kukhmala F.**, Professor, Head of Department of Agricultural Machines, Czech University  
of Life Sciences (Prague)

**Mustafayev Zh.**, Doctor of Engineering, Professor of the Chair " Water Resources and Melioration"  
Kazakh National Agrarian University, Republic of Kazakhstan, Alma-Ata

**Nozdrovitskiy L.**, Professor of the Department "Machines and Production Systems",  
Slovak University of Agriculture (Nitra)

# Содержание

## ЭНЕРГЕТИКА

<b>Ивакина Е. Г., Тихненко В. Г., Дзюба Ю. В.</b> О причинах несчастных случаев со смертельным исходом в энергоустановках.....	7
<b>Ахмад А., Местников Н. П., Фуад А. Х., Валеев И. М.</b> Исследование обеспечения устойчивости частоты в электроэнергетических системах на уровне напряжения 400 кв в сирийской арабской республике.....	14
<b>Хисматуллин А. С., Сураков М. Р., Баширова Э. М.</b> Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения.....	24
<b>Руди Д. Ю., Мочалин К. С., Вишнягов М. Г.</b> Экспериментальное исследование коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в сети механического цеха зао «сибгазстройдеталь».....	31

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

<b>Шмигель В. В., Шешунова Е. В., Угловский А. С.</b> Устранение производственной пыли из коровников и влияние ионизации воздуха на продуктивность и уровни гормона роста молочных пород коров.....	39
<b>Тишков В. В., Лещинская Т. Б., Галкин М. М.</b> Анализ экономических потерь от повреждений в распределительных электрических сетях с сельскохозяйственными потребителями.....	49
<b>Лещинская Т. Б., Белов С. И., Петров П. С.</b> Уточнение показателей надежности на основе байесовского подхода при проектировании воздушных линий 10 кв.....	55
<b>Кирейчева Л. В., Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т.</b> Ресурсосберегающие и экологически безопасные способ и технология промывки засоленных почв.....	62
<b>Белоковылский А. М.</b> Анализ эксплуатационной надежности тракторов.....	70
<b>Путан А. А., Андреев О. П.</b> Установка утилизации тепла с системой оттаивания .....	76
<b>Квачантирадзе Э. П., Ковриго О. В., Медведев А. Г.</b> Производственно-технологические проблемы малых животноводческих ферм.....	86
<b>Киприянов Ф. А., Савиных П. А.</b> Результаты группировки сельскохозяйственных предприятий вологодской области по показателям производства молока.....	95
<b>Панова А. В.</b> Архитектура облачного сервиса оптимизации маршрутов движения техники и транспортных средств сельскохозяйственных предприятий.....	103

# Contents

## ENERGY

<b>Ивакина Е. Г., Тихненко В. Г., Дзюба Ю. В.</b> О причинах несчастных случаев со смертельным исходом в энергоустановках.....	7
<b>Ахмад А., Местников Н. П., Фуад А. Х., Валеев И. М.</b> Исследование обеспечения устойчивости частоты в электроэнергетических системах на уровне напряжения 400 кв в сирийской арабской республике.....	14
<b>Хисматуллин А. С., Сураков М. Р., Баширова Э. М.</b> Исследование влияния трансформаторов на качество электрической энергии в системе электроснабжения.....	24
<b>Руди Д. Ю., Мочалин К. С., Вишнягов М. Г.</b> Экспериментальное исследование коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в сети механического цеха зао «сибгазстройдеталь».....	31

## PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

<b>Шмигель В. В., Шешунова Е. В., Угловский А. С.</b> Устранение производственной пыли из коровников и влияние ионизации воздуха на продуктивность и уровни гормона роста молочных пород коров.....	39
<b>Тишков В. В., Лещинская Т. Б., Галкин М. М.</b> Анализ экономических потерь от повреждений в распределительных электрических сетях с сельскохозяйственными потребителями.....	49
<b>Лещинская Т. Б., Белов С. И., Петров П. С.</b> Уточнение показателей надежности на основе байесовского подхода при проектировании воздушных линий 10 кв.....	55
<b>Кирейчева Л. В., Абдешев К. Б., Мустафаев Ж. С., Козыкеева А. Т.</b> Ресурсосберегающие и экологически безопасные способ и технология промывки засоленных почв.....	62
<b>Белоковылский А. М.</b> Анализ эксплуатационной надежности тракторов.....	70
<b>Путан А. А., Андреев О. П.</b> Установка утилизации тепла с системой оттаивания .....	76
<b>Квачантирадзе Э. П., Ковриго О. В., Медведев А. Г.</b> Производственно-технологические проблемы малых животноводческих ферм.....	86
<b>Киприянов Ф. А., Савиных П. А.</b> Результаты группировки сельскохозяйственных предприятий вологодской области по показателям производства молока.....	95
<b>Панова А. В.</b> Архитектура облачного сервиса оптимизации маршрутов движения техники и транспортных средств сельскохозяйственных предприятий.....	103

# ЭНЕРГЕТИКА

## ENERGY

DOI: 10.34286/1995-4646-2020-71-2

УДК

Материал поступил в редакцию 31.02.20.

