

Способ поддержания частоты в энергосистеме регулированием напряжения на потребителях электрической энергии

А.А. Самойлова, Е.Ю. Голохвастов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Аннотация: В статье поднимается вопрос сохранения устойчивости энергосистемы, в том числе сохранение баланса электрической мощности. Возникновение небаланса мощности можно определить, по такому критерию, как частота. Авторами предложен способ поддержания частоты, в том числе сохранение баланса мощности в энергосистеме, посредством изменения напряжения на потребителях электрической энергии, поставлена гипотеза и проведено соответствующее лабораторное исследование, в результате которого получены зависимости изменения частоты от напряжения некоторых приемников электрической мощности. Разработано и описано устройство автоматического разгрузочного регулирования напряжения, что позволит дополнить существующие средства противоаварийной автоматики.

Ключевые слова: поддержание частоты, небаланс мощности, регулирование напряжения, отключение потребителей электроэнергии, противоаварийная автоматика, надежность электроснабжения, надежность электроэнергетических систем, режимные параметры, управление режимами электроэнергетических систем, управление качеством электроэнергии.

Согласно проекту стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации на период до 2035 года, основной задачей электросетевого комплекса является обеспечение качественного и надежного электроснабжения потребителей электроэнергии. Эти показатели зависят от параметров электроэнергетических режимов: мощности, напряжения и частоты. Допустимые значения параметров и предельные отклонения регламентируются нормативными документами. Также существуют регламенты по предотвращению развития аварийных ситуаций.

Решение вопроса о качественном и надежном электроснабжении наиболее актуально для децентрализованных систем электроснабжения, что поможет в развитии энергетики регионов Крайнего Севера и некоторых регионов Дальнего Востока. Данная задача уже стоит на многих государственных уровнях и включена в стратегию развития до 2035 года [1].

Один из способов регулирования частоты и напряжения в сети – развитие распределенной генерации. Данный способ активно разрабатывается в странах, имеющих более развитую систему распределенной генерации [2]. Стоит учитывать опыт других стран для повышения надежности и экономичности работы отечественных изолированных энергосистем.

В России обязанность контроля параметров электроэнергетических режимов возложена на компанию АО «Системный оператор Единой энергетической системы». Но его приоритетной задачей является сохранение устойчивости энергосистемы. На устойчивость могут повлиять разные факторы. Например, нарушение работы сети или возникший дисбаланс мощности, наличие которого мы можем определить по такому критерию, как частота. Таким образом, устойчивость работы зависит от частоты в энергосистеме.

Значительное снижение частоты может привести к полной остановке генерирующего оборудования и значительным убыткам генерирующих компаний за недоотпуск электрической энергии. По этой причине угроза возникновения ее выхода за допустимые значения является основанием для введения графиков аварийного ограничения мощности. Данные ограничения вводятся без согласования с потребителем, поскольку необходимость регулирования частоты является аспектом энергетической безопасности, а, следовательно, экономической и государственной безопасности [3].

Эффективным инженерным решением для реализации ограничений будет автоматическое устройство, осуществляющее разгрузку энергетической системы [4], что обеспечивается автоматикой ограничения снижения частоты АОСЧ. На начальных этапах срабатывает автоматика частотного ввода резерва (АЧВР), включающая в себя первичное, вторичное

и третичное регулирование, осуществляемая электростанциями [5], а при ее неэффективности автоматическая частотная разгрузка (АЧР).

Однако в современных условиях требования к категории надежности повышаются по причине уменьшения числа потребителей второй и третьей категории. Бывают случаи подключения к одним и тем же фидерам потребителей разных категорий надежности, а также использование аварийных источников питания, что может существенно повысить вероятность безотказной работы [6]. При отключении таких линий срабатывает устройство автоматического ввода резерва (АВР) и подача электроэнергии через другие линии, что не снижает суммарный подключенный объем нагрузки.

В таких случаях может оказаться эффективным способ ограничения мощности путем регулирования напряжения на потребителях. Поставлена соответствующая гипотеза: ограничение мощности нагрузки в условиях дефицита мощности посредством снижения напряжения в пределах допустимого диапазона позволит восстановить частоту до нормального уровня.

Для подтверждения поставленной гипотезы был проведен эксперимент в лаборатории НИУ «МЭИ» на кафедре Электроэнергетических сетей и систем. Собранная модель представлена на рис. 1 и содержит источник питания E , питающий трансформатор TP , линию электропередачи с сопротивлением Z_L , нагрузку с сопротивлением Z_H и измерительные приборы: частотметр H_Z и вольтметр V [7].

Рассматривались следующие виды нагрузки:

- электромашинная, представленная асинхронным двигателем;
- осветительная, представленная лампами накаливания;
- осветительная, представленная светодиодными лампами;

- смешанная нагрузка, представленная параллельным соединением асинхронного двигателя и лампами накаливания.

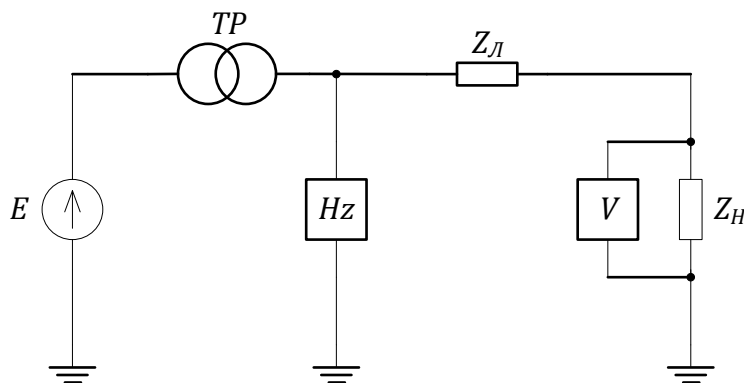


Рис. 1. – Схема установки

Напряжение на нагрузке изменялось посредством изменения коэффициента трансформации на трансформаторе. По полученным результатам построена зависимость изменения частоты, продемонстрированная на рис. 2.

Согласно ГОСТу 32144-2013 от 01.07.2014 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», допускается отклонение напряжения относительно номинального на 10 %, то есть можно выделить диапазон регулирования $\pm 10\%$, от 198 В до 242 В соответственно. При провалах частоты и регулировании в допустимом диапазоне возможно восстановить частоту в пределах 1,2 - 2,5 % относительно номинальной.

Точный показатель восстановления частоты зависит от конкретного режима работы сети. В режиме наибольших нагрузок на подстанции поддерживают повышенное напряжение, что допускает возможность регулирования и подтверждает поставленную гипотезу.

Для возможности такого регулирования было разработано устройство автоматического разгрузочного регулирования напряжения (АРРН), подключаемое к шинам 0,4 кВ районных трансформаторных подстанций

(ТП) и позволяющее подавать управляющее воздействие на устройство РПН трансформатора местной подстанции.