*Е. Г. ИВАКИНА, канд. техн. наук, доцент*

*В. Г. ТИХНЕНКО, канд. техн. наук, доцент*

*Ю. В. ДЗЮБА, канд. техн. наук, доцент*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»,  
Российская Федерация, г. Москва

*EKATERINA G. IVAKINA, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

*VALERY G. TIHNENKO, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

*YURIY V. DZUBA, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor*

Russian Timiryazev State Agrarian University, Russian Federation, Moscow

### О ПРИЧИНАХ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ ИСХОДОМ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ

EVA  
OVSKY

*Аннотация.* Представлены статистические данные по несчастным случаям на производстве, несчастным случаям со смертельным исходом. За последнее десятилетие численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, в том числе и со смертельным исходом сократилась почти в 2,5 раза. Установлено, что все несчастные случаи со смертельным исходом, которые происходят на предпри-

DOI: 10.34286/1995-4646-2020-71-2

УДК

Материал поступил в редакцию 29.12.19.

АЛЬЗАККАР АХМАД, аспирант

Н. П. МЕСТНИКОВ, магистр

АЛХАДЖ ХАССАН ФУАД, аспирант

И. М. ВАЛЕЕВ, доктор техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Республика Татарстан, г. Казань

ALZAKKAR AHMAD, Postgraduate

NIKOLAI P. MESTNIKOV, master's degree

ALHAJJ HASSANFOUAD, Postgraduate

ILGIZ M. VALEEV, Advanced Doctor in Engineering Sciences

Kazan State Power Engineering University, Respublika Tatarstan, g. Kazan'

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА УРОВНЕ НАПРЯЖЕНИЯ 400 КВ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

### STUDY OF SUPPORT OF FREQUENCY STABILITY IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS AT VOLTAGE LEVEL 400 KV IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

**Аннотация.** Основываясь на важности электрических соединений для поддержания устойчивости частоты достигнутой в результате проекта восьми соединений арабских энергетических систем, в статье будет представлен ряд симуляций в сирийской сети за 2011 год с использованием (PSS/E). Показано использование этой программы для сравнения данных с результатами реальных ситуаций посредством применения нескольких случаев отключения электроэнергии, произошедших в энергетической системе Сирии (регистрируются по частоте, когда они происходят). Это исследование демонстрирует важность электрического соединения в устойчивости частоты, в котором сообщается о наиболее важных технических и экономических преимуществах, достигнутых для устойчивости электрической сети в целом и устойчивости частоты в рамках проекта (EJLLPST). Прикладное исследование, проводилось через ряд симуляций в сирийской сети в течение 2011 года с использованием PSS / E. Опыт этого исследования был сосредоточен на горячем резерве, электрического соединения и разделения электрических нагрузок с использованием реле пониженной частоты для поддержания устойчивости частоты электрической сети в Сирии и во избежание попадания в нежелательные значения частоты. после этой поправки в графике реле недостаточной частоты в Сирии электрические сети и уменьшить значения сирийских электрических нагрузок разделены, при этом поддержание того же уровня безопасности требуется, чтобы избежать отключения электроэнергии при возникновении помех.

**Ключевые слова:** горячий резерв, электрическое соединение, частота коллапса, устойчивость.

**Abstract.** Основываясь на важности электрических соединений для поддержания устойчивости частоты достигнутой в результате проекта восьми соединений арабских энергетических систем, в статье будет представлен ряд симуляций в сирийской сети за 2011 год с использованием (PSS/E). Показано использование этой программы для сравнения данных с результатами реальных ситуаций посредством применения нескольких случаев отключения электроэнергии, произошедших в энергетической системе Сирии (регистрируются по частоте, когда они происходят).



Это исследование демонстрирует важность электрического соединения в устойчивости частоты, в котором сообщается о наиболее важных технических и экономических преимуществах, достигнутых для устойчивости электрической сети в целом и устойчивости частоты в рамках проекта (EIJLLPST). Прикладное исследование, проводилось через ряд симуляций в сирийской сети в течение 2011 года с использованием PSS / E. Опыт этого исследования был сосредоточен на горячем резерве, электрического соединения и разделения электрических нагрузок с использованием реле пониженной частоты для поддержания устойчивости частоты электрического соединения того же уровня безопасности требуется, чтобы избежать отключения электроэнергии при возникновении помех.

Ключевые слова: горячий резерв, электрическое соединение, частота коллапса, устойчивость.

### Введение

За последние два десятилетия арабские страны потратили более 9 млрд долл. на проект соединения электрических сетей [1–3]. В настоящее время завершено 13 проектов, 12 из которых введены в эксплуатацию. Ряд подключенных проектов, которые были введены в эксплуатацию, достигли приемлемой части ожидаемых выгод, в то время как только небольшой процент выгод от других проектов по связям был реализован. Когда мы говорим об электрическом соединении, следует иметь в виду значение горячего резерва [4]. Для того чтобы помочь количественно оценить влияние горячего резерва [5–7], определены следующие коэффициенты:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni} - P_L}{P_L}, \quad \rho = \frac{\sum_{i=1}^R P_{ni}}{\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni}},$$

где  $r$  – коэффициент горячего резерва, определяет относительную разницу между максимальной мощностью системы и фактической нагрузки;  $p$  –

количество полюсов;  $\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni}$  – сумма номинальных мощностей всех генерирующих блоков, подключенных к системе;  $\sum_{i=1}^R P_{ni}$  –

сумма значений мощности всех блоков, работающих на линейной части их характеристик, т. е. загружены ниже своего предела мощности;  $P_L$  – реальная мощность, потребляемая нагрузкой или общей нагрузкой системы.

Изменение общей акушерской мощности:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_T &= -\sum_{i=1}^{N_G} K_i P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} = -\sum_{i=1}^R K_i P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} \cong -K \sum_{i=1}^R P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} \\ \Delta P_T &= -K_p \sum_{i=1}^{N_G} P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} = -K_p (r+1) P_L \frac{\Delta f}{f_n} \end{aligned} \right\}$$

Деление на  $P_L$  дает:

$$\frac{\Delta P_T}{P_L} = -K_T \frac{\Delta f}{f_n},$$

$$K_T = p(r+1)K, \quad \rho_T = \frac{p}{p(r+1)};$$

где  $K_T$  – обратная величина спада для общей характеристики генерации системы;  $\rho_T$  – падение общей характеристики генерации системы.

### Материалы и методы

Программа PSS / E (Power System Simulator for Engineering) – пакет, состоящий из нескольких встроенных программ, предназначенных для исследования систем передачи и генерации электроэнергии в установившемся и динамическом режимах. PSS / E позволяет решать следующие задачи [8]:

- расчет перетоков мощности и всех связанных характеристик сети;
- динамическое моделирование;
- оптимизация потоков мощности;
- анализ последствий аварийных режимов;
- анализ пропускной способности линий, расчет токов и анализ симметричных и несимметричных коротких замыканий, эквивалентирование системы;
- анализ статической и динамической устойчивости (PV/QV Analysis);
- экспорт результатов расчета в Excel).

Данная программа используется Министерством электричества Сирии для анализа работы электросети.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Проектом EIJLLPST предусмотрено подключение энергосистем Египта, Ирака, Иордании, Ливана, Ливии, Палестины, Сирии и Турции в единую энергосистему [3, 9]. Схема соединения приведена на рисунке 1. Изначально проектом было предусмотрено пятистороннее соединение между Египтом, Ираком, Иорданией, Сирией и Турцией. Далее к проекту подключились Ливан, Ливия и Палестина.

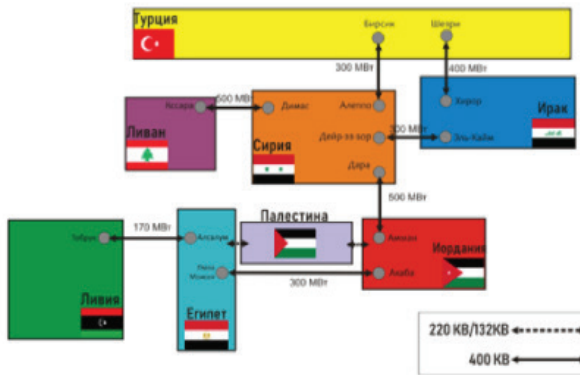


Рисунок 1 – Схема электрических соединений по проекту EIJLLPST [9]

Рисунок 1 – Схема электрических соединений по проекту EIJLLPST [9]

Для исследования частотного поведения в электрической сети Сирии было выбрано 4 различных региона: Таем, Алеппо, Джардер, Дей Али. Схема приведена на рисунке 2.

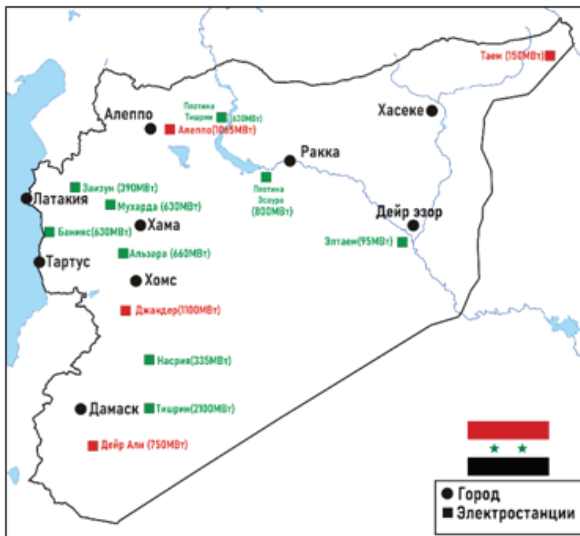


Рисунок 2 – Распределение электростанций в Сирии [10]

Рисунок 2 – Распределение электростанций в Сирии [10]

В данном исследовании с помощью программы PSS/E был показан эффект электрического соединения в повышении устойчивости частоты [11], сравнивая:

1. Устойчивость частоты электрической системы симулирует сирийскую электрическую систему (независимый сетевой случай):

1.1 Частота поведения в случае неисправности:

Предположим, что неисправность на электростанции Деир Али (750 МВт) в Сирии [12] оторвала ее от работы. Неисправность произошла на шинопроводе 400 кВ. Этот случай представлен с помощью (PSS / E), а результирующая кривая, изображенная на рисунке 3, показывает частотное поведение в случае отказа на станции Деир Али и ее отклонение от работы при условии, что нет защиты реле [13] от низкой частоты. Обратите внимание, что частота сети упала ниже значения (47,5) Гц, которое является предельным значением и отключает оборудование и системы релейно-цифровой защиты, и, таким образом, произошла поломка сети и