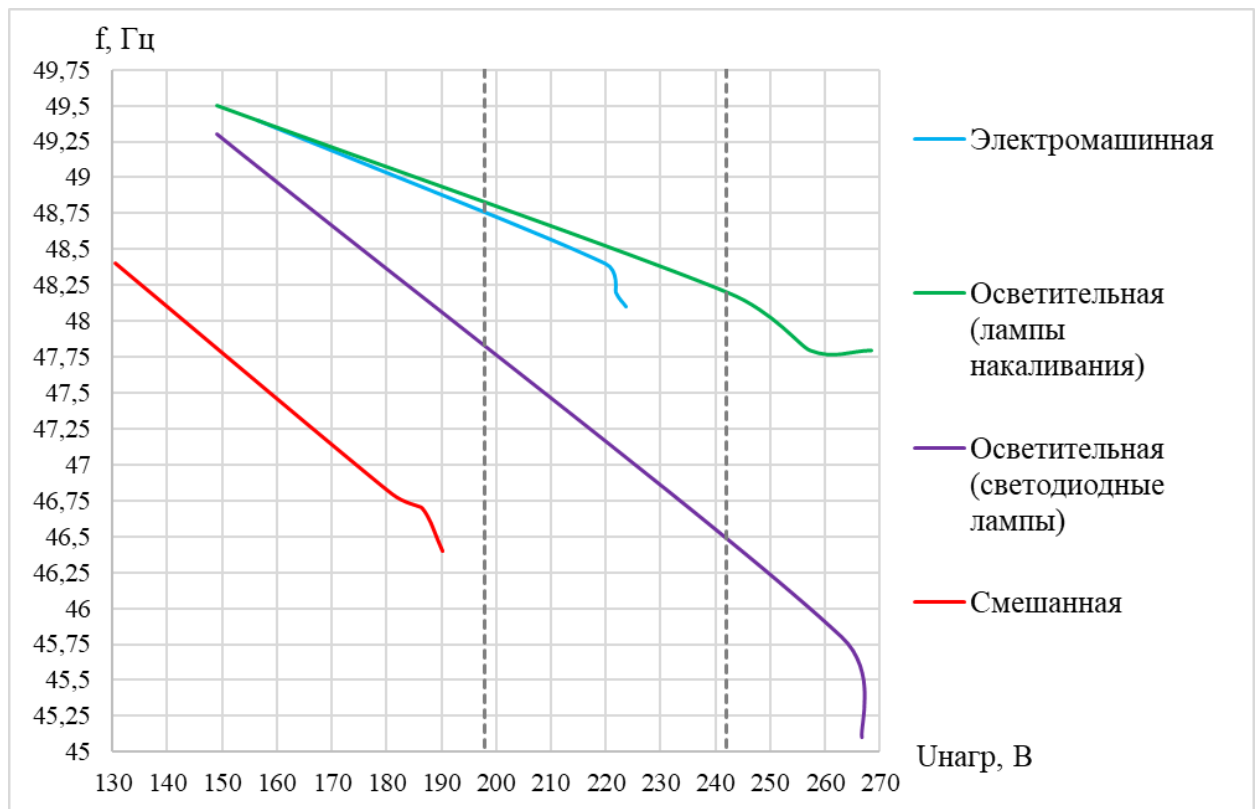


Рис. 2. – Зависимость частоты от напряжения на нагрузке

На районных ТП устанавливаются идентичные блоки контроля, включающие в себя блок измерения, блок прогнозирования, блок памяти, блок формирования запросов и блок сигнализации. На местной подстанции устанавливаются блоки формирования и реализации управляющих воздействий. Структурная схема устройства АРПН показана на рис. 3.

Устройство АРПН работает следующим образом. Блок измерений непрерывно измеряет действующие значения напряжения и частоты, которые передаются в блок памяти и блок формирования запросов. Данные в блоке памяти фильтруются от случайных помех и воздействий от регулирующих устройств распределительной сети. На основе обработанных данных в блоке прогнозирования рассчитываются изменения напряжения и частоты на некоторый промежуток времени, учитывая графики нагрузки этого района

за прошлые периоды. В блоке формирования запросов по этим данным определяется величина текущего небаланса активной мощности и прогнозируемого, после чего производится сравнение этих величин.