прерывание питания. Падение частоты  $\frac{\Delta f}{f}$

было значительным из-за большой доли

$\frac{\Delta P_0}{P_L}$  и увеличения нагрузки от генерации

[14, 15]:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta P_0}{P_L}$$

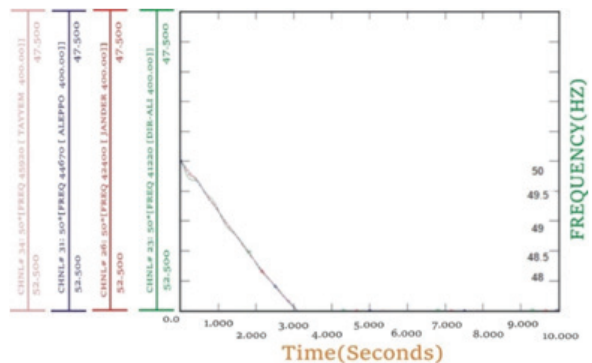


Рисунок 3 – Поведение по частоте в случае неисправности станции Деир Али без реле защиты от низкой частоты

Рисунок 3 – Поведение по частоте в случае неисправности станции Деир Али без реле защиты от низкой частоты

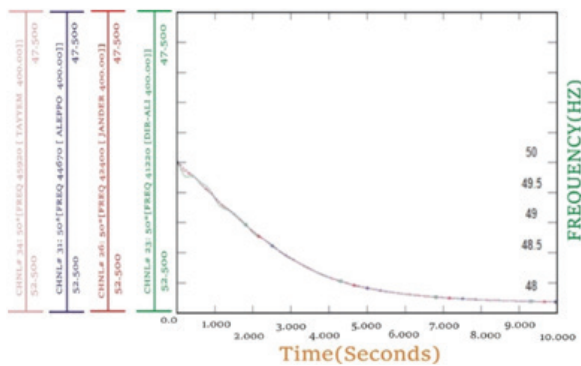


Рисунок 4 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Рисунок 4 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I), которые отключаются на частоте (49 Гц) и имеют мощность (326 МВт), то результирующая кривая, изображенная на рисунке 4, показывает падение частоты ниже значения (47,5 Гц), она стабилизировалась на 47,7 Гц. Следовательно, частота не достигла предела, отключающего защиту оборудования для электрической сети, значит, коллапса не произойдет.

Если отключена нагрузка второй ступени (Stage II), которая отключена на частоте (48,5 Гц) и мощность (277 МВт), то появляется кривая, показанная на рисунке 5. Видно значительное влияние отключения нагрузок для поддержания устойчивости частоты, поэтому избегайте коллапса частоты в сирийской сети.

На рисунке 5 показано, что падение частоты

стот  $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)$  значительно замедлилось, когда

первая и вторая ступени (Stage I, II) нагрузки были отключены, а частота стабилизировалась на очень приемлемом значении 49,7 Гц.

1.2 Частота поведения в случае неисправности и явления горячего резерва:

Мощность генерации сирийской электрической сети на 2011 год составляет около (9000 МВт). Горячий резерв составляет 10 % (900 МВт) от генерирующей мощности. Если мы повторим ситуацию (1.1), но при наличии горячего резерва, получим кривую, показан-

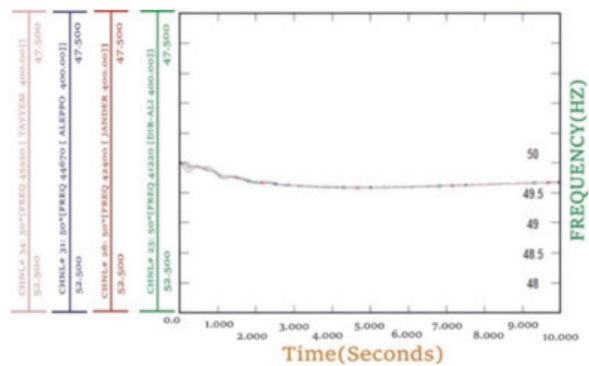


Рисунок 5 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I, II)

Рисунок 5 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I, II)

ную на рисунке 6. Сравните это с кривой, показанной на рисунке 3. Обнаруживается, что падение кривой частоты значительно снизилось из-за наличия горячего резерва, и частота стабилизировалась на уровне (48,4 Гц), что превышает значение (47,5 Гц) которое является предельным значением и отключает оборудование и систему релейно-цифровой защиты.

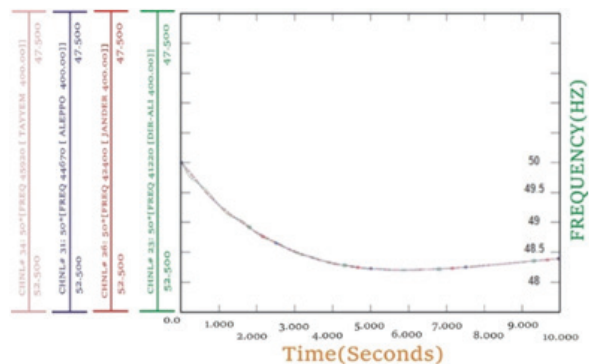
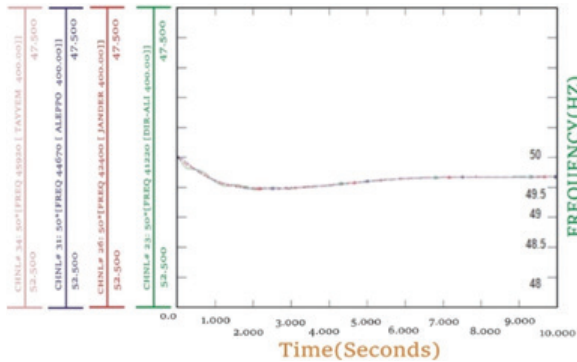


Рисунок 6 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячим резервом (900 МВт)

Рисунок 6 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячим резервом (900 МВт)

Если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I), которые отключены на частоте (49 Гц), а результирующая кривая, изображенная на рисунке 7, показывает, что частота стабилизировалась на уровне (49,65 Гц), и нагрузки второй ступе-

ни (Stage II) отключены на значениях ниже (48,9 Гц), первичный контроль (Stage III) затем возвращает частоту к номинальному значению.



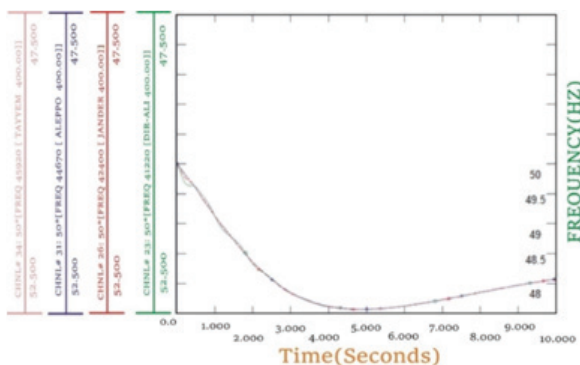
**Рисунок 7 –** Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (900 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

*Рисунок 7 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (900 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)*

Таким образом, горячий резерв способствовал уменьшению значения отключенных нагрузки увеличил надежность в непрерывности электрического питания.

**2. Устойчивость частоты электрической системы симулирует сирийскую электрическую систему в случае связи с Турцией, Ливаном, Палестиной, Иорданией, Египтом и Ливией:**

**2.1 Частота поведения в случае неисправности:**



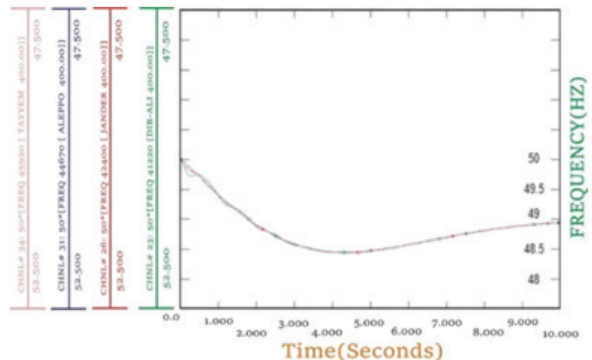
**Рисунок 8 –** Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

*Рисунок 8 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами*

Повторяем неисправную в ситуацию (1.1) с электрическим соединением без присутствия горячего резерва, получаем кривую, показанную на рисунке 8.

Сравнивая это с кривой, показанной на рисунке 3, обнаруживается, что падение кривой частоты значительно снизилось из-за импортных мощностей соседних стран, способствующих покрытию значительной части дефицита в генерации, возникшего в результате разделения генерирующих станций Дейр Али. Частота стабилизировалась на уровне (48,2 Гц), что больше, чем значение, при котором все защиты электрооборудования разделены (47,5 Гц). Электрическое соединение между странами предотвратило коллапс частоты до нежелательных значений и помогло стабилизировать частоту до значений, выше пороговых значений.

Если частотные защиты сирийской сети включены, и отключены нагрузки первой ступени (Stage I), получаем кривую, показанную на рисунке 9. Сравнивая это с кривой, показанной на рисунке 4, обнаруживаем, что падение кривой частоты значительно снизилось, и частота стабилизировалась на уровне (48,9 Гц).



**Рисунок 9 –** Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

*Рисунок 9 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами*

Если отключены нагрузки второй ступени (Stage II), обнаруживается, что значение частоты, при которой сеть стабилизировалась на (48,9 Гц), равно значению, на котором регулируется защита для отключения на-



грузок второй ступени, получаем кривую, показанную на рисунке 9. При сравнении с рисунком 5, отмечаем, что значение, при котором стабилизированная частота составляет (49,8 Гц), приблизительно соответствует номинальному значению, и превышает значение, при котором частота стабилизировалась в случае независимой сети (49,7 Гц), и нет необходимости отключать нагрузки первичного контроля (Stage III).