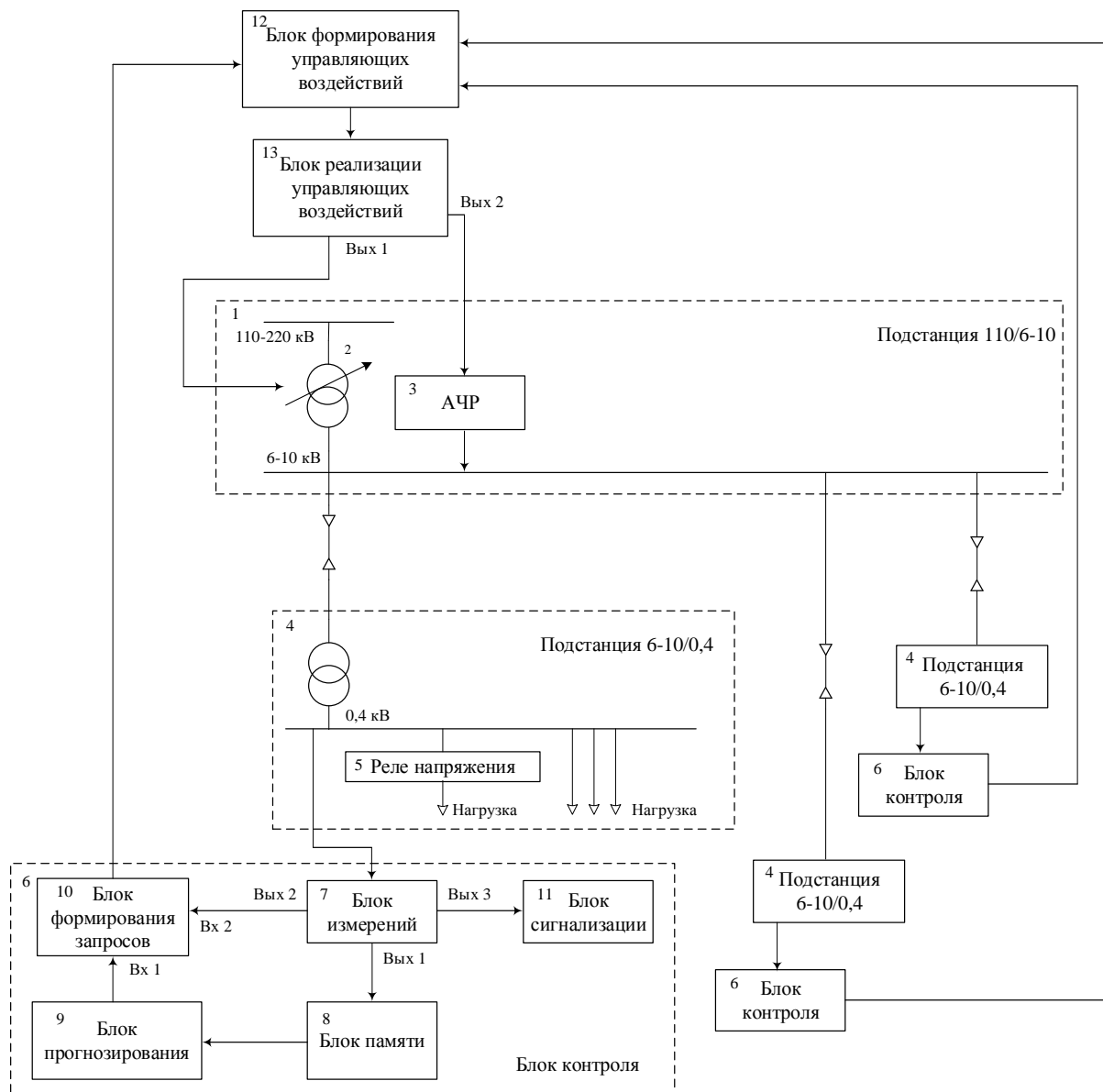


Рис. 3. – Устройство АРРН

Нормальному режиму работы распределительной сети соответствует равенство полученных величин с учетом некоторой погрешности отсутствия в необходимости управляющих воздействий. Случай превышения прогнозируемой величины небаланса мощности над текущей показывает возможность возникновения дефицита мощности.

После этого устройство рассчитывает величину ограничения потребляемой мощности путем снижения напряжения в пределах допустимого уровня для данных шин 0,4 кВ. Далее идет сравнение возможного ограничения мощности и величины прогнозируемого небаланса мощности. Если этого ограничения мощности оказывается достаточным для покрытия возникшего небаланса, то в блоке формирования запросов формируется запрос к блоку формирования управляющих воздействий на снижение напряжения в соответствии с рассчитанной величиной; если ограничение недостаточно, то в блок формирования управляющих воздействий передается запрос на невозможность регулирования.

Итоговое управляющее воздействие на переключение отпаек устройства РПН питающего трансформатора или на срабатывание устройства АЧР формируется после опроса остальных блоков контроля и расчета оптимальной величины снижения напряжения.