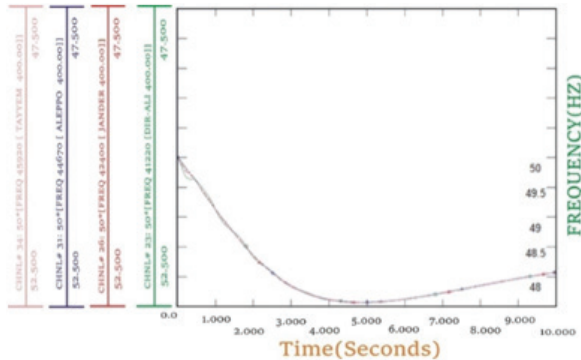


Рисунок 10 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I,II) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами  
Рисунок 10 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I,II) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

## 2.2 Частота поведения в случае неисправности и явления горячего резерва:

Повторяем случай неисправности в ситуации (1.2) с электрическим соединением и с присутствием горячего резерва (200 МВт), получаем кривую, показанную на рисунке 11. Частота стабилизировалась на уровне (49,2 Гц).

Если частотные защиты сирийской сети включены, нет необходимости отключать вторую степень нагрузок (Stage II), потому что частота стабилизировалась после от-

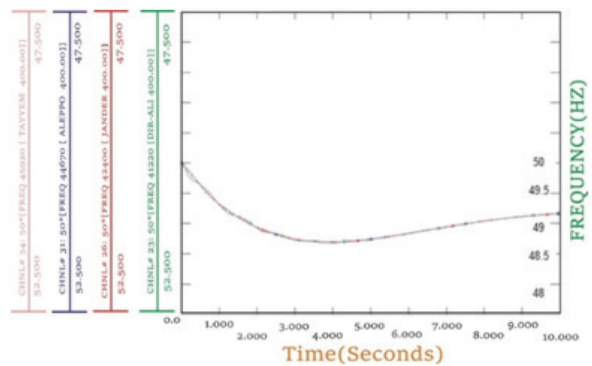


Рисунок 11 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячем резервом (200 МВт) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами  
Рисунок 11 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячем резервом (200 МВт) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

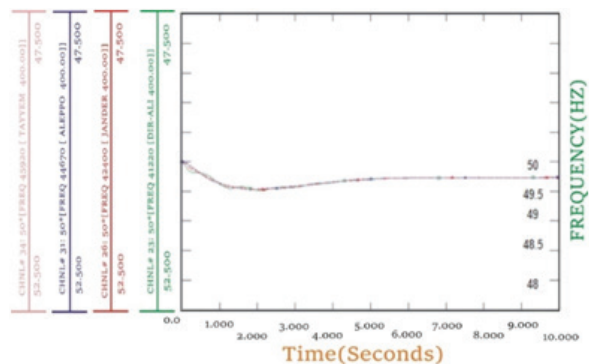


Рисунок 12 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (200 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Рисунок 12 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (200 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

ключения первой ступень (Stage I) нагрузок на величину, приближенную к номинальной величине (49,75 Гц), рисунок 12.

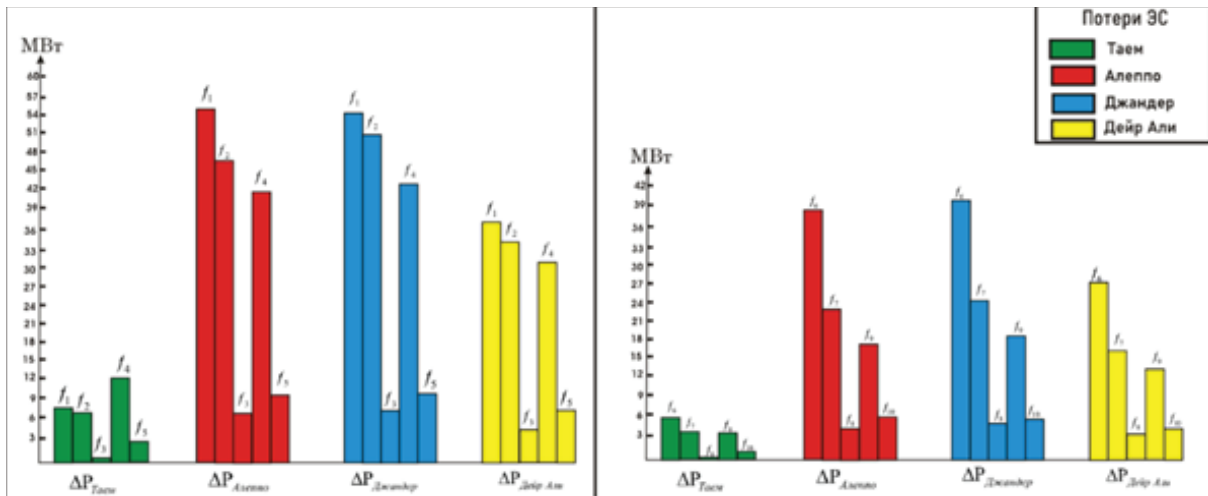


Рисунок 13 – Потери электроэнергии от частоты при независимых и зависимых источниках питания:  
– Таем; – Алеппо; – Джандер; – Дейр Али

Рисунок 13 – Потери электроэнергии от частоты при независимых и зависимых источниках питания:  
– Таем; – Алеппо; – Джандер; – Дейр Али

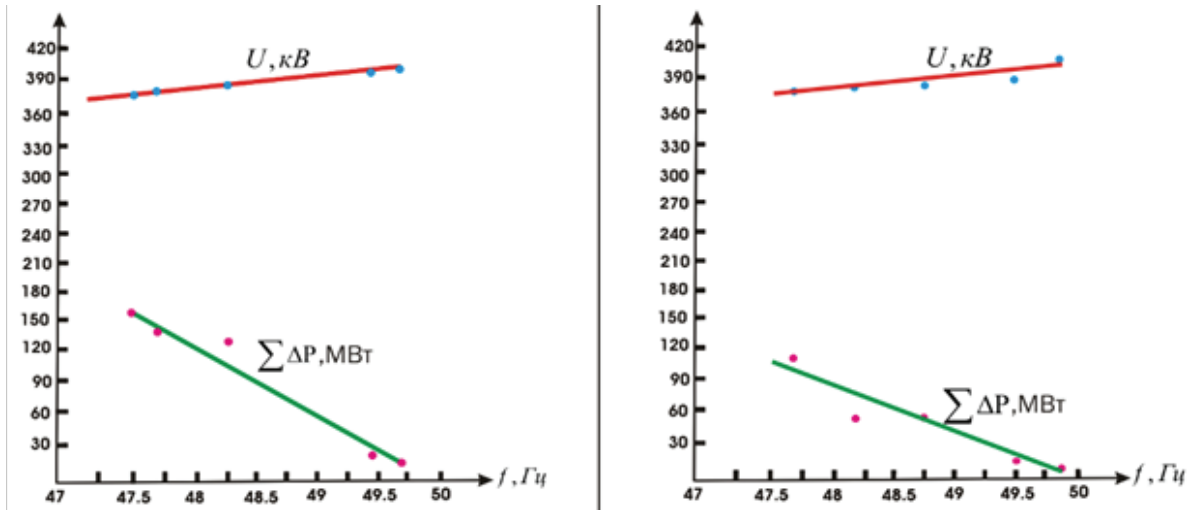


Рисунок 14 – Влияние частоты генерации РГ на потери и напряжение в сетях независимых и зависимых источниках питания

Рисунок 14 – Влияние частоты генерации РГ на потери и напряжение в сетях независимых и зависимых источниках питания

Таблица 1 – Таблица результатов

Сеть	Ситуация	$f_{\text{мин}}$	$f_{\text{устой}}$	$P_{\text{Тасм}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Тасм}}$ МВт	$P_{\text{Алеппо}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Алеппо}}$ МВт	$P_{\text{Джандер}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Джандер}}$ МВт	$P_{\text{Джер Али}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Джер Али}}$ МВт	$\sum \Delta P$ МВт	$U$ кВ
Независимая сеть	Неисправность без горячего резерва	47,5	$f_1=47,5$	142,2	7,5	1011,75	53,25	1045	55	712,5	37,5	153,25	380
	Отключить нагрузки (Stage I)	47,7	$f_2=47,7$	143,1	6,9	1016,01	48,99	1049,4	50,6	715,5	34,5	140,99	381
	Отключить нагрузки (Stage I) + (Stage II)	49,7	$f_3=49,7$	149,1	0,9	1058,61	6,39	1093,4	6,6	745,5	4,5	18,39	397,6
	С горячим резервом ( $r = 4 \times 225$ МВт)	48,25	$f_4=48,4$	363	12	1248,72	41,28	1282,6	42,4	943,8	31,2	126,88	387,2
	Отключить нагрузки (Stage I)	49,4	$f_5=49,65$	372,375	2,625	1280,97	9,1	1315,725	9,275	968,175	6,825	27,825	397,2
Связанная сеть	Неисправность без горячего резерва	47,6	$f_6=48,2$	144,75	5,25	1026,66	38,34	1060,4	39,6	723	27	110,19	385,6
	Отключить нагрузки (Stage I)	48,4	$f_7=48,9$	146,7	3,3	1041,57	23,43	1075,8	24,2	733,5	16,5	67,43	391,2
	Отключить нагрузки (Stage I) + (Stage II)	49,8	$f_8=49,8$	149,4	0,6	1060,74	4,26	1095,6	4,4	747	3	12,36	398,4
	С горячим резервом ( $r = 4 \times 50$ МВт)	48,75	$f_9=49,2$	196,8	3,2	1097,16	17,84	1131,6	18,4	787,2	12,8	52,24	393,6
	Отключить нагрузки (Stage I)	49,5	$f_{10}=49,75$	199	1	1109,42	5,58	1144,25	5,75	796	4	16,33	398

**Выводы**

1. Из таблицы 1 заключаем, что в сирийскую сеть должны быть добавлены новые генерирующие блоки, чтобы идти в ногу с непрерывным ростом нагрузок, и, следовательно, частота сирийской сети становится более сбалансированной, с лучшей статической и динамической устойчивостью.

2. На рисунках 13 и 14 видно, что уменьшение значений частоты отрицательно влияет на потери мощности и напряжения.

3. Для достижения лучших результатов устойчивости частоты требуется достаточный горячий резерв, чтобы покрыть дефицит генерации в результате аварийных ситуаций, приводящих к отключению некоторых генерирующих блоков. Это помогает активировать первую и вторую ступень и

повысить устойчивость частоты. Из таблицы 1 видно, что значения, при которых частота стабилизировалась в случае горячего резерва, выше, чем значения частоты при ее отсутствии.

5. Активация системы автоматического контроля генерации (АКГ) в сирийской сети вместо ручного управления способствует более быстрому возврату частоты к ее номинальному значению.