В части случаев возможно посредством реле напряжения отключение некоторой нагрузки по условию недопустимого снижения напряжения, при этом блок измерений фиксирует скачки напряжения и подает сигнал на срабатывание блока сигнализации, которое оповещает об отключении потребителей. У потребителей, для которых текущее изменение напряжения является допустимым, происходит пропорциональное изменение мощности потребления.

При получении запроса от блоков контроля на недопустимость регулирования к блоку реализации управляющих воздействий формируется команда на разрешение ускоренного срабатывания устройства АЧР.

Как только значение частоты окажется в пределах допустимых границ, происходит обратный процесс регулирования напряжения и подключения всей нагрузки потребителей [8].

Предлагаемое изобретение позволяет реализовать плавное регулирование частоты в системе на стороне потребителей для предотвращения их дальнейшего отключения, а также повысить надежность электроснабжения в условиях дефицита активной мощности вследствие снижения количества излишних отключений нагрузки устройствами РЗиА. Использование изобретения не противоречит работе АЧР, а дополняет его. Зона срабатывания устройства АРН показана на рис. 4.

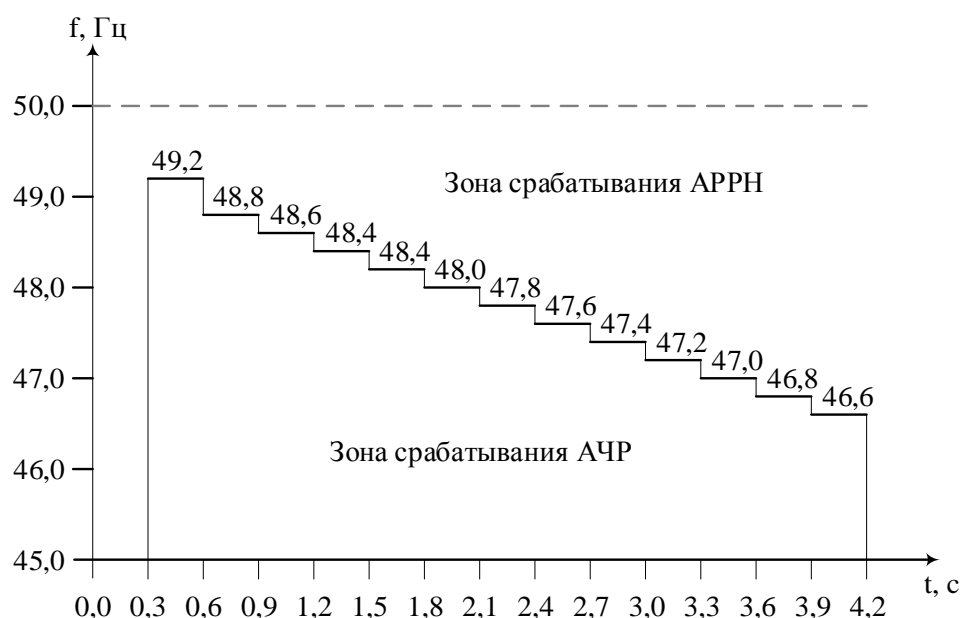


Рис. 4. – Зона срабатывания устройства АРН

Низкие показатели надежности энергосистемы обеспечат наибольший технический и экономический эффект от внедрения данного технического решения [9]. Разработанное устройство позволит пополнить набор технических знаний и компетенций, необходимых для развития идеи Smart Grid [10].