6. Из таблицы 1 делаем вывод, что процесс электрического соединения способствует компенсации нехватки электроэнергии в горячем резерве и поддерживает устойчивость частоты за счет подачи мощности по соединительным линиям во время аварийных ситуаций, а также предотвращает снижение частоты до предельных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Координационное управление в Министерстве энергетики САР – некоторые данные о сирийской сети. 2017.
2. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.sayedsaad.com/>.
3. Восьмая арабская энергетическая конференция. 2016. 61 с.
4. **Prabha Kundur**. Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1993, pp. 1176.
5. **Gillian R. Lalor**. Frequency Control on an Island Power System with Evolving Plant Mix-University College Dublin September 2005, pp. 200.
6. **Jan Machowski, JanuszBialek, James Bumby** 2008-Power System: Dynamics Stability and Control-Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.pp. 629.
7. Jianhua Chen, Wenchuan Wu-A spinning reserve allocation method for power generation dispatch accommodating large-scale wind power integration-Energies-2013. pp. 5359–5381.
8. **Казакула А.** Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Издательство АмГУ. 2013. 88с.
9. Middle East and North Africa Integration of Electricity Networks in the Arab World Regional Market Structure and Design- Report No: ACS7124-2013.
10. Годовой статистический отчет Сирийской электрической сети. 2016.
11. P. F. Le Roux, R.C. Bansal-Transient stability control by means of under-frequency load shedding and a hybrid control scheme-Journal of Energy in Southern Africa. 2017. pp. 41–53
12. Natural Gas Pipelines: Problems from Beginning to End-[www.foodandwaterwatch.org](http://www.foodandwaterwatch.org)-2013.
13. **James R. Jones** and William D. Kirkland-1988-Computer Algorithm for Selection of Frequency Relays for load Shedding- p21.IEEE.
14. **Bashar Sabeeh-Chin Kim Gan**Power System Frequency Stability and Control: Survey-<https://www.researchgate.net>, 2016. pp.179–187.
15. John Undrill -Primary Frequency Response and Control of Power System Frequency- Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory-2018. pp. 66.

REFERENCES

- 1.Координационное управление в Министерстве энергетики САР – некоторые данные о сирийской сети.2017.
- 2.[Электронный ресурс]. URL:<http://www.sayedsaad.com/>.
3. Восьмая арабская энергетическая конференция. 2016. 61 с.
- 4.Prabha Kundur. Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1993 pp. 1176.
- 5.Gillian R. Lalor. Frequency Control on an Island Power System with Evolving Plant Mix-University College Dublin September 2005, pp. 200.
- 6.Jan Machowski, JanuszBialek, James Bumby 2008-Power System: Dynamics Stability and Control-Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.pp. 629.
- 7.Jianhua Chen, Wenchuan Wu-A spinning reserve allocation method for power generation dispatch accommodating large-scale wind power integration-Energies-2013. pp. 5359–5381.
- 8.Казакула А. Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. ИздательствоАмГУ.2013.88с.
9. Middle East and North Africa Integration of Electricity Networks in the Arab World Regional Market Structure and Design- Report No: ACS7124-2013.
10. Годовой статистический отчет Сирийской электрической сети. 2016.
11. P. F. Le Roux, R.C. Bansal-Transient stability control by means of under-frequency load shedding and a hybrid control scheme-Journal of Energy in Southern Africa. 2017. pp. 41–53
12. Natural Gas Pipelines: Problems from Beginning to End-[www.foodandwaterwatch.org](http://www.foodandwaterwatch.org)-2013.
- 13.James R. Jones and William D. Kirkland-1988-Computer Algorithm for Selection of Frequency Relays for load Shedding- p21.IEEE.
- 14.Bashar Sabeeh-Chin Kim GanPower System Frequency Stability and Control: Survey-<https://www.researchgate.net>



www.researchgate.net, 2016. pp.179–187.

15. John Undrill -Primary Frequency Response and Control of Power System Frequency- Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory-2018. pp. 66.

*Альзаккар Ахмад, аспирант*  
*Ahmadalzakkar86@gmail.com*

*Местников Николай Петрович, магистр*  
*sakhacase@bk.ru*

*Алхадж Хассан Фуад, аспирант*  
*Fouadhajhassan42@gmail.com*

*Валеев Ильгиз Миргалимович, доктор техн. наук*  
*ilgizvaleev@mail.ru.*

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2' 2020

ПОД РЕДАКЦИЕЙ      *доктора технических наук,  
академика РАН*  
*О. Н. Дидманидзе*

ГЛ. РЕДАКТОР    *М. Л. Бурак*

ВЕРСТКА    *П. А. Шапошникова*

КОМПЬЮТЕРНЫЙ НАБОР    *С. Н. Минченко*

КОРРЕКТОР    *М. Б. Брюхнова*

ПЕРЕВОД    *К. А. Старченко*

Подписано в печать 30.04.2020  
ФОРМАТ 60x84/8  
ГАРНИТУРА SWIFT  
Усл.-печ. л. 11,16  
ТИРАЖ 100 экз.  
ЗАКАЗ №  
ЦЕНА ДОГОВОРНАЯ

ООО «МЕГАПОЛИС»  
Адрес: 125413, Москва, ул. Флотская, д. 17, стр. 2  
Тел. 8 (495) 643-28-71

Отпечатано в УМЦ «Триада»  
Адрес: 127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23 а