Литература

1. Селезнев В., Губанов М., Потемкин В. Развитие распределенной генерации на Дальнем Востоке и в Арктике // Энергетическая политика. 2022. № 7. с. 58 – 68.
2. Tshivhase N.; Hasan, Ali N.; Shongwe T. Proposed fuzzy logic system for voltage regulation and power factor improvement in power systems with high infiltration of distributed generation. Energies, 2020. DOI: 10.3390/en13164241, p. 1 – 7.
3. Папков Б.В. Основа безопасности государства – электроэнергетика // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2023.
4. Сафаров И.М., Давлетхузина Э.М., Ишмухаметова Д.М., Баширова Л.И., Садыков Р.Д., Хлебников Д.А. Состояние уровня автоматизации энергетических объектов и решения, направленные на его повышение // Инженерный вестник Дона. 2021. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7382.
5. Бондаренко А.Ф., Комаров А.Н. Живучесть и надежность единой энергосистемы России определяется ее электростанциями // Теплоэнергетика. 2002. № 4. с. 2 - 8.
6. Ефимов А.Ю., Алехин А.О., Оценка надежности электроснабжения потребителей первой и второй категории // Интеллектуальная электротехника. 2019. №2. с. 81 – 83.
7. Удинцев Д.Н., д.т.н., доцент; Хлебнов А.В., к.т.н., доцент; Шульженко С.В., к.т.н., доцент; Шкляревский Н.В.; Смоголев С.А.; Каюкова Д.Я. Исследование режимов системы электроснабжения, содержащей распределенную генерацию. Лабораторный практикум. М.: Издательство МЭИ. 2020. с. 38 – 44.

8. Удинцев Д.Н., Соломатина А.А., Сергеева М.М., Тульский В.Н., Зуев А.И. Устройство регулирования параметров режима электроэнергетической системы в условиях небаланса мощности // патент на изобретение. № 2777777. 2022. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=2de5fb1648e7a2b9c4d44255bd697bec.

9. Судаков П.А. Разработка предложений по повышению надежности автономных энергетических систем: дис. 2020. с. 1 – 2.

10. Sun, H.; Guo, O.; Ajjarapu, J.Q.V.; Bravo R.; Chow, J. Review of Challenges and Research Opportunities for Voltage Control in Smart Grids. IEEE Trans. Power Syst, 2019. DOI:10.1109/TPWRS.2019.2897948, p. 4 – 7.

References

1. Seleznev V., Gubanov M., Potemkin V. Energeticheskaya politika. 2022. № 7. pp. 58 – 68.

2. Tshivhase N.; Hasan, Ali N.; Shongwe T. Energies, 2020. DOI: 10.3390/en13164241, pp. 1 – 7.

3. Papkov B.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2023.

4. Safarov I.M., Davlethuzina E.M., Ishmuhametova D.M., Bashirova L.I., Sadykov R.D., Hlebnikov D.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7382.

5. Bondarenko A.F., Komarov A.N. Teploenergetika. 2002. № 4. pp. 2 - 8.

6. Efimov A.YU., Alekhin A.O. Intellektualnaya elektrotehnika. 2019. №2. pp. 81 – 83.

7. Udincev D.N., d.t.n., docent; Hlebnov A.V., k.t.n., docent; SHul'zhenko S.V., k.t.n., docent; SHklyarevskij N.V.; Smogolev S.A.; Kayukova D.YA. Issledovanie rezhimov sistemy elektrosnabzheniya, sodержashchej raspredelennuyu generaciyu [Investigation of power supply system modes

containing distributed generation]. Laboratornyj praktikum. M.: Izdatelstvo MEI. 2020. pp. 38 – 44.

8. Udincev D.N., Solomatina A.A., Sergeeva M.M., Tul'skij V.N., Zuev A.I. Ustrojstvo regulirovaniya parametrov rezhima elektroenergeticheskoy sistemy v usloviyah nebalansa moshchnosti. [Device for regulation of electric power system parameters under unbalanced power conditions]. Patent na izobretenie. № 2777777. 2022. URL:fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=2de5fb1648e7a2b9c4d44255bd697bec.

9. Sudakov P.A. Razrabotka predlozhenij po povysheniyu nadezhnosti avtonomnyh energeticheskikh system [Development of proposals for improving the reliability of autonomous energy systems]: dis. 2020. pp. 1 – 2.

10. Sun, H.; Guo, O.; Ajarapu, J.Q.V.; Bravo R.; Chow, J. Review of Challenges and Research Opportunities for Voltage Control in Smart Grids. IEEE Trans. Power Syst, 2019. DOI:10.1109/TPWRS.2019.2897948, pp. 4 – 7